

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS

73

ENERO-JUNIO 2020



INSTITUTO INTERUNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS

La publicación de este número ha sido posible gracias a la obtención de una ayuda del Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante.

<https://web.ua.es/es/vr-investi>

REDACCIÓN

[Instituto Interuniversitario de Geografía](#). Universidad de Alicante
Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. 03690, San Vicente del Raspeig - Alicante (España)
Tlfn: (34) 965903400 Ext. 3380 – Fax: (34) 965909485
Correo electrónico: investigacionesgeograficas@ua.es – Sitio web: www.investigacionesgeograficas.com



Los trabajos se publican bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](#), salvo que se indique lo contrario.
Las opiniones reflejadas en los textos que componen *Investigaciones Geográficas* son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores.

ISSN (hasta 2012): 0213-4691
ISSN (electrónico): 1989-9890

DOI: 10.14198/ingeo
Depósito legal: A-52-1983

A la memoria de Olivia Manzanaro García, compañera y amiga.

ÍNDICE

ARTÍCULOS

- Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo11
Ana M. Camarasa-Belmonte, María Rubio Vila y Javier Salas Rey
- ¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica31
Oliver Gutiérrez-Hernández y Luis V. García
- Comportamiento espacial del uso de las TIC en los hogares e individuos. Un análisis regional europeo.....57
Francisca Ruiz-Rodríguez, Reyes González-Relaño y Ángel Luis Lucendo-Monedero
- Cuestiones preliminares a abordar en la concreción de una propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación de planes territoriales en España75
Juan Garrido Clavero
- Paisajes de Interés Natural (PIN) en los Arribes del Duero (Zamora, España)95
José Luis Marino Alfonso, Miguel Ángel Poblete Piedrabuena y Salvador Beato Bergua
- Análisis del sistema socio-ecológico del estuario Bahía Blanca (Argentina) y su impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano121
María Angeles Speake, María Elizabeth Carbone y Carla Vanesa Spetter
- Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México147
Daniel De Las Heras Gutiérrez, Salvador Adame Martínez, Edel Gilberto Cadena Vargas y Juan Campos Alanís
- El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina171
Valeria Soledad Duval, Graciela María Benedetti y Katherine Baudis
- La concentración de partículas en el aire: análisis estadístico de la relación espacial entre medidas de superficie y del sensor MODIS para dos tipos de tiempo en la Comunidad de Madrid189
Antonio Moreno Jiménez, Rosa Cañada Torrecilla y David Méndez Arranz
- Propuesta de un método de evaluación del patrimonio cultural y su aplicación en Cortes de Pallás (Valencia)211
Sandra Mayordomo Maya y Jorge Hermosilla Pla
- Galerías de agua en el campo alto de Lorca (Región de Murcia). Análisis y caracterización territorial235
José Antonio López Fernández
- Espacios rurales en transformación desde territorios de las energías en Argentina.....257
Ada Graciela Nogar
- Aspectos atmosféricos y climáticos en la expansión de la pandemia (COVID-19) en la provincia de Alicante275
Jorge Olcina Cantos, Samuel Biener Camacho y Javier Martí Talavera

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reseña de Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals de República, guerra i resistència. Volum III301
Francesc Xavier Roig-Munar
- Reseña de Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino: homenaxe a Augusto Pérez Alberti.....305
Francesc Xavier Roig-Munar

ARTÍCULOS

Cita bibliográfica: Camarasa-Belmonte, A.M., Rubio Vila, M., & Salas Rey, J. (2020). Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo. *Investigaciones Geográficas*, (73), 11-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.CBRVSR>

Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo

Rainfall event trends in the Júcar River Water Authority area (1989-2016): from resource to the risk

Ana M. Camarasa-Belmonte^{1*}
María Rubio Vila²
Javier Salas Rey³

Resumen

Este trabajo aborda la clasificación y evolución diacrónica de los episodios de lluvia (1989-2016) en ambientes mediterráneos, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. En base a datos del SAIH, y siguiendo criterios hidrológicos, se seleccionan 698 episodios, que se caracterizan con indicadores de precipitación acumulada, intensidad y persistencia. Mediante un análisis cluster se identifican tres tipologías (episodios de recurso limitado, de gran recurso a largo plazo y de riesgo) y se analiza su evolución temporal, estableciendo diferencias entre los episodios de interior y de litoral. Los resultados muestran una tendencia hacia el incremento del riesgo en detrimento del recurso en los tres tipos, por descenso de los totales acumulados y aumento de las intensidades. Si bien la frecuencia anual de los eventos crece, la aportación de los de riesgo sube y la de los de recurso baja. Este comportamiento es más acusado en el interior que en la costa. Se apunta, además, un desplazamiento mensual de los tipos de episodios. Los que acumulan grandes totales se están trasladando de octubre a noviembre, donde pueden coincidir con los de riesgo que, a su vez, incrementan su probabilidad de ocurrencia. Esta sinergia entre sucesos copiosos e intensos supone un factor de riesgo añadido.

Palabras clave: Demarcación Hidrográfica del Júcar; episodios lluvia; riesgo; recurso; cuenca mediterránea.

Abstract

This work approaches the study of rainfall events in Mediterranean environments. The area of study is that of the Júcar River Water Authority. More than 600 episodes have been selected (1989-2016) from the original five-minute rainfall information according to hydrological criteria. Episodes have been described by indicators of accumulated precipitation, intensity, and persistence. Through a cluster analysis, the episodes have been classified into three typologies (limited resources, long-term resources, and risky episodes). The temporal evolution of each event class has been analysed, establishing differences between the inland and coastal episodes. The results show a generalised trend towards increasing risk at the ex-

1 Departamento de Geografía. Universitat de València. Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia. Tel: + 34 96 386 42 37. ana.camarasa@uv.es.

* Autora para correspondencia.

2 Departamento de Geografía. Universitat de València. Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia. maruvi2@alumni.uv.es

3 Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. C/ Colegios, 2, Alcalá de Henares. 28801 Madrid. Tel: +34 91 885 5259. javier.salas@uah.es

pense of decreased resources – due to less accumulated rainfall and an increase in intensities. Despite an increasing annual frequency of events, the significance of risk events is more important than those of resource events. This behaviour is more pronounced in the inland areas than on the coast. Moreover, a monthly shift in the event type occurrence is observed: events that contribute a great deal of rainfall are moving from October to November, favouring the monthly coincidence of high precipitation episodes and intense episodes. This synergy between copious and intense events is an added risk factor.

Key words: Júcar River Water Authority; rainfall event; risk; resource; Mediterranean basin.

1. Introducción. Análisis pluviométricos en entornos mediterráneos: la trascendencia hidrológica de los episodios de lluvia frente al cambio climático

Los entornos mediterráneos y semiáridos constituyen espacios de transición morfoclimática, donde las precipitaciones son muy irregulares y presentan una gran variabilidad interanual e intranual (Armengot, 2002; Homar, Romero, Ramis y Alonso, 2002). Por ello, los valores medios mensuales o anuales no son representativos de los procesos hidrológicos (Llasat, 2001; Cudennec, Leduc y Koutsoyiannis, 2007; Bengtsson y Milloti, 2010; Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015). A lo largo del año, la precipitación se concentra en unos cuantos episodios que resultan de gran trascendencia, tanto en la evolución geomorfológica de la zona, como en la disponibilidad de recursos hídricos (Lavee, Imeson y Sarah, 1998; Martínez-Mena, Castillo y Albadalejo, 2001; Samuels, Rimmer y Alpert, 2009; Borga, Stoffel, Marchi, Marra y Jakob, 2014). En consecuencia, el análisis de lluvias debe de abordarse a partir de episodios individuales.

Desde el punto de vista morfogénético, la idea de episodio adquiere peso vinculada al concepto de *effectiveness*, definido por Wolman y Gerson (1978) como la capacidad de un evento para cambiar la forma del paisaje. Estos autores comparan cuencas de diferentes ambientes y concluyen que, en los medios semiáridos, los episodios individuales tienen una gran importancia para la configuración del modelado. Profundizando en esta idea, Brakenridge (1988) afirma que los sistemas mediterráneos están dominados por sucesos extraordinarios. Por su parte, Graf (1988) sostiene que los procesos controlan las formas en episodios de gran magnitud, mientras que las formas controlan los procesos en los de baja magnitud.

En lo referente a la generación de recursos hídricos, también los procesos a escala de cuenca dependen en gran medida de la ocurrencia de episodios concretos (Cammeraat, 2004; Conesa, 2005). En este sentido la conectividad hidrológica, entendida como la capacidad del agua de circular a través de los distintos elementos de la cuenca hasta generar caudal en la desembocadura, está condicionada por el contexto morfoclimático (Bracken y Croke, 2007; Bracken *et al.*, 2013). Así, mientras el flujo de base y la humedad antecedente son determinantes en entornos templado-húmedos, en los ambientes semiáridos los factores fundamentales son la duración e intensidad de la lluvia de cada episodio, sobre todo para los casos en que la duración de suceso sea superior al tiempo de concentración de la cuenca o cuando las intensidades sean muy altas (Yair y Kossovsky, 2002; Yair y Raz-Yassif, 2004; Bracken, Cox y Shannon, 2008). El factor intensidad adquiere, pues, relevancia, de manera que no sólo es importante cuánto llueve —en términos de recurso—, sino cómo llueve —en relación con el riesgo— (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015).

Sin embargo, cuando hablamos de recursos, no sólo es importante la escorrentía superficial, sino que deben incluirse también los aportes subterráneos. De hecho, según la memoria del Plan Hidrológico, la Demarcación Hidrográfica del Júcar presenta una escorrentía media anual de 72 mm, de los cuales, el 83% es de origen subterráneo. En este sentido conviene remarcar que los episodios de lluvia son la fuente primaria del aprovisionamiento hídrico, tanto del agua superficial como subterránea. En la zona de estudio, diversos estudios empíricos sobre balances hídricos en rambla, arrojan umbrales medios de escorrentía en torno a los 62 mm, con coeficientes de escorrentía medios de 63% (Camarasa-Belmonte, 2016). Por tanto, la mayor parte del agua precipitada pasa a formar parte del agua almacenada en suelos, reservorios subsuperficiales y acuíferos subterráneos.

La faceta ambivalente entre recurso y riesgo de los episodios es una constante en los entornos mediterráneos. A lo largo de la Historia, las sociedades han ido adaptándose a la situación (Butzer, 2005) y se han mantenido resilientes a las fluctuaciones de magnitud e intensidad de los episodios. Sin embargo, el nuevo escenario que impone el cambio climático anuncia alteraciones preocupantes, tanto en la faceta geomórfica como antrópica.

Son las zonas áridas y semiáridas del planeta las que, según todos los indicadores, van a sufrir los mayores impactos, ya que son áreas de transición donde el balance hídrico es más precario. En este sentido, estudios recientes demuestran que, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el cambio climático ha producido un aumento de las temperaturas (Estrela, Pérez-Martín y Vargas, 2012; López-García, 2015; Olcina, 2017) y un marcado descenso de las precipitaciones de origen atlántico que afecta, sobre todo, a la zona de interior y al momento de transición entre primavera y verano (Millán, Estrela y Miró, 2005; Miró, Estrela y Olcina, 2015; Pastor *et al.*, 2015; Estrela *et al.*, 2016; Marcos-García y Pulido-Velazquez, 2017).

Además, como consecuencia de la acumulación de energía en la atmósfera, las lluvias son cada vez más intensas (Alpert *et al.*, 2002; Olcina, 2017; Papalexioy y Montanari, 2019). Llegados a este punto conviene aclarar que la Agencia Europea de Medioambiente corrobora el incremento de lluvias intensas para el norte y nordeste de Europa, pero demuestra muchas reticencias en relación a las tendencias de los países del sur (European Environment Agency, 2018). En el mismo informe se reconoce que quizás esto se deba a que los datos diarios son poco adecuados para caracterizar los episodios mediterráneos y se necesitarían escalas temporales más detalladas (Bengtsson and Milloti, 2010; Monjo, 2016).

Efectivamente, diversos análisis empíricos llevados a cabo en la zona de estudio, por Camarasa-Belmonte y Soriano (2015), ponen de manifiesto la importancia de las escalas temporales inferiores a 24 h., para abordar los procesos naturales. Sin embargo, en España se observa una considerable falta de estudios en esta línea, habida cuenta de que hasta 1989 (cuando el Sistema Automático de Información Hidrológica [SAIH] comienza a obtener registros cincominutales) la discretización habitual de los datos de lluvia era diaria.

Con estas premisas, nuestro trabajo aborda el análisis de sucesos entre 1989 y 2016, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, a partir de los datos adquiridos por el SAIH cada cinco minutos (escala temporal adecuada a la naturaleza del proceso). A partir de esta información se han seleccionado episodios (siguiendo criterios hidrológicos de generación de escorrentía superficial) y se han caracterizado mediante indicadores de precipitación acumulada, intensidad máxima puntual, intensidad media reducida y persistencia. A continuación se ha procedido a la clasificación automática de los eventos, mediante técnicas de cluster. Los resultados pueden ser interpretados en términos de episodios con una faceta predominante de recurso o de riesgo. Ello ha permitido sintetizar y cartografiar sucesos tipo y compararlos con los reales. Por último, se ha estudiado su evolución diacrónica, con objeto de observar si existen tendencias de cambio, tanto en el tiempo como en el espacio (dicotomía de comportamiento costa/interior).

2. Metodología

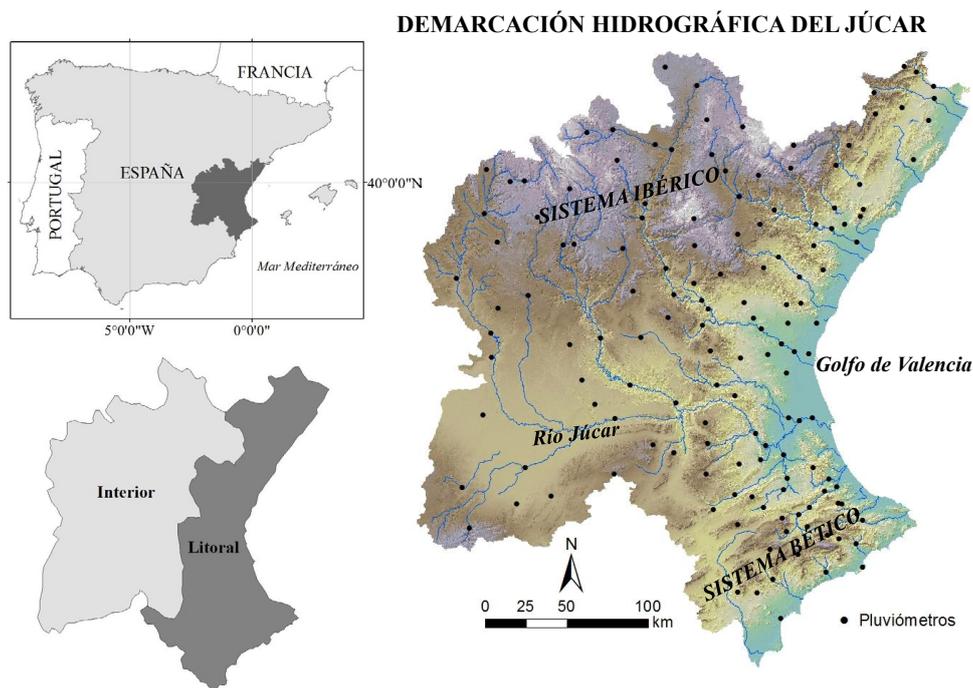
2.1. Área de estudio y datos

El área de estudio abarca el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (42.989 km²), que constituye un claro exponente de la fachada mediterránea peninsular (Figura 1). Presenta una geografía muy contrastada, con una fuerte dicotomía entre interior y litoral. Desde el punto de vista hidrogeomorfológico, la zona de interior reúne los sectores de cabecera de los cursos fluviales, mientras que la franja litoral está constituida principalmente por las llanuras aluviales y las desembocaduras de los ríos.

En ese contexto, la distribución de episodios de lluvia es desigual. Según Morell y Pérez-Cueva (2000), el volumen de precipitaciones intensas de la zona de litoral es cinco veces superior al producido en el interior. En la misma línea, Camarasa-Belmonte y Soriano (2015) encuentran dos patrones de lluvia diferentes: (i) uno perteneciente al litoral, que agrupa las mayores intensidades, a altitudes no muy elevadas, pero muy cerca del mar y (ii) otro, perteneciente al interior, con precipitaciones de menor intensidad, en zonas alejadas del mar, aunque con mayores altitudes.

Desde el punto de vista antrópico, los grandes almacenamientos de agua (tanto acuíferos kársticos como presas y embalses) se ubican preferentemente en la zona de interior, mientras que la población se concentra en la franja litoral. Si interpretamos esta distribución en términos de recurso-riesgo, podríamos considerar que la zona de interior es fundamentalmente de recurso (ya que agrupa los mayores embalses y presenta una precipitación más regular y de menor intensidad); mientras que el litoral podría ser calificado de riesgo (dado que la intensidad de la lluvia es mayor, la respuesta de las cuencas es muy rápida y la posibilidad de laminar las crecidas disminuye, toda vez que aquí se concentra la mayor cantidad de población).

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Elaboración propia

En cuanto al análisis de episodios, se utiliza la información registrada, cada cinco minutos, por la red SAIH-Júcar, en 147 pluviómetros, durante un periodo de 28 años (1989-2016). Con anterioridad a 1989 no se disponía de esta red y la mayor parte de análisis de lluvias se basaba en datos diarios. La puesta en funcionamiento de la misma ha permitido caracterizar los episodios con indicadores de intensidad y persistencia, estimados sobre escalas temporales cinco-minutales. Esto ha supuesto un verdadero cambio en la manera de abordar el estudio de episodios en zonas semi-áridas (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015).

2.2. Selección y caracterización de episodios

A partir de los datos del SAIH, se han detectado episodios de lluvia según los criterios hidrológicos de generación de escorrentía superficial, propuestos por Camarasa-Belmonte y López-García (2006). Estos criterios, basados en umbrales diarios de lluvia acumulada y de intensidad, se han demostrado eficaces en la zona de estudio. Como premisa, los umbrales no deben de ser demasiado bajos porque no producirían escorrentía, ni tampoco demasiado altos, porque de ese modo solo incluirían los sucesos más importantes. Los episodios pueden durar más de un día y deben de tener cierta presencia espacial (de lo contrario no tienen trascendencia hidrológica). Sin embargo, también deben ser tenidas en cuenta las precipitaciones muy intensas (aunque sean locales) porque pueden exceder la capacidad inicial de infiltración del suelo y producir escorrentía.

Una vez establecidos los criterios de selección, Camarasa-Belmonte y López-García (2006) dividieron el área de estudio en 11 unidades espaciales (*zonas*) que, partiendo de las establecidas por la Confederación Hidrográfica del Júcar, atendían a criterios mixtos topográficos e hidrológicos (unidades topográficas de cierta entidad y subcuencas de grandes colectores). Seguidamente propusieron la estimación de dos indicadores de lluvia media areal diaria para cada *zona*: la *precipitación media* (*P*), estimada a partir de todos los pluviómetros, y la *precipitación media local* (*PL*), estimada únicamente a partir de los pluviómetros que registraban lluvia. Según estos indicadores, se consideraba episodio de varios días cuando una *zona* registraba $P > 5$ mm/día durante 2 o más días seguidos. Se consideraba episodio de día único cuando una *zona* registraba $P > 10$ mm ó $PL > 40$ mm (siempre y cuando $P < 5$ mm en los días anterior y posterior).

Siguiendo la metodología mencionada, en el presente trabajo se han discriminado 698 episodios de lluvia, a partir de los datos diarios. La selección de episodios es cronológica y, dependiendo de la extensión espacial de los mismos, puede cumplir criterios en una o más *zonas* al mismo tiempo. Una vez detec-

tado el episodio, se trabaja en todo el ámbito de estudio (CHJ), en el marco temporal del episodio, y con la información cincominutal de cada pluviómetro. Así, en base a los datos cincominutales, se han estimado, para cada evento, indicadores de precipitación acumulada, intensidad máxima puntual y persistencia, en cada punto de observación. Cada episodio ha sido caracterizado con cuatro indicadores básicos que a continuación se definen:

- Precipitación acumulada (mm): lluvia media areal acumulada en el episodio (estimada a partir del total registrado en cada pluviómetro). Constituye un indicador general de aportación.
- Intensidad máxima puntual (mm/h): intensidad máxima cincominutal absoluta, registrada en cualquiera de los pluviómetros. Constituye un indicador de la energía máxima que ha podido llegar a alcanzarse en el episodio.
- Intensidad media reducida (mm/h): estima la media areal de intensidad, calculada a partir de la intensidad media en cada punto, pero considerando únicamente los intervalos con lluvia.
- Persistencia: es un indicador que muestra la constancia de la lluvia en el tiempo. Para cada punto se estima la probabilidad de que llueva en dos intervalos cincominutales seguidos. El indicador del episodio es una media areal de la persistencia local.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los 698 episodios seleccionados

Indicadores pluviométricos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Intensidad máxima puntual (mm/h)	2,4	357,6	96,43	60,03
Intensidad media reducida (mm/h)	0,02	17,31	3,74	1,86
Precipitación Acumulada (mm)	0,02	189,9	14,58	17,88
Persistencia (0-1)	0	0,73	0,35	0,16

Elaboración propia

2.3. Clasificación de los episodios

Una vez caracterizados los 698 episodios según los mencionados indicadores pluviométricos se ha procedido a su clasificación a partir de un análisis *cluster*, por ser uno de los métodos más utilizado para eventos climáticos (Halkidi, Batistakis y Vazirgiannis, 2001; Ramos, 2001; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004).

El cálculo de la disimilitud entre grupos se ha basado en la distancia Euclidiana. Como algoritmo de clasificación se ha usado el método jerárquico ascendente de Ward, también conocido como método de la varianza mínima (Ward, 1963). El procedimiento resulta apropiado para este tipo de análisis por su versatilidad y precisión (Blashfield, 1976; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004).

2.4. Estimación y cartografía de episodios tipo sintéticos. Comparación con episodios reales

El análisis cluster ha distribuido los episodios en 3 clases que, una vez interpretadas, se pueden calificar como: (1) episodios de alta frecuencia y baja magnitud; (2) episodios de baja frecuencia y gran magnitud y (3) episodios de frecuencia intermedia y gran intensidad. A partir de aquí se ha obtenido un episodio sintético tipo por clase. Para ello, se han seguido los siguientes pasos: (1) agrupar los episodios de cada clase; (2) estimar, para cada una y en cada pluviómetro, los valores representativos de los indicadores (medias de precipitación acumulada y máximos absolutos de intensidad máxima puntual) y (3) elaborar una cartografía sintética de episodios tipo.

Una vez analizada esta cartografía se han seleccionado algunos sucesos reales, considerados representativos de cada clase. El estudio comparativo entre episodios sintéticos y reales ha ayudado a discutir los resultados en una primera fase de diagnóstico y clasificación de eventos.

2.5. Tendencia diacrónica de los episodios. Dicotomía litoral/interior

Con objeto de evaluar la tendencia que presentan estos episodios desde 1989, se ha estudiado la evolución de las siguientes variables:

- (1) Tendencia anual del número de episodios, en su totalidad y diferenciados por tipos, así como su aportación.

- (2) Tendencia de los indicadores de recurso (basados en el total de lluvia acumulada) y riesgo (gravitando en torno a la intensidad máxima) de todos los episodios, registrados en su conjunto y según los tres tipos diferenciados en este estudio.

Como ya se mencionó en la introducción, algunos autores han detectado una evolución diacrónica diferente de los eventos, según ocurran en el interior o en el litoral (Figura 1). Con objeto de comprobar si esta dicotomía se reflejaba en nuestro estudio, se ha estimado la tasa de cambio de los indicadores, desagregados por tipos de episodio, para la zona de interior y para la de costa.

Por otra parte, la distribución mensual de los tipos de episodio también parece estar cambiando a lo largo del tiempo, si bien los 28 años del período estudiado no son suficientes para sustentar esta afirmación. No obstante, con objeto de ilustrar esta idea se ha dividido el período en dos tramos de 14 años cada uno (de 1989 a 2002 y de 2003 a 2016) y se ha calculado la probabilidad de ocurrencia de un determinado tipo de episodio en cada tramo y para cada mes.

3. Resultados

3.1. Tipos de episodio

El análisis Cluster muestra una clara división de los episodios en tres tipologías, cuyos centroides aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del Análisis Cluster y valor de sus centroides

Clase (Tipo)	Intensidad máxima puntual (mm/h)	Intensidad media reducida (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Persistencia (0-1)	Nº Episodios	% muestra
1	65,1	2,75	8,8	0,29	437	62,61
2	118,48	4,16	58,34	0,53	65	9,31
3	158,97	5,81	12,96	0,43	196	28,08

Elaboración propia

La primera clase aglutina al 62,6% del total, y describe episodios con intensidades máximas puntuales bastante moderadas (65,1 mm/h), con un bajo índice de persistencia (0,29) y que acumulan totales de pequeña cuantía (8,8 mm). Constituye un tipo de episodios de poca energía y gran frecuencia, muy beneficioso, sobre todo, para el mantenimiento del medio natural. Dada su mayor frecuencia a lo largo del año, asegura cierta continuidad del recurso y no implica riesgo (ya que las intensidades son muy pequeñas). Sin embargo, sus totales apenas aseguran la recarga de los acuíferos, embalses y demás elementos de almacenamiento hídrico a medio/largo plazo. Podríamos describir a este tipo como de “recurso limitado, exento de riesgo”.

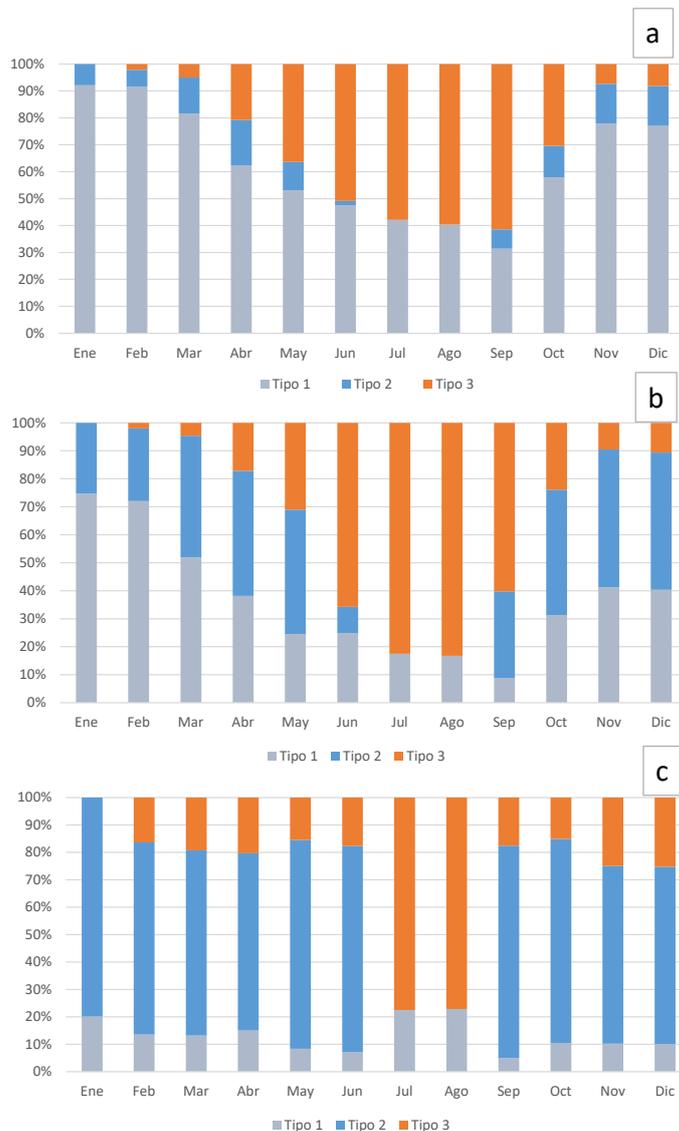
La segunda clase supone apenas el 9,3 % de los episodios. Sin embargo, constituyen los eventos más productivos, ya que son los que más lluvia aportan al sistema (58,34 mm). Ello se debe en parte a su gran persistencia (0,53) y a que precipitan con una intensidad media moderada (4,16 mm/h). Las máximas puntuales, si bien superan los 100 mm/h no son las más altas de la zona (la máxima intensidad puntual registrada alcanzó 357,6 mm/h en el evento de julio de 1993). Desde el punto de vista natural (en que los desbordamientos se consideran beneficiosos para la conectividad hidrológica del sistema) estos episodios rellenan los reservorios (acuíferos, marjales, cursos de agua, ...) y aseguran al ecosistema la disponibilidad de agua para los años de escasez. Desde el punto de vista antrópico constituyen el recurso más importante, ya que suponen las mayores aportaciones a ríos y embalses, garantizando la reserva hídrica plurianual. Sin embargo, dependiendo del grado de resiliencia de las sociedades al riesgo de inundación, este tipo puede constituir, además, un riesgo, para poblaciones poco adaptadas. Podría describirse como de “gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo”.

Por último, la tercera clase, con el 28% de los casos, agrupa los episodios más violentos. Son los que mayores intensidades presentan, tanto medias (5,81 mm/h) como máximas puntuales (158,97 mm/h) y, con una persistencia moderada (0,43), acumulan cantidades poco relevantes. Estos sucesos son los que más riesgo entrañan debido a la concentración de lluvia en muy poco tiempo. Según Camarasa-Belmonte y Soriano (2015) la variable crítica de estos eventos, más que la cantidad de lluvia, es la alta intensidad con la que precipita, ya que puede exceder la capacidad inicial de infiltración del suelo, generando escorrentía

superficial, aunque los suelos no estén saturados. Además, según Camarasa-Belmonte (2016) si las máximas intensidades ocurren al inicio de la tormenta, el riesgo aumenta, porque favorece las avenidas tipo *flash-flood* y los problemas por *lluvia in situ*. Este tipo es “*básicamente de riesgo, con bajo recurso asociado*”.

Si atendemos a la distribución mensual de las tres clases observamos cierto patrón estacional. La Figura 2 muestra la frecuencia con que se producen (número de episodios por mes); el porcentaje del total de lluvia acumulada y la eficiencia hídrica (total acumulado dividido por número de episodios).

Figura 2. Distribución mensual de los tipos de episodio: (a) frecuencia, (b) totales acumulados y (c) eficiencia hídrica



Elaboración propia

La clase 1 (*recurso limitado, exento de riesgo*) es la que más nº de episodios registra. Se produce durante todo el año, si bien es mucho más frecuente en invierno y otoño, seguido de la primavera. Su número desciende en verano, de junio a septiembre. Aportan la mayor parte del agua precipitada de invierno (sobre todo en enero y febrero) y del otoño tardío. En términos generales, estos episodios resultan muy poco eficientes, a pesar de su constancia durante todo el año.

La clase 2 (*gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo*) es la que menor frecuencia presenta. Abunda más en primavera y otoño-invierno. No tiene presencia en verano. Estos episodios totalizan las mayores cantidades de lluvia en otoño (pudiendo llegar a suponer la mitad del total acumulado en el mes de noviembre) y en primavera, con un máximo secundario en invierno. Su aportación durante el verano es

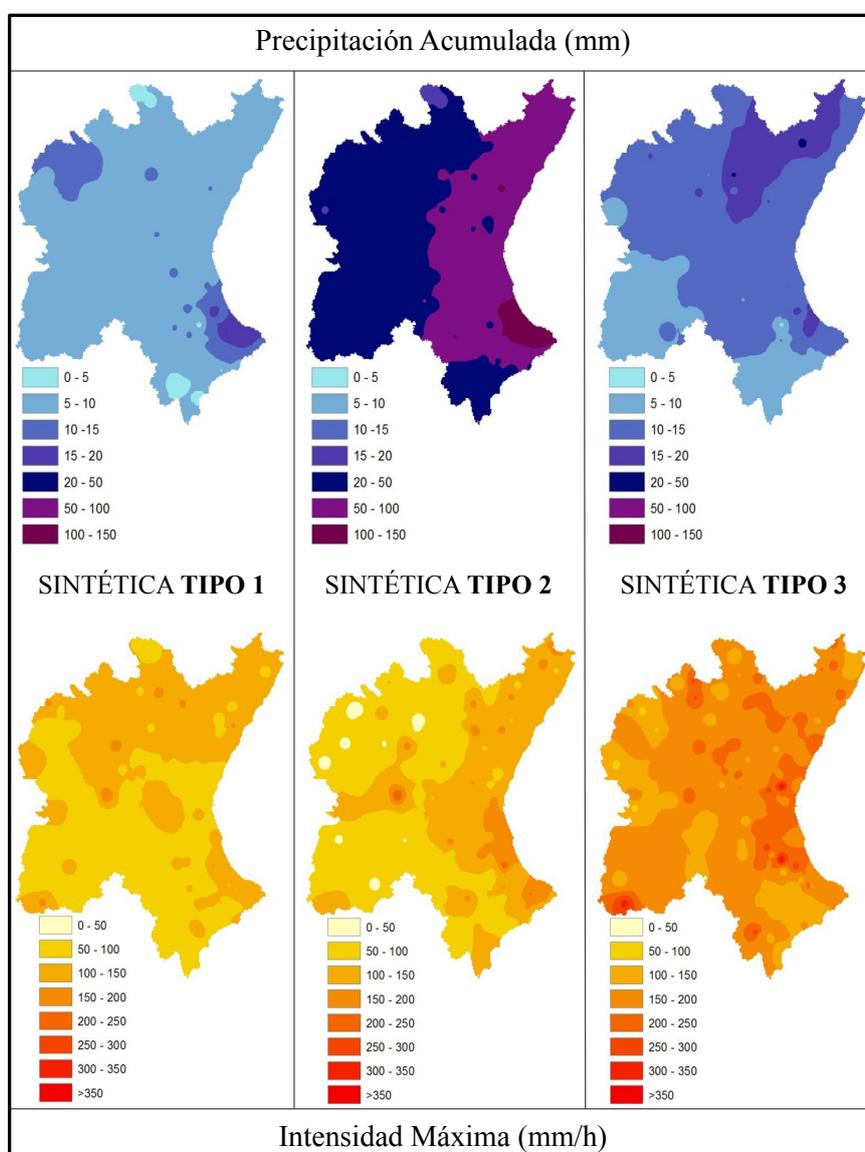
escasa porque apenas tienen presencia. Exceptuando los meses de julio y agosto, estos eventos son los más eficientes durante todo el año.

La clase 3 (*riesgo, con bajo recurso asociado*) resulta dominante en verano y muy frecuente en la transición hacia el otoño y desde la primavera al verano. Apenas tiene importancia en invierno, llegando a desaparecer en el mes de enero. Presenta una frecuencia antagónica con la clase 2. Si bien sus aportaciones en términos absolutos son pequeñas, suponen la mayor eficiencia en los meses de julio y agosto.

3.2. Episodios sintéticos tipo: cartografía y comparación con episodios reales

La Figura 3 muestra la cartografía de los valores medios de precipitación acumulada y máximo de intensidad puntual, para cada clase. Conviene remarcar que estos mapas sintéticos no son representativos de un único evento, ya que reúnen características de todos los de su clase. Por ello, es necesario entender que cada mapa puede reflejar las múltiples situaciones meteorológicas que originan su clase.

Figura 3. Cartografía de los tres tipos de episodios sintéticos (indicadores de lluvia acumulada e intensidad máxima puntual)



Elaboración propia

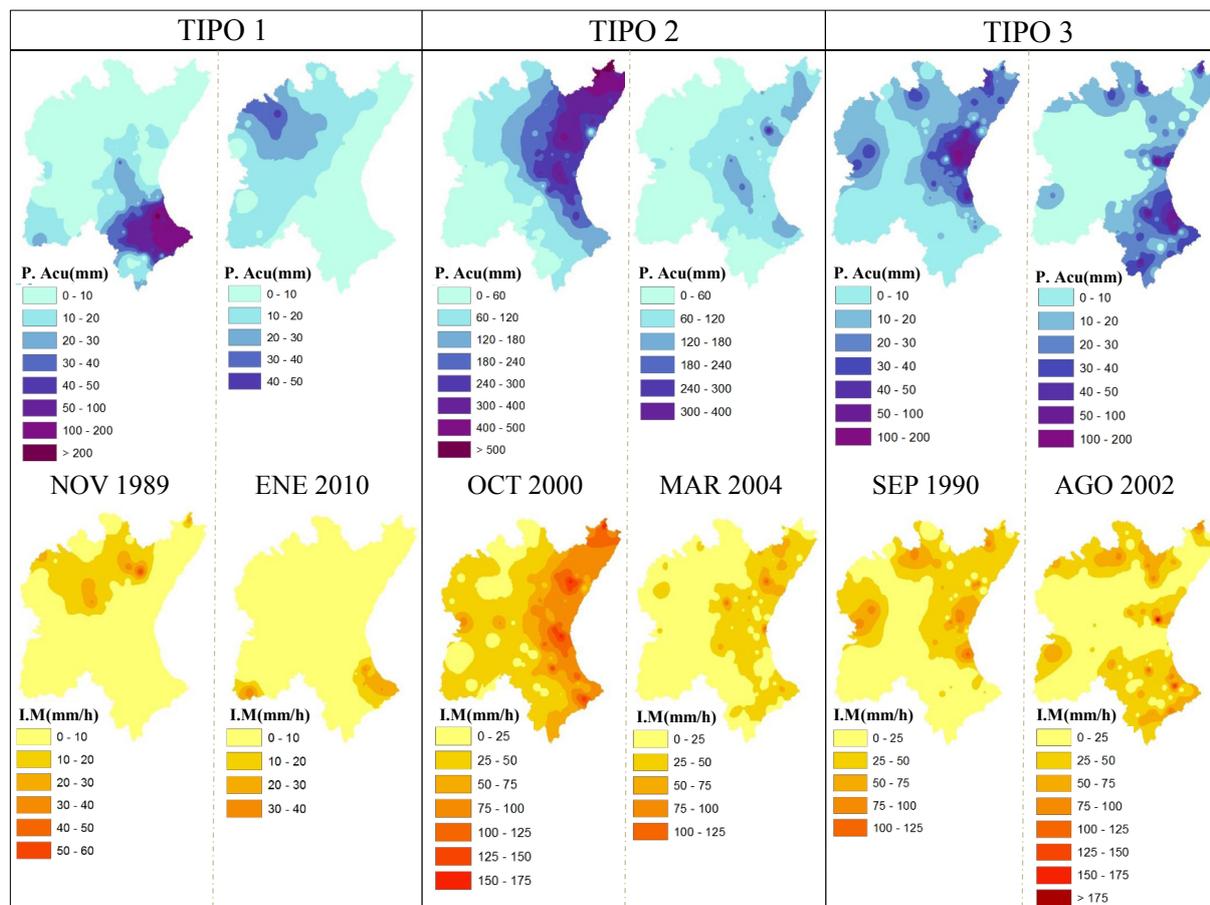
La cartografía tipo de la clase 1 (episodios de alta frecuencia y baja magnitud), muestra una distribución espacial muy marcada por la exposición de la zona de estudio al tipo de temporal que genera el epi-

sodio. En el mapa de precipitación media acumulada la mayor parte del territorio oscila entre 5 y 10 mm. Los valores máximos (en torno a los 15-20 mm) marcan dos zonas. La más importante se encuentra al sur del golfo de Valencia, desde la Albufera hasta el Cabo de la Nau (comarcas de la Ribera, la Safor y la Marina Alta), en relación con temporales de levante (Armengot, 2002; Estrela, Miró y Millán, 2006). La otra zona afecta al NW y se debe a los temporales del W que producen lluvias frontales (Estrela *et al.*, 2006). El mapa de intensidades máximas puntuales muestra valores bajos y zonas muy localizadas, por encima de los 150 mm/h, en relación con la actividad convectiva desarrollada en los entornos montañosos.

La cartografía tipo de la clase 2 (episodios de baja frecuencia y gran magnitud) presenta totales acumulados importantes en todo el territorio, que llegan a superar los 100 mm en el sur del Golfo de Valencia, en el contacto de la llanura litoral con las primeras alineaciones montañosas. Las precipitaciones siguen siendo considerables en la franja costera y van disminuyendo hacia el interior. En estos episodios adquiere gran importancia la proximidad del mar (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015). También las intensidades máximas muestran una disposición paralela a la costa, con máximos puntuales en los puntos de reforzamiento orográfico.

Por último, la cartografía tipo de la clase 3 (episodios de frecuencia intermedia y una gran intensidad) puede que resulte la menos representativa de todas. El mapa de totales acumulados muestra los mayores valores (en torno a 20 mm) en los retablos montañosos de las sierras ibéricas. La parte S y SW de la zona de estudio apenas registra 5 mm de media. En este mapa resulta evidente el efecto orográfico que potencia la actividad de estos episodios, básicamente veraniegos, de corta duración y gran intensidad, que entran desde el mar y se encauzan por los valles abiertos a la costa. Alcanzan las mayores intensidades puntuales, con máximas absolutas de más de 350 mm/h, en puntos cercanos a la costa, donde las alineaciones montañosas favorecen los movimientos convectivos.

Figura 4. Cartografía de episodios reales (indicadores de precipitación acumulada e intensidad máxima puntual)



Elaboración propia

Como ya se ha comentado, esta cartografía tipo recoge una situación (media en el caso de la precipitación acumulada y máxima en el caso de las intensidades puntuales) que engloba en un solo mapa las características de diferentes episodios reales. La Figura 4 muestra una selección de dos episodios reales por cada clase, considerados representativos de las mismas, que permiten contextualizar la cartografía previa. El tipo 1 se compara con los episodios de noviembre de 1989 (días 20-21) y enero de 2010 (días 24-27); el tipo 2 con los de octubre del 2000 (días 21-25) y marzo de 2004 (días 26-30) y, el tipo 3, con los de septiembre de 1990 (días 8-9) y agosto de 2002 (días 23-24).

Los episodios de noviembre de 1989 y enero de 2010 constituyen dos ejemplos típicos de la clase 1, en los que la lluvia se concentra en la zona NW (asociada a lluvias frontales) o en el Golfo de Valencia y parte de Alicante (asociadas a situaciones de levante). En ambos casos, aunque los totales pueden ser localmente importantes (50 mm en noviembre de 1989 y más de 200 mm en enero de 2010), están muy focalizadas en el espacio y no afectan de manera generalizada al ámbito de estudio (que presenta una media de 9,7 mm en el primer caso y 27,83 mm en el segundo). Las intensidades máximas son bajas (53 mm/h en noviembre de 1989 y de 26 mm/h en diciembre de 2010) y muy localizadas.

Para representar a la clase 2 se han seleccionado las tormentas de octubre del año 2000 y marzo del 2004. El episodio de octubre del 2000 es el de mayor magnitud de la serie de datos. Lluvia de manera generalizada en toda el área de estudio, alcanzando totales medios de 190 mm y con máximas acumuladas de más 500 mm en la franja litoral. También el episodio de marzo de 2004 tiene una extensión dilatada, con lluvias medias de más de 80 mm y acumuladas puntuales superiores a los 300 mm. La configuración del campo de lluvia muestra, en ambos casos, una gradación de valores descendiente de norte a sur y desde el litoral hacia el interior (evidenciando la influencia de la proximidad del mar como fuente de humedad y el efecto orográfico intensificador de las sierras ibéricas). Por lo que respecta a las intensidades máximas puntuales no son excesivas (165 mm/h en octubre del 2000 y 115 mm/h en marzo de 2004) y se registran sobre todo en zonas del litoral con influencia orográfica (primeras alineaciones montañosas paralelas a la costa y valles abiertos al mar).

Los episodios de la clase 3 corresponden a septiembre de 1990 y agosto de 2002. En ambos casos se trata de eventos de ámbito litoral y de influencia orográfica (sierras ibéricas en el primero y béticas en el segundo). Su extensión espacial es reducida, si bien, en los puntos más activos se llegan a recoger totales acumulados de más de 100 mm en ambos casos. La intensidad máxima se registra cerca de la costa con valores importantes, que llegan a alcanzar 204 mm/h en agosto de 2002.

El análisis comparado de la cartografía tipo de cada clase con la de los sucesos reales permite corroborar que los episodios de la clase 1 pueden darse indistintamente en todo el ámbito, si bien tienen mayor eficiencia en el NW y en el SE. Los de tipo 2 afectan de manera generalizada a todo el territorio, aunque con mayor actividad en la zona litoral que en el interior y los de tipo 3 son locales y están muy condicionados por el efecto orográfico.

3.3. Tendencia diacrónica de los episodios: baja el recurso y aumenta el riesgo

La Figura 5 muestra la tendencia de los episodios agrupados por años. En el primer gráfico (Figura 5.a) vemos cómo el número anual de eventos está aumentando, si bien, los de tipo 1 lo hacen a un ritmo mayor que los del tipo 3. La frecuencia del tipo 2 se mantiene estable. El incremento del número de episodios de tipo 1, que en principio podría ser esperanzador debido a que supone un recurso, contrasta con la Figura 5.b, en la que se constata que la aportación de tipo 1 y 2 está disminuyendo, mientras que la de tipo 3 está aumentando. Este hecho pone de manifiesto un incremento del riesgo y una disminución del recurso. Cada vez hay mayor número de episodios de riesgo que además aportan más agua (presumiblemente por un incremento de la intensidad) y una disminución del recurso, por pérdida de eficiencia de los episodios de tipo 1 (que pese que aumenta en número, disminuye en aportación).

Si analizamos conjuntamente las tendencias de aportación media e intensidad máxima puntual de todos los episodios (Figura 6) observamos cómo los totales precipitados disminuyen mientras que las intensidades aumentan, en los tres tipos de episodios. De nuevo, este comportamiento puede interpretarse como una disminución del recurso y un aumento del riesgo, especialmente preocupante si tenemos en cuenta que la tendencia es más pronunciada en el tipo 2 (que es el que supone mayores recursos y no está exento de riesgo).

Figura 5. Tendencia anual de los episodios: a) número de episodios; b) aportación media en mm

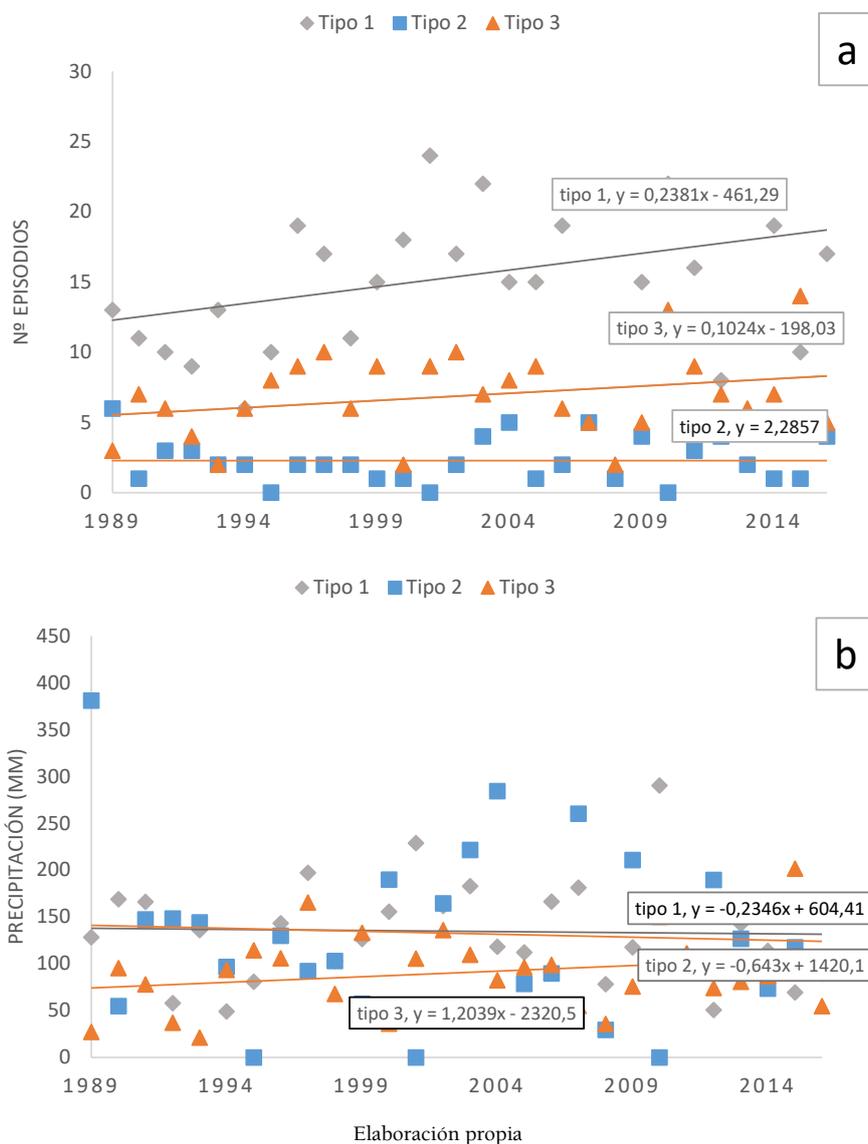
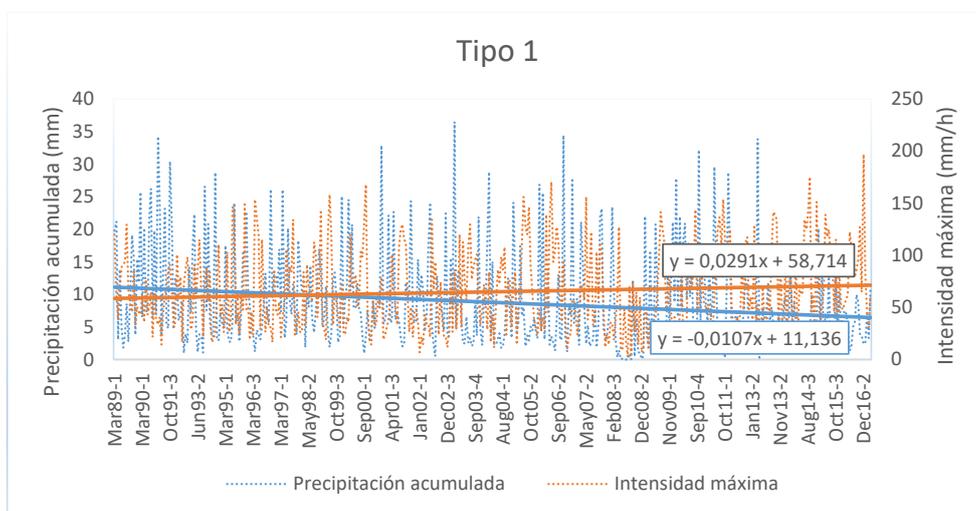
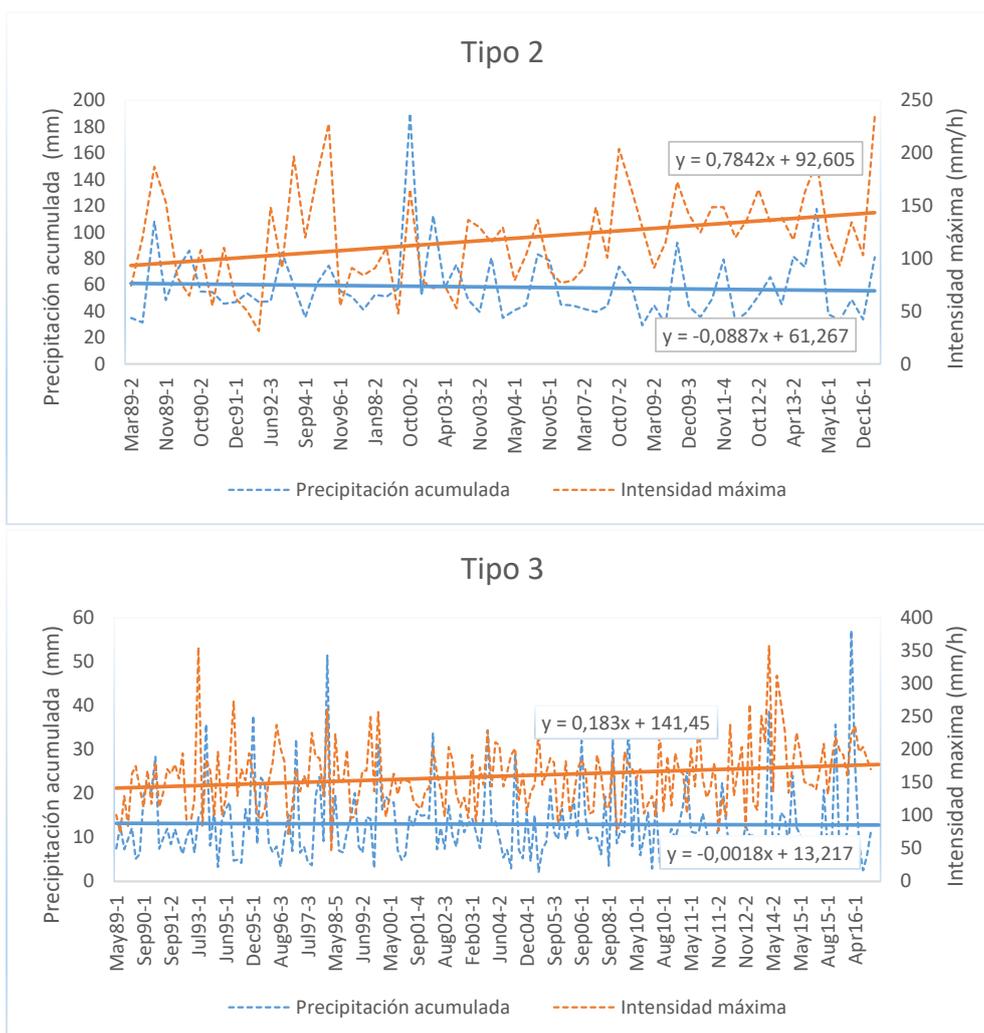


Figura 6. Tendencia del total de episodios por clases





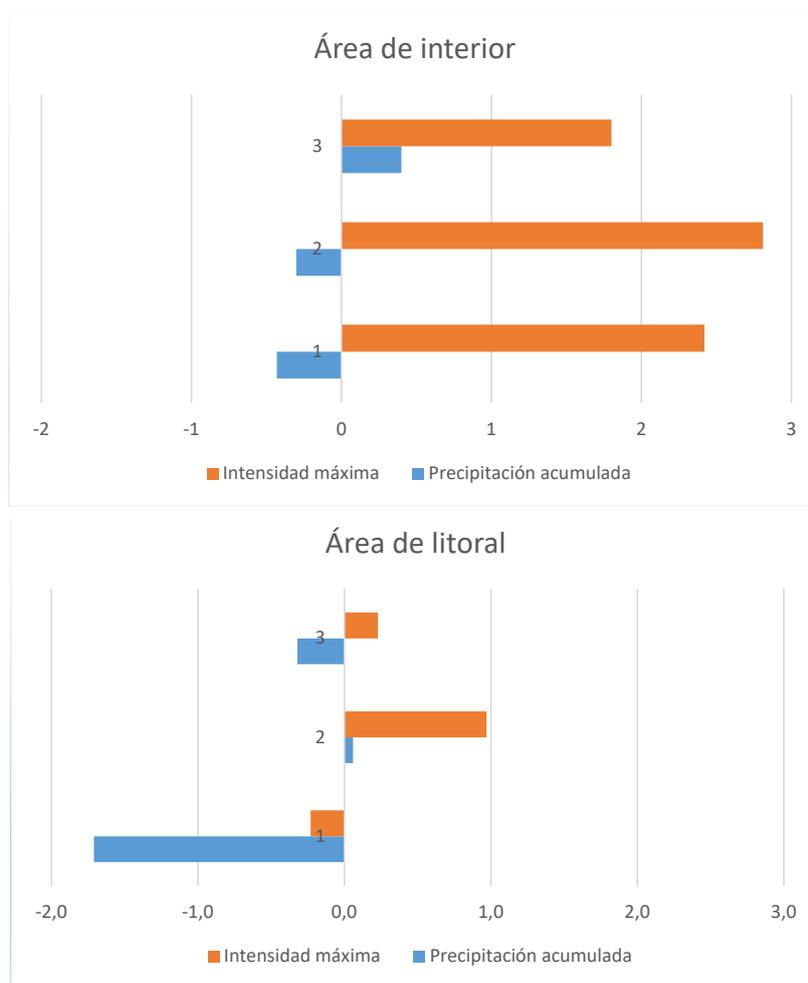
Elaboración propia

3.4. Dicotomía litoral-interior

Con objeto de comprobar si esta tendencia presenta ratios diferentes en las áreas de interior y de costa se han analizado por separado los episodios de ambas zonas (Figura 7). Se observa cómo, en general, los cambios son más pronunciados en el interior, sobre todo en el tipo 2, que experimenta un aumento considerable de la intensidad máxima y un descenso en las aportaciones. El tipo 3 también presenta tendencias más pronunciadas en el interior (incremento de la intensidad máxima y de las aportaciones) respecto del litoral (donde la intensidad aumenta, pero poco, y las aportaciones disminuyen). En el tipo 1 la intensidad máxima se incrementa en el interior y disminuye ligeramente en la costa. Los recursos descienden en ambos ambientes, aunque con mayor ritmo en la costa.

En síntesis, el estudio corrobora que la tendencia al cambio en el comportamiento de los episodios entre interior y litoral presenta ratios diferentes. Las zonas de interior son las que están sufriendo un descenso más importante de los recursos (en relación sobre todo con la pérdida de aportaciones de los episodios de tipo 2) y un mayor incremento del riesgo ligado al incremento de la intensidad de todos los episodios. Llegados a este punto conviene recordar que esta es la zona por excelencia de generación de los recursos hídricos, donde se ubican la mayor parte de los embalses. En cuanto a la zona de litoral, se mantiene más estable, si bien cabe destacar el incremento de intensidad de los episodios de tipo 2 y 3, así como una ligera tendencia de los de tipo 1 a disminuir en aportación e intensidad.

Figura 7. Tasa de incremento (%) de los indicadores pluviométricos, por clases, en el área de interior y de litoral



Elaboración propia

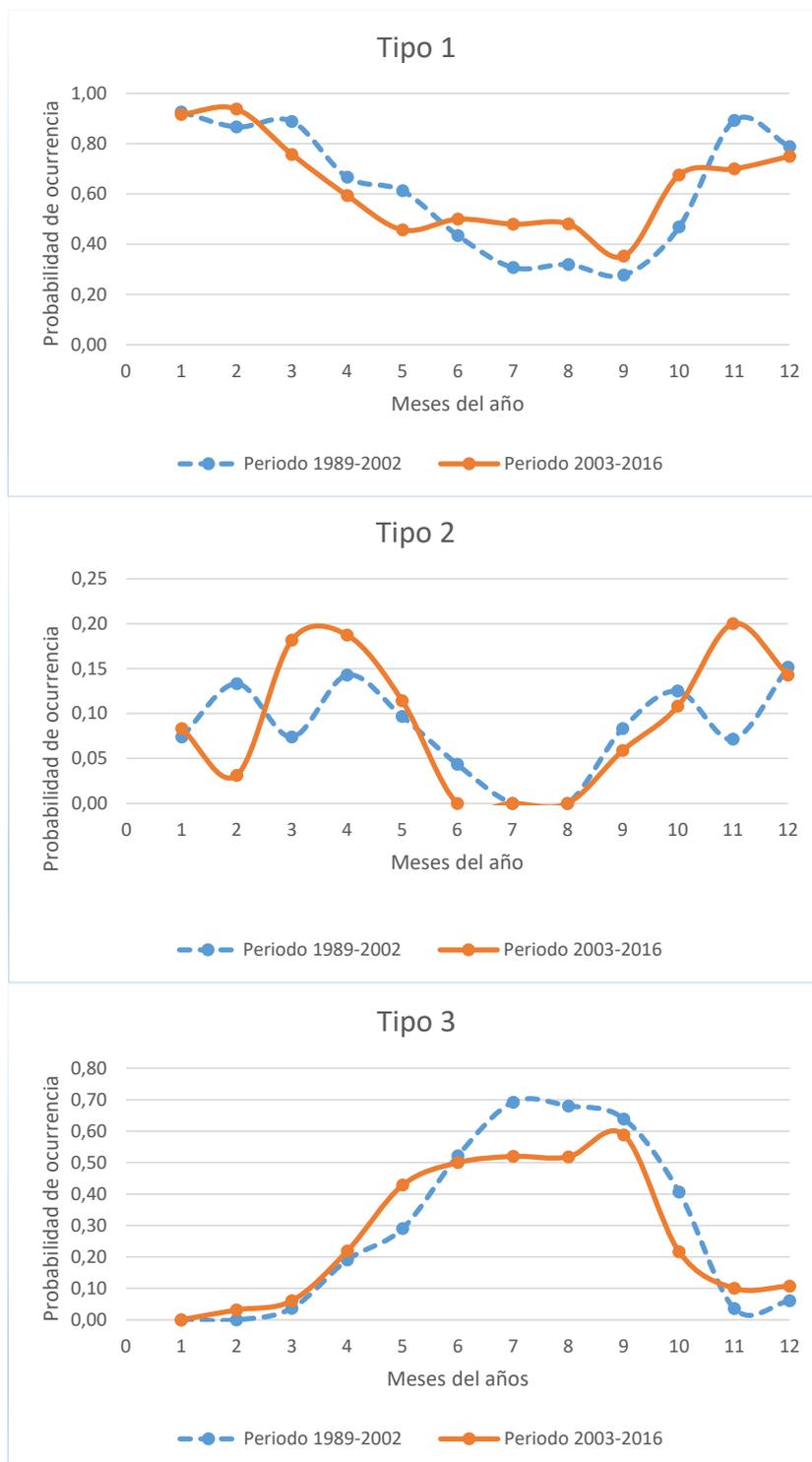
3.5. ¿Se está produciendo un desplazamiento temporal de los episodios?

La distribución mensual de los tipos de episodio también parece estar cambiando a lo largo del tiempo. La Figura 8 muestra la comparación entre la probabilidad de ocurrencia de un determinado tipo de episodio en cada mes, para los dos tramos temporales en que se ha dividido el periodo de estudio (de 1989 a 2002 y de 2003 a 2016).

Los episodios de tipo 1 (asociados a recurso bajo) parece que se están atrasando en el año, desplazándose desde el invierno hacia el verano. Baja la probabilidad de que se produzcan desde noviembre hasta mayo y asciende entre mayo y octubre. Sin embargo, el máximo otoñal se adelanta desde noviembre hasta octubre. De este modo este tipo de episodios pierde protagonismo durante el invierno, pero asegura el abastecimiento del verano, con un máximo en febrero y otro en octubre. El tipo 2 (recurso alto no exento de riesgo) es el que presenta un desplazamiento más evidente. El máximo de febrero se desplaza a marzo y el de octubre se desplaza a noviembre (en el verano, este tipo de episodio apenas sí tenía incidencia). El tipo 3 (riesgo) está incrementando su probabilidad de ocurrencia en mayo y en noviembre y diciembre. Por lo que respecta al verano (estación en la que abundan estos episodios), está reduciendo su presencia y desplazando el momento máximo de julio a septiembre.

Los cambios en la probabilidad mensual de ocurrencia de cada tipo de evento entre los dos períodos considerados (Figura 9) apuntan hacia un descenso del número de episodios tipo 1 durante el invierno y la primavera, a costa del incremento de los episodios de tipo 2 y 3, cuyo crecimiento coincide peligrosamente, por la sinergia que significan, durante el mes de noviembre. Por el contrario, los episodios de tipo 3 están reduciendo su protagonismo durante el verano a favor de los de tipo 1.

Figura 8. Comparación entre la probabilidad mensual de ocurrencia de cada tipo de episodio en los dos periodos considerados (1989-2002 y 2003-2016)

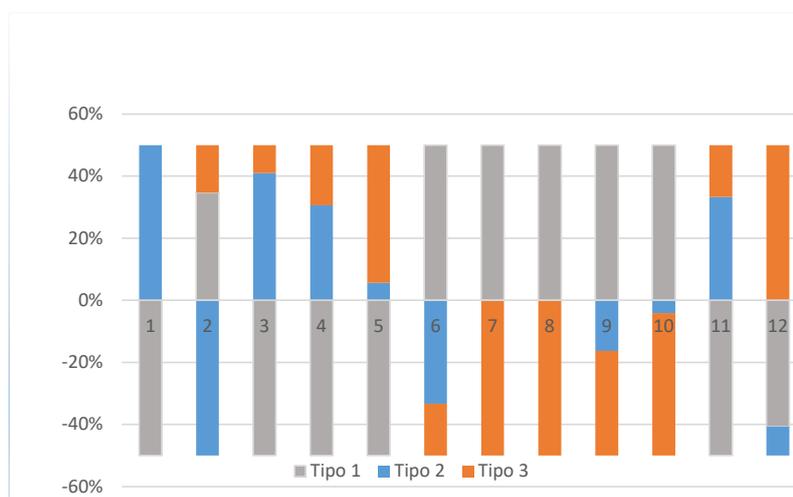


Elaboración propia

Todo ello supone una reducción de la torrencialidad en el verano y un incremento de la misma en los meses de primavera y otoño tardío. Así, durante el verano, los episodios de riesgo están siendo sustituidos por los de recurso bajo, mientras que los más productivos (tipo 2) están incrementando su actividad en invierno y primavera. El análisis anuncia una peligrosa coincidencia entre los episodios 2 y 3, por la

multiplicación de efectos negativos que implica la suma de episodios abundantes no exentos de riesgo, más los de riesgo propiamente dicho. Este caso parece especialmente preocupante durante el mes de noviembre, donde pueden coincidir cantidad e intensidad.

Figura 9. Cambios en la probabilidad de ocurrencia de los tipos de episodio, entre los dos periodos considerados (1989-2002 y 2003-2016)



Elaboración propia

4. Discusión y conclusiones

El análisis de episodios de lluvia con significación hidrológica constituye una de las cuestiones claves para abordar los asuntos de recurso/riesgo en las zonas mediterráneas, habida cuenta que las medias anuales o mensuales no son representativas de los procesos. El equilibrio entre episodios que suponen un recurso y los que implican un riesgo para la sociedad está siendo alterado como efecto del cambio climático, cuyas consecuencias en ambientes semiáridos son muy difíciles de prever (Lionello, Malanotte-Rizoli y Boscolo, 2006). Según Paeth *et al.* (2017), los modelos de predicción de variabilidad pluviométrica futura están llenos de incertidumbres, que obstaculizan la interpretación de las tendencias. Más aún, los datos diarios no son adecuados para la escala de los procesos mediterráneos y, en consecuencia, se necesita trabajar a una mayor resolución, tanto espacial como temporal (Lionello, 2012; Ruti *et al.*, 2016).

No obstante, a pesar de las múltiples incertidumbres, existe un consenso entre la comunidad científica acerca del hecho de que los episodios intensos están incrementando en número e intensidad (Xoplaki *et al.*, 2012; Barrera-Escoda, Gonçalves, Guerreiro, Cunillera y Baldasano, 2014; Romera *et al.*, 2017). Las precipitaciones a escala horaria y minutal están siendo cada vez más intensas, aún en regiones donde la medias mensuales y anuales están disminuyendo (Westra *et al.*, 2014; González-Herrero y Bech, 2017).

En esta línea, el presente estudio analiza 698 episodios de lluvia a partir de indicadores estimados en base a datos registrados cada cinco minutos. Los episodios han sido clasificados en tres tipos en función de su faceta predominante de recurso o riesgo. Si bien la explicación de los eventos en términos de recurso/riesgo no deja de ser un tanto reduccionista, ofrece un marco general de discusión, habida cuenta de que el modo de llover marca, en última instancia, una diferencia importante entre el recurso y el riesgo. Por una parte, tanto la escorrentía superficial como la subterránea se alimentan de la precipitación. Por otra, intensidades muy fuertes llevan implícito un factor de riesgo importante, porque aceleran e incrementan la generación de caudal, aunque los suelos no estén saturados. Además, independientemente de que se produzcan desbordamientos, dentro del factor riesgo deben considerarse las *lluvias in situ*, asociadas a alta intensidad.

La clase 1, que hemos descrito como “recurso limitado, exento de riesgo” es la más frecuente, se produce durante todo el año, si bien se da más durante el invierno y el otoño. Precipita totales reducidos, a intensidades bajas y es la que menor eficiencia presenta. La clase 2, descrita como “gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo” es la menos frecuente pero más eficiente y productiva. Se da sobre todo en primavera y otoño. Supone las mayores aportaciones para el sistema porque precipita mucha lluvia, pero con

intensidades moderadas. Desde el punto de vista humano, constituyen un gran recurso porque garantizan la reserva hídrica plurianual, pero, a la vez, pueden implicar riesgo para las comunidades poco resilientes a la inundación. Por último, la clase 3, descrita como “*de riesgo, con bajo recurso asociado*” se da sobre todo en verano. Es la que presenta mayores intensidades, si bien su eficiencia es baja, salvo en los meses de julio y agosto, en que supone los mayores aportes para el sistema.

En conjunto, estos resultados son coherentes con el máximo pluviométrico otoñal, descrito para la costa este peninsular por De Castro, Martín-Vide y Alonso (2005) y De Luis, Brunetti, Gonzalez-Hidalgo, Alberto-Longares y Martín-Vide (2010). En efecto, si analizamos los resultados del estudio actual en términos estacionales, el mayor número de episodios (30%) se produce en otoño y la mayor aportación de los mismos (35%) también. Partiendo de esta base común, el presente trabajo permite profundizar en las características de episodios otoñales según tipología. Así, se puede afirmar que en esta estación se registran los episodios más eficientes del tipo 3 (riesgo) y 2 (gran recurso a largo plazo). Cabe destacar, no obstante, que ambos tipos son más frecuentes en otras estaciones: en verano el tipo 3 y en primavera el tipo 2. A pesar de ello, las mayores cantidades de lluvia las precipitan en otoño.

La expresión cartográfica de los tres tipos de episodio muestra una distribución espacial representativa de cada uno, en consonancia con los factores genéticos descritos. El tipo 1 es el reflejo de la exposición de la zona de estudio según la clase de temporal (destacando el sur del golfo de Valencia bajo acción de los temporales de levante y el NW del área de estudio, expuesta a los frentes del W). El tipo 2 está muy condicionado por la cercanía al mar y muestra una disposición paralela a la costa, según describen Camarasa-Belmonte y Soriano (2015). Por último, la incidencia de los episodios más intensos, tipo 3, es muy local y está relacionada con la acción de los vientos húmedos de levante y el efecto puntual de reforzamiento orográfico.

En cuanto a la evolución temporal de los episodios, se pone de manifiesto una propensión general a la disminución del recurso y crecimiento del riesgo. Comparando las tendencias de aportación media e intensidad máxima de todos los sucesos, los totales precipitados descienden y las intensidades aumentan en los tres tipos. Estos resultados concuerdan con la tendencia que encuentran González-Herrero y Bech (2017) en su estudio sobre lluvias máximas en España entre 1805 y 2014. Estos autores constatan una elevación en la frecuencia de las lluvias intensas (sobre todo en el litoral mediterráneo), que no se observa en los totales acumulados. En esta línea, Olcina (2017) también comprueba un aumento de episodios de inundación por lluvias intensas en Alicante, entre 1977 y 2016. Según el presente trabajo, si bien el número anual de eventos está creciendo, mientras que la aportación de los de tipo 3 (de riesgo) está subiendo (por un incremento de intensidad), la de los tipos 1 y 2 (de recurso) está disminuyendo. Estos resultados, sustentados en datos cincominutales, complementan el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (2018) sobre precipitación extrema, en el que no puede establecer un patrón claro de aumento de la intensidad en los países del sur de Europa, porque las escalas temporales con que se ha elaborado el informe son demasiado amplias y se necesitaría mayor detalle temporal.

Las tendencias de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Júcar se muestran más pronunciadas en el área de interior que en el litoral. Estos resultados están en consonancia con las investigaciones llevadas a cabo por Estrela *et al.* (2006) y por Marcos-García y Pulido-Velázquez (2017). Según nuestro análisis, las zonas de interior están sufriendo un descenso importante de los recursos (en relación sobre todo con la pérdida de aportaciones de los episodios de tipo 2) y un mayor incremento del riesgo, ligado al aumento de la intensidad de todos los episodios. La zona de litoral, si bien es más estable, muestra un incremento de intensidad de los episodios tipo 2 y 3. Las consecuencias de estas tendencias apuntan a una reducción importante de los recursos que alimentan nuestros embalses, ya que se generan en la cabecera de las cuencas, en la zona de interior. Por otra parte, el aumento de intensidad de los episodios 2 y 3 en el ámbito litoral supone un incremento importante del riesgo por *lluvia in situ*, en un ámbito ampliamente urbanizado.

Otra tendencia preocupante que se apunta en este estudio es el desplazamiento temporal de los tipos de episodios a lo largo del año, que puede dar lugar a sinergias negativas. El tipo 1 (asociado a recurso bajo) parece estar trasladándose del invierno al verano, lo que supone una reducción de la torrencialidad estival y un incremento de la misma en la primavera y al final del otoño. El tipo 2, asociado a altas aportaciones, es el que presenta un desplazamiento más importante de octubre a noviembre, donde puede coincidir peligrosamente con los de riesgo (tipo 3), que, a su vez, incrementan su probabilidad de ocurrencia en los meses de noviembre y diciembre. Estos resultados están en consonancia con el incre-

mento del porcentaje de lluvia en otoño sobre el total anual, encontrado por De Luis *et al.* (2010) en la Península Ibérica entre 1946 y 2005. Llegado a este punto, cabe remarcar que la simultaneidad de sucesos muy productivos con los muy intensos incrementaría considerablemente el riesgo. Este aspecto es muy significativo y deberá tenerse en cuenta de cara a las futuras estrategias de adaptación al riesgo climático en entornos mediterráneos.

Financiación

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CGL2017-83546-C3-1-R (Subproyecto 1) (financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y fondos FEDER).

Agradecimientos

Las/os autoras/es quieren agradecer a la Demarcación Hidrográfica del Júcar (en particular al Sistema Automático de Información Hidrológica -SAIH-) la cesión de los datos cincominutales de precipitación.

Referencias

- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Diodato, L., Ramis, C., ... y Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite o decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(10), 1536. <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>
- Armengot, R. (2002). *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*. Valencia: Ministerio de Medioambiente.
- Barrera-Escoda, A., Gonçalves, M., Guerreiro, D., Cunillera, J. y Baldasano, J.M. (2014). Projections of temperatura and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050). *Climate Change* 122, 567-582. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1027-6>
- Bengtsson, L. y Milloti, S. (2010). Extreme storms in Malmö, Sweden. *Hydrological Processes*, 24, 3462-3475. <https://doi.org/10.1002/hyp.7768>
- Blashfield, R. K. (1976). Mixture model test of cluster analysis: accuracy of four agglomerative hierarchical methods. *Psychol. Bull.*, 83, 377-388. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.83.3.377>
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F. y Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518, 194-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
- Bracken, L.J. y Croke, J. (2007). The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic system. *Hydrological Processes*, 21, 1749-1763. <https://doi.org/10.1002/hyp.6313>
- Bracken, L.J., Cox, N.J. y Shannon, J. (2008). The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain. *Hydrological Processes*, 22, 683-696. <https://doi.org/10.1002/hyp.6641>
- Bracken, L.J., Wainwright, J., Ali, G.A., Tetzlaff, D., Smith, M.W., Reaney, S.M. y Rou, A.G. (2013). Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, 119, 17-34. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001>
- Brakenridge, G.R. (1988). River flood regimen and floodplain stratigraphy. *Floods Geomorphology*, 139-155.
- Butzer, K. W. (2005). Environmental history in the Mediterranean world: cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1773-1800. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.06.001>
- Camarasa-Belmonte, A.M. y López-García, M.J. (2006). Criterios de selección y caracterización de episodios de lluvia. Aplicación a la Confederación Hidrográfica del Júcar (1989-2003). En Publicaciones AEC, *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Serie A, 5, 323-336.
- Camarasa-Belmonte, A.M. y Soriano, J. (2015). La intensidad de lluvia en entornos mediterráneos. Valores extremos según la escala de observación. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 68, 249-300.
- Camarasa-Belmonte, A. M. (2016). Flash floods in Mediterranean ephemeral streams in Valencia Region (Spain). *Journal of Hydrology*, 541(Part A), 99-115. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.019>

- Cammeraat, E. (2004). Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, 317-332. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.032>
- Conesa, C. (2005). Les 'ramblas' du Sud-est Espagnol: Systèmes hydro-morphologiques en milieu méditerranéen sec. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 49, 205-224
- Cudennec, C., Leduc y C., Koutsoyiannis, D. (2007). Dryland hydrology in Mediterranean regions – a review. *Hydrological Sciences Journal*, 52(6), 1077-1087. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1077>
- De Castro, M., Martín-Vide, J. y Alonso, S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En *Impactos del cambio climático en España* (pp. 1-64). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Alberto-Longares, L. y Martín-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global and Planetary Change*, 74, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.06.006>
- Estrela, M.J., Miró, J.J. y Millán, M. (2006). Análisis de la tendencia de la precipitación por situaciones convectivas de la Comunidad Valenciana (1959-2004). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones AEC, Serie A, 5, 125-136.
- Estrela, T., Pérez-Martín, M.A. y Vargas, E. (2012). Impacts of climate change on water resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 57(6), 1154-1167. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.702213>
- Estrela, M.J., Piró, J.J. y Gómez, I. (2016). Clima y cambio climático en la Comunidad Valenciana. El Territorio Valenciano. *Transformaciones ambientales y antrópicas*, 25-28.
- European Environment Agency (2018). *Heavy precipitation, Climate Change Adaptation. Water and Marine Environments*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/precipitation-extremes-in-europe-3/assessment>
- González-Herrero, S. y Bech, J. (2017). Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5068-5079. <https://doi.org/10.1002/joc.5144>
- Graf, W.L. (1988). *Fluvial processes in dryland rivers*. Berlin: Springer.
- Halkidi, M., Batistakis, Y. y Vazirgiannis, M. (2001). On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17(2-3), 107-145. <https://doi.org/10.1023/A:1012801612483>
- Homar, V., Romero, R., Ramis, C. y Alonso, S. (2002). Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over Spain: analysis of the synoptic-scale stationarity. *Annales Geophysicae*, 20, 2047-2066. <https://doi.org/10.5194/angeo-20-2047-2002>
- Lavee, H., Imeson, A.C. y Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development*, 9, 407-422. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199809/10\)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199809/10)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6)
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. y Boscolo, R. (Eds.) (2006). *Mediterranean Climate Variability*. Amsterdam: Elsevier.
- Lionello, P. (2012). *The climate of the Mediterranean Region. From the past to the future*. Lecce (Italy): Elsevier.
- Llasat, M.C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(11), 1385-1400. <https://doi.org/10.1002/joc.692>
- López-García, M.J. (2015). Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards and earlier and longer summer. *Atmosfera*, 28(3), 149-160. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.01>
- Marcos-García, P. y Pulido-Velázquez, M. (2017). Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para la demarcación? *Ingeniería del Agua*, 21(1), 35-52. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.6361>
- Martínez-Mena, M., Castillo, V. y Albaladejo, J. (2001). Hydrological and erosional response to natural rainfall in a semi-arid area of South-east Spain. *Hydrological Processes*, 15, 557-571. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.146>

- Millán, M., Estrela, M.J. y Miró, J.J. (2005). Rainfall components: variability and spatial distribution in a mediterranean área (Valencia Region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682-2705. <https://doi.org/10.1175/JCLI3426.1>
- Miró, J.J., Estrela, M.J. y Olcina, J. (2015). Statistical Downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia Region (1948-2011). *Atmospheric Research*, 156, 189-212. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.003>
- Monjo, R. (2016). Measure of rainfall time structure using the dimensionless n-index. *Climate Resesearch*, 67, 71-86. <https://doi.org/10.3354/cr01359>
- Morrell, J. y Pérez-Cueva, A. (2000). Volúmenes hídricos de las precipitaciones intensas en la Confederación Hidrográfica del Júcar. *Cuadernos de Geografía*, 67/68, 261-275. <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/14556/13293>
- Muñoz-Díaz, D. y Rodrigo, F.S. (2004). Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448. <https://doi.org/10.5194/angeo-22-1435-2004>
- Olcina, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante SÉMATA, *Ciencias Socias e Humanidades*, 29, 143-163. <http://hdl.handle.net/10045/73413>
- Paeth, H., Vogt, G., Paxian, A., Hertig, E., Seubert, S. y Jacobeit, J. (2017). Quantifying the evidence of climate change in the light of uncertainty exemplified by the Mediterranean hot spot region. *Global and Planetary Change*, 151, 144-151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.003>
- Papalexiou, S.M. y Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55, 4901-4914. <http://dx.doi.org/10.1029/2018WR024067>
- Pastor, F., Valiente, J.A., Estrela, M.J. (2015). Sea Surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge areas. *Natural Hazards Earth System Science Discussion*, 3, 1357-1396.
- Ramos, M.C. (2001). Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 57(2), 123-138. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(01\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00065-5)
- Romera, R., Gaertner, M.A, Sánchez, E., Domínguez, M., González-Alemán, J.J. y Miglietta, M.M. (2017). Climate change projections of medicanes with a large multi-model ensemble of regional climate models. *Global and Planetary Change*, 151, 134-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.008>
- Ruti, P.M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., ... y Vervatis, V. (2016). Med-CORDEX Initiative for Mediterranean Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97, 1187-1208. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00176.1>
- Samuels, R., Rimmer, A. y Alpert, P. (2009). Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River. *Journal of Hydrology*, 375, 513-523. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.001>
- Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimise and objective function. *Journal of the American statistical association*, 58, 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Westra, S., Fowler, V.J., Evans, P., Alexander, L.V., Berg, P., Johnson, F., ... y Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 3, 522-555. <https://doi.org/10.1002/2014RG000464>
- Wolman, M.G. y Gerson, R. (1978). Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes*, 3, 189-208. <https://doi.org/10.1002/esp.3290030207>
- Xoplaki, E., Trigo, R.M., García-Herrera, R., Barriopedro, D., D'Andrea, F., Fischer, E.M., ... y Ziv, B. (2012). Large-Scale Atmospheric Circulation Driving Extreme Climate Events in the Mediterranean and its Related Impacts. In P. Lionello (Ed.), *The Climate of the Mediterranean Region* (pp. 347-417). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00006-9>
- Yair, A. y Kossovsky, A. (2002). Climate and surface properties: hydrological response of small arid and semi-arid watersheds. *Geomorphology*, 42, 43-57. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00072-1)
- Yair, A. y Raz-Yassif, N. (2004). Hydrological processes in a small arid catchment: scale effects of rainfall and slope length. *Geomorphology*, 61, 155-169. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.12.003>

Cita bibliográfica: Gutiérrez-Hernández, O., & García, L.V. (2020). ¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Investigaciones Geográficas*, (73), 31-55. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GHVG>

¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica

*Do weather and climate influence the distribution of the novel coronavirus (SARS CoV-2)?
A review from a biogeographical perspective*

Oliver Gutiérrez-Hernández^{1*}
Luis V. García²

Resumen

El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia global el brote de la enfermedad COVID-19, producida por el nuevo coronavirus SARS CoV-2. En este artículo se efectúa una revisión de las contribuciones científicas publicadas hasta la fecha que relacionan las condiciones atmosféricas con la distribución del SARS CoV-2. La mayor parte de ellas concluyen que existe cierta influencia del tiempo atmosférico y/o el clima en la distribución y el progreso de la COVID-19. En concreto, un ambiente fresco y seco, en el contexto de un clima mesotérmico, parece el más idóneo para la expansión del SARS CoV-2. Sin embargo, un número significativo de estudios revisados adolece de diseños de investigación inadecuados, lo que hace muy difícil aislar de forma fehaciente el efecto genuino de las condiciones atmosféricas en la propagación de la enfermedad de otros efectos, incluidos los posibles artefactos derivados de la prevalencia observada, la dependencia espacial y temporal de los datos y la propia geografía humana: conectividad geográfica, movilidad, sistema sanitario, etc. Se concluye que sólo existen indicios, no evidencia, de que las condiciones atmosféricas pueden llegar a explicar una fracción muy limitada de la dinámica espaciotemporal del SARS CoV-2.

Palabras clave: geografía médica; biogeografía; patogeografía; bioclimatología; enfermedades; pandemia; COVID-19.

Abstract

On 11 March 2020, the World Health Organization (WHO) declared the outbreak of the disease COVID-19, caused by the new coronavirus SARS CoV-2, to be a global pandemic. This article reviews the scientific contributions released to date that relate atmospheric conditions (i.e. weather and climate) to the distribution of SARS CoV-2. Most of the contributions conclude that there is some influence of weather and climate on the distribution and progress of COVID-19. Specifically, a cool and dry environment, in the context of a mesothermal climate, seems to most favour the spread of the SARS CoV-2 coronavirus. However, a significant number of studies suffer from inadequate research designs, making it difficult to reliably isolate the genuine effect of atmospheric conditions on disease spread from other effects, including potential artefacts derived from observed prevalence, spatial and temporal dependence, and human geography (such as geographical connectivity, population mobility, and health system). We conclude that

1 Departamento de Geografía. Universidad de Málaga, España. olivergh@uma.es. * Autor para correspondencia

2 Departamento de Biogeoquímica, Ecología Vegetal y Microbiana, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS - CSIC), España. lv.garcia@csic.es

there are only indications, rather than evidence, that atmospheric conditions may explain a limited part of the space-time dynamics of SARS CoV-2.

Keywords: medical geography; biogeography; pathogeography; bioclimatology; diseases; pandemic; COVID-19.

1. Introducción

1.1. Fundamentos biogeográficos del problema

Los coronavirus son virus que causan enfermedades respiratorias de distinta gravedad (Ksiazek *et al.*, 2003; Peiris *et al.*, 2003). El nuevo coronavirus (SARS CoV-2), probablemente de origen animal (Andersen, Rambaut, Lipkin, Holmes, & Garry, 2020; Lam *et al.*, 2020; X. Li *et al.*, 2020), produce la enfermedad COVID-19 (WHO, 2020a), cuyos síntomas no son específicos, pudiendo variar el desarrollo de la enfermedad desde un carácter asintomático hasta la neumonía grave y la muerte (Wu, Wu, Liu, & Yang, 2020).

La enfermedad COVID-19 fue detectada en diciembre 2019 en la ciudad china de Wuhan (Hui *et al.*, 2020; Lau *et al.*, 2020; X. Li *et al.*, 2020), la cual fue confinada por las autoridades cuando el brote se convirtió en epidemia (WHO, 2020b). El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (WHO, en su siglas en lengua inglesa) declaró el brote de COVID-19 pandemia global (WHO, 2020c). Actualmente, el virus se encuentra ampliamente distribuido por la mayoría de los países del mundo (WHO, 2020d) y parece evidente que no sigue un patrón aleatorio de distribución geográfica (Kamel & Geraghty, 2020).

La explicación y predicción de la distribución geográfica de la mayoría de los organismos que causan enfermedades en humanos es un asunto que está aún lejos de resolverse (Murray *et al.*, 2015). Tradicionalmente, desde la geografía humana, el estudio se ha llevado a cabo a través de la geografía médica, que estudia la distribución geográfica de las enfermedades y los factores ambientales que influyen en su propagación, así como los efectos del medio ambiente en la salud de las personas (Gregory, Johnston, Watts, & Whatmore, 2009).

En los últimos años, ha emergido una nueva disciplina, la patogeografía, cuyo campo de estudio se circunscribe a la explicación de los factores que promueven la aparición y propagación de enfermedades infecciosas (Murray, Olivero, Roche, Tiedt, & Guégan, 2018). La patogeografía se inserta en la biogeografía, ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y en el tiempo, y que actualmente se despliega como un marco general para el estudio de la biodiversidad en el cambiante Antropoceno (Gutiérrez-Hernández, 2019).

La biogeografía (y la patogeografía) está cada vez más orientada hacia la búsqueda de patrones espaciotemporales de distribución (Lomolino, Riddle, & Whittaker, 2016), destacando entre los factores explicativos subyacentes los biometeorológicos y los bioclimáticos. Pero la relación entre las condiciones atmosféricas y la salud no representa ninguna novedad; de hecho, hunde sus raíces en los orígenes de la propia medicina clásica y uno de sus padres putativos, Hipócrates (Siglo V a. C., 460 a. C.), que en su obra *De la atmósfera y de los aires, de las aguas y de los lugares*, relaciona fenómenos meteorológicos y condiciones sanitarias. Desde entonces esta preocupación será recurrente, como señalan Gil & Olcina (2017).

No se está sólo ante un debate académico. Esta preocupación por la biometeorología y la bioclimatología se ha extendido a la práctica médica (Martínez-Carpio, 2003). Desde esta perspectiva, y de acuerdo con Martínez-Carpio (2003), la biometeorología clínica estudia la repercusión de las condiciones atmosféricas sobre nuestro cuerpo. Así, la etiopatogenia de la mayoría de las meteoropatías es un hecho demostrado, especialmente cuando concurren eventos extremos (Díaz *et al.*, 2005, 2002). Por su parte, la bioclimatología clínica estudia las asociaciones entre ciertas enfermedades y cada una de las estaciones del año, y tiene en cuenta factores fisiológicos y ambientales. Entre los segundos, los agentes patógenos también se encuentran sometidos a las variaciones climáticas y estacionales. Sin embargo, los estudios bioclimáticos son complejos, requieren tiempo y sistematicidad, y siempre puede resultar controvertida una precipitada atribución a los efectos del clima.

1.2. Investigaciones previas a la aparición del nuevo coronavirus SARS CoV-2

En noviembre del año 2002, se produjo un brote del síndrome respiratorio agudo severo (SARS) en la provincia de Cantón, el sureste de China (Stadler *et al.*, 2003). Tan *et al.* (2005) encontraron que la temperatura ambiental óptima asociada a los casos de SARS estaba entre 16°C y 28°C. Por otra parte, estudiaron la posible influencia del clima en el sistema inmunológico humano como consecuencia de una ola de frío

que condujo a un aumento de los casos de SARS. Los autores sugirieron que su estudio podría proporcionar evidencias sobre la existencia de una mayor probabilidad de ocurrencia del SARS si llegaran a concurrir unas circunstancias ambientales similares, si bien los investigadores también admitieron que para alcanzar dichas conclusiones de forma consistente eran necesarias investigaciones adicionales que las confirmasen.

Chan *et al.* (2011) estudiaron la relación entre el SARS CoV y los factores ambientales en condiciones controladas. Analizaron la estabilidad del virus a diferentes temperaturas y humedades relativas sobre superficies sólidas. Descubrieron que, en estas superficies, el virus mantiene su viabilidad durante más de 5 días a temperaturas entre 22 y 25 °C y una humedad relativa del 40-50%, esto es, valores típicos de los ambientes mantenidos con aire acondicionado. Sin embargo, la viabilidad del virus se pierde rápidamente a temperaturas más elevadas y con mayor humedad relativa. Concluyen que las condiciones ambientales idóneas para la preservación del SARS CoV resultan de la combinación de una temperatura relativamente baja con una humedad ambiental también baja, lo cual podría facilitar su transmisión comunitaria en áreas subtropicales (como Hong Kong), especialmente durante la primavera y en ambientes con aire acondicionado. Dichas preferencias ambientales explicarían también, según los mismos autores, el que, en algunos países asiáticos ubicados en áreas tropicales, con ambientes caracterizados por una alta temperatura y una alta humedad relativa, no se produjeran grandes brotes comunitarios de SARS.

Posteriormente, diferentes investigaciones han abundado en la importancia de los factores ambientales, destacando nuevamente la temperatura y la humedad como los factores que más afectan a la supervivencia del SARS-CoV, MERS-CoV y el virus de la gripe, y que, conjuntamente, pueden condicionar los mecanismos indirectos de contagio (Otter *et al.*, 2016; van Doremalen, Bushmaker, & Munster, 2013).

1.3. Objetivos e hipótesis generales

En este artículo se revisa la literatura científica publicada hasta la fecha sobre la influencia de las condiciones atmosféricas (tiempo y clima) en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2). En particular, interesa el efecto de la temperatura y humedad.

Dado que la presente revisión se sitúa en la intersección entre la biología, la epidemiología y la geografía, existen un conjunto de asunciones y cuestiones de especial interés a la hora de analizar y explicar la propagación del nuevo coronavirus (SARS CoV-2).

- a) *No aleatoriedad de la distribución.* En relación con el patrón de distribución espacial, interesa elucidar la existencia o no de aleatoriedad espacial completa. Así, se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: el patrón observado no podría ser una de las tantas versiones posibles de una aleatoriedad espacial completa.
- b) *Dispersión global causada por el hombre.* Se asume que la distribución geográfica del nuevo coronavirus, de alcance global, es causada directamente por el ser humano el cual, como huésped, ha movilizó el virus por todos los lugares del planeta donde ha sido detectada la COVID-19, protagonizando mecanismos directos e indirectos de contagio. Destaca el rol crucial de los principales medios de transporte como mecanismo de propagación a larga distancia; y, por otro lado, cómo la densidad de población (residente, flotante) interviene en los contagios directos en la corta distancia. La movilidad de la población es un vector geográfico decisivo.
- c) *Relevancia del contagio indirecto.* Desde el punto de vista ambiental, se enfatiza la importancia del contagio indirecto en determinados ambientes y/o superficies contaminadas por el virus. A pesar de que los virus no se replican fuera de las células vivas, pueden persistir en superficies contaminadas y su persistencia se ve afectada notablemente por la temperatura y humedad (Hall, Douglas, & Geiman, 1980). Esta circunstancia es relevante en espacios interiores, como hospitales, donde se sabe que las superficies son vectores importantes en la transmisión de infecciones en el entorno hospitalario y en la comunidad, habiéndose puesto de manifiesto la importancia de las tareas de desinfección (Brady, Evans, & Cuartas, 1990). Es asimismo relevante en espacios exteriores, donde también está demostrada la incidencia de los factores ambientales (Pirtle & Beran, 1991).
- d) *Factores ambientales de referencia.* Entre los factores ambientales, interesa especialmente el efecto de las condiciones atmosféricas: tiempo y clima. El primero de ellos con referencia a la materialización del estado de la atmósfera durante un breve intervalo de tiempo; y, el segundo, con referencia a la recurrencia de los estados de la atmósfera, abstracción que conlleva la caracterización de situaciones típicas en el espacio y en el tiempo.

- e) *Efecto de las condiciones atmosféricas en la supervivencia del virus.* Se asume que las condiciones atmosféricas pueden tener un efecto sobre la supervivencia y propagación del virus en espacios exteriores. Las investigaciones analizadas en este trabajo realmente están enfatizando el efecto de esta última asunción, por lo que finalmente también se discutirá con qué grado de certidumbre se articula esta asunción en un contexto en el que están operando todas las asunciones en mayor o menor medida. Este presupuesto vendría reforzado, entre otros factores, por el hecho de que las condiciones atmosféricas adecuadas para el SARS CoV-2 no deben de diferir mucho de las encontradas en el SARS CoV.
- f) *Dependencia espacial y temporal de las observaciones.* Por último, más allá de la estructura espacial, y en un marco general, se reconoce que la geografía y sus redes de reciprocidad hombre-medio puede dificultar el aislamiento del efecto que se pretende estudiar. Esto es, hay que admitir la posibilidad de incurrir en un razonamiento circular, dada la proximidad de las observaciones en el tiempo y en el espacio y la ausencia de la cobertura sistemática que requeriría un estudio espaciotemporal riguroso.

2. Metodología

En el presente trabajo se revisan las principales contribuciones científicas publicadas hasta la fecha, en relación con la influencia de los elementos de tiempo y clima sobre la distribución geográfica del nuevo coronavirus (SARS CoV-2).

Para ello, se han recuperado, en primer lugar, todas las referencias que contenían cualquiera de las denominaciones del SARS CoV-2, junto con términos relacionados con el tiempo y el clima o con alguno de sus elementos más significativos (como temperatura o humedad atmosférica), incluidas en revistas indexadas en la Web of Science (WOS), el mayor servicio en línea de información científica, y en PubMed, un motor de búsqueda de libre acceso que permite consultar los contenidos de bases de datos médicas. En ambos casos, los artículos encontrados cumplen los estándares de calidad científica en lo relativo a los procesos de evaluación y publicación.

Por otro lado, dada la importancia y la velocidad de propagación del SARS CoV-2 durante el primer cuatrimestre del año 2020, muchos investigadores han decidido publicar sus investigaciones en formato de preimpresión (*preprint*), con objeto de facilitar la rápida transferencia de sus resultados de investigación. Hay que destacar que en los repositorios de preimpresión se publican investigaciones cuyos resultados todavía no han sido revisados por pares (*peer review*), dado que, en su mayoría, corresponden a investigaciones en marcha que se hacen públicas para facilitar la discusión, crítica y transferencia.

En relación con ello, se han consultado las últimas referencias sobre la materia publicadas en bioRxiv, medRxiv, SSRN, EcoEvoRxiv, arXiv y OSF Preprints. bioRxiv es un repositorio de preimpresión de acceso abierto para las ciencias biológicas. medRxiv es un servidor de preimpresión para las ciencias de la salud. SSRN (Social Science Research Network) es un sitio web, gestionado por Elsevier, dedicado a la difusión rápida de la investigación científica en las ciencias sociales y las humanidades. EcoEvoRxiv es un repositorio de investigación específico para trabajos relacionados con la ecología, la evolución y la conservación. arXiv está especializado en las prepublicaciones de artículos científicos en el campo de las matemáticas, física, ciencias de la computación y biología cuantitativa. OSF Preprints almacena preimpresiones de carácter multidisciplinar, así como postimpresiones y documentos de trabajo. Todos estos repositorios distribuyen manuscritos completos, pero —como se ha dicho— aún no evaluados formalmente por la comunidad científica. Aunque en muchos casos se trata de resultados provisionales o incompletos, muchos de ellos vienen avalados por grupos y científicos de primer nivel en sus respectivas disciplinas, razón por la cual se ha decidido incluirlos en la presente revisión.

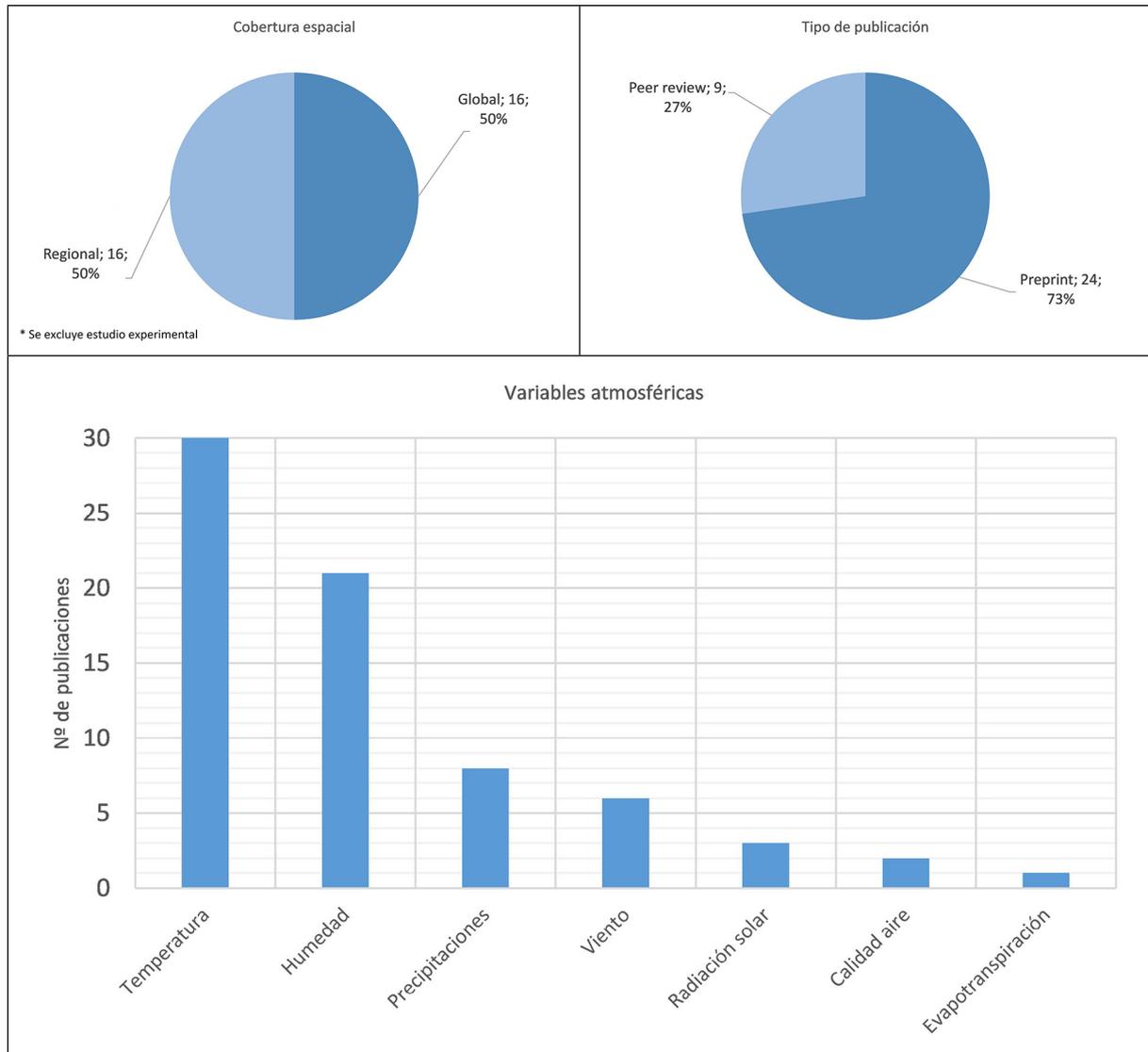
Por último, también se han considerado algunos trabajos producidos y difundidos por instituciones oficiales españolas de reconocido prestigio, como es el caso del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

3. Resultados

3.1. Panorámica general de los resultados

En este apartado se analizan las características generales del conjunto de las publicaciones científicas revisadas (Figura 1). En el Anexo se presenta una tabla resumen recogiendo sus principales hallazgos (Tabla 1).

Figura 1. Resumen general del trabajo de revisión bibliográfica



Elaboración propia

Sobre un total de 33 publicaciones revisadas, 24 (72,7%) se han publicado en formato *preprint* (pre-impresión) y 9 (27,2%) en formato *peer review* (revisado por pares). La mayor parte de los estudios revisados son observacionales, pues se basan en los registros estadísticos sobre el seguimiento de la COVID-19: casos acumulados, casos por intervalos de tiempo, número básico de reproducción (R0), tasas de transmisión, mortalidad, etc. Estos registros, empleados como variable respuesta, se relacionan en los estudios revisados con datos relativos a las condiciones atmosféricas imperantes en los mismos sitios, los cuales se emplean como variables independientes. Entre estas últimas destacan, de mayor a menor frecuencia, las siguientes: temperatura (media, mínima, máxima, amplitud), humedad (absoluta y relativa), precipitaciones, radiación solar, viento y calidad del aire. Se emplean datos de temperatura en 30 (90,9%) de los artículos revisados, y datos de humedad en 21 (63,6%) de los mismos. En un número muy significativo de trabajos (9; 27,2%) también se emplean datos de precipitación y/o evapotranspiración, como subrogados o complementarios, para caracterizar las condiciones de humedad. En su mayor parte, las investigaciones revisadas registran los datos correspondientes al periodo de referencia y se basan en datos meteorológicos relativos a las condiciones atmosféricas de los meses de enero, febrero y marzo de 2020. Sin embargo, en varios trabajos los autores recurren a datos climáticos referidos a las condiciones medias de los periodos de referencia estudiados. En buena parte de los trabajos revisados también se usan datos geográficos, demográficos, socioeconómicos, etc.

Entre los métodos estadísticos implementados en los estudios observacionales revisados, predominan los modelos lineales, desde los simples y sus extensiones, a los que consideran efectos fijos y efectos aleatorios. También se aplican pruebas no paramétricas, modelos autorregresivos y algoritmos basados en inteligencia artificial. A los estudios observacionales hay que sumar los basados en simulaciones y alguno llevado a cabo en condiciones controladas.

Con respecto a la cobertura espacial de los artículos revisados, exceptuando un único trabajo experimental, se ha encontrado el mismo número (16) de estudios con alcance global que de estudios de ámbito regional. Entre los primeros, en su mayor parte, la unidad espacial de información es el país (o Estado), y entre los segundos regiones, provincias o condados. También se revisan estudios basados en los datos de ciudades, y otros trabajos en los que se trabajan con cuadrículas que cubren de manera sistemática toda la superficie de la Tierra.

En lo que se refiere a la cobertura temporal de los estudios observacionales revisados y considerando únicamente los trabajos en los que se informa con claridad sobre este aspecto (22 artículos), se ha encontrado un periodo de observación promedio próximo a los 38 días (desde finales de enero hasta principios de abril), aunque el rango oscila entre los 2 y los 65 días de duración. En conjunto, las investigaciones revisadas abarcan el periodo que media entre la primera quincena de enero y la segunda quincena de abril de 2020. Casi un tercio de los artículos revisados (10) no informa con claridad acerca de las fechas de inicio y final del periodo de observación.

Por otra parte, aunque la mayor parte de los trabajos sostienen que variables como la temperatura y la humedad ambiental ejercen un efecto sobre la viabilidad del SARS CoV-2, se encuentran fuertes discrepancias cuando se trata de explicar la propagación geográfica de la COVID-19 a partir de los efectos las condiciones atmosféricas. Así, casi el 60% de los trabajos revisados enfatizan la influencia de las condiciones atmosféricas en la propagación del SARS CoV-2 frente a otros factores. Este porcentaje se reduce al 50% cuando los investigadores destacan la importancia de la componente estacional del clima sobre la propagación del SARS CoV-2. Por último, algunos trabajos proyectan (o extrapolan) sus resultados hacia el futuro, como ocurre con las investigaciones basadas en simulaciones epidemiológicas o modelos de envolturas bioclimáticas.

3.2. Investigaciones generales basadas en el nuevo coronavirus SARS CoV-2

Chin *et al.* (2020) avanzaron un estudio en condiciones controladas sobre la estabilidad del SARS-CoV-2 en diferentes condiciones ambientales. Encontraron que a 4 °C el virus es altamente estable durante un período prolongado. A 22°C observaron una reducción de su estabilidad tras una incubación de 7 días, no detectando virus infeccioso a esta temperatura al cabo de 14 días. A 37°C no pudieron detectar virus infeccioso más allá del primer día, mientras que a 56°C no detectaron virus infeccioso después de una incubación de 30 minutos.

Las primeras investigaciones observacionales se realizaron con series temporales muy cortas. Así, AL-Rousan & Al-Najjar (2020) estudiaron las condiciones meteorológicas que se dieron entre el 22 de enero y el 4 de febrero de 2020, a través de un modelo autorregresivo. Encontraron un efecto muy significativo de las condiciones atmosféricas (radiación solar y temperatura) en la propagación del coronavirus en la mayoría de las provincias chinas. Paralelamente, y tomando como referencia las condiciones meteorológicas que concurren durante el brote de SARS en 2003, Bu *et al.* (2020) compararon las similitudes existentes con las condiciones meteorológicas que se habían producido durante las primeras semanas del brote por COVID-19 en Wuhan, y encontraron que las condiciones ambientales favorables para la supervivencia y propagación del virus eran: una temperatura entre 13 y 24°C, una humedad relativa entre 50 y 80%, y una precipitación mensual inferior a 30 mm. De acuerdo con estos mismos resultados las temperaturas superiores a 24 °C parecen ralentizar el progreso de la epidemia.

Wang, Tang, Feng, & Lv (2020) investigaron el efecto de la temperatura y la humedad del aire en la transmisión de la COVID-19 en 100 ciudades chinas usando los valores diarios del número efectivo de reproducción (R) del 21 al 23 de enero de 2020. Concluyen que una alta temperatura y una alta humedad reducen significativamente la transmisión del virus, lo que sugiere —a su juicio— que la llegada del verano y de la temporada de lluvias en el hemisferio norte podría reducir significativamente la transmisión de la COVID-19, como sucede con el virus de la gripe. Por su parte, Bannister-Tyrrell, Meyer, Faverjon, & Cameron (2020) estudiaron el efecto de la variación estacional en la incidencia de la COVID-19 y halla-

ron que las temperaturas medias más elevadas se asociaban con una menor incidencia de la enfermedad. Sin embargo, también constataron que la temperatura explicaba una cantidad modesta de la variación total en la incidencia de la COVID-19.

Sajadi *et al.* (2020) analizaron los datos meteorológicos de las ciudades del mundo con una propagación más significativa de la COVID-19, utilizando el conjunto de datos de re-análisis ERA-5, y contrastaron los resultados con áreas que no estaban afectadas o que no mostraban una propagación comunitaria significativa del virus. Comprobaron que la distribución de los brotes a lo largo de una restringida franja de latitud (30° a 50° N), temperatura (5 a 11°C) y humedad absoluta (4-7 g/m³) es consistente con el comportamiento de un virus respiratorio estacional. Neher *et al.* (2020) abundaron en la misma dirección y estudiaron cómo la componente estacional en la transmisibilidad podría modular una pandemia de SARS-CoV-2. Para ello, calibraron un modelo basado en datos previos, cuyos resultados proyectaron, en las regiones templadas del hemisferio norte, un pequeño pico a principios de 2020 y un pico más prominente en el invierno 2020/2021. Una vez más, los investigadores reconocen un alto grado de incertidumbre en los parámetros de sus modelos, si bien insisten en que el forzamiento estacional en el SARS-CoV-2 debe tenerse en cuenta, como un efecto agregado, en el seguimiento posterior de la transmisión global.

Ficetola & Rubolini (2020) evaluaron los efectos de variables ambientales y socioeconómicas en los patrones globales de la dinámica del brote temprano de la COVID-19 desde enero a marzo de 2020, empleando los datos georreferenciados de la Universidad Jon Hopkins (Dong, Du, & Gardner, 2020). Encontraron que las variables climáticas fueron los mejores factores explicativos de la variación global en las tasas confirmadas de crecimiento de los casos de la COVID-19. Dichas tasas de crecimiento alcanzaron su punto máximo en las regiones templadas del hemisferio norte con una temperatura media en torno a 5°C y una humedad específica de 4-6 g/m³, mientras que disminuyeron en las regiones más cálidas y más frías. Llama la atención que, para explicar la propagación activa de un brote, en vez de emplear datos de las condiciones meteorológicas correspondientes al mismo intervalo de tiempo en el que se recabaron los datos epidemiológicos, los autores emplearan las variables climáticas (1970-2000) procedentes de Worldclim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017). Por su parte, Chen *et al.* (2020) desarrollaron un modelo meteorológico global en el que la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa, combinados, fueron los mejores predictores ambientales ($r^2 > 0,6$) de la transmisión del virus a escala global. En esta dirección, Holtmann *et al.* (2020) establecieron una asociación entre la temperatura ambiente y el tiempo necesario para diagnosticar 100 nuevos casos de COVID-19, después de que se hubieran diagnosticado los primeros 100 casos, en un país dado. Constataron, además, que las temperaturas ambientales bajas parecían asociarse con una propagación más rápida de la COVID-19 en la fase temprana del brote epidémico. Por su parte, Alvarez-Ramirez & Meraz (2020) también encontraron que la temperatura y la humedad influyen en la propagación del SARS-CoV-2).

China es, con diferencia, el país en el que más investigaciones se han llevado a cabo en busca de efectos significativos del tiempo y el clima sobre la distribución del nuevo coronavirus. A parte de las ya comentadas, relativas al inicio de la pandemia, se han publicado otras investigaciones con resultados no siempre concordantes entre sí. Así, Xie & Zhu (2020) consideraron los casos diarios de COVID-19 y los factores meteorológicos en 122 ciudades, entre el 23 de enero de 2020 y el 29 de febrero de 2020. Calibraron un modelo aditivo generalizado (GAM) para explorar la relación entre la temperatura media y los casos confirmados de COVID-19 a través de curvas de exposición-respuesta. En relación con los resultados obtenidos, los investigadores encontraron que la temperatura media parece tener una relación «lineal positiva» con el número de casos de COVID-19 hasta los 3° C, umbral a partir del cual la curva de respuesta es plana, resultado por el que los mismos autores reconocen que no hay evidencia que respalde que la incidencia de la COVID-19 crezca cuando la temperatura aumente por encima de este umbral. En otra investigación similar desarrollada en las mismas fechas, pero a nivel de provincia, Shi *et al.* (2020) encontraron que la mayor incidencia de COVID-19 se había producido en áreas con una temperatura en torno a los 10 ° C, y una humedad absoluta de 7 g/m³. Ma *et al.* (2020) analizaron los datos diarios de muertes por COVID-19, parámetros meteorológicos y datos de contaminación del aire, desde el 20 de enero de 2020 hasta el 29 de febrero de 2020 en Wuhan, China. Como en la investigación anteriormente citada, aplicaron un modelo aditivo generalizado para explorar el efecto del rango de temperatura, humedad y temperatura diurna en los recuentos diarios de muertes de COVID-19. Encontraron que la mortalidad diaria de COVID-19 se asocia positivamente con la amplitud térmica diaria y negativamente con humedad absoluta. Gupta (2020) concluye todo lo contrario: cada 1° C de aumento de la temperatura por

encima de 5° C se traduce en un descenso del 10% en la velocidad de transmisión de la COVID-19. Por su parte, Oliveiros *et al.* (2020) comprobaron que, entre el 23 de enero y el 1 de marzo de 2020, el tiempo de duplicación del número de casos está correlacionado positivamente con la temperatura e inversamente con la humedad en el mismo periodo de referencia, lo que podría sugerir una disminución en la tasa de progresión de COVID-19 con la llegada de la primavera y el verano al hemisferio norte.

En Estados Unidos, Bashir *et al.* (2020) analizaron la asociación entre la COVID-19 y los indicadores climáticos (temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, lluvia, humedad promedio, velocidad del viento y calidad del aire) en la ciudad de Nueva York. Aplicando técnicas no paramétricas de correlación (Kendall, Spearman), hallaron que la temperatura promedio, la temperatura mínima y la calidad del aire presentaban una asociación significativa con la incidencia de COVID-19. Como en las investigaciones previas realizadas en China, los investigadores indican que no hay evidencia científica de que el clima cálido impida o ralentice la epidemia de COVID-19. Harbert, Cunningham, & Tessler (2020) modelizaron el problema a nivel de condado para el conjunto de los Estados Unidos, empleando un modelo de máxima entropía, similar a los que se analizarán en el apartado siguiente. Aunque hallaron más casos en áreas frías, concluyen que el clima puede no desempeñar un papel central en la distribución de la COVID-19 en EE. UU., y que debe asumirse que el SARS-CoV-2 puede extenderse a cualquier lugar del país, probablemente impulsado por factores más relacionados con la geografía humana.

En España, Oto-Peralías (2020) analizó —a nivel de provincia— la correlación entre los casos confirmados de COVID-19 y un conjunto de variables geográficas, meteorológicas y socioeconómicas. Encontró una relación negativa entre la temperatura promedio de los meses de febrero y marzo de 2020 y los casos de COVID-19 contabilizados el 1 de abril ($R^2=0,62$). La temperatura y la densidad de población, conjuntamente, explicarían hasta el 66% de la variación de los casos confirmados de COVID-19, mientras que el poder explicativo de las otras variables geográficas y socioeconómicas utilizadas fue mucho menor. Sin embargo, el propio autor admite cierta ambigüedad en sus resultados, pues también encontró que los cambios en la temperatura registrados en provincia a lo largo del periodo estudiado no estaban relacionados con los cambios en observados en la incidencia de COVID a lo largo del mismo periodo. Ello genera dudas sobre los efectos del aumento estacional de la temperatura en la incidencia de la COVID. En la misma línea, en un trabajo elaborado conjuntamente por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (AEMET & ISCIII, 2020; ISCIII & AEMET, 2020) se relacionó el número de nuevos contagios diarios por 100.000 habitantes, acumulados a lo largo de 14 días, en las distintas comunidades autónomas españolas, con la temperatura promedio registrada en cada comunidad durante el mismo período. Se encontró que existe una relación negativa entre ambas variables, que se ajusta a un modelo exponencial, y que el patrón de relación se repite durante el periodo analizado, entre el 26 de marzo y el 5 de abril de 2020, con un $R^2=0,52$, en marzo, y un $R^2=0,62$, en abril. Dicha conclusión se recogió en una nota oficial titulada: «*Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación de la enfermedad covid-19 y del virus SARS-CoV-2 en España*» la cual fue ampliamente difundida por el ISCIII, la AEMET, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2020) y la mayor parte de los medios de comunicación. Por último, a nivel provincial, Briz-Redón & Serrano-Aroca (2020) analizaron la relación entre la incidencia de la COVID-19 y distintos factores ambientales, empleando técnicas de modelado espacio-temporal y considerando tanto efectos fijos como aleatorios. De acuerdo con sus resultados indican que no existe evidencia alguna de que las temperaturas medias, mínimas o máximas más elevadas puedan propiciar una reducción en los casos de COVID-19. No obstante, aclaran que sus resultados deben interpretarse con cautela, dada la incertidumbre existente en los propios datos y los factores de confusión y advierten del riesgo que entraña extrapolar conclusiones a otros rangos de temperatura, así como de la importancia de tener en cuenta los efectos no meteorológicos, espaciales y temporales. Paradójicamente, esta investigación basada en un diseño conceptual y en unos métodos estadísticos robustos, revisada por pares y publicada en una revista científica reconocida, ha tenido mucha menor repercusión en los medios de comunicación y en la sociedad que los resultados preliminares de la investigación citada con anterioridad.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de las investigaciones publicadas se centran en el rol de la temperatura y destacan la componente estacional en la propagación del virus, Bukhari & Jameel (2020) se preguntaron si la llegada del verano podría disminuir la pandemia, incorporando en su investigación la influencia de la humedad absoluta, además de la temperatura. Sus resultados indican que, hasta el 22 de marzo de 2020, el 90% de las transmisiones de la COVID-19 se habían producido en regiones con

temperatura entre 3 y 17°C y humedad absoluta entre 4 y 9 g/m³. El número total de casos en países con una temperatura media de enero a febrero y principios de marzo >18°C y una humedad absoluta >9 g/m³ fue inferior al 6%. Por lo tanto, si la humedad juega algún papel en la transmisión del virus, su capacidad para limitar la transmisión podría ser insignificante hasta junio en la mayor parte de América del Norte y Europa, ya que la mayoría de estas regiones podrían no experimentar una humedad absoluta de >9 g/m³, a diferencia de los países asiáticos, en los que se produce el monzón y podrían experimentar una disminución en la transmisión, ya que la humedad absoluta es generalmente >10 g/m³ durante esa época. En la misma dirección, Bhattacharjee (2020), tras estudiar la relación entre la incidencia de la COVID-19 y las variables ambientales (humedad, temperatura, viento) en varias ciudades de China y de Italia, encontró que la influencia de dichas variables no es muy significativa, por lo que concluye que no existen evidencia sólida para sostener que el SARS-CoV-2 pueda inactivarse durante el verano.

Notari (2020) encontró una relación entre la tasa de transmisión de COVID-19 y el descenso de la temperatura, si bien concluye que, para los países del hemisferio norte, la tasa de transmisión debería disminuir significativamente no sólo como resultado del incremento de la temperatura, sino principalmente por el efecto de fuertes políticas de contención y seguimiento. Baker *et al.* (2020), utilizando un modelo epidémico dependiente del clima para simular la pandemia del SARS-CoV-2, encontraron que si bien las variaciones en la humedad pueden ser importantes para las infecciones endémicas, durante la etapa pandémica de un patógeno emergente —como el SARS-CoV-2— el clima sólo puede influir de forma muy modesta en el tamaño y la duración de la pandemia, por lo que concluyen que, en ausencia de medidas de control efectivas, es muy probable que ocurran casos significativos en los próximos meses, incluso en climas cálidos y húmedos, con independencia de la influencia del clima en la transmisión del virus.

Brassey *et al.*, (2020) señalan que, conforme a la evidencia encontrada en los estudios revisados por ellos, las condiciones frías y secas pueden influir en la propagación del SARS CoV-2, y que ello puede manifestarse a través de dos mecanismos: la estabilidad del virus y el efecto en el huésped. Concluyen que el efecto del clima puede ser de poca entidad, dado que las estimaciones publicadas están sujetas a sesgos significativos, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas sólidas de salud pública. Mecenas *et al.* (2020) observaron una gran homogeneidad en los resultados de los estudios revisados con respecto al efecto de la temperatura y la humedad sobre la viabilidad y transmisibilidad estacional de la COVID-19. Encontraron que, al menos, cuatro de las investigaciones revisadas tienen un alto riesgo de sesgo y hasta trece de ellas un riesgo moderado de sesgo, por lo que califican de baja la certeza de la evidencia científica sobre este hipotético efecto.

En definitiva, un número significativo de autores ha sugerido que los factores ambientales no contribuirán a reducir la propagación de la COVID-19 durante los meses de primavera y verano en la mayor parte del norte de Europa y América del Norte y que habría que esperar hasta entrado el verano para observar alguna evidencia constatable en tal sentido, si es que realmente existe y se logra poner de manifiesto. En todo caso, hay que significar que la mayoría de los investigadores advierte de que sus resultados no sugieren que COVID-19 no se propagará en regiones cálidas y húmedas y que, por tanto, deberían implementarse intervenciones efectivas de salud pública en todo el mundo y bajo todos los escenarios estacionales para frenar la transmisión. De hecho, se ha demostrado que las intervenciones de salud pública sí se asocian de forma muy significativa con una reducción en el crecimiento de la epidemia (Jüni *et al.*, 2020).

3.3. Modelos bioclimáticos de distribución potencial del nuevo coronavirus SARS CoV-2

Esta línea de investigación, eminentemente biogeográfica, se basa en la calibración y proyección de modelos de nicho ecológico (Peterson *et al.*, 2011). Este paradigma asume una relación entre los nichos ecológicos de los seres vivos y sus distribuciones geográficas (Pulliam, 2000). Buena parte de su potencia radica en la capacidad para detectar patrones, espacializar los resultados y proyectarlos bajo diferentes escenarios (Franklin, 2009). Aunque los modelos de nicho ecológico operan con un amplio abanico de variables, en la práctica, los modelos que se analizan en la presente revisión están basados en datos bioclimáticos, por lo que se denominan modelos de envolturas bioclimáticas (Araújo & Peterson, 2012).

Bariotakis, Sourvinos, Castanas, & Pirintzos (2020) calibraron un modelo de máxima entropía (Phillips, Anderson, Dudík, Schapire, & Blair, 2017) basado en los registros de COVID-19 colectados entre el 02/02/2020 y el 04/03/2020, empleando como predictores las variables bioclimáticas de Worldclim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017). Nuevamente, y como se señala en la investigación de Ficetola & Rubolini

(2020), los autores utilizaron datos climáticos como predictores de una variable dependiente que, caso de estar influenciada por las condiciones atmosféricas, lo estaría por las condiciones atmosféricas imperantes dentro del intervalo de tiempo específico en el que se recabaron los datos de la variable dependiente. Los modelos proyectados por estos investigadores, predicen, para el período entre el 2 de febrero y el 4 de marzo de 2020, la idoneidad del virus en el espacio ambiental del continente europeo, así como de amplios espacios del Medio Oriente y África del Norte, áreas costeras orientales de América del Norte, áreas costeras del sudeste de América Latina y dos áreas en el sur de Australia. Con la integración de nuevos casos, los autores consiguieron mejorar sus modelos, alcanzando un valor predictivo —que será discutido posteriormente— superior al 90%. Las principales variables predictivas que incorporaron en sus modelos fueron las relacionadas con la temperatura, principalmente la temperatura mínima del mes más frío (27,4% de importancia) y la temperatura media del trimestre más húmedo (20,9% de importancia).

En la misma línea, se encuentra la investigación llevada a cabo por Araújo & Naimi (2020), que calibraron un modelo de consenso a partir de los datos sobre la COVID-19 extraídos de los mapas de la Universidad John Hopkins (Dong *et al.*, 2020) y desarrollaron un ensamblaje de modelos basados en 10 algoritmos de inteligencia artificial a través de un flujo de trabajo desarrollado por los mismos autores en la librería *sdm* (Naimi & Araújo, 2016). En la versión inicial calibraron los modelos con datos de temperaturas (media, máxima, mínima) y precipitaciones (acumulado) y, en versiones posteriores, introdujeron datos de evapotranspiración y radiación solar. Como en la investigación anteriormente revisada, también se utilizaron datos climáticos como predictores, aunque con un periodo de referencia (2009-2018) y una fuente (*Terraclimate*, Abatzoglou, Dobrowski, Parks, & Hegewisch, 2018) diferentes. Finalmente, proyectaron la distribución potencial global de la variación mensual de la idoneidad del SARS-CoV-2, generando un mapa global con la idoneidad del citado coronavirus para cada mes del año.

Los resultados generados a partir de los modelos citados mostraron que la distribución del SARS-CoV-2 aparece más concentrada en el espacio ambiental (bioclimático) que, en el espacio geográfico, por lo que los autores interpretan que las infecciones locales prevalecen dentro de un conjunto relativamente limitado de condiciones ambientales, asumiendo que el virus ha podido ser transportado por todos los espacios habitados del planeta. Según estos investigadores, la desigual colonización del espacio geográfico frente al clima, invita a la interpretación de que el clima, en efecto, está actuando como una restricción más fuerte para la propagación del virus que las distancias geográficas. En este sentido, explican que la mayoría de las transmisiones locales ocurren en regiones expuestas a condiciones frescas y secas —medidas tanto por evapotranspiración como por precipitación— y cerca del extremo inferior del gradiente de radiación, en el contexto de climas mesotérmicos. Por tanto, consideran más probable la aparición de pandemias asincrónicas estacionales de amplio alcance según los dominios climáticos zonales, tal como sucede con otras enfermedades respiratorias.

Sin embargo, Pacheco *et al.* (2020) han cuestionado el hipotético carácter asincrónico de la pandemia a escala global en un trabajo en el que analizaron, a nivel mundial, el efecto de tres clases de predictores (socioeconómico, climático y de transporte) sobre la tasa de incremento diario de COVID-19. Encontraron que las conexiones globales, representadas por la importancia de los países en la red mundial de transporte aéreo, constituyen el mejor predictor de la tasa de crecimiento de COVID-19 en los países estudiados —incluso en el caso de un país tropical como Brasil, que presenta la segunda tasa más elevada de aumento de COVID-19— y que el clima, la distancia geográfica y los restantes factores socioeconómicos no eran relevantes. Concluyen que la red global de transporte aéreo podría conducir, en el peor de los casos y si no se tomasen medidas de contención, hacia una pandemia global sincrónica. En este sentido, recomiendan una política de aislamiento social bien establecida y efectiva que pueda ayudar a evitar un aumento de las tasas de mortalidad como resultado del colapso de los sistemas nacionales de salud. Los últimos trabajos publicados apuntan en la dirección sugerida por estos autores, dado que hasta el 8 de abril de 2020, se había notificado la existencia transmisión local del SARS-CoV-2 en 180 países que, conjuntamente, abarcan todas las zonas climáticas del mundo habitado (O'Reilly *et al.*, 2020).

4. Discusión

En este apartado se abundará en las implicaciones de los resultados y conclusiones derivadas por los autores de los trabajos revisados, se contrastarán dichos resultados con los de investigaciones previas y se abordará un análisis crítico de los mismos, desde una perspectiva eminentemente biogeográfica.

4.1. Alcance e implicaciones de las investigaciones revisadas

Existen una serie de lugares comunes en los trabajos revisados. El primero de ellos aparenta ser una obviedad —pues no aporta ninguna novedad— pero es necesario explicitarlo: la viabilidad del SARS-CoV-2, fuera del cuerpo humano, depende de las condiciones ambientales. Este hecho ha sido puesto de manifiesto para otros virus como el SARS-CoV, el MERS-CoV y el de la gripe (Otter *et al.*, 2016; van Doremalen *et al.*, 2013). En condiciones experimentales, se ha demostrado que el SARS-CoV-2 puede ser viable en aerosoles durante unas horas, mientras que en superficies sólidas y puede ser viable hasta tres días (van Doremalen *et al.*, 2020). Es la viabilidad del virus tanto en espacios interiores como en entornos exteriores la que facilita los mecanismos de contagio indirecto y, por tanto, la que justifica las líneas de investigación de corte ambientalista como las que analizan el efecto de tiempo y el clima.

Otro punto de encuentro que relaciona los resultados de las investigaciones revisadas se refiere a que, en el espectro de condiciones ambientales que se está considerando, se refrenda la influencia de los principales elementos relacionados con el tiempo y clima, básicamente temperatura y humedad. En efecto, las condiciones de temperatura y humedad influyen en la viabilidad del SARS-CoV-2, tanto en entornos interiores como entornos exteriores. Problema aparte es demostrar hasta qué punto esta circunstancia influye en la propagación del virus a través de los mecanismos de contagio indirecto, y qué importancia relativa tienen estos mecanismos con respecto a los de contagio directo, cuestiones éstas que caen fuera del alcance del presente trabajo. En todo caso, se consideran necesarios este tipo de estudios, dado que sus resultados podrían justificar (o no) la profundización de las investigaciones relativas al efecto del tiempo y el clima sobre la propagación del SARS CoV-2.

Los trabajos analizados coinciden, en general, en que un ambiente fresco y seco es el más propicio para la proliferación del SARS CoV-2. Esto se ha demostrado claramente en condiciones experimentales (Chin *et al.*, 2020), para un rango térmico relativamente amplio, y se ha puesto también de manifiesto en estudios observacionales, en los que se ha venido destacando que la viabilidad del virus, en el contexto de los climas templados o mesotérmicos, es mayor en ambientes frescos y secos. En los trabajos observacionales basados en estudio de casos, que son la principal fuente de resultados, emerge una problemática más compleja que remite a diferenciar claramente entre la detección del virus SARS CoV-2 en el entorno y la detección de la enfermedad causada por el mismo, la COVID-19. Casi todos los estudios observacionales están basados en registros positivos de la enfermedad en seres humanos, lo cual es especialmente problemático en el caso de las investigaciones que pretenden realizar una inferencia a partir los casos detectados de la COVID-19 y una espacialización global de los resultados. Sobre este problema, de difícil solución, se abundará en el apartado siguiente.

Por otro lado, buena parte de los autores sugieren, de manera implícita o explícita, la existencia de una posible componente estacional en la propagación del coronavirus SARS CoV-2. A día de hoy, esta es una cuestión que todavía está por demostrar con el nuevo coronavirus. Sin embargo, hay indicios que podrían apoyar esta hipótesis. Los coronavirus pertenecen a la familia de denominados virus envueltos (lipofílicos), esto es, virus que se hallan recubiertos por una capa grasa (bicapa lipídica) de la que sobresalen proteínas en forma de “espigas” que coronan la envoltura, de ahí su nombre (Lai & Cavanagh, 1997). La investigación sobre otros virus envueltos sugiere que esta capa grasa hace que estos virus sean más susceptibles al calor que aquellos que no la tienen, lo que podría explicar por qué los brotes relacionados con virus envueltos suelen mostrar una fuerte estacionalidad (Price, Graham, & Ramalingam, 2019).

La posible estacionalidad del brote pandémico actual del nuevo coronavirus remite a la zonación climática latitudinal y a la distribución geográfica. En apoyo de la hipótesis sobre la estacionalidad se aduce, por ejemplo, que, entre el invierno y la primavera de 2020, los brotes se han concentrado —en su mayor parte— en el hemisferio norte, principalmente en China, Irán, Europa central, meridional y occidental, y los Estados Unidos, en una franja latitudinal relativamente estrecha, según el mapa actualizado en tiempo real realizado por la Universidad John Hopkins (Dong *et al.*, 2020). Se ha constatado que el brote del nuevo coronavirus se ha expandido fuera de China debido al flujo de viajeros procedentes de dicho país, incluso antes de iniciarse el confinamiento de la ciudad de Wuhan (Ng *et al.*, 2020; Sebastian *et al.*, 2020). Es conocida la intensidad y complejidad del flujo comercial entre China e India, y entre China y los numerosos países del África subsahariana y América Latina (Khanna, 2016). El SARS, la fiebre aftosa y la gripe aviar son ejemplos de enfermedades cuya propagación se ha modelizado con éxito considerando estas redes de comercio y transporte (Banks, Paini, Bayliss, & Hodda, 2015). Todo esto sugiere que el SARS CoV-2 pudo haber entrado masivamente en todos estos países, que mantienen intensas relaciones comerciales

con China (y otros lugares donde la pandemia está presente), pero que los climas de la franja intertropical podrían ser menos propicios para los mecanismos de contagio indirecto, y que estos mecanismos deben de ser importantes para la propagación del virus (Araújo & Naimi, 2020). Sin embargo, el virus también está presente —aunque en menor medida— en todos estos lugares, especialmente en el ámbito de Latinoamérica, donde destacan las tasas de crecimiento por COVID-19 experimentadas en Brasil durante la primavera del año 2020 (Pacheco *et al.*, 2020). Con respecto a otras regiones donde la presencia del SARS CoV-2 ha sido también menor hasta la fecha, caso de África occidental, algunos autores consideran que puede ser debido a que la epidemia ha comenzado más tarde que en otras regiones del mundo, a causa de un tráfico aéreo internacional más limitado, y no tanto por las condiciones climáticas (Martínez-Alvarez *et al.*, 2020).

Por último, algunos autores han sugerido que la llegada del verano podría poner fin a la pandemia en aquellas regiones donde, en teoría, no se dan en dicha estación las condiciones ambientales más propicias para el SARS CoV-2 (Bukhari & Jameel, 2020): en zonas con veranos cálidos y muy secos, a diferencia del MERS-CoV (Altamimi & Ahmed, 2019); y en áreas con veranos cálidos y muy húmedos, especialmente en aquéllos que presentan características monzónicas. Sin embargo, incluso en las regiones con climas de estas características, otros autores advierten de que, ante la llegada del verano, será igualmente necesario el despliegue de un amplio abanico de medios de contención de la pandemia para forzar una disminución en el recuento de casos de la COVID-19 (Luo *et al.*, 2020; Poirier *et al.*, 2020). La llegada del verano podría, a lo sumo, ser un punto y seguido. O ni siquiera eso. Además, la estacionalidad no siempre restringe los nuevos virus pandémicos de la misma forma que los antiguos, ya que estos pueden propagarse fuera de la temporada normal (Miller, Viboud, Balinska, & Simonsen, 2009). Tal fue el caso de la gripe pandémica de 2009 (Shaman, Goldstein, & Lipsitch, 2011): la pandemia comenzó en abril-mayo —fuera de la temporada de gripe—, remitió en el verano —tal vez debido a la importancia de los niños en la transmisión de la gripe (Worby *et al.*, 2015)— y luego se recuperó en septiembre-octubre, antes del comienzo de la temporada normal de gripe.

4.2. Limitaciones de las investigaciones revisadas

Llegados a este punto, cabe establecer una serie de objeciones, de carácter conceptual y metodológico, dirigidas en su mayor parte a las investigaciones basadas en estudios observacionales y modelos predictivos, cuyos datos están claramente determinados por la geografía y cuyos resultados pueden verse condicionados de forma significativa por la tipología de los datos y los métodos empleados, así como por la naturaleza de los supuestos teóricos asumidos por acción u omisión.

La mayor parte de las objeciones que pueden hacerse a las investigaciones revisadas basadas en datos observacionales se relacionan con la vulneración del supuesto de independencia de las observaciones (Peterson *et al.*, 2011). Sólo quedarían totalmente excluidas de ellas, las basadas en experimentos llevados a cabo en condiciones controladas.

La ley de Tobler («todas las cosas están relacionadas, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes»), describe el principio de autocorrelación, aplicable tanto a datos espaciales como a temporales (Tobler, 1970). Cuando interesa una explicación estrictamente basada en el espacio geográfico (coordenadas espacio-temporales), los propios datos espaciotemporales pueden emplearse como soporte para la predicción espacial (Li & Heap, 2014); pero cuando se pretende inferir efectos en el espacio ambiental (n-dimensional) propio de los modelos de nicho ecológico (Soberón & Peterson, 2005), es imprescindible minimizar o neutralizar el efecto de la dependencia espacial (Dormann *et al.*, 2007). Así, en la investigación observacional y en los modelos predictivos, constituyen prácticas recurrentes eliminar las replicaciones, separar las observaciones en el espacio y en el tiempo, sistematizarlas o aleatorizarlas y minimizar el efecto de la multicolinealidad. Todo ello con el objeto de lograr una mayor independencia entre las observaciones y acercarse al cumplimiento del requisito de independencia estadística (Araújo *et al.*, 2019; Guisan, Thuiller, & Zimmermann, 2017; Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2018).

En la mayor parte de las investigaciones basadas en datos observacionales revisadas se encontró que, para demostrar el efecto de las condiciones atmosféricas sobre el nuevo coronavirus SARS CoV-2, los autores trabajaron con conjuntos de datos muy restringidos en el espacio y en el tiempo. Así, desde estudios localizados en Wuhan (China), basados en datos colectados durante unas semanas muy concretas, hasta estudios de amplio alcance, suelen ignorar en la discusión de sus resultados estos importantes condicionantes. Ello hace que, en rigor, pudiera llegar a concluirse que el SARS CoV-2 ha ido apareciendo

en un espectro de condiciones atmosféricas determinantes o causantes de buena parte de su distribución en el espacio y en el tiempo; o bien todo lo contrario, que es la propia geografía (estructura espacial de los datos) la que está proyectando unas condiciones atmosféricas relativamente homogéneas dentro de un rango, por lo que la mayor parte de los estudios observacionales adolecen de este problema. En este sentido, los métodos de regresión están concebidos para interpolar entre los puntos conocidos, por lo que cualquier extrapolación —ya sea fuera del rango de las variables que se ponen en relación, en el espacio o en el tiempo— puede resultar muy arriesgada cuando se estudia la posible influencia de factores ambientales en la distribución geográfica de epidemias, como pudiera llegar a desprenderse del estudio preliminar anteriormente mencionado (AEMET & ISCIII, 2020; ISCIII & AEMET, 2020; MITECO, 2020).

Por otro lado, algunos de los trabajos revisados, parecen confundir conceptual y operativamente el tiempo meteorológico con el clima. Así, Ficetola & Rubolini (2020) trataron de explicar un evento dinámico localizado en el tiempo y en el espacio —las tasas de crecimiento de los patrones globales de la dinámica del brote temprano de la COVID-19, desde enero a marzo de 2020— a partir de predictores ambientales y socioeconómicos. Pero, entre los ambientales, en lugar de usar los datos relativos a las condiciones atmosféricas imperantes durante el intervalo de tiempo estudiado, emplearon los datos climáticos promedio correspondientes a un pasado lejano (1970-2000), llegando a la inverosímil conclusión de que el clima de entre 50 y 20 años antes —que implica otros parámetros temporales— influye en el proceso. Araújo & Naimi (2020) intentaron minimizar este problema trabajando con datos climáticos más próximos en el tiempo, pero sin recoger las anomalías interanuales propias de cada clima y estación. El empleo de datos climáticos para la calibración de modelos de envolturas climáticas sólo está justificado si se asume que el organismo ha alcanzado un equilibrio con el clima (Araújo & Peterson, 2012). De hecho, buena parte de los algoritmos empleados en los modelos de nicho ecológico están diseñados para modelizar distribuciones de especies en equilibrio con el clima (Elith, 2017). Muchos autores se refieren indistintamente a modelos de nicho y modelos de distribución de especies como sinónimos o equivalentes, cuando en realidad existen importantes diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución (Soberón, Osorio-Olvera, & Peterson, 2017).

Los modelos de nicho ecológico potencial revisados en este artículo y que, en la práctica, están basados en datos bioclimáticos, involucran otro conjunto de asunciones que pueden producir resultados engañosos. Estos modelos de envolturas bioclimáticas forman parte la familia de modelos de nicho ecológico y son estáticos porque asumen la hipótesis de pseudoequilibrio: la asunción de que cada especie —en tanto que persiste— está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales que determinan su existencia a lo largo del tiempo (Austin, 2007). Esto difícilmente puede justificarse para el SARS CoV-2, dado que los modelos de nicho que se aplican en las primeras etapas de la invasión tienden a subestimar el rango potencial en comparación con los modelos que se construyen en las etapas posteriores de la invasión (Václavík & Meentemeyer, 2012). Por tanto, sin entrar en otras consideraciones más complejas, que exceden del objetivo de este trabajo, está por demostrar la hipótesis de equilibrio de este virus con el clima.

Sin embargo, en uno de los trabajos revisados basado en modelos de envolturas bioclimáticas, los autores proyectan con sus modelos la variación mensual de la idoneidad climática del SARS CoV-2 en el conjunto de la superficie terrestre (Araújo & Naimi, 2020). Desde una posición escéptica bastaría con reiterar las objeciones anteriormente expuestas, junto otras tantas de carácter técnico, cuyo análisis detallado caen fuera del objeto de este trabajo (véase Chipperfield, Benito, O'Hara, Telford, & Carlson, 2020), que vendrían a objetar que estos modelos se limitan a proyectar —en el mejor de los supuestos— una versión sobredimensionada de la redundancia (o sobreajuste) con estructura espacial. Una posición más pragmática apelaría a que, excepcionalmente, se debe priorizar la utilidad de los patrones observados frente al cumplimiento estricto de los estándares de calidad en el modelado (Araújo *et al.*, 2019).

Sin embargo, incluso asumiendo esta última línea argumental, algunos de los trabajos revisados han utilizado procedimientos totalmente inadecuados para evaluar el desempeño de estos modelos. Así, Bariotakis *et al.* (2020) defienden que sus modelos tienen «capacidad predictiva del 90%», cuando en realidad están evaluando una cosa bien distinta: la capacidad discriminante de sus modelos. En la misma dirección, evalúan sus modelos Araújo & Naimi (2020), que emplean dos métricas, AUC y TSS para evaluar la capacidad discriminante de sus modelos. Estos procedimientos de evaluación son obsecuentes del área de calibración, de la naturaleza de los datos de presencia, ausencia y background, etc. y suelen ofrecer una medida engañosa incluso de la propia capacidad discriminante —no de la predictiva— de los modelos (Fourcade, Besnard, & Secondi, 2018; Jiménez-Valverde, Lobo, & Hortal, 2008; Lobo, Jiménez-Valverde,

de, & Hortal, 2010; Lobo, Jiménez-Valverde, & Real, 2008). En este sentido, se echa en falta que buena parte de los autores no expliciten las medidas de calibración de modelos, la significación estadística de la influencia de las variables u otras basadas en el principio parsimonia, pero, sobre todo, medidas relacionadas con el error y la incertidumbre: distribución de los residuos, estructura espacial de los residuos, espacialización del error en las predicciones, etc., lo cual es imprescindible para descartar la presencia de sesgos y artefactos en los resultados y conclusiones de los trabajos (Araújo *et al.*, 2019). También se echa en falta, particularmente en los trabajos que emplean un gran número de tests estadísticos para elucidar un número limitado de cuestiones relacionadas, la aplicación de algún sistema de control —siquiera laxo— de la inflación de error de tipo I que lleva aparejada dicha multiplicidad. Se evita así capitalizar el azar y limitar el número de ‘falsos positivos’ o ‘descubrimientos espurios’ (García, 2004).

No se cuestionan las posibles imbricaciones entre ecología y epidemiología y la utilidad de los modelos basados en envolturas bioclimáticas, pero no todas las aplicaciones están biológicamente justificadas, como explicitan Carlson *et al.* (2020) para la COVID-19. Estos modelos han sido aplicados con éxito pero en determinados contextos muy específicos donde los autores establecen adecuadamente el marco de los presupuestos teóricos y la aplicación correcta de los procedimientos técnicos (Reeves, Samy, & Peterson, 2015; Zhu & Peterson, 2014). Sin embargo, entre los trabajos revisados se incluyen aplicaciones epidemiológicas basadas en enfoques de modelos de nicho para el mapeo de enfermedades que pueden no generar diseños de estudio sólidos, produciendo inferencias incompletas o incorrectas (Escobar & Craft, 2016). Es más, en el caso de los modelos bioclimáticos que transfieren la idoneidad en el espacio y en el tiempo, se incurre en un inadecuado supuesto de sustitución de espacio por tiempo, porque estos métodos emplean modelos estáticos en entornos no estacionarios y los resultados de estos planteamientos pueden conducir a conclusiones erróneas (Damgaard, 2019).

Más allá de la perspectiva estrictamente espacial y sus escalas, la geografía humana proyecta un conjunto de propiedades cuyos efectos deberían ser tenidos en cuenta (Marston, Jones, & Woodward, 2005). Una de ellas es la movilidad de la población. Si se parte de la evidencia empírica de que el SARS CoV-2 ha sido movilizado por el ser humano a través de los sistemas de transporte, y que éstos están organizados en un contexto global de redes más o menos densas, conectadas y jerarquizadas de acuerdo con la importancia económica y demográfica de sus nodos —las ciudades, las regiones, los Estados— (Khanna, 2016), no sería sino la movilidad aquello que, preferentemente, está condicionando la distribución del nuevo coronavirus SARS CoV-2. Bajo esta perspectiva, los tiempos y climas involucrados en la geografía del SARS CoV-2, no serían sino el efecto de esta movilidad de la población, un aspecto que en parte también está relacionado con las dimensiones de la huella humana. Por supuesto, también es compatible pensar que movilidad y condiciones atmosféricas están operando como causas necesarias conjuntamente, y, de hecho, por pequeña que pudiera ser la magnitud del efecto del tiempo y el clima, si lo tienen, como de hecho se piensa, deben ser tenidos en cuenta.

Aceptando que pudiera existir una influencia de las condiciones atmosféricas, cuya señal está degradada por los motivos anteriormente señalados, existen otros elementos que también distorsionan la validez de los modelos estadísticos y modelos basados en envolturas bioclimáticas. Uno de ellos constituye el basamento de todas las investigaciones, de todos aquellos datos que alimentan las observaciones y los modelos, a saber: los investigadores están operando con los casos detectados de la COVID-19 (dentro del cuerpo humano), no con registros procedentes de un muestreo sistemático o aleatorio de puntos en el espacio y en el tiempo a la búsqueda del SARS CoV-2 en espacios exteriores y, por ello, influenciados por las condiciones atmosféricas. Consecuentemente, en el mejor de los casos, sólo se conoce una aproximación —puede que muy distante o sesgada— a la prevalencia de la COVID-19 dentro de una población determinada, y partir de ahí se infiere la presencia del SARS CoV-2 en el entorno. Y esta circunstancia está condicionada, además, por el nivel de desarrollo y la eficacia de los servicios e intervenciones de salud pública de los Estados, esto es, la geografía de la salud (Olivera, 1993). Incluso en los países con los mejores sistemas de salud, se ha demostrado que las curvas epidémicas de los casos notificados no siempre reflejan la verdadera tasa de crecimiento epidémico, debido a la variaciones en el número y naturaleza de las pruebas de detección de la COVID-19, por lo que estas curvas epidémicas suelen estar influenciadas por la capacidad para acometer pruebas de diagnóstico durante la fase temprana de la epidemia (Omori, Mizumoto, & Chowell, 2020).

Por último, se pretende llamar la atención sobre dos aspectos cruciales. El primero de ellos es la necesidad de una definición clara y uniforme de la noción de riesgo, así como un marco metodológico

unificado para cuantificarlo. La cuantificación del riesgo de transmisión de enfermedades es en efecto un aspecto decisivo para la asignación estratégica de recursos para la salud pública (Johnson, Escobar, & Zambrana-Torrel, 2019). El segundo de ellos tiene que ver con el tratamiento, la aceptación y la difusión de los resultados de investigación. En este sentido, por un lado, se ha detectado una degradación de los estándares mínimos exigibles en la aplicación del método científico en muchos de los trabajos revisados sobre la influencia de tiempo y clima en la distribución del SARS CoV-2, y no sólo en los trabajos publicados en repositorios de preimpresión, también en artículos científicos revisados por pares. Por otro lado, está la difusión masiva —en medios institucionales y medios de comunicación— de resultados de investigaciones que carecen de la evidencia suficiente que requiere el método científico y la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

5. Conclusiones

Hasta donde sabemos, éste es el primer artículo de revisión de la literatura científica —en clave biogeográfica— sobre el efecto del tiempo atmosférico y el clima sobre la distribución del nuevo coronavirus SARS CoV-2. En el análisis crítico, se ha enfatizado la perspectiva biogeográfica, por entender que puede ayudar a comprender el alcance global del problema, así como las limitaciones metodológicas de los estudios publicados en los que la dimensión espacial y temporal es significativa.

En relación con las hipótesis iniciales, y de acuerdo con los trabajos revisados, parece claro que existe una dependencia espacial y temporal en la distribución global del patógeno, que el ser humano ha sido el vector fundamental de propagación de la COVID-19 y que la distribución global del SARS CoV-2 está condicionada por el mapa de la movilidad de la población y la conectividad geográfica. Por otro lado, de acuerdo con la mayor parte de los autores, podría aceptarse que los factores ambientales pueden estar influyendo en la propagación del nuevo coronavirus.

En relación con los factores ambientales, parece existir un consenso sobre la influencia de las condiciones atmosféricas en la distribución del SARS CoV-2 y la COVID-19, aunque buena parte de las investigaciones basadas en datos observacionales no han conseguido aislar de forma fehaciente el efecto de las mismas. En este sentido, se apunta que las condiciones idóneas para el SARS CoV-2 se relacionan con un ambiente fresco y seco, en el contexto de un clima mesotérmico y que ello podría imprimir una componente estacional a la pandemia. Es necesario insistir en que el SARS CoV-2 se encuentra en una fase de propagación activa y, por tanto, resulta claramente precipitado, por no decir incorrecto, asumir la hipótesis de que su distribución actual está en pseudoequilibrio con el clima. En consecuencia, tanto los modelos que asuman estas hipótesis de equilibrio como los que hayan sido calibrados con datos faltos de una cobertura sistemática en el espacio y en el tiempo y, además, estén concebidos para proyectar globalmente la variación de la idoneidad climática del SARS CoV-2, deben ser puestos en cuarentena, en lo que a evidencia científica consistente se refiere. Cosa diferente es que suministren indicios y patrones útiles para la generación y discusión de hipótesis susceptibles de ser contrastadas a través de aproximaciones metodológicamente rigurosas.

Parece claro que, en una fase de propagación activa de la COVID-19 son los modelos epidemiológicos los que, a efectos prácticos, deben ser tenidos en cuenta. Desde una perspectiva biogeográfica, los modelos de envolturas bioclimáticas pueden llegar a aportar información relevante siempre y cuando se verifiquen sus premisas y se apliquen correctamente en sus aspectos conceptuales, técnicos y operativos. Y, en todos los modelos cuyas predicciones se proyecten en el espacio y/o en el tiempo, hay una premisa fundamental que debe cumplirse en todo caso: la calidad y suficiencia de los datos espacialmente y/o temporalmente referenciados de partida.

La mayor parte de las investigaciones revisadas adolecen de la inmediatez de los datos disponibles y de una aplicación de métodos de calibración y evaluación no adecuados a la naturaleza del problema, por lo que generan numerosas incógnitas relacionadas con la prevalencia real de la enfermedad, los modos de transmisión del virus, la evolución y mutación del mismo o los mecanismos de contagio directos e indirectos, aspectos que deben ser aclarados por los especialistas.

Futuras líneas de investigación tendrían que despejar estos interrogantes y, en relación con los efectos de las condiciones atmosféricas, estudiar primero y en condiciones controladas el efecto de sus principales elementos (temperatura, humedad) y su importancia en el contexto de los mecanismos de contagio que producen la propagación del virus y la enfermedad. Finalmente, no cabe duda de que la perspectiva biogeográfica debe implementarse ensamblando los componentes que interaccionan en su dominio y que influyen tanto en los modelos bioclimáticos como en los modelos epidemiológicos.

Financiación

Esta investigación no ha contado con ningún tipo de financiación específica, pública o privada.

Declaración responsable

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo.

Anexo

Tabla 1. Resumen de las investigaciones publicadas sobre la influencia de tiempo y clima en la propagación del SARS CoV-2

Referencia	Cobertura	Contribución principal
AL-Rousan & Al-Najjar (2020) Primera versión publicada:* 13/02/2020	China (provincias)	Efecto muy significativo del clima (radiación solar y temperatura) en la propagación del coronavirus en la mayoría de las provincias chinas.
Alvarez & Meraz (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020	China (Wuhan)	Correlación significativa y negativa entre temperatura y número de casos diarios. Las correlaciones máximas presentan un desfase (<i>lag</i>) de 6 días.
Araújo & Naimi (2020) Primera versión publicada: 16/03/2020	Global	Brotos preferentemente agrupados en áreas relativamente frescas y secas. Si se mantienen las tendencias observadas, y a través de la calibración de modelos de envolturas bioclimáticas, se proyectan brotes estacionales y asincrónicos a nivel mundial.
Baker, Yang Vecchi, Metcalf, & Grenfell (2020) Primera versión publicada: 07/04/2020	Global (ciudades) & Estados Unidos (regional)	Aunque las variaciones en la humedad puedan ser importantes en brotes endémicos, durante la etapa pandémica del SARS-CoV-2, el clima sólo puede influir en cambios modestos en el tamaño y la duración de la pandemia.
Bannister-Tyrrell, Meyer, Faverjon, & Cameron (2020) Primera versión publicada: 20/03/2020	Global	Puede haber una variabilidad estacional en la transmisión del SARS-CoV-2, pero la temperatura explica una cantidad relativamente modesta de la variación total en la incidencia de COVID-19.
Bariotakis, Sourvinos, Castanas, & Pirintsos (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020	Global	De acuerdo con modelos de envolturas bioclimáticas, se proyecta un escenario con brotes globales estacionales asincrónicos, y se sugiere el uso de estos modelos bioclimáticos en el marco de las políticas de contención.
Bashir et al. (2020) Primera versión publicada: 20/04/2020	Estados Unidos (Nueva York)	Estudio exploratorio de carácter local, en el que se evidencia que la temperatura promedio, la temperatura mínima y la calidad del aire presentan una asociación significativa con la incidencia de COVID-19.
Bhattacharjee (2020) Primera versión publicada: 25/03/2020	China & Italia (ciudades)	La influencia de los factores ambientales (temperatura, humedad, viento) en la incidencia de COVID-19 no es importante, ni existen evidencias claras que permitan sostener que el nuevo coronavirus pueda volverse inactivo durante el verano.
Brassey, Heneghan, Mahtani, & Aronson (2020) Primera versión publicada: 22/03/2020	Global (revisión)	El tiempo frío y seco parece propiciar la propagación del SARS CoV-2 a través de dos mecanismos: 1) la estabilidad del virus; 2) el efecto en el huésped. Sin embargo, el efecto del tiempo atmosférico en la transmisión del virus es mínimo y todas las estimaciones están sujetas a sesgos significativos.

<p>Briz & Serrano (2020) Primera versión publicada: 22/04/2020</p>	<p>España (provincias)</p>	<p>Análisis espacio-temporal del efecto de la temperatura diaria (media, mínima y máxima) sobre el número acumulado de casos de COVID-19. En los rangos térmicos estudiados en la fase temprana de la pandemia, no se encuentran evidencias que sugieran que temperaturas más cálidas puedan propiciar una reducción de los casos.</p>
<p>Bu et al. (2020) Primera versión publicada: 18/02/2020</p>	<p>China</p>	<p>Las condiciones ambientales favorables para la supervivencia y propagación del virus son: una temperatura entre 13 y 24°C, una humedad relativa entre 50 y 80%, y una precipitación mensual inferior 30 mm. Temperaturas superiores a 24 °C pueden reducir el progreso de la epidemia.</p>
<p>Bukhari & Jameel (2020) Primera versión publicada: 19/03/2020</p>	<p>Global (países)</p>	<p>Entre enero y marzo de 2020, para cada período de 10 días, el máximo número de casos nuevos de COVID-19 se ha producido en regiones con una temperatura media entre 4 a 10°C y una humedad absoluta entre 3 a 9 g/ m³. En regiones con una temperatura >17°C y una humedad absoluta >9 g/m³, el número de casos es claramente menor.</p>
<p>Chen et al. (2020) Primera versión publicada: 20/03/2020</p>	<p>Global (ciudades)</p>	<p>Se desarrolla un modelo meteorológico (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento) que predice globalmente el brote con una alta correlación ($r^2 > 0,6$) a corto plazo (12 días).</p>
<p>Chin et al. (2020) Primera versión publicada: 18/03/2020 (esta fecha se refiere a la primera preimpresión)</p>	<p>Diseño experimental</p>	<p>Se demuestra que, en condiciones controladas, el virus es muy estable a 4°C durante un periodo prolongado y sensible al calor, inactivándose en 5 minutos a 70 °C.</p>
<p>Ficetola & Rubolini (2020) Primera versión publicada: 27/03/2020</p>	<p>Global</p>	<p>Entre enero y marzo de 2020, las tasas de crecimiento de COVID-19 alcanzaron su punto máximo en las regiones templadas del hemisferio norte con una temperatura media de ~5°C y una humedad específica de 4-6 g/m³. Encuentran una relación significativa con el clima local y sugieren la posibilidad de una variación estacional en el patrón espacial de los brotes de COVID-19.</p>
<p>Gupta (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020</p>	<p>China (provincias)</p>	<p>Detectan un efecto de la temperatura sobre la propagación de la COVID-19, pero en un escenario de confinamiento y distanciamiento social. En promedio, por encima de 5°C de temperatura ambiental, el aumento de cada grado centígrado se asocia con una reducción del 10% en la infecciosidad.</p>
<p>Harbert, Cunningham, & Tessler (2020) Primera versión publicada: 10/04/2020</p>	<p>Estados Unidos (condados)</p>	<p>La densidad de población parece ser el factor principal en la propagación de la COVID-19, mientras que el clima no juega un papel central, aunque no puede descartarse su influencia. Se asume que el SARS-CoV-2 puede extenderse por todo el país.</p>
<p>Holtmann, Jones, Shah, & Holtmann (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020</p>	<p>Global (países)</p>	<p>Se encuentra una asociación entre la temperatura ambiente y el tiempo para diagnosticar 100 nuevos casos de COVID-19, después de que se hayan diagnosticado los 100 primeros. Las temperaturas ambientales bajas se asocian con una propagación más rápida de la COVID-19 en la fase temprana del brote endémico.</p>
<p>ISCI & AEMET (2020) Primera versión publicada: 14/04/2020</p>	<p>España (provincias)</p>	<p>Detectan una correlación negativa entre el índice de incidencia acumulado en los últimos 14 días —número de contagios nuevos diarios por cada 100.000 habitantes— y la temperatura promedio registrada en el mismo periodo.</p>

<p>Jüni et al. (2020) Primera versión publicada: 08/05/2020</p>	<p>Global (áreas geopolíticas)</p>	<p>Hasta el 20 de marzo de 2020, de acuerdo con una regresión ponderada de efectos aleatorios, se encuentra que el crecimiento epidémico de COVID-19 no se asoció con la latitud y la temperatura, pero sí —de forma muy débil— con la humedad relativa o absoluta. Por el contrario, las intervenciones de salud pública se asociaron fuertemente con un crecimiento epidémico reducido.</p>
<p>Ma et al. (2020) Primera versión publicada: 26/03/2020</p>	<p>China (Wuhan)</p>	<p>Desde el 20 de enero hasta el 29 de febrero de 2020 se observa que la mortalidad diaria por COVID-19 se asocia positivamente ($r > 0,44$) con la amplitud térmica diaria y negativamente ($r > -0,32$) con humedad absoluta.</p>
<p>Mecenas, Bastos, Vallinoto, & Normando(2020) Primera versión publicada: 17/04/2020</p>	<p>Global (revisión)</p>	<p>Se encuentra una gran homogeneidad en los resultados de los estudios publicados sobre el efecto de la temperatura y la humedad sobre la COVID-19, pero se considera que los resultados obtenidos en los trabajos revisados presentan sesgos entre moderados y altos, así como una baja certeza general de la evidencia científica sobre dicho efecto.</p>
<p>Neher, Dyrdak, Druelle, Hodcroft, & Albert (2020) Primera versión publicada: 16/03/2020</p>	<p>Global</p>	<p>Las simulaciones de modelos epidemiológicos parametrizados para el SARS-CoV-2 muestran un pequeño pico de la pandemia a principios de 2020 en las regiones templadas del hemisferio norte y un pico más grande en el invierno 2020/2021. Aunque la incertidumbre es alta, se considera que las reducciones transitorias en la tasa de incidencia podrían deberse a una combinación de variación estacional y medidas de contención.</p>
<p>Notari (2020) Primera versión publicada: 27/03/2020</p>	<p>Global (países)</p>	<p>Se encuentra que, durante las primeras etapas de la fase pandémica, la tasa de crecimiento de la incidencia por COVID-19 disminuye con el aumento de la temperatura media, con un pico de transmisión máxima en regiones con una temperatura media de $7,7 \pm 3,6$ °C.</p>
<p>Oliveiros, Caramelo, Ferreira, & Caramelo (2020) Primera versión publicada: 08/03/2020</p>	<p>China (provincias)</p>	<p>Entre el 23 de enero y el 1 de marzo de 2020, la tasa de propagación de COVID-19 —medida en tiempo de duplicación— se correlaciona positivamente con la temperatura e inversamente con la humedad, aunque en el mejor modelo estas variables meteorológicas sólo explican el 18% de la variación.</p>
<p>O'Reilly et al. (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020</p>	<p>Global (países)</p>	<p>Hasta el 8 de abril de 2020, 180 países habían notificado transmisión local del SARS-CoV-2. Conjuntamente, estos países abarcan todas las zonas climáticas donde habita el ser humano.</p>
<p>Oto-Peralías (2020) Primera versión publicada: 24/04/2020</p>	<p>España (provincias)</p>	<p>Detecta una relación negativa y significativa entre la temperatura promedio durante los meses de febrero y marzo de 2020 y los casos de COVID-19 acumulados a 1 de abril de 2020. Sin embargo, comparando los datos entre la primera y segunda quincena de marzo, en las provincias en las que se produjo un mayor incremento de la temperatura media no se observó un menor incremento de casos confirmados.</p>
<p>Pacheco et al. (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020</p>	<p>Global (países)</p>	<p>A escala mundial, durante la fase exponencial de la pandemia, las conexiones globales (transporte aéreo) representan el mejor predictor de la tasa de crecimiento de COVID-19 en diferentes países. No se encontró un efecto significativo de las variables climáticas (temperatura y precipitación) en la fase exponencial de COVID-19. Si no se toman medidas de contención suficientes, se prevé una pandemia sincrónica global.</p>

<p>Poirier et al. (2020) Primera versión publicada: 12/03/2020</p>	<p>China (provincias y ciudades)</p>	<p>A dos escalas espaciales distintas, provincias y ciudades, se observa el mismo patrón: las variables ambientales (temperatura y humedad), por sí solas, no explican la variabilidad en las tasas de transmisión de la COVID-19, aunque cuando se analizaron los datos sin filtrado previo (eliminación de ruido), la temperatura mostró una relación negativa.</p>
<p>Sajadi et al. (2020) Primera versión publicada: 09/03/2020</p>	<p>Global</p>	<p>Se observó que la distribución de los principales brotes con propagación comunitaria se produjo a lo largo de una restringida franja de latitud (30° a 50° N), temperatura (5 a 11°C) y humedad absoluta (4-7 g/m³), un patrón consistente con el comportamiento de un virus respiratorio estacional.</p>
<p>Shi et al. (2020) Primera versión publicada: 24/03/2020</p>	<p>China (provincias)</p>	<p>Hasta el 29 de febrero de 2020, la mayor incidencia de COVID-19 se produce en áreas con una temperatura media cercana a los 10°C y una humedad absoluta de 7 g/m³.</p>
<p>Wang, Tang, Feng, & Lv (2020) Primera versión publicada: 10/03/2020</p>	<p>China (ciudades)</p>	<p>Se estudia el número básico de reproducción (R) para cada una de las 100 ciudades chinas con más de 40 casos usando los valores diarios del 21 al 23 de enero de 2020, y se encuentra que una alta temperatura y una alta humedad reducen significativamente la transmisión del virus.</p>
<p>Xie & Zhu (2020) Primera versión publicada: 30/03/2020</p>	<p>China (ciudades)</p>	<p>A través de un modelo calibrado con los datos diarios recabados, entre el 23 de enero y el 29 de febrero de 2020, en 122 ciudades, las curvas de exposición-respuesta sugieren que la relación entre la temperatura media y los casos confirmados por COVID-19 es aproximadamente lineal en el rango de < 3° C, pero se vuelve plana por encima de 3°C.</p>

*Nota: Dada la naturaleza emergente del fenómeno analizado y la existencia de series temporales muy cortas, se recomienda tener en cuenta la fecha de publicación de los trabajos revisados. Hay trabajos que se han publicado en sucesivas versiones e incluso han pasado de estar en formato de preimpresión a convertirse en artículos publicados con el sistema *peer review*. Entonces, la fecha de publicación se refiere siempre a la primera versión.

Elaboración propia

Referencias

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- AL-Rousan, N., & Al-Najjar, H. (2020). Nowcasting and Forecasting the Spreading of Novel Coronavirus 2019-nCoV and Its Association with Weather Variables in 30 Chinese Provinces: A Case Study. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3537084>
- Altamimi, A., & Ahmed, A. E. (2019). Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Journal of Infection and Public Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.11.011>
- Alvarez-Ramirez, J., & Meraz, M. (2020). Role of meteorological temperature and relative humidity in the January-February 2020 propagation of 2019-nCoV in Wuhan, China. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.19.20039164>
- Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C., & Garry, R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 89(1), 44–48. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
- Araújo, M. B., Anderson, R. P., Barbosa, A. M., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R., ... & Rahbek, C. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Nature Ecology and Evolution*, 5(1), eaat4858. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4858>

- Araújo, M. B., & Naimi, B. (2020). Spread of SARS-CoV-2 Coronavirus likely to be constrained by climate. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>
- Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93(7), 1527–1539. <https://doi.org/10.1890/11-1930.1>
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1–2), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005>
- Baker, R. E., Yang, W., Vecchi, G. A., Metcalf, C. J. E., & Grenfell, B. T. (2020). Susceptible supply limits the role of climate in the COVID-19 pandemic. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.03.20052787>
- Banks, N. C., Paini, D. R., Bayliss, K. L., & Hodda, M. (2015). The role of global trade and transport network topology in the human-mediated dispersal of alien species. *Ecology Letters*, 18(2), 188–199. <https://doi.org/10.1111/ele.12397>
- Bannister-Tyrrell, M., Meyer, A., Faverjon, C., & Cameron, A. (2020). Preliminary evidence that higher temperatures are associated with lower incidence of COVID-19, for cases reported globally up to 29th February 2020. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.18.20036731>
- Bariotakis, M., Sourvinos, G., Castanas, E., & Pirintzos, S. A. (2020). Climatic influences on the worldwide spread of SARS-CoV-2. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.19.20038158>
- Bashir, M. F., Ma, B., Bilal, Komal, B., Bashir, M. A., Tan, D., & Bashir, M. (2020). Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Science of The Total Environment*, 728, 138835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
- Bhattacharjee, V. (2020). Statistical investigation of relationship between spread of coronavirus disease (COVID-19) and environmental factors based on study of four mostly affected places of China and five mostly affected places of Italy. *Arxiv*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2003.11277>
- Brady, M. T., Evans, J., & Cuartas, J. (1990). Survival and disinfection of parainfluenza viruses on environmental surfaces. *American Journal of Infection Control*, 18(1), 18–23. [https://doi.org/10.1016/0196-6553\(90\)90206-8](https://doi.org/10.1016/0196-6553(90)90206-8)
- Brassey, J., Heneghan, C., Mahtani, K. R., & Aronson, J. K. (2020). COVID-19: Do weather conditions influence the transmission of the coronavirus (SARS-CoV-2)? *Oxford COVID-19 Evidence Service*. Recuperado de <https://www.cebm.net/do-weather-conditions-influence-the-transmission-of-the-coronavirus-sars-cov-2/>
- Briz-Redón, A., & Serrano-Aroca, Á. (2020). A spatio-temporal analysis for exploring the effect of temperature on COVID-19 early evolution in Spain. *Science of The Total Environment*, 728, 138811. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138811>
- Bu, J., Peng, D.-D., Xiao, H., Yue, Q., Han, Y., Lin, Y., ... & Chen, J. (2020). Analysis of meteorological conditions and prediction of epidemic trend of 2019-nCoV infection in 2020. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.02.13.20022715>
- Bukhari, Q., & Jameel, Y. (2020). Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3556998>
- Carlson, C. J., Chipperfield, J. D., Benito, B. M., Telford, R. J., & O'Hara, R. B. (2020). Species distribution models are inappropriate for COVID-19. *Nature Ecology & Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1212-8>
- Chan, K. H., Peiris, J. S. M., Lam, S. Y., Poon, L. L. M., Yuen, K. Y., & Seto, W. H. (2011). The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Advances in Virology*, 2011, 734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>
- Chen, B., Liang, H., Yuan, X., Hu, Y., Xu, M., & Zhao, Y. (2020). Roles of meteorological conditions in COVID-19 transmission on a worldwide scale. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.16.20037168>
- Chin, A., Chu, J., Perera, M., Hui, K., Yen, H., Chan, M., & Poon, L. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.15.20036673>

- Chipperfield, J. D., Benito, B. M., O'Hara, R. B., Telford, R. J., & Carlson, C. J. (2020). On the inadequacy of species distribution models for modelling the spread of SARS-CoV-2: response to Araújo and Naimi. *EcoEvoRxiv*. <https://doi.org/10.32942/osf.io/mr6pn>
- Damgaard, C. (2019). A Critique of the Space-for-Time Substitution Practice in Community Ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(5), 416–421. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.013>
- Díaz, J., García, R., López, C., Linares, C., Tobías, A., & Prieto, L. (2005). Mortality impact of extreme winter temperatures. *International Journal of Biometeorology*, 49(3), 179–183. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0224-4>
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., & Otero, A. (2002). Heat waves in Madrid 1986-1997: Effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s00420-001-0290-4>
- Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet*, 3099(20), 19–20. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- Dormann, C. M., McPherson, J. M., Araújo, M. B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., ... & Wilson, R. (2007). Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: A review. *Ecography*, 30(5), 609–628. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x>
- Elith, J. (2017). Predicting distributions of invasive species. En *Invasive Species: Risk Assessment and Management*. <https://doi.org/10.1017/9781139019606.006>
- Escobar, L. E., & Craft, M. E. (2016). Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1174. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01174>
- Ficetola, G. F., & Rubolini, D. (2020). Climate Affects Global Patterns of Covid-19 Early Outbreak. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fourcade, Y., Besnard, A. G., & Secondi, J. (2018). Paintings predict the distribution of species, or the challenge of selecting environmental predictors and evaluation statistics. *Global Ecology and Biogeography*, 27(2), 245–256. <https://doi.org/10.1111/geb.12684>
- Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. New York: Cambridge University Press.
- García, L. V. (2004). Escaping the Bonferroni iron claw in ecological studies. *Oikos*, 105(3), 657–663. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13046.x>
- Gil, A., & Olcina, J. (2017). *Tratado de Climatología*. Alicante: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Gregory, D., Johnston, R., Watts, M. J., & Whatmore, S. (2009). The Dictionary of Human Geography (5th Edition). En *The Dictionary of Human Geography* (p. 1052). West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. <https://doi.org/10.1017/9781139028271>
- Gupta, D. (2020). Effect of Ambient Temperature on COVID-19 Infection Rate. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3558470>
- Gutiérrez-Hernández, O. (2019). *Aproximación multiescalar al estudio biogeográfico de los impactos del cambio global en la ecorregión mediterránea. La Biogeografía en el Antropoceno* (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Gutiérrez-Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126. <https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- Hall, C. B., Douglas, R. G., & Geiman, J. M. (1980). Possible transmission by fomites of respiratory syncytial virus. *Journal of Infectious Diseases*, 141(1), 98–102. <https://doi.org/10.1093/infdis/141.1.98>
- Harbert, R., Cunningham, S. W., & Tessler, M. (2020). Spatial modeling cannot currently differentiate SARS-CoV-2 coronavirus and human distributions on the basis of climate in the United States. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.04.08.20057281>

- Holtmann, M., Jones, M., Shah, A., & Holtmann, G. (2020). Low ambient temperatures are associated with more rapid spread of COVID-19 in the early phase of the endemic. *Environmental Research*, 109625. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109625>
- Hui, D. S., Azhar, E. I., Madani, T. A., Ntoumi, F., Kock, R., Dar, O., ... & Petersen, E. (2020). The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health — The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *International Journal of Infectious Diseases*, 91, 264–266. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.009>
- ISCIII, & AEMET (2020). Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación del coronavirus y la COVID-19 en España. Recuperado de: <https://www.isciii.es/Noticias/Noticias/Paginas/Noticias/AcuerdoISCIIIAEMETEstudioTemperaturasCOVID19.aspx>
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., & Hortal, J. (2008). Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 14(6), 885–890. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00496.x>
- Johnson, E. E., Escobar, L. E., & Zambrana-Torrel, C. (2019). An Ecological Framework for Modeling the Geography of Disease Transmission. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(7), 655–668. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.03.004>
- Jüni, P., Rothenbühler, M., Bobos, P., Thorpe, K. E., da Costa, B. R., Fisman, D. N., ... & Gesink, D. (2020). Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: A prospective cohort study. *Canadian Medical Association Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1503/cmaj.200920>
- Kamel, M. N., & Geraghty, E. M. (2020). Geographical tracking and mapping of coronavirus disease COVID-19/severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic and associated events around the world: how 21st century GIS technologies are supporting the global fight against outbreaks and epidemics. *International Journal of Health Geographics*, 19(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s12942-020-00202-8>
- Khanna, P. (2016). *Connectography: Mapping the Future of Global Civilization*. Nueva York: Penguin Random House.
- Ksiazek, T. G., Erdman, D., Goldsmith, C. S., Zaki, S. R., Peret, T., Emery, S., ... & SARS Working Group (2003). A Novel Coronavirus Associated with Severe Acute Respiratory Syndrome. *New England Journal of Medicine*, 348(20), 1953–1966. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030781>
- Lai, M. M. C., & Cavanagh, D. (1997). The Molecular Biology of Coronaviruses. *Advances in virus research*, 48, 1–100. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(08\)60286-9](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(08)60286-9)
- Lam, T. T.-Y., Shum, M. H.-H., Zhu, H.-C., Tong, Y.-G., Ni, X.-B., Liao, Y.-S., ... & Guan, Y. (2020). Identifying SARS-CoV-2 related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>
- Lau, H., Khosrawipour, V., Kocbach, P., Mikolajczyk, A., Schubert, J., Bania, J., & Khosrawipour, T. (2020). The positive impact of lockdown in Wuhan on containing the COVID-19 outbreak in China. *Journal of Travel Medicine*, 001(714). <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa037>
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173–189.
- Li, X., Zai, J., Zhao, Q., Nie, Q., Li, Y., Foley, B. T., & Chaillon, A. (2020). Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 9(6), 602–611. <https://doi.org/10.1002/jmv.25731>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Hortal, J. (2010). The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*, 33(1), 103–114. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06039.x>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Lomolino, M. V., Riddle, B. A., & Whittaker, R. J. (2016). *Biogeography: Biological Diversity Across Space and Time*. Sunderland, Massachusetts: Oxford University Press.

- Luo, W., Majumder, M. S., Liu, D., Poirier, C., Mandl, K. D., Lipsitch, M., & Santillana, M. (2020). The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467>
- Ma, Y., Zhao, Y., Liu, J., He, X., Wang, B., ... & Luo, B. (2020). Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 724, 138226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138226>
- Marston, S. A., Jones, J. P., & Woodward, K. (2005). Human geography without scale. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30(4), 416–432. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2005.00180.x>
- Martinez-Alvarez, M., Jarde, A., Usuf, E., Brotherton, H., Bittaye, M., Samateh, A. L., ... & Roca, A. (2020). COVID-19 pandemic in west Africa. *The Lancet*, 8(5), e631–e632. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30123-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30123-6)
- Martínez-Carpio, P. A. (2003). Biometeorología y bioclimatología clínica: Fundamentos, aplicaciones clínicas y estado actual de estas ciencias. *Atención Primaria*, 32(5), 300–305. <https://doi.org/10.1157/13051599>
- Mecenas, P., Bastos, R., Vallinoto, A., & Normando, D. (2020). Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: A systematic review. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20064923>
- Miller, M. A., Viboud, C., Balinska, M., & Simonsen, L. (2009). The signature features of influenza pandemics - Implications for policy. *New England Journal of Medicine*, 360(25), 2595–2598. <https://doi.org/10.1056/NEJMp0903906>
- MITECO. (2020). Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación de la enfermedad COVID-19 y del virus SARS-CoV-2 en España. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/primeros-indicios-de-correlación-entre-variables-meteorológicas-y-propagación-de-la-enfermedad-covid-19-y-del-virus-sars-cov-2-en-españa/tcm:30-508652>
- Murray, K. A., Olivero, J., Roche, B., Tiedt, S., & Guégan, J. F. (2018). Pathogeography: leveraging the biogeography of human infectious diseases for global health management. *Ecography*, 41(9), 1411–1427. <https://doi.org/10.1111/ecog.03625>
- Murray, K. A., Preston, N., Allen, T., Zambrana-Torrelío, C., Hosseini, P. R., & Daszak, P. (2015). Global biogeography of human infectious diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(41), 12746–12751. <https://doi.org/10.1073/pnas.1507442112>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Neher, R. A., Dyrdak, R., Druelle, V., Hodcroft, E. B., & Albert, J. (2020). Potential impact of seasonal forcing on a SARS-CoV-2 pandemic. *Swiss Medical Weekly*, 150, w20224. <https://doi.org/10.4414/smw.2020.20224>
- Ng, O.-T., Marimuthu, K., Chia, P.-Y., Koh, V., Chiew, C. J., De Wang, L., ... & Lee, V. J. M. (2020). SARS-CoV-2 Infection among Travelers Returning from Wuhan, China. *New England Journal of Medicine*, 6, NEJMc2003100. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2003100>
- Notari, A. (2020). Temperature dependence of COVID-19 transmission. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.26.20044529>
- O'Reilly, K., Auzenbergs, M., Jafari, Y., Liu, Y., Flasche, S., & Lowe, R. (2020). Effective transmission across the globe: the role of climate in COVID-19 mitigation strategies. *CMMID Repository*, 3550308(20), 1–4. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30106-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30106-6)
- Oliveiros, B., Caramelo, L., Ferreira, N., & Caramelo, F. (2020). Role of temperature and humidity in the modulation of the doubling time of COVID-19 cases. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031872>
- Olivera, A. (1993). *Geografía de la Salud*. Madrid: Síntesis.
- Omori, R., Mizumoto, K., & Chowell, G. (2020). Changes in testing rates could mask the novel coronavirus disease (COVID-19) growth rate. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 116–118. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.021>
- Oto-Peralías, D. (2020). Regional correlations of COVID-19 in Spain. *OSF Preprints*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31219/osf.io/tjdgw>

- Otter, J. A., Donskey, C., Yezli, S., Douthwaite, S., Goldenberg, S. D., & Weber, D. J. (2016). Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: The possible role of dry surface contamination. *Journal of Hospital Infection*, 92(3), 235–250. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.027>
- Peiris, J. S. M., Lai, S. T., Poon, L. L. M., Guan, Y., Yam, L. Y. C., Lim, W., ... & Yuen, K. Y. (2003). Coronavirus as a possible cause of severe acute respiratory syndrome. *The Lancet*, 361(9366), 1319–1325. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13077-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13077-2)
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Pirtle, E. C., & Beran, G. W. (1991). Virus survival in the environment. *Revue Scientifique et Technique* (International Office of Epizootics), 10(3), 733–748. <https://doi.org/10.20506/rst.10.3.570>
- Poirier, C., Luo, W., Majumder, M. S., Liu, D., Mandl, K., Mooring, T., & Santillana, M. (2020). The Role of Environmental Factors on Transmission Rates of the COVID-19 Outbreak: An Initial Assessment in Two Spatial Scales. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3552677>
- Price, R. H. M., Graham, C., & Ramalingam, S. (2019). Association between viral seasonality and meteorological factors. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37481-y>
- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4), 349–361. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00143.x>
- Reeves, T., Samy, A. M., & Peterson, A. T. (2015). MERS-CoV geography and ecology in the Middle East: Analyses of reported camel exposures and a preliminary risk map. *BMC Research Notes*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1789-1>
- Sajadi, M. M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., & Amoroso, A. (2020). Temperature and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3550308>
- Sebastian, M. D., Holger, P. D., Annemarie, P. D., Kortenbusch, M., Jindrich, P. D., & Denisa, M. S. (2020). Correspondence Evidence of SARS-CoV-2 Infection in Returning Travelers from Wuhan, China. *The New England Journal of Medicine*. Recuperado de <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMc2001899?articleTools=true>
- Shaman, J., Goldstein, E., & Lipsitch, M. (2011). Absolute humidity and pandemic versus epidemic influenza. *American Journal of Epidemiology*, 173(2), 127–135. <https://doi.org/10.1093/aje/kwq347>
- Shi, P., Dong, Y., Yan, H., Li, X., Zhao, C., Liu, W., Xi, S. (2020). The impact of temperature and absolute humidity on the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - evidence from China. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.22.20038919>
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 437–441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Soberón, J., & Peterson, A. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Stadler, K., Masignani, V., Eickmann, M., Becker, S., Abrignani, S., Klenk, H. D., & Rappuoli, R. (2003). SARS — beginning to understand a new virus. *Nature Reviews Microbiology*, 1(3), 209–218. <https://doi.org/10.1038/nrmicro775>
- Tan, J., Mu, L., Huang, J., Yu, S., Chen, B., & Yin, J. (2005). An initial investigation of the association between the SARS outbreak and weather: With the view of the environmental temperature and its variation. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 59(3), 186–192. <https://doi.org/10.1136/jech.2004.020180>
- Tobler, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234–240.

- Pacheco, M. T., Mota, J. F., Matos Medina, A., Scalco, P., Terribile, L. C., Vilela, B., ... & Dobrovolski, R. (2020). Exponential phase of covid19 expansion is not driven by climate at global scale. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050773>
- Václavík, T., & Meentemeyer, R. K. (2012). Equilibrium or not? Modelling potential distribution of invasive species in different stages of invasion. *Diversity and Distributions*, 18(1), 73–83. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00854.x>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., & Munster, V. J. (2013). Stability of middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Eurosurveillance*, 18(38), 1–4. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., ... & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 82,1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., & Lv, W. (2020). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
- WHO (2020a). *Emergencies preparedness, response. Pneumonia of unknown origin – China. Disease outbreak news*. Recuperado de <https://www.who.int/csr/don/05-january-2020-pneumonia-of-unkown-cause-china/en/>
- WHO (2020b). *How are new infectious diseases named?.* Recuperado de [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)
- WHO (2020c). *Novel Coronavirus (COVID-19). Situation.* Recuperado de <https://experience.arcgis.com/experience/685d0ace521648f8a5beeeee1b9125cd>
- WHO (2020d). *Responding to community spread of COVID-19.* Interim guidance.
- Worby, C. J., Chaves, S. S., Wallinga, J., Lipsitch, M., Finelli, L., & Goldstein, E. (2015). On the relative role of different age groups in influenza epidemics. *Epidemics*, 13, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2015.04.003>
- Wu, D., Wu, T., Liu, Q., & Yang, Z. (2020). The SARS-CoV-2 outbreak: what we know. *International Journal of Infectious Diseases*, 94(2020), 44–48 . <https://doi.org/10.1016/j.IJID.2020.03.004>
- Xie, J., & Zhu, Y. (2020). Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment*, 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>
- Zhu, G., & Peterson, A. T. (2014). Potential geographic distribution of the novel avian-origin influenza A (H7N9) virus. *PLoS ONE*, 9(4), 2–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093390>

Cita bibliográfica: Ruiz-Rodríguez, F., González-Relaño, R., & Lucendo-Monedero, A.L. (2020). Comportamiento espacial del uso de las TIC en los hogares e individuos. Un análisis regional europeo. *Investigaciones Geográficas*, (73), 57-74. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.RRGRLM>

Comportamiento espacial del uso de las TIC en los hogares e individuos. Un análisis regional europeo

*Spatial behaviour of ICT use in households and individuals.
A European regional analysis*

Francisca Ruiz-Rodríguez^{1*}
Reyes González-Relaño²
Ángel Luis Lucendo-Monedero³

Resumen

Estudios recientes muestran la existencia de desigualdades espaciales en la dotación y uso de infraestructuras TIC de los hogares e individuos entre el norte, sur y este de Europa. Los estudios previos se han realizado a escala país o para ámbitos rurales-urbanos, sin analizar la existencia de patrones de distribución espacial. El objetivo es identificar patrones espaciales de uso de las TIC en hogares e individuos a nivel regional en Europa. La investigación se realiza con dos variables complejas: “Disponibilidad de acceso a internet y uso diario de comercio, banca y administración electrónica” o uso transaccional; y, “Uso de redes sociales por banda ancha” o uso relacional. Con 233 NUT 2 se analiza la: a) distribución y dispersión estadística del grado de variabilidad del uso de TIC; y, 2) autocorrelación espacial con SIG para identificar patrones espaciales mediante el cálculo de los índices globales de I de Moran y Getis-Ord, Anselin local de Moran y Getis-Ord G_i^* . Se obtiene como resultado que el uso relacional presenta valores similares entre las regiones europeas, mostrando una distribución territorial uniforme, donde la componente espacial no es un factor de igual magnitud que para la variable transaccional que dibuja un definido patrón espacial con gradiente noroeste-sureste.

Palabras clave: Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC); hogares e individuos; análisis espacial; uso transaccional y uso relacional; regiones europeas (NUT 2).

Abstract

Recent studies show the existence of spatial inequalities between northern, southern, and eastern Europe in the provision and use of ICT infrastructure by households and individuals. Previous studies have been carried out at national levels or for rural-urban areas without analysing the existence of spatial distribution patterns. The objective is to identify spatial patterns of ICT use in households and individuals at a regional level in Europe. The research is carried out with two complex variables: ‘availability of broadband and daily use for commerce, banking, and e-government’ or transactional use; and, ‘use of social networks by broadband’ or relational use. With 233 NUT 2, the following is analysed: a) distribution and statistical dispersion of the degree of variability of ICT use; and 2) spatial autocorrelation with GIS to identify spatial patterns by calculating Moran's I and Getis-Ord global indexes, Moran's local Anselin, and Getis-Ord G_i^* . The result is that the relational use shows similar values among European regions

1 Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/n 41004 Sevilla, España. fruiz@us.es. * Autora para correspondencia.

2 Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/n 41004 Sevilla, España. rgrelano@us.es

3 Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/n 41004 Sevilla, España. angeluis@us.es

with a uniform territorial distribution; and the spatial component is not a factor of equal magnitude for the transactional variable (which shows a spatial pattern featuring a northwest-southeast gradient).

Keywords: information and communication technologies (ICT); households and individuals; spatial analysis; transactional use and relational use; European regions (NUT 2).

1. Introducción

El desarrollo y difusión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)⁴ ha generado lo que se denomina sociedad digital, en la que la mayor parte de la población establece relaciones sociales, administrativas, laborales, de consumo, políticas, etc. a través de dispositivos y plataformas digitales. Sin embargo, a pesar de la creciente dotación de infraestructura y mayor disponibilidad y uso de las TIC (Barzilai-Nahon, 2006; Van Dijk, 2006; Vu, 2011) permanecen las desigualdades entre individuos y espacios (Witte & Mannon, 2010; Helsper, 2012). A estas diferencias entre individuos, empresas o territorios respecto a las oportunidades de acceso a las TIC y uso de internet para una amplia variedad de actividades se le denomina *brecha digital* (Van Deursen, Van Dijk & Peter, 2015; Gonçalves, Oliveira & Cruz-Jesus, 2018). Las diferencias vienen marcadas, en unos casos, porque muchos servicios digitales tienen un coste elevado y/o se ofrecen a través de dispositivos inteligentes, igualmente no accesibles para toda la población. En otros, los interfaces de usuario van dirigidos fundamentalmente a los nativos digitales, quedándose fuera aquellas generaciones que no les resulta fácil interactuar (Sáinz Peña, 2017).

De hecho, muchos autores hablan de un nuevo concepto, el de *desigualdad digital*, que hace alusión a las diferencias de uso por parte de los individuos, distinguiendo entre usos ventajosos de internet en la vida diaria, de aquellos que se centran en las redes sociales (Hargittai & Hinnant, 2008; Stern, Adams & Elsasser, 2009; De Marco, 2017). Por lo tanto, se pone de manifiesto la existencia de una tercera brecha digital relacionada con los usos avanzados de la red a través de la adopción de las recientes aplicaciones digitales (Van Deursen & Helsper, 2015; Ragnedda, 2017; Ragnedda & Kreitem, 2018). Este tercer nivel de análisis muestra las desigualdades en los beneficios obtenidos, en las implicaciones sociales y educativas, así como en los resultados tangibles derivados de las diferentes formas de uso de internet.

En este sentido, se debe tener en cuenta que, en la actualidad en Europa, se ha generalizado la conectividad a la red mediante banda ancha y dispositivos inteligentes (Scheerder, van Deursen & van Dijk, 2017; Sáinz Peña, 2017). Por lo que el desarrollo de la sociedad digital europea no es cuestión solo de acceso (infraestructuras) a las TIC o de la capacidad para utilizar internet, sino que viene condicionado por el uso que se haga de las TIC (Hargittai, 2010; Brandtzæg, Heim & Karahasanović, 2011). Así, estudios recientes han mostrado la existencia de desigualdades espaciales en el uso y dotación de infraestructura de las TIC de los hogares e individuos entre el norte y el sur de Europa (Billon, Ezcurra, & Lera-López, 2009; Tranos & Gillespie, 2009). Ante esta situación, las políticas comunitarias han abordado la problemática implementando la Agenda Digital Europea (European Commission, 2010; Vicente & López, 2011) con el objeto de reducir la brecha digital. Además, la Comisión Europea ha adoptado una Estrategia de Mercado Único Digital (European Commission, 2015) como una de sus 10 principales prioridades políticas. Dicha estrategia tiene 16 iniciativas que cubren tres grandes pilares: promover un mejor acceso en línea a bienes y servicios en toda Europa; diseñar un entorno óptimo para redes digitales y servicios a desarrollar; y asegurar que la economía y la industria europea aprovechen al máximo la economía digital como potencial motor del crecimiento.

Pero en la actualidad, cada país europeo implanta y gestiona la Agenda de manera diferente y con distintas velocidades lo que no contribuye a la cohesión espacial de la sociedad digital (Uljas, 2019). Por una parte, y como ejemplo de ello, los países nórdicos priorizan las aplicaciones de gobierno electrónico para que los ciudadanos y las empresas soliciten información, se relacionen con las autoridades públicas y requieran servicios públicos, lo que ha generado la implantación masiva de la banda ancha (Falch & Henten, 2018). Mientras que, por otro lado, otros países, especialmente del sureste de Europa, implementan políticas de desarrollo de la red de banda ancha previa a la diversificación de los contenidos y el uso de internet (Ragnedda & Kreitem, 2018).

⁴ Se entiende por TIC el conjunto de herramientas, habitualmente de naturaleza electrónica, utilizadas para la recogida, almacenamiento, tratamiento, difusión y transmisión de la información. Esto agrupa tanto a los dispositivos físicos (equipos informáticos, redes de telecomunicación, terminales, etc.) como el software o aplicaciones informáticas que funcionan sobre estos equipos (INE, 2017).

Así, las diferencias espaciales de brecha digital en hogares e individuos se han analizado fundamentalmente a escala país. Sin embargo, los estados no son homogéneos porque presentan grandes disparidades socioeconómicas a escala regional (Charron, Dijkstra & Lapuente, 2015; Beugelsdijk, Klasing & Milionis, 2019; Iammarino, Rodríguez-Pose & Storper, 2018), lo cual puede ocultar diferencias y similitudes de acceso y uso de TIC (Corrocher & Ordanini, 2002; Pick & Nishida, 2015). En este sentido, existe una literatura científica sobre brecha digital que se ha centrado en la identificación de los factores socioeconómicos e institucionales que explican los diferentes niveles de desarrollo de la sociedad digital de los países/áreas rurales-urbanas (Schlichter & Danylchenko, 2014; Novo-Corti & Barreiro-Gen, 2015). Y estudios más recientes han mostrado que la proximidad geográfica también puede influir en la difusión y la magnitud de la brecha digital y, por consiguiente, en las diferencias espaciales de la misma (Corrocher & Ordanini, 2002; Uljas, 2019; Lucendo-Monedero, Ruiz-Rodríguez & González-Relaño, 2019).

1.1. Antecedentes y estado de la cuestión

En la década de los años 80 comenzaban a estudiarse las diferencias en la dotación de infraestructuras de telecomunicaciones entre países. Concretamente, en 1984, organismos internacionales como la Unión Tecnológica Internacional (organismo adscrito a la ONU) pusieron de manifiesto la existencia de un importante desequilibrio tecnológico y de desarrollo digital entre los países avanzados y los países en desarrollo (ITU, 2003). Posteriormente, en la década los 90 del siglo XX las investigaciones se centraron en explicar las diferencias entre tener o no tener acceso a las TIC por parte de los ciudadanos (Yu, 2006; Contreras-Cabrera, 2012). Y ya a finales del siglo pasado se desarrollaron estudios sobre la dotación de infraestructura, la disponibilidad y asequibilidad de los ordenadores y el uso que se hacía de internet (Barzilai-Nahon, 2006; Van Dijk, 2006). Con ello se evidenciaban las desigualdades sociales que las tecnologías digitales producían, pero aún centrada en explicar las diferencias entre usar o no usar ordenadores e internet (Cruz-Jesus, Oliveira & Bacao, 2012).

Actualmente, se ha avanzado en el estudio del acceso y uso de las TIC analizándose desde diferentes niveles: los individuos-hogares, las empresas y los territorios. Por una parte, se ha profundizado en mayor medida en el nivel de individuos que distingue entre las personas que están dispuestas a integrar las TIC en su vida cotidiana y las que están a la zaga en el acceso y uso de nuevas tecnologías. Por otra parte, a nivel de empresa se observa un reducido número de investigaciones sobre la integración digital de las firmas en relación con la adopción y uso de TIC (Ruiz-Rodríguez, Lucendo-Monedero & González-Relaño, 2018).

Desde finales de la segunda década del siglo XXI, en la Unión Europea existe un uso generalizado de la banda ancha y de los dispositivos digitales (Scheeder *et al.*, 2017) convirtiéndose la banda ancha superrápida en una infraestructura básica y necesaria para el fomento del crecimiento económico y el desarrollo social (Broadband Commission, 2016). En consecuencia, la mayor parte de los individuos-hogares tiene una alta conexión a internet, por lo que la accesibilidad en sí misma a las TIC no genera brecha digital, sino desigualdad digital (De Marco, 2017). En este contexto, y en la actualidad, no sólo se estudia si la población tiene acceso a internet y otras tecnologías digitales, sino también qué usos se hacen de las TIC ya sean con fines comerciales o para la interacción con la administración. Estos estudios prestan especial atención a los grupos sin acceso digital que quedan regazados y pierden oportunidades de usos beneficiosos de la TIC para la vida diaria, tales como búsqueda de empleo o teletrabajo, acceso a servicios de salud, administración electrónica, etc. (Falch & Henten, 2017).

Más recientemente, las redes sociales han favorecido el uso de internet entre los individuos para la búsqueda de una mayor interacción social, la realización de actividades lúdicas y de ocio online (Van Deursen & Helsper, 2015). Todo ello, a su vez, se ve beneficiado por las facilidades que proporcionan el acceso generalizado a internet a través de los teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos (Van Deursen & Van Dijk, 2013). De hecho, los estudios realizados hasta el momento afirman que la población a título individual tiende a utilizar internet y las TIC de forma recreativa (Zillien & Hargittai, 2009; Pearce & Rice, 2013; Van Deursen & Van Dijk, 2013; Feijóo, Ramos, Armuña, Arenal & Gómez-Barroso, 2018), por encima de su uso para realizar servicios administrativos, técnicos y comerciales (Amichai-Hamburger & Ben-Artzi, 2003; Kalmus, Realo & Siibak, 2011). Lo cual indica la presencia de potenciales desigualdades digitales entre individuos, siendo aquellas personas con mayor nivel de estudios o que han socializado en edades tempranas con las TIC, quienes disfrutan con mayor facilidad de los beneficios que implica la búsqueda de información sobre temas de salud, comercio electrónico o la interacción digital con la administración pública (De Marco, 2017).

Por tanto, si hay diferencias entre individuos en el uso de las TIC, habría diferencias también entre territorios en base a sus propias características demográficas y socioeconómicas, en correlación con los ampliamente contrastados desequilibrios regionales en Europa a escala regional (Iammarino *et al.*, 2018). Por ello algunos autores se han centrado en conocer el alcance de las diferencias entre países o áreas geográficas (Schlichter & Danylchenko, 2014; Novo-Corti & Barreiro-Gen, 2015). Sin embargo, como señalan Otioma, Madureira & Martínez (2019), estos estudios se han desarrollado a niveles macroespaciales mediante indicadores que mayoritariamente analizan las desigualdades entre países, o entre espacios rurales y urbanos. Dichos indicadores, principalmente nacionales, han puesto de manifiesto la existencia de distintos niveles de implantación y uso de las TIC entre áreas geográficas.

A nivel mundial-global se identifica una disposición norte-sur; y entre los estados miembros de la Unión Europea (UE) se define un patrón espacial de brecha digital entre el norte, sur y este europeo (Corrocher & Ordanini, 2002; Billon *et al.*, 2009 y 2016; Cruz-Jesús *et al.*, 2012; Schlichter & Danylchenko, 2014; Moroz, 2017). Sin embargo, a escala regional europea (a nivel NUT 2) la mayor parte de los análisis que se realizan con la estadística de Eurostat (Digital Economy and Digital Society Statistics at Regional Level) no reflejan las interrelaciones complejas entre las diferentes variables de acceso y uso de TIC para esta escala, ya que se tiende a mostrar las diferencias regionales de forma univariante. Ello ha llevado, como afirman Lucendo-Monedero *et al.*, 2019, a obtener conclusiones o detectar patrones basados en variables simples que no reflejan la complejidad del fenómeno. Estos indicadores presentan una serie de limitaciones, entre ellas, una simplificación de las interrelaciones complejas entre las variables TIC (Vehovar, Sicherl, Hüsing & Dolnicar, 2006); la inadecuada selección de las variables relacionadas con las tecnologías TIC; o el peso aleatorio de cada uno de los componentes del indicador.

Por otra parte, como también indican Otioma *et al.* (2019), la mayor parte de la literatura sobre la medición y explicación del uso de las TIC se realiza en un espacio “abstracto”. En este sentido, algunos autores defienden la necesidad de incorporar aspectos espaciales en estos análisis. De hecho, varios estudios han demostrado la relación que se produce entre las características económicas de un determinado espacio geográfico y su capacidad para acceder a las TIC (Crang, Crosbie & Graham, 2006; Tranos & Gillespie, 2009; Graham, 2013; Pick & Nishida, 2015). Por otra, las investigaciones que han analizado la interconectividad en el ámbito urbano, dentro y entre diferentes ciudades, han detectado que la distancia geográfica entre cualquier punto determina su probabilidad de estar conectado (Tranos, 2012).

Así, además de los avances en el conocimiento de la tipología de usos de las TIC por parte de los individuos en las regiones europeas, resulta necesario saber si las diferencias y similitudes en los niveles de utilización de TIC entre diferentes territorios están relacionadas con la proximidad geográfica (Schlichter & Danylchenko, 2014; Novo-Corti & Barreiro-Gen, 2015). Bajo esta premisa, se han realizado algunos estudios sobre el uso de TIC mediante técnicas de análisis espacial (autocorrelación espacial) a escala nacional en Europa, Estados Unidos, Japón, China, entre otros (Grubestic & Murray, 2005; Van Dijk, 2006; Uljas, 2019). Todos ellos pusieron de manifiesto que el espacio geográfico, más concretamente, la proximidad geográfica resulta de gran importancia para explicar la difusión de los niveles de uso de la TIC y el espacio virtual. Por consiguiente, como apuntan Pick y Nishida (2015), un país con un nivel alto de uso de TIC podría influir sobre sus países vecinos para elevar sus niveles de uso digital.

1.2. Propósito y objetivo de investigación

En base a los antecedentes científicos, resulta relevante profundizar en el conocimiento del comportamiento espacial de los tipos de uso de las TIC por parte de los hogares e individuos de las regiones europeas, lo cual facilitará la comprensión de las desigualdades digitales desde una perspectiva regional. Tomando como punto de partida los argumentos expuestos anteriormente, se plantean las siguientes cuestiones: 1) ¿Existe diferente uso de las TIC en los hogares e individuos europeos?; 2) En caso de existir diferencias, ¿muestran algún patrón de distribución espacial en Europa?; y 3) ¿la proximidad geográfica es un factor a tener en cuenta en la difusión espacial de los usos de las TIC? Para dar respuesta a estas preguntas, el objetivo general del trabajo es identificar patrones espaciales de los usos de las TIC en hogares e individuos a nivel regional en Europa. Este objetivo conlleva: i) detectar los distintos tipos de uso de las TIC de las regiones europeas; y ii) conocer si los tipos de uso muestran patrones espaciales a nivel regional en Europa; iii) identificar si existen clústeres espaciales, verificando la relación entre los niveles similares de usos de las TIC de los hogares e individuos y la proximidad espacial (vecindad) de las regiones europeas.

De manera que en este artículo en primer lugar describe la metodología empleada para la identificación de la distribución espacial de los usos de las TIC de dichas regiones; a continuación, se aportan los

resultados y discusión de los análisis centrados en: la tipología de usos de TIC; y, la distribución espacial de estos usos identificando los patrones espaciales de regiones europeas en función de la distancia geográfica. Se finaliza con una conclusión de los resultados obtenidos y su puesta en valor para la literatura científica, para las políticas públicas sobre TIC, así como para la reducción de las desigualdades regionales. En este sentido, el análisis de los usos de las TIC y su distribución espacial aporta un mayor conocimiento del desarrollo y desigualdad digital de los hogares e individuos a escala regional en Europa en el marco de la disciplina geográfica. Esto puede ser además de utilidad para el diseño de políticas regionales que puedan contribuir a la reducción de las desigualdades espaciales preexistentes, teniendo en cuenta la espacialidad del fenómeno.

2. Metodología

2.1. Fuentes, variables utilizadas y unidad de análisis

Los datos que se han empleado en este trabajo proceden de un estudio previo (Lucendo-Monedero *et al.*, 2019) en el que se obtuvieron dos variables complejas a través del Análisis Factorial (Tabla A del Anexo) con 17 variables sobre la adopción y uso de las TIC por parte de los hogares e individuos de las regiones europeas (Tabla B del Anexo). La primera variable compleja se corresponde con el factor 1 y se denomina “Disponibilidad de acceso a internet y uso diario de comercio, banca y administración electrónica”. Y la segunda variable compleja la compone el factor 2 con el nombre “Uso de redes sociales por banda ancha”.

Las 17 variables iniciales proceden de la encuesta “Uso de las TIC en los hogares e individuos” (isoc_i) de Eurostat para el año 2017 (Tabla B del Anexo). Dichas variables proporcionan datos sobre los porcentajes de hogares —todos los hogares con al menos un miembro en el grupo de edad de 16 a 74 años—; y de individuos —personas de entre 16 y 74 años— que acceden y usan las TIC. El área espacial de referencia es el nivel NUT 2 de los 28 países del UE más República de Macedonia, Noruega, Islandia, Suiza y Turquía, excepto para Alemania, Grecia, Polonia, Reino Unido y Turquía que la unidad de análisis es el nivel NUT 1 por falta de datos a nivel NUT 2. En consecuencia, para llevar a cabo esta investigación se utilizó una base de datos con variables de uso de TIC en los hogares e individuos para 233 regiones europeas (183 NUT 2 y 50 NUT 1).

2.2. Análisis de la distribución estadística y espacial

Para el estudio de las diferencias y desigualdades en la adopción y uso de las TIC en las regiones europeas se lleva a cabo, en primer lugar, un análisis de la distribución estadística de las variables complejas anteriormente mencionadas, calculando los valores medios de porcentaje de hogares e individuos que usan TIC. Con los análisis de dispersión se analizan la distribución de los valores de las regiones europeas en función de su concentración en torno a las medidas centrales (media). De esta forma se calcula el grado de variabilidad de los valores de los usos de TIC entre regiones europeas; se destacan los valores extremos que inciden en los resultados medios; y se infiere si, en relación a la “Disponibilidad de acceso a internet y uso diario de comercio, banca y administración electrónica” y en el “Uso de redes sociales por banda ancha”, dichas regiones tienen: i) un comportamiento similar o no; y, ii) a qué distancia o grado de concentración se encuentra cada una de las regiones en relación con los valores medios europeos.

Igualmente se realiza un análisis de la distribución espacial de los factores (variables complejas) para estudiar las diferencias y desigualdades en el uso y adopción de las TIC en las regiones europeas. Mediante el software SIG ArcMap 10.3 se representan cartográficamente los valores de puntuaciones Z o desviaciones estándar de las variables complejas “Disponibilidad de acceso a internet y uso diario de comercio, banca y administración electrónica” y “Uso de redes sociales por banda ancha” de las distintas regiones europeas. Las puntuaciones Z son transformaciones de los valores de una variable original en un valor (puntuación) de una distribución normal con el propósito de analizar su distancia respecto a la media y, por tanto, se expresan en unidades de desviación estándar (desviaciones típicas respecto a la media). Las puntuaciones Z ayudan a enfatizar tanto los valores superiores como los que están por debajo de la media (dispersión), mostrando qué regiones europeas son superiores o inferiores al valor promedio. El análisis de ambos mapas permite conocer: i) la localización y distribución espacial de los valores de uso y el acceso a las TIC por parte de los hogares e individuos de las regiones europeas; y, ii) la existencia de posibles patrones espaciales, entiendo por patrón espacial la concentración geográfica de regiones europeas con valores similares ya sean altos o bajos en el uso y acceso a las TIC por parte de hogares e individuos.

2.3. Análisis de autocorrelación espacial

Los patrones espaciales suponen la presencia de autocorrelación espacial ya que son resultado de la existencia de una similitud entre lo que sucede en una región y sus vecinas, en base a la primera ley de la Geografía de Tobler (Tobler, 2004). El estudio de la autocorrelación espacial se aborda con los sistemas de información geográfica (SIG); y para ello se ha creado un SIG con el software ArcGis v10.3 de ESRI con la cobertura vectorial de la base de datos espacial GISCO NUT 2013 de Eurostat que contiene el shapefile de los NUT europeos. Con este SIG se ha procedido a analizar si existen patrones espaciales de cada una de las dos variables complejas objeto de este estudio mediante el cálculo de los siguientes índices de autocorrelación espacial: i) Los índices I global de Moran (Moran, 1948) y general de Getis-Ord permiten conocer si existe autocorrelación espacial y si ésta conformará clústeres espaciales, respectivamente. En este sentido, cuando el Índice de Moran es positivo existe agregación ya que las regiones con valores altos/bajos se agrupan cerca de otras con valores altos/bajos; si es negativo los valores se dispersan y las regiones con valores altos tienden a estar cerca de otras con valores bajos. Por su parte, si el índice general de Getis-Ord es positivo indicará que existen clústeres espaciales de regiones con valores altos; mientras que si es negativo serán clústeres espaciales de regiones con valores bajos. Los valores muy próximos a 0 en ambos índices muestran un patrón de distribución aleatorio de las regiones y, por tanto, no existe una agrupación evidente de regiones formando clústeres espaciales (o si se agrupan valores altos y bajos, estos tienden a anularse entre sí). ii) Los índices locales de Anselin local de Moran y de Getis-Ord (G_i^*) que muestran el grado de dependencia individual de cada región respecto de las demás y visualizan los clústeres espaciales existentes mediante la elaboración de mapas.

En concreto, se han calculado: a) El índice I Anselin local de Moran (LISA o análisis de clúster y de valor atípico) que identifica los clústeres o agrupamientos espaciales de regiones que poseen valores similares y los valores atípicos espaciales. Este índice calcula un valor que representa el tipo de clúster para cada entidad: alto-alto (HH), bajo bajo (LL), alto-bajo (HL) y bajo-alto (LH), además los no significativos. Y, b) El I de Getis-Ord (G_i^*) o análisis de puntos calientes optimizado que permiten visualizar el agrupamiento de regiones con valores altos hot spot o puntos calientes o bajos (cold spot o puntos fríos) estadísticamente significativos. Para que una región con un valor alto/bajo sea estadísticamente significativa debe estar rodeada por otras entidades con valores altos/bajos. Las regiones reciben un valor ($\pm 0, 1, 2$ y 3) en función del nivel de confianza estadística (que corresponden a niveles de fiabilidad del 0%, 90%, 95% y 99%, respectivamente) dando lugar a clústeres espaciales.

Para medir la vecindad entre regiones se ha utilizado el principio del vecino más cercano, es decir, aquellas regiones que comparten “solo bordes de contigüidad” (para el cálculo del Índice local de Moran o LISA); y el de banda de distancia fija o esfera de influencia (para el cálculo del G_i^* de Getis-Ord), considerando que la distancia umbral ideal es la obtenida mediante la herramienta autocorrelación espacial incremental del software ArcGis. De esta forma se garantiza que todas las regiones tendrán al menos un vecino (ESRI, 2019). El valor de distancia umbral utilizada viene definida por la distancia euclídea ya que es la más adecuada porque: a) las variables empleadas son continuas; y, b) el efecto de contagio disminuye con la distancia (efecto inverso o impedancia) ya que las regiones afectan/influyen en todas las demás, pero cuanto más lejos estén, el efecto será menor.

3. Resultados

3.1. Usos de las TIC en las regiones europeas

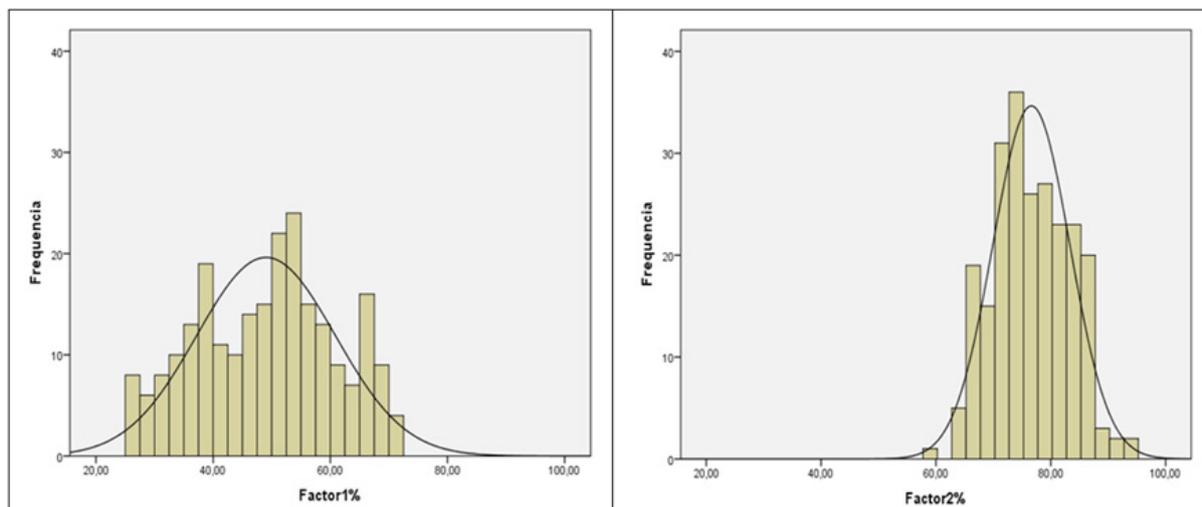
Como se apuntó anteriormente, investigaciones previas han definido un modelo de acceso y uso de las TIC de los hogares e individuos de las regiones europeas compuesto por dos variables complejas (Lucendo-Monedero *et al.*, 2019) obtenidas mediante el análisis factorial. Estas variables son:

- a) “Disponibilidad de acceso a internet y uso diario de comercio, banca y administración electrónica” —en adelante “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica”—. Esta primera variable significa que el uso del internet de los hogares e individuos está asociado al manejo diario de internet para el comercio electrónico, banca electrónica y para relacionarse con los entes públicos a través de administración electrónica ya sea desde los propios hogares o fuera de éstos.
- b) “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha”. Esta variable muestra que el empleo de redes sociales por parte de los hogares e individuos en las regiones europeas está asociado a los hogares dotados con acceso a internet de banda ancha.

Dado que la conexión a internet es el componente más importante y común en ambas variables, las desigualdades de acceso y uso de las TIC en los hogares e individuos de las regiones europeas no viene determinada por la conectividad, sino por el tipo de uso que se hace de las TIC. En este sentido, la variable compleja “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” hace referencia a los usos transaccionales de las TIC que conllevan transacciones económicas y administrativas; mientras que la variable “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha” se corresponde con los usos de TIC de tipo relacional o social.

El análisis exploratorio de la distribución estadística de los datos medios sobre el acceso y uso de TIC en los hogares e individuos (Tabla 1 y Figura 1) permite apreciar diferencias en el comportamiento de las regiones europeas entre ambas variables. En primer lugar, el “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha” está presente en tres cuartas partes de las viviendas e individuos de las regiones europeas (en el 76,6% de media), mientras que el “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” sólo en la mitad de ellos (49% de media). Igualmente se aprecia que las disparidades entre regiones son mayores en la variable “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica”, ya que presenta mayores desviaciones típicas (cerca del 12% de hogares e individuos) y mayor rango/amplitud de valores (46% de hogares e individuos entre la región con mayor y menor porcentaje). Por el contrario, la variabilidad entre regiones europeas es menor en relación al “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha” (con un 6,7% de desviación típica y un rango amplitud del 34,5% de hogares e individuos).

Figura 1. Histogramas de las variables complejas (en % medio de hogares e individuos).



Elaboración propia

Tabla 1. Análisis estadístico de las variables complejas (en % medio de hogares e individuos)

ESTADÍSTICOS	FACTOR 1	FACTOR 2
	%	%
Media	49,0	76,6
Desviación típica	11,8	6,7
Asimetría	-0,1	0,1
Curtosis	-0,9	-0,6
Mínimo	25,4	59,0
Mediana (50%)	50,2	76,5
Máximo	71,5	93,5
Rango	46,1	34,5

Elaboración propia

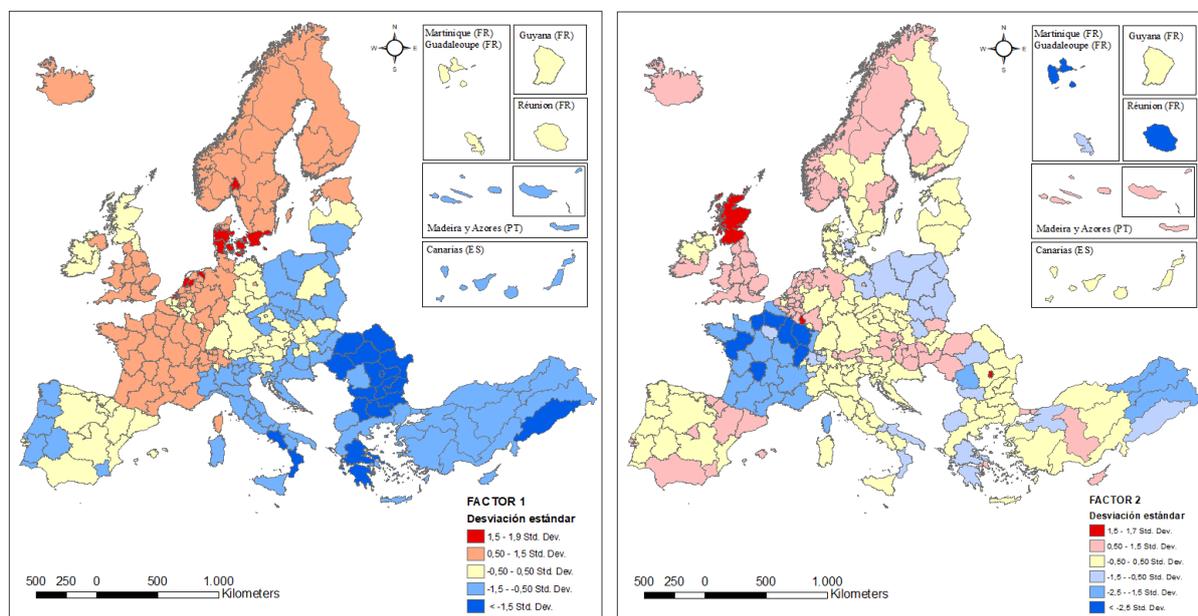
3.2. Patrones de distribución espacial del uso de las TIC en los hogares e individuos

El análisis estadístico y cartográfico muestra un comportamiento diferenciado de las regiones según el uso de las TIC por los hogares e individuos para cada una de las variables complejas (Figura 2). Para

el factor 1, el mapa refleja un claro gradiente de distribución espacial formado por regiones con elevada similitud en los valores de uso cotidiano de TIC. Este patrón espacial dibuja una indiscutible brecha digital o desigualdad digital a nivel espacial norte-sureste: desde las regiones con valores altos o muy altos —las nórdicas de Dinamarca, Noruega, Suiza y Países Bajos, Francia, Alemania occidental y mitad sur del Reino Unido— hasta regiones con valores bajos o muy bajos de dicho factor —en el sur y este de Europa formado por regiones italianas, turcas, polacas, eslovenas, croatas, portuguesas y, sobre todo, las griegas, rumanas y búlgaras—.

Por su parte, los valores del factor 2 de las regiones europeas muestran un patrón de distribución más aleatorio en el espacio (Figura 2). Los valores altos de uso de redes sociales se dan tanto en regiones del norte —Reino Unido, Países Bajos, Bélgica, Islandia, Noruega y Suecia—, como en el corredor central europeo —Austria, Hungría y Rumanía— y en la periferia occidental —regiones de España e Irlanda—, incluso en regiones más orientales —Turquía y Chipre—. Mientras que los valores más bajos de uso de redes sociales se distribuyen por las regiones de Francia, Polonia, Hungría, Grecia y en las más orientales de Turquía.

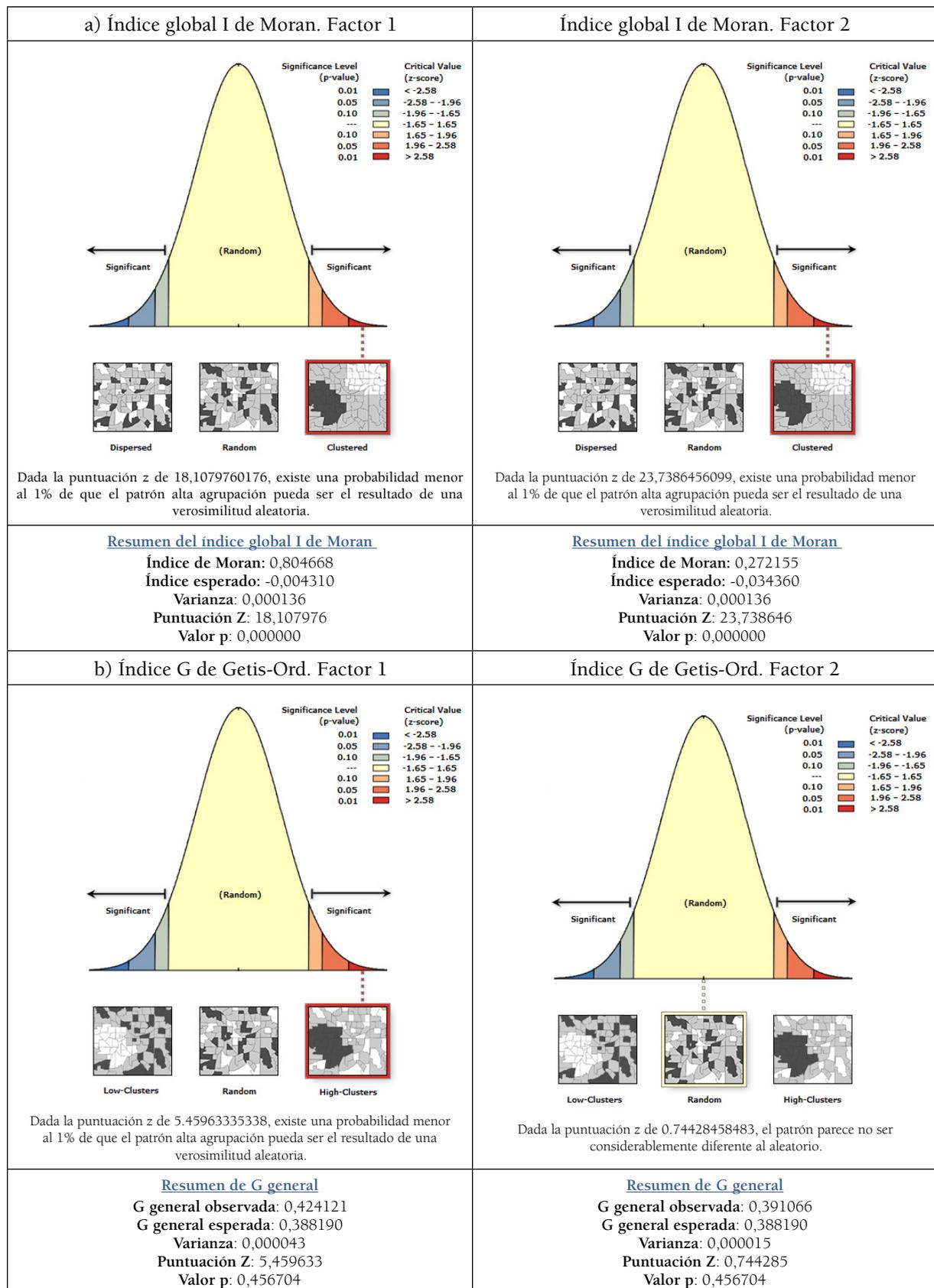
Figura 2. Distribución de los valores de uso y acceso a las TIC en las regiones europeas para los dos factores (según puntuaciones Z o desviaciones típicas)



Elaboración propia

Dichos patrones de distribución espacial evidencian una posible presencia de autocorrelación espacial. El cálculo del índice de autocorrelación espacial global I de Moran para ambos factores (Figura 3a) confirman que existe un patrón de distribución espacial agregado puesto que el valor del índice de Moran es positivo, sobre todo en relación al factor 1 (con un valor de 0,804) y, en menor medida, para el factor 2 (con un valor de 0,272). Por tanto, se puede afirmar que las regiones europeas muestran un patrón espacial de distribución tanto en relación al “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” como al “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha”. Sin embargo, los índices generales de Getis-Ord (Figura 3b) no son coincidentes entre sí. Así, mientras para el factor 1 el valor del índice G es positivo (0,424); para el factor 2 el resultado es próximo a 0 (0,744). Ello significa que para el factor 1 existe una concentración espacial de regiones europeas con valores altos de uso y acceso a las TIC en los hogares e individuos, (y al contrario), la cual dará lugar a la formación de clústeres espaciales. Por su parte, para el factor 2, la agrupación espacial de regiones europeas con valores altos y bajos da lugar a clústeres espaciales más pequeños y poco significativos. Ello se corrobora con el resultado de los índices locales de autocorrelación espacial, tanto el Anselin local de Moran (LISA) como el G_i^* de Getis-Ord (Figuras 4 y 5). Ambas verifican la existencia de clústeres espaciales de regiones europeas según el tipo de uso y acceso a las TIC en los hogares e individuos pero con distinto tamaño e importancia según se refiera a un factor u otro.

Figura 3. Índice global I de Moran y Getis-Ord para los dos factores



Elaboración propia

En relación al “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” (factor 1), el índice LISA (Figura 4) muestra la presencia de cuatro grandes clústeres espaciales que configuran un patrón o gradiente noroeste-sureste de mayor a menor nivel de uso de TIC:

- i) Un clúster de regiones Alto-Alto (HH) formado por regiones con valores altos de “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” formado por regiones del norte y centro de Europa (92 NUT, el 40% de los mismos). Son las regiones escandinavas de Finlandia, Noruega, Suecia, Dinamarca, Estonia, Holanda, Reino Unido, Francia y Suiza, además de algunos NUT de Alemania occidental y Bélgica.
- ii) Un clúster de regiones Bajo-Bajo (LL) compuesto por las regiones europeas con los niveles más bajos de “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” (el 22%, 50 NUT). Esta región se concentra en el este y sudeste europeo, agrupando todos los NUT de Croacia, Grecia, Macedonia, Rumanía, Bulgaria, Chipre, y Turquía más regiones del centro y sur de Italia y Hungría, y algunas regiones del este de Polonia.
- iii) Un clúster de regiones Bajo-Alto (LH) que incluye 9 NUT (el 4% del total) con valores atípicos (regiones con valores bajo rodeadas por regiones con valores altos) localizadas en Polonia, la República Checa, Bélgica y norte de Italia.
- iv) El clúster formado por las regiones cuyo valor del índice LISA no ha resultado significativo (por tener valores en torno a la media) y que está formado por las regiones europeas centrales que se localizan entre los clústeres HH y LL. Se trata de un eje que va desde las NUT de Portugal y España, por centro-Europa hasta los países bálticos (Estonia, Letonia, Lituania).

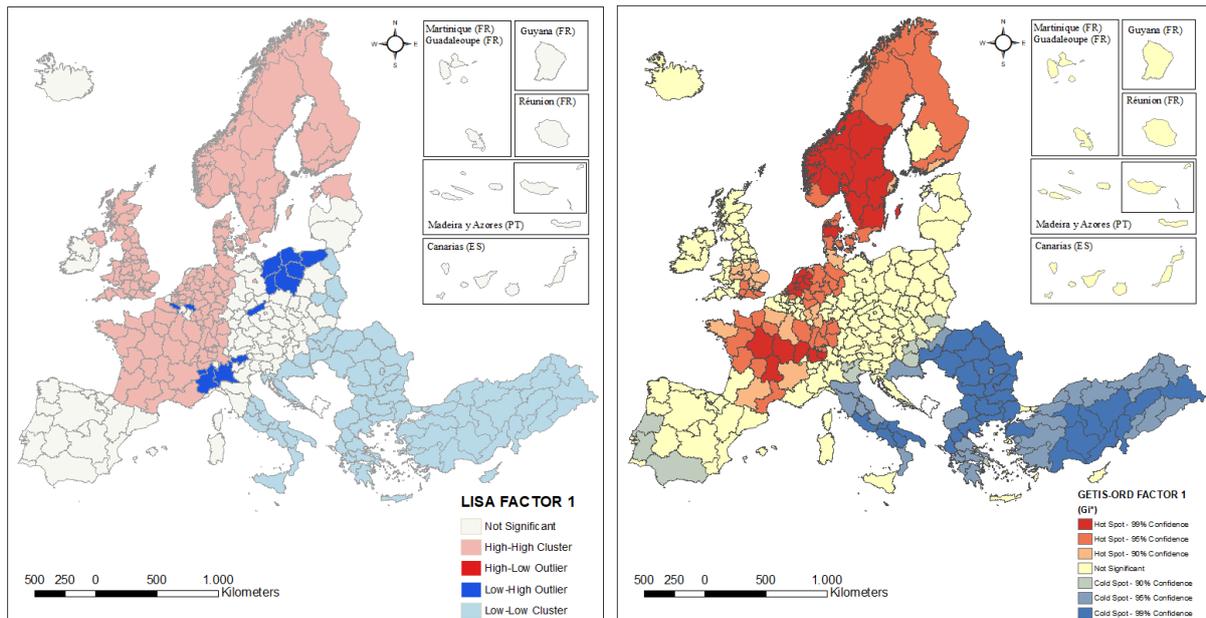
Por su parte, los resultados del índice Getis-Ord (G_i^*) para el factor 1 indican un patrón de distribución espacial similar al índice LISA (Figura 4). En efecto, se identifican una serie de puntos calientes —concentraciones de NUT con valores altos rodeadas de otras regiones con valores altos— y fríos —concentraciones de NUT con valores bajos rodeadas de otras regiones con valores bajos— dibujando un gradiente noroeste-sureste de uso diario de comercio, banca y administración electrónica. La concentración de regiones europeas con niveles altos en “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica”, con una certeza estadística superior al 95% (puntos calientes), se produce a lo largo de un corredor territorial que va desde el centro-sur de Francia y Reino Unido hasta el centro de Noruega y Suecia pasando por Holanda, oeste de Alemania y Dinamarca. Mientras que los clústeres de regiones europeas con menor nivel de “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” están formados por los NUT del este de Europa, especialmente los de Rumanía, Bulgaria, sur de Italia, norte de Grecia y el este de Turquía. Por último, y sin significación estadística en el índice Getis-Ord (G_i^*), se detecta un clúster suroeste-noreste compuesto por regiones de España, norte de Italia, otras de los países balcánicos, de centro-Europa (Austria, repúblicas checas, Polonia) y de los países bálticos (Estonia, Letonia, Lituania).

Sin embargo, y a diferencia de otras investigaciones realizadas sobre el uso de las TIC en las regiones europeas (Uljas, 2019), el análisis de autocorrelación espacial del factor 2, el “Uso de redes sociales por banda ancha”, no dibuja un claro gradiente espacial, siendo su distribución territorial más uniforme (Figura 5). De hecho, los resultados de los índices locales de autocorrelación espacial muestran una distribución geográfica de las regiones europeas muy distinta a la del factor 1. Por un lado, el mapa del índice Anselin local de Moran (Figura 5) refleja que, en relación al “Uso de redes sociales por banda ancha” (factor 2), los niveles de autocorrelación espacial en las regiones europeas son más bajos que para el factor 1 y se produce una mayor similitud de las regiones en el comportamiento de la variable. Esto se evidencia en el menor tamaño de los clústeres espaciales del factor 2 respecto a los del factor 1. El clúster de regiones con valores Alto-Alto (HH) está formado por sólo 14 regiones europeas (un 6% del total) con una disposición muy fragmentada, formada por la mayor parte de los NUT del Reino Unido y de Holanda, la región noruega de Mellersta Norrland y las húngaras de Közép-Magyarország y Közép-Dunántúl. Por su parte, el clúster de regiones Bajo-Bajo (LL) lo conforman exclusivamente los NUT de Francia con 27 regiones (el 12% del total), excepto la región de Nord-Pas-de-Calais que presenta un valor atípico (clúster Bajo-Alto). Esto implica que la mayor parte de las regiones europeas tienen valores no significativos para el índice Anselin local de Moran del factor 2.

Además, los resultados del mapa del índice Getis-Ord (G_i^*) son similares al resultante del índice Anselin local de Moran para el “Uso de redes sociales por banda ancha” (Figura 5). Los clústeres espaciales significativos, tanto de puntos calientes como fríos, con un nivel de confianza superior al 90% son

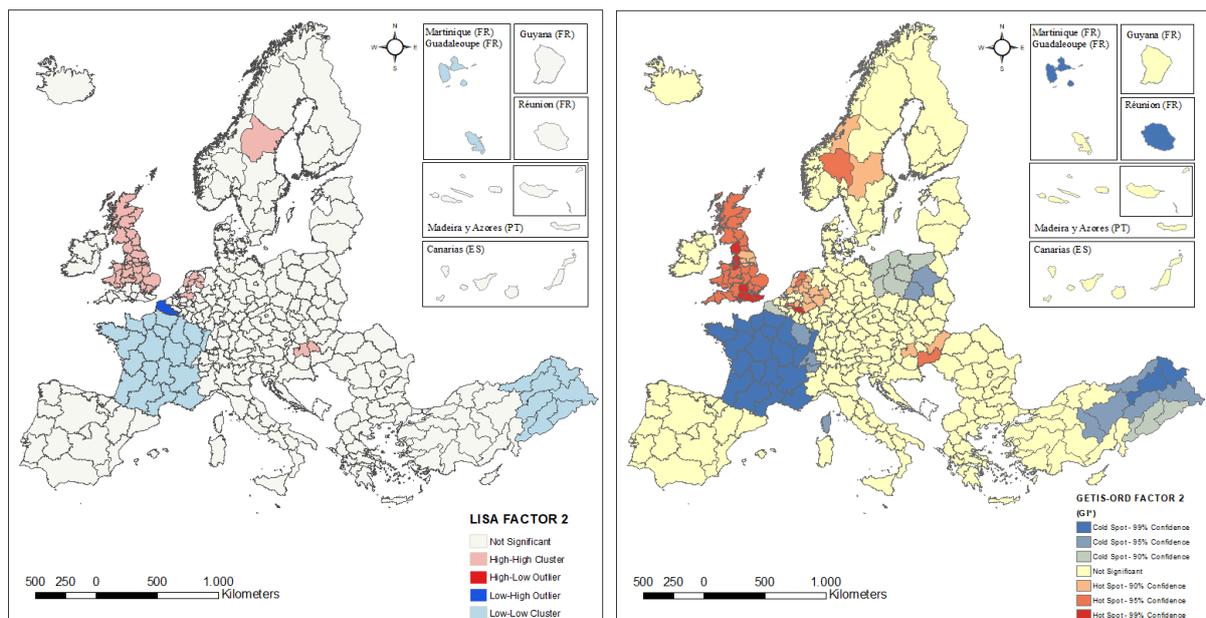
pequeños y sin mostrar un patrón espacial concreto. Los puntos calientes están formados por 30 NUT (el 13% del total) y agrupan todas las regiones del Reino Unido, la mayor parte de las de los Países Bajos, y algunas con niveles de confianza altos en Bélgica, Suecia y Hungría. Por su parte, son mayoría los puntos fríos (el 15% del total de NUT), predominando aquellas con valor Z (desviación típica) superior a -3 (nivel de confianza estadística del 99%). Éstas regiones se concentran fundamentalmente en Francia, este de Turquía (Ortadogu Anadolu y Kuzeydogu Anadolu), oeste de Suiza, y centro-norte de Polonia. Al igual que ocurría para el índice Anselin local de Moran, la mayoría de NUT 2 de Europa tienen valores no significativos en el índice Getis-Ord (G_i^*).

Figura 4. Clústeres espaciales según el factor 1: Índice Anselin local de Moran (LISA) e Índice Getis-Ord (G_i^*)



Elaboración propia

Figura 5. Clústeres espaciales según el Factor 2: Índice Anselin local de Moran (LISA) e Índice Getis-Ord (G_i^*).



Elaboración propia

4. Discusión

El uso de las TIC en las regiones europeas muestra que las diferencias digitales vienen marcadas por los distintos servicios en línea empleados por los ciudadanos para mejorar su calidad de vida, correspondiéndose entonces con el tercer nivel de brecha digital definida recientemente (Van Deursen & Helsper, 2015; Ragnedda, Ruiu & Addeo, 2019). En las regiones europeas el uso de las TIC para interacciones sociales está más extendido que el relacionado con las transacciones comerciales y administrativas. Esto puede deberse a que, como señala Van Deursen *et al.* (2015), las redes sociales se han popularizado por el auge de las interacciones virtuales tanto profesionales como personales por parte de los individuos, tendencia que se ve además incrementada por las facilidades que proporcionan el acceso móvil a internet en tabletas y teléfonos inteligentes (Van Deursen & Van Dijk, 2013).

En este sentido, los datos analizados confirman esta tendencia ya que mientras los usos de redes sociales están presentes al menos en el 59% de hogares e individuos de las regiones europeas, los relacionados con el comercio, la banca y la administración electrónica en algunas regiones sólo están en el 25,4% de los mismos. Estas diferencias de uso, en la que predominan los sociales frente a los que implican transacciones comerciales, educativas, sanitarias y administrativas, pone de manifiesto la existencia de la ya mencionada tercera brecha digital en Europa. En este sentido, se observa que el trasfondo sociocultural y económico de la población puede estar influyendo en las diferencias de uso y se deduce que además no se está produciendo el máximo aprovechamiento de la economía digital (Tranos 2012; Graham 2013; Ragnedda, 2017). Por tanto, las desigualdades digitales de los hogares e individuos de las regiones europeas vienen marcadas por los diferentes usos y las capacidades que las personas pueden tener (Park, 2017) para obtener los mayores beneficios de las TIC (Ragnedda & Kreitem, 2018).

De esta manera, la sociedad digital europea se ha mostrado heterogénea y poco cohesionada, generando desequilibrios espaciales en el uso de las TIC en los hogares/individuos europeos a escala regional, y no solo a escala nacional como ya habían identificado varios autores a nivel mundial y para los países de la UE (Corrocher & Ordanini, 2002; Billon *et al.*, 2009 y 2016; Cruz-Jesus *et al.*, Oliveira & Bacao, 2012; Schlichter & Danylchenko, 2014; Moroz, 2017).

Los patrones de distribución espacial del uso de las TIC para la variable “Uso diario de comercio, banca y administración electrónica” (usos transaccionales) coinciden con la aportación de Uljas (2019) sobre la evidencia de autocorrelación espacial global y local entre el norte y el sur de Europa. Las regiones del norte están más avanzadas digitalmente que las del sur, con poca significación de la autocorrelación en las regiones de la Europa central en el periodo 2011-2016, ya sea tanto en la penetración de la banda ancha como en el uso de internet y el comercio electrónico. Por tanto, la difusión de las TIC para las transacciones comerciales y administrativas tiene una evidente componente espacial que dibuja un eje que parte del noroeste-sureste hacia el resto de Europa. A su vez, la concentración del desarrollo digital en este eje, se asocia a las regiones de mayor nivel de desarrollo económico (Iammarino *et al.*, 2018), lo que lleva a cuestionar y plantear, como futura línea de investigación, si la brecha digital entre regiones disminuirá en un futuro o si, por el contrario, la difusión de las TIC contribuirá a reducir las desigualdades en el desarrollo socioeconómico de las mismas.

Sin embargo, para la variable “Uso de redes sociales en hogares con banda ancha” (uso social o relacional) el efecto de la componente espacial es menos relevante que en el uso transaccional. Esto se ajusta a las aportaciones realizadas por Pick, Sarkar & Johnson (2015) para el caso de Estados Unidos. Estos autores indican que las diferencias regionales en este tipo de TIC se asocian a las características de los usuarios, fundamentalmente jóvenes “nativos digitales” que tienen un uso intensivo de ellas. No se detecta, por tanto, un claro efecto de la componente espacial; y por ello, la dependencia con las regiones vecinas del uso social es más débil que la que se produce en los usos transaccionales ya que la proximidad espacial no es un factor de igual magnitud para ambos tipos de usos. Por tanto, el uso social de las TIC de las regiones tiene menor dependencia de los valores de las regiones vecinas, de manera que habría que profundizar en conocer si las diferencias de los usos sociales derivan de la incidencia de factores de otra índole como educativos, sociales, demográficos, entre otros, teniendo en cuenta la multidimensionalidad de las desigualdades digitales (Ragnedda, 2019).

5. Conclusiones

Los resultados han puesto de manifiesto que el modelo de uso y acceso a las TIC de los hogares e individuos de Europa a nivel regional se sostiene en dos tipos de usos. El primero de ellos se corresponde

con el uso diario de las TIC para realizar actividades digitales cotidianas tales como comercio, banca y administración electrónica (factor 1); y, el segundo se refiere a la utilización de las TIC como medio para participar en redes sociales (factor 2).

Ahora bien, el análisis de distribución y de autocorrelación espacial identifica diferentes patrones de uso y acceso a las TIC en las regiones europeas para cada una de las variables estudiadas. Se concluye que se produce una alta variabilidad y diferenciación entre regiones para el uso transaccional mientras que, por el contrario, el uso social o relacional está más extendido espacialmente y presenta valores similares de uso entre regiones. Como consecuencia de ello, se pone de manifiesto la presencia de diferencias espaciales en el nivel de uso y acceso a las TIC en los hogares e individuos europeos. Por una parte, se ha identificado un patrón espacial con gradiente noroeste-sureste de uso diario de comercio, banca y administración electrónica; y otro patrón para el uso relacional, que no dibuja un claro gradiente espacial, siendo más uniforme su distribución territorial.

Por todo ello, se puede afirmar que, desde la perspectiva de la Geografía Económica, los distintos niveles de uso y acceso a las TIC entre regiones europeas siguen en el factor 1 el comportamiento espacial del modelo de desarrollo socioeconómico centro-periferia (Jordá-Borrell, Ruiz-Rodríguez & González-Relaño, 2015; Billon, Lera-Lopez & Marco, 2016; Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2018) en relación a la capacidad innovadora de las regiones. Estas conclusiones llevan a reflexionar acerca de si el desarrollo digital de las regiones es el origen o el resultado de otras brechas de carácter socioeconómico. Como apuntan Pick *et al.* (2015) y, de acuerdo con el modelo de utilización de tecnología espacialmente consciente (SATUM), los factores demográficos como raza, edad o género, los socioeconómicos (educación, PIB per cápita, servicios o política pública), así como los puramente territoriales (infraestructurales, disponibilidad de electricidad o nivel de urbanización) se asocian con los indicadores de acceso y utilización de las TIC. De esta forma, la difusión de las TIC podría contribuir al desarrollo de la periferia europea, alcanzando la convergencia y la integración vinculada a la economía digital (Sánchez-Moral, 2015). Esto se lograría mediante el diseño e implementación de políticas específicas en la materia acordes a las necesidades y deficiencias de TIC para uso transaccional; con las condiciones socioeconómicas y espaciales subyacentes y de vecindad de cada región. Por lo tanto, traer el contexto espacial al estudio del desarrollo digital es de especial importancia para la investigación y la política (Otioma *et al.*, 2019).

Además, a diferencia de otros estudios, este trabajo realiza el análisis diferenciado de los usos de las TIC y su distribución espacial a escala regional en Europa, lo que contribuye a un mayor conocimiento del desarrollo digital de los hogares e individuos para este ámbito territorial, suponiendo una relevante aportación no solo para el campo científico, sino también para la configuración idónea de políticas regionales acordes con las estrategias nacionales (Szeles, 2018). Estas políticas y estrategias deben estar en consonancia con las políticas de incremento y mejora de las habilidades digitales de las regiones más rezagadas (Božić & Botrić, 2018) teniendo en cuenta la espacialidad del fenómeno (Soja, 2009). De esta manera se refuerza el valor de la componente espacial para el uso de las TIC, en la que el desarrollo y las oportunidades geográficas de las mismas pueden contribuir a fortalecer o disminuir las desigualdades espaciales preexistentes, independientemente de que este acceso y uso desigual se derive de factores geográficos o se herede de factores sociales, institucionales, políticos o estructurales.

No obstante, esta investigación presenta una serie de limitaciones. Por un lado, el número de variables incluidas en el análisis (14) es limitado debido a la escasa disponibilidad de datos a escala regional NUT 2 para Europa. Se hace necesario poder disponer de un mayor número de variables que permitan continuar profundizando en los estudios espaciales del desarrollo digital de las regiones europeas a nivel de hogares e individuos, y su efecto sobre las diferencias regionales de desarrollo socioeconómico. Ello implicaría conocer y medir los efectos del desarrollo digital de los hogares e individuos sobre variables socioeconómicas mediante la aplicación de técnicas de regresión espacial multivariante para explicar los desequilibrios regionales y poder contrarrestarlos a través de políticas acordes a las necesidades de las regiones.

Financiación

Este trabajo forma parte de los resultados del Proyecto: “La Brecha Digital en la Unión Europea. Modelos Explicativos, Predictivos y Espaciales” (CSO2015-67662-P), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (2016-18).

Anexos

Tabla A. Factores procedentes de la matriz de componentes rotados

VARIABLES	FACTORES	
	1	2
IND_USO_Banco	0,941	
IND_COMPRA_Online_3 meses	0,918	
IND_COMPRA_Viajes	0,914	
IND_INTER_Autoridades	0,914	
IND_COMPRA_Online último año	0,905	
IND_USO_Siempre	0,861	
IND_USO_Vender	0,847	
H_ACCESO_Hogar	0,835	
IND_INTER_Enviar formularios 12 meses	0,831	
IND_USO_Diario	0,822	
IND_ACCESO_Fuera	0,749	
IND_COMPRA_ A otros países UE	0,663	
H_ACCESO_Banda ancha		0,899
IND_USO_Redés Sociales		0,654
% de Varianza total explicada	69,13	10,27

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

Fuente: Lucendo-Monedero *et al.*, 2019

Tabla B. Variables empleadas en el análisis

VARIABLE, UNIDAD DE MEDIDA Y ACRÓNIMO
<ul style="list-style-type: none"> • % Hogares que tienen conexión a internet por banda ancha (H_ACCESO_Banda ancha) • % Hogares que con acceso a internet (H_ACCESO_Hogar) • % Individuos que usan internet diariamente (IND_USO_Diario) • % Individuos que participan en redes sociales (creando perfiles de usuario, enviando mensajes u otras participaciones en Facebook, Twitter, etc.) (IND_USO_Redés Sociales) • % Individuos que usan internet para banca electrónica (IND_USO_Banco) • % Individuos que usan internet para vender bienes o servicios (IND_USO_Vender) • % Individuos que usan internet siempre (IND_USO_Siempre) • % Individuos que acceden a internet fuera de casa o en el trabajo (IND_ACCESO_Fuera) • % Individuos que interactuaron con las autoridades públicas (en los últimos 12 meses) (IND_INTER_Autoridades) • % Individuos que interactuaron con las autoridades públicas para enviar formularios cumplimentados (en los últimos 12 meses) (IND_INTER_Enviar formularios 12 meses) • % Individuos que compraron algún producto o servicio a través de internet en los últimos 3 meses (IND_COMPRA_Online_3 meses) • % Individuos que compraron algún producto o servicio a través de internet en el último año (IND_COMPRA_Online último año) • % Individuos que reservaron a través de internet alojamiento de vacaciones (en los últimos 12 meses) (IND_COMPRA_Viajes) • % Individuos que compraron a través de internet a otros países de la EU (IND_COMPRA_ A otros países UE)

Fuente: Lucendo-Monedero *et al.*, 2019

Referencias

- Amichai-Hamburger, Y., & Ben-Artzi, E. (2003). Loneliness and internet use. *Computers in human behavior*, 19(1), 71-80. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(02\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(02)00014-6)
- Barzilai-Nahon, K. (2006). Gaps and bits: Conceptualizing measurements for digital divide/s. *The information society*, 22(5), 269-278. <https://doi.org/10.1080/01972240600903953>
- Beugelsdijk, S., Klasing, M. J., & Milionis, P. (2019). Value diversity and regional economic development. *The Scandinavian Journal of Economics*, 121(1), 153-181. <https://doi.org/10.1111/sjoe.12253>
- Billon, M., Ezcurra, R., & Lera-López, F. (2009). Spatial effects in website adoption by firms in European regions. *Growth and change*, 40(1), 54-84. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.2008.00461.x>
- Billon, M., Lera-Lopez, F., & Marco, R. (2016). ICT use by households and firms in the EU: links and determinants from a multivariate perspective. *Review of World Economics*, 152(4), 629-654. <https://doi.org/10.1007/s10290-016-0259-8>
- Božić, L., & Botrić, V. (2018). E-shopping Across EU—Why Some Individuals Refuse to Adopt It?. *KnE Social Sciences*, 3(10), 265-279. Recuperado de <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Social/article/view/3543/7431>
- Brandtzæg, P. B., Heim, J., & Karahasanović, A. (2011). Understanding the new digital divide. A typology of internet users in Europe. *International journal of human-computer studies*, 69(3), 123-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.11.004>
- Broadband Commission (2016). *The State of Broadband: Broadband catalyzing sustainable development*. Recuperado de <http://broadbandcommission.org/Documents/reports/bbannualreport2016.pdf>
- Charron, N., Dijkstra, L., & Lapuente, V., 2015. Mapping the regional divide in Europe: A measure for assessing quality of government in 206 European regions. *Social Indicators Research*, 122(2), 315-346. <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0702-y>
- Contreras-Cabrera, G. (2012). Asociacionismo en red para la integración sociodigital en Andalucía. *Revista de Estudios Andaluces*, 29, 105-126. <https://doi.org/10.12795/rea.2012.i29.05>
- Corrocher, N., & Ordanini, A. (2002). Measuring the digital divide: a framework for the analysis of cross-country differences. *Journal of Information Technology*, 17, 9-19. <https://doi.org/10.1080/02683960210132061>
- Crang, M., Crosbie, T., & Graham, S. (2006). Variable geometries of connection: urban digital divides and the uses of information technology. *Urban Studies*, 43(13), 2551-2570. <https://doi.org/10.1080/00420980600970664>
- Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., & Bacao, F. (2012). Digital divide across the European Union. *Information & Management*, 49(6), 278-291. <https://doi.org/10.1016/j.im.2012.09.003>
- De Marco, S. (2017). La revolución de internet. Los usos beneficiosos y avanzados de internet como la nueva frontera de la desigualdad digital. *Panorama Social*, 25, 99-116. FUNCAS
- ESRI (2019). *Analyzing Patterns toolset*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/an-overview-of-the-analyzing-patterns-toolset.htm>
- European Commission (2010). A digital agenda for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Recuperado de [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0245R\(01\)&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0245R(01)&from=EN)
- European Commission (2015). Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions A Digital Single Market Strategy for Europe. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52015DC0192>
- EUROSTAT (2017). Database digital economy and society. Recuperado de <http://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/data/database>
- Falch, M., & Henten, A. (2018). Dimensions of broadband policies and developments. *Telecommunications Policy*, 42(9), 715-725. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.11.004>

- Feijóo, C., Ramos, S., Armuña, C., Arenal, A., & Gómez-Barroso, J. L. (2018). A study on the deployment of high-speed broadband networks in NUTS3 regions within the framework of digital agenda for Europe. *Telecommunications Policy*, 42(9), 682-699. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.11.001>
- Gonçalves, G., Oliveira, T., & Cruz-Jesus, F. (2018). Understanding individual-level digital divide: Evidence of an African country. *Computers in Human Behavior*, 87, 276-291. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.039>
- Graham, M. (2013). Geography/internet: ethereal alternate dimensions of cyberspace or grounded augmented realities? *The Geographical Journal*, 179(2), 177-182. <https://doi.org/10.1111/geoj.12009>
- Grubestic, T. H., & Murray, A. T. (2005). Geographies of imperfection in telecommunication analysis. *Telecommunications Policy*, 29(1), 69-94. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2004.08.001>
- Hargittai, E. (2010). Digital na (t) ives? Variation in internet skills and uses among members of the “net generation”. *Sociological inquiry*, 80(1), 92-113. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.2009.00317.x>
- Hargittai, E., & Hinnant, A. (2008). Digital inequality: Differences in young adults' use of the internet. *Communication research*, 35(5), 602-621. <https://doi.org/10.1177/0093650208321782>
- Helsper, E. J. (2012). A corresponding fields model for the links between social and digital exclusion. *Communication theory*, 22(4), 403-426. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2012.01416.x>
- Iammarino, S., Rodríguez-Pose, A., & Storper, M. (2018). Regional inequality in Europe: evidence, theory and policy implications. *Journal of economic geography*, 19(2), 273-298. <https://doi.org/10.1093/jeg/lby021>
- INE (2017). Encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas Metodología. Recuperado de <http://www.ine.es/daco/daco42/comele/metocor.pdf>
- INE (2019). Encuesta sobre equipamiento y uso de tecnologías de información y comunicación en los hogares. Recuperado de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176741&menu=metodologia&idp=1254735976608
- International Telecommunication Union –ITU- (2003). *International Telecommunication Union –ITU World telecommunication development report 2003: Access indicators for the information society*. Recuperado de http://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/WorldTelecomDevelopmentReport-2003_E.pdf
- Jordá-Borrell, R., Ruiz-Rodríguez, F., & González-Relaño, R. (2015). Factors and taxonomy of technology purchase (TP) by internationalized innovative companies in peripheral European regions. *Papers in Regional Science*, 94, S139-S174. <https://doi.org/10.1111/pirs.12172>
- Kalmus, V., Realo, A., & Siibak, A. (2011). Motives for internet use and their relationships with personality traits and socio-demographic factors. *Trames: A Journal of the Humanities and Social Sciences*, 15(4), 385-403. <https://doi.org/10.3176/tr.2011.4.04>
- Lucendo-Monedero, A. L., Ruiz-Rodríguez, F., & González-Relaño, R. (2019). Measuring the digital divide at regional level. A spatial analysis of the inequalities in digital development of households and individuals in Europe. *Telematics and Informatics*, 41, 197-217. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.05.002>
- Moran, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2), 243-251. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x>
- Moroz, M. (2017). The level of development of the digital economy in Poland and selected European countries: a comparative analysis. *Foundations of management*, 9(1), 175-190. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0014>
- Novo-Corti, I., & Barreiro-Gen, M. (2015). Public policies based on social networks for the introduction of technology at home: Demographic and socioeconomic profiles of households. *Computers in Human Behavior*, 51, 1216-1228. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.040>
- Otioma, C., Madureira, A. M., & Martinez, J. (2019). Spatial analysis of urban digital divide in Kigali, Rwanda. *GeoJournal*, 84(3), 719-741. <https://doi.org/10.1007/s10708-018-9882-3>
- Park, S. (2017). *Digital Capital*. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-59332-0>

- Pearce, K. E., & Rice, R. E. (2013). Digital divides from access to activities: Comparing mobile and personal computer internet users. *Journal of communication*, 63(4), 721-744. <https://doi.org/10.1111/jcom.12045>
- Pick, J. B., & Nishida, T. (2015). Digital divides in the world and its regions: A spatial and multivariate analysis of technological utilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.12.026>
- Pick, J. B., Sarkar, A., & Johnson, J. (2015). United States digital divide: State level analysis of spatial clustering and multivariate determinants of ICT utilization. *Socio-Economic Planning Sciences*, 49, 16-32. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.09.001>
- Ragnedda, M. (2017). *The third digital divide. A Weberian analysis of digital inequalities*. <https://doi.org/10.4324/9781315606002>
- Ragnedda, M., & Kreitem, H. (2018). The three levels of digital divide in East EU countries. *World of Media. Journal of Russian Media and Journalism Studies*, 1(4), 5-26. <https://doi.org/10.30547/worldofmedia.4.2018.1>
- Ragnedda, M., Ruiu, M. L., & Addeo, F. (2019). Measuring Digital Capital: An empirical investigation. *New Media & Society*. <https://doi.org/10.1177/1461444819869604>
- Ruiz-Rodríguez, F., Lucendo-Monedero, A. L., & González-Relaño, R. (2018). Measurement and characterisation of the Digital Divide of Spanish regions at enterprise level. A comparative analysis with the European context. *Telecommunications Policy*, 42(3), 187-211. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.11.007>
- Sáinz Peña, R. (2017). *Sociedad digital en España*, 2017. Madrid, España: Fundación Telefónica y Editorial Ariel.
- Sánchez-Moral, S. (2015). Territorio, transformación productiva, equidad y redes. *Revista de Estudios Andaluces*, 32, 49-75. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2015.i32.03>
- Scheerder, A., van Deursen, A., & van Dijk, J. (2017). Determinants of internet skills, uses and outcomes. A systematic review of the second-and third-level digital divide. *Telematics and informatics*, 34(8), 1607-1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Schlichter, B. R., & Danylchenko, L. (2014). Measuring ICT usage quality for information society building. *Government Information Quarterly*, 31(1), 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2013.09.003>
- Stern, M. J., Adams, A. E., & Elsasser, S. (2009). Digital inequality and place: The effects of technological diffusion on internet proficiency and usage across rural, suburban, and urban counties. *Sociological Inquiry*, 79(4), 391-417. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.2009.00302.x>
- Szeles, M. R. (2018). New insights from a multilevel approach to the regional digital divide in the European Union. *Telecommunications Policy*, 42(6), 452-463. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.03.007>
- Tobler, W. (2004). On the first law of geography: A reply. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2), 304-310. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09402009.x>
- Tranos, E. (2012). The causal effect of the internet infrastructure on the economic development of European city regions. *Spatial Economic Analysis*, 7(3), 319-337. <https://doi.org/10.1080/17421772.2012.694140>
- Tranos, E., & Gillespie, A. (2009). The spatial distribution of internet backbone networks in Europe: a metropolitan knowledge economy perspective. *European urban and regional studies*, 16(4), 423-43. <https://doi.org/10.1177/0969776409340866>
- Uljas, S. (2019). The European digital single market strategy: Local indicators of spatial association 2011-2016. *Telecommunications Policy*, 43(5), 393-410. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.10.003>
- Van Deursen, A. J. A. M., & Van Dijk, J. A. (2013). *Zicht op ICT-competenties. Een werknemersperspectief in zes toepsectoren*. Recuperado de <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5141963>
- Van Deursen, A. J., & Helsper, E. J. (2015). A nuanced understanding of internet use and non-use among the elderly. *European journal of communication*, 30(2), 171-187. <https://doi.org/10.1177/0267323115578059>

- Van Deursen, A. J., van Dijk, J. A., & Peter, M. (2015). Increasing inequalities in what we do online: A longitudinal cross sectional analysis of internet activities among the Dutch population (2010 to 2013) over gender, age, education, and income. *Telematics and informatics*, 32(2), 259-272. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2014.09.003>
- Van Dijk, J. A. (2006). Digital divide research, achievements and shortcomings. *Poetics*, 34(4-5), 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.poetic.2006.05.004>
- Vehovar, V., Sicherl, P., Hüsing, T., & Dolnicar, V. (2006). Methodological challenges of digital divide measurements. *The information society*, 22(5), 279-290. <https://doi.org/10.1080/01972240600904076>
- Vicente, M. R., & López, A. J. (2011). Assessing the regional digital divide across the European Union-27. *Telecommunications Policy*, 35(3), 220-237. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2010.12.013>
- Vu, K. M. (2011). TIC as a source of economic growth in the information age: Empirical evidence from the 1996–2005 period. *Telecommunications Policy*, 35(4), 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2011.02.008>
- Witte, J. C., & Mannon, S. E. (2010). *The internet and social inequalities*. <https://doi.org/10.4324/9780203861639>
- Yu, L. (2006). Understanding information inequality: Making sense of the literature of the information and digital divides. *Journal of Librarianship and Information Science*, 38(4), 229-252. <https://doi.org/10.1177/0961000606070600>
- Zillien, N., & Hargittai, E. (2009). Digital distinction: Status-specific types of internet usage. *Social Science Quarterly*, 90(2), 274-291. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6237.2009.00617.x>

Cita bibliográfica: Garrido Clavero, J. (2020). Cuestiones preliminares a abordar en la concreción de una propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación de planes territoriales en España. *Investigaciones Geográficas*, (73), 75-94. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GC>

Cuestiones preliminares a abordar en la concreción de una propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación de planes territoriales en España

Preliminary questions for the concretion of a methodological proposal in the monitoring and evaluation of territorial plans in Spain

Juan Garrido Clavero¹

Resumen

La Unión Europea quiere saber en qué se están invirtiendo sus fondos destinados a las políticas de planificación territorial, cuál es el grado de éxito de esta inversión y qué tipo de impactos se están derivando de ella; tal y como ratifica la Estrategia Europa 2020, donde se asume la necesidad de realizar el seguimiento y evaluación de las políticas comunitarias, y la Agenda Territorial Europea 2020, la cual propone explícitamente la aplicación de evaluaciones de impacto a los planes con incidencia territorial. Antes de acometer el seguimiento y evaluación de estos planes territoriales hay que plantearse la mejor metodología y el mejor modelo a aplicar. Para iniciar la búsqueda de una metodología y un modelo a aplicar en el contexto español, el presente trabajo tiene como objetivo proponer algunas de las preguntas preliminares que habría de considerarse. La metodología seguida se fundamenta en la selección de algunas de las principales preguntas propuestas por determinados especialistas, legislaciones, administraciones y trabajos profesionales; planteándose desde la óptica del Ciclo Vital de las Políticas Públicas (formación de la agenda, formulación, implementación, efectos, evaluación y retroalimentación), si bien siguiendo un modelo integral y adaptado para los planes territoriales. Así pues, el resultado es la propuesta de un cuestionario específico para el seguimiento y evaluación de los planes territoriales de ámbito supramunicipal en España, el cual ha sido sometido a un proceso crítico con el que constatar su viabilidad, consistente en su aplicación a tres planes territoriales de distinta entidad (regional/provincial, subregional y comarcal), tiempo (*ex post*, *in itinere* y *ex ante*) y características (generales, parciales y sectoriales).

Palabras clave: metodología; seguimiento; evaluación; políticas públicas; planificación territorial.

Abstract

The European Union wants to know if its funds for territorial planning are being invested correctly. This is confirmed by the European 2020 Strategy, which requires monitoring and evaluation of EU policies and the Territorial Agenda of the European Union 2020 (which proposes the application of impact evaluations of plans that affect territories). But before monitoring and evaluating territorial plans, it is necessary to discuss the best methodology and model to apply. To begin the search for a methodology and a model to be applied in Spain, this paper proposes some of the preliminary questions that should be considered. The methodology is based on the selection of some of the main questions proposed by certain specialists, as well as legal, administrative and professional works. These questions are considered from the point of view of the life cycle of public policies (formation of the agenda, formulation, implementa-

¹ Departamento de Antropología, Geografía e Historia, Universidad de Jaén, España. clavero@correo.ugr.es

tion, effects, evaluation and feedback) while following a comprehensive and adapted model for territorial plans. Thus, the result is the proposal of a specific questionnaire for the monitoring and evaluation of supramunicipal territorial plans in Spain. The questionnaire has been subjected to a critical process to verify its viability, consisting in its application to three territorial plans of different entities (regional/provincial, sub-regional, and supralocal), as well as time of evaluation (*ex post*, *in itinere* and *ex ante*), and type of plan (general, partial and sectorial).

Keywords: methodology; monitoring; evaluation; public politics; territorial planning.

1. Introducción

1.1. Estado de la cuestión

Las instituciones públicas más innovadoras intentan mejorar su gestión mediante la planificación y la mejora continua de sus intervenciones. Ello les permite reformular sus actuaciones, legitimar sus actos, generar confianza hacia ellas y, como fin último, satisfacer las necesidades de sus administrados. Para lograrlo suelen someter a sus políticas a un reiterativo proceso de análisis mediante el seguimiento y evaluación de las mismas.

En Europa esta práctica será introducida por el Libro Blanco de la Gobernanza (Comisión Europea, 2001), documento que enfatiza la necesidad de evaluar las políticas de la Unión Europea para garantizar su calidad y eficacia; se consolidará con el Libro Blanco sobre la Gobernanza Multinivel (Comité de las Regiones, 2009), que recomienda que sea el propio Comité el que, junto con la Comisión, concierte un Plan de Acción Territorial que comprenda mecanismos de evaluación; y se institucionalizará a través de la Estrategia Europa 2020 (Comisión Europea, 2010), en la cual se asume la necesidad de realizar el seguimiento y evaluación de las políticas comunitarias a través de la elaboración por parte de la Comisión de informes periódicos en los que hacer constar los impactos de sus intervenciones; así como del programa ESPON (del inglés European Observation Network for Territorial Development and Cohesion o Red de Observación Europea para el Desarrollo y la Cohesión Territorial), adoptado por la Comisión Europea con el objetivo de dotar de base institucional y científica las propuestas recogidas en la Estrategia (ESPON, 2004, 2006, 2007, 2013 y 2018). Todas estas iniciativas han tenido una escasa cristalización en el corpus legislativo europeo, pues sólo Francia, Holanda y Suiza cuentan con una ley específica sobre Evaluación de Políticas Públicas (Sociedad Española de Evaluación de Políticas Públicas, 2019), mientras que en España Navarra ha sido la pionera al aprobar la Ley Foral 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos.

Una de las políticas públicas que más ha incentivado la Unión Europea entre sus Estados Miembros, los verdaderamente competentes, ha sido la planificación territorial, tal y como confirma la Carta Europea de Ordenación del Territorio (Consejo de Europa, 1983), documento que ha inspirado buena parte de las leyes y planes de ordenación territorial comunitarias (Hildenbrand Scheid, 1996). Sin embargo, hasta muchos años después no se reconocerá la importancia de la evaluación en estas políticas, circunstancia que se recoge en la Estrategia Territorial Europea (Comisión Europea, 1999) y se ratifica en la Agenda Territorial Europea (Unión Europea, 2007).

Con todo, no existe un modelo a seguir, sino que más bien esto se ha dejado al albur de cada Estado Miembro, para que en virtud de sus competencias y su interés avance en la evaluación de sus respectivas planificaciones territoriales. Esta circunstancia ha hecho que en España se carezca hasta la presente de una metodología expresa al respecto (Bueno Suárez y Osuna Llana, 2013), habiéndose dedicado los principales esfuerzos al desarrollo de la evaluación ambiental (Farinós Dasí, 2011) y bastante menos a la evaluación de impacto territorial (Soto Rueda y Garrido Clavero, 2019). Y es que “lo cierto es que no se cuenta con experiencias de gestión de los planes, de hecho no contamos apenas con informes de seguimiento y evaluación (aunque así se establezcan en algunos planes) que nos muestren cuál ha sido el grado de cumplimiento de los mismos” (Benabent Fernández de Córdoba, 2007). Circunstancia que pese al tiempo transcurrido no parece haberse mejorado, a tenor de las últimas manifestaciones ofrecidas en las principales reflexiones y conclusiones del IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio, cuando se sostiene que

(...) La introducción de este tipo de mecanismos de control, como son los sistemas de evaluación y seguimiento, se está desarrollando, no obstante, de forma lenta y difícil en España, ya que únicamente algo más de la mitad de las Comunidades Autónomas contemplan sistemas de evaluación y seguimiento

específicos, mediante la elaboración de planes o informes, y solo unas pocas los han aplicado. Además, hay que remarcar que no existe un marco conceptual y metodológico para monitorizar los planes territoriales, que incluya un procedimiento claro y sistemático aceptado de forma generalizada, por lo que el desafío en este ámbito se presenta como una tarea ardua y compleja. (Nogués Linares, 2019, p. 1119).

El objetivo principal del presente trabajo es adelantar el que bien pudiera ser el primer estadio que habría que abordar al enfrentarse a la evaluación de planes territoriales generales, parciales y sectoriales de ámbito supramunicipal en España, el planteamiento de un cuestionario a formular para obtener las evidencias y hechos contrastados que han de reforzar la toma de decisiones; luego vendrían el cuándo, quién y cómo. Es por ello que con el mismo se van a revelar algunas de las preguntas que cabría plantearse antes de iniciar el proceso de evaluación en sí mismo, para tomar así plena conciencia de los aspectos que no han de escapársele al evaluador. Con posterioridad, estas “preguntas iniciales deben servir de hilo conductor del informe” (Agencia Estatal de Evaluación de Políticas Públicas y la Calidad de los Servicios [AEC], 2010, p. 106) tanto de seguimiento como de evaluación, para evitar así dispersarse y centrarse en su conclusión.

1.2. Marco teórico

Siguiendo la acepción de la legislación andaluza de referencia, la Ley 1/2014, de 24 de junio, de Transparencia Pública de Andalucía, “se considera evaluación de políticas públicas el proceso sistemático de generación de conocimiento encaminado a la comprensión integral de una intervención pública para alcanzar un juicio valorativo basado en evidencias respecto de su diseño, puesta en práctica, resultados e impactos. Su finalidad es contribuir a la mejora de las intervenciones públicas e impulsar la transparencia y la rendición de cuentas” (artículo 12.1).

Por consiguiente cabe decir que, a grandes rasgos, la evaluación de políticas públicas puede realizarse siguiendo el modelo estándar, que no suele indagar en las causas quedándose en las consecuencias, o el modelo integral, “que analizaría tanto el ciclo completo de la política, como las políticas conexas y el contexto complejo que les afecta” (Gutiérrez Díaz, 2014:111). Por las particulares características de las políticas públicas de planificación territorial, se considera más oportuno este último, ya que interesan las consecuencias, pero también las causas, pues en ellas se ocultan muchas de sus deficiencias (Faludi, 2004). Así, tal y como señalan algunos autores, el modelo integral “puede y debe aplicarse a todo el ciclo de la intervención desde el diseño y planificación (evaluación *ex ante*), continuando con la implementación (evaluación *in itinere*) y finalizando con la verificación de los efectos finales (evaluación *ex post*)” (Ruíz, 2013, p. 10), debiéndose analizar los planes territoriales en cuestión, pero también cómo se han gestionado.

De ello se deduce que la evaluación de planes territoriales puede adscribirse casi que perfectamente al Ciclo Vital de las Políticas Públicas, es decir: Formación de la Agenda —definición del problema/necesidad—, Formulación de la Política —redacción en sí misma—, Implementación de la Política —gestión de la misma—, Efectos de la Política —consecuencias de ella—, Evaluación de la Política —propriadamente dicha— y Retroalimentación de la información —para su mejora o terminación—, tal y como puede observarse en la Tabla 1. No obstante, por las mencionadas peculiaridades de la planificación territorial, se ha visto más acertado concretar estas etapas en las siguientes: Diseño —que incluiría la formación de la Agenda y la Formulación de la Política—, Implementación, Resultados e Impactos —que se separan para atender más precisamente a las consecuencias derivadas de la implementación del Plan en virtud de los logros obtenidos y los efectos producidos—, Terminación y Reciclaje.

Tabla 1. Relación entre el Ciclo de las Políticas Públicas y las etapas del seguimiento y evaluación de planes territoriales

CICLO VITAL DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS	ETAPAS DEL SEGUIMIENTO / EVALUACIÓN DE PLANES TERRITORIALES
Formación de la Agenda	1. Diseño
Formulación de la Política	
Implementación de la Política	2. Implementación
Efectos de la Política	3. Resultados
	4. Impactos
Evaluación de la Política	5. Terminación
Retroalimentación de la información	6. Reciclaje

Fuente: Tesis Doctoral de Juan Garrido Clavero, 2017. Elaboración propia

Para acabar de comprender el sentido en el que se expresan estas etapas, a continuación se precisa la definición que resulta más acorde con la finalidad de este trabajo:

- **Diseño del plan:** Para aprobar la formulación de un plan territorial es necesario escoger entre distintas opciones. La primera es “por qué hay que adoptar una decisión sobre algo concreto, es decir, por qué un tema determinado se convierte en materia sobre la que se hace necesario actuar en alguna forma” (Losada Maestre, 2014, p. 48). En algunos casos es a demanda ciudadana (enfoque pluralista), pero con frecuencia depende de la voluntad de interesados (enfoque elitista), ya sean los mismos gobernantes o un conjunto de élites, movidas unas veces por intereses económicos, otras por evidencias científicas; pero en cualquier circunstancia es por una decisión política. Generalmente, esta decisión política se adopta cuando existe un problema públicamente reconocido.

- **Implementación del plan:** Con la castellanización de este término inglés, *implementation*, se designa la etapa de un plan a partir de la cual se producen actuaciones que, en el contexto de un marco de intenciones preestablecido, trata de alcanzar las metas marcadas. Así pues, básicamente se está hablando de la gestión del plan, etapa a la que tradicionalmente no se le ha prestado mucha atención, por cuanto que se suponía que por inercia entraba en funcionamiento, a diferencia de la de formulación, donde se concentraban los esfuerzos en realizar un plan perfectamente aquilatado. Sin embargo, hoy en día esta tendencia ha cambiado y la importancia conferida a la gestión, la implementación de los planes, es tal que resulta determinante para marcar el grado de éxito del mismo, pues, de qué sirve un plan magníficamente configurado si después, en su día a día, no se cumple por falta de labor inspectora, por ejemplo.

- **Resultados del plan:** Al margen del procedimiento de desarrollo del plan y del cumplimiento de objetivos, este tiene unas consecuencias y unos efectos. Cuando estos efectos son causa de las iniciativas adoptadas en la formulación del plan se habla de resultados y cuando estas iniciativas no surten efecto se habla de ausencia de resultados. En consecuencia, los resultados representan lo conseguido en la resolución de los problemas inicialmente considerados, de forma que si guardan relación directa con estos se puede decir que son resultados esperados y si no es así se trataría más bien de resultados no esperados.

- **Impactos del plan:** Además de los resultados obtenidos en aplicación de las determinaciones del plan, la implementación de un plan no resulta inocua y produce otra serie de efectos que, al igual que en el caso de los resultados, puede ser sometida a la categorización planteada para ellos, es decir, impactos esperados o previstos e impacto no esperados o sobrevenidos. Igualmente se puede diferenciar entre impactos positivos e impactos negativos, atendiendo a si estos han producido efectos perniciosos o beneficiosos.

- **Terminación del plan:** La terminación de cualquier política pública tiene sus reticencias. La más importante es que los encargados prefieren dedicarse a las nuevas políticas, antes que “aquellas que han quedado desfasadas o son simplemente ineficientes” (Román Masedo, 2014, p. 131), ya que ello supondría, en cierta forma, el reconocimiento de un fracaso. Pero también está el hecho de ¿Por qué gastar presupuesto en rematar un plan? ¿Acaso no es preferible “dejarlo morir”?, tal y como se expresa coloquialmente en algunas Administraciones. Sin embargo, en momentos de recortes presupuestarios, la terminación de un plan vuelve a plantearse como una opción, porque al contrario de lo que se piensa, los costes de mantenerlo activo, aunque sea a bajo rendimiento, pueden resultar más altos que derogarlo definitivamente (piénsese, por ejemplo, en los pleitos a los que puede seguir dando lugar). En consecuencia, hay que terminar los planes cuando proceda. Ahora bien, hay que rematarlos correctamente, procurando no dejar lastres que pudieran afectar negativamente a otras planificaciones o vacíos que dejasen sin regulación o planificación determinados territorios o cuestiones sectoriales, tal y como ha pasado en algunas ocasiones, como en el caso del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de la provincia de Granada, que al derogarse en aquellos municipios que tienen ordenación del territorio supramunicipal, pero no cuentan con planeamiento urbanístico general, han perdido grado de precisión en su planificación (Garrido Clavero, 2017). Igualmente es muy conveniente dejarle un heredero, directo (el plan que lo sustituye) o indirecto (el plan o los planes que asumen sus determinaciones), y hacer referencia expresa a esta circunstancia en los mismos.

- **Reciclaje del plan:** El seguimiento de un plan territorial, así como su evaluación, tiene un objetivo prevalente: saber qué hacer con él. Normalmente, tras la evaluación de un plan hay que pensar en su prorrogación o su terminación, y en el caso de prorrogarse en si debe mantenerse tal cual, actualizarse (refundición en un documento único y completo de las determinaciones a las que hubieran dado lugar las modificaciones aprobadas o de los ajustes resultantes de su desarrollo y ejecución), modificarse (alteración de sus determinaciones que no se produzcan en un proceso de revisión, sin considerar los ajustes re-

sultantes de su desarrollo y ejecución) o revisarse (sustitución del plan por la alteración de sus objetivos territoriales o la adopción de determinaciones sustancialmente distintas a las previstas en relación con el modelo territorial). Aunque estas son las opciones que ofrece el que fuera el primer plan de ordenación del territorio de Andalucía, el Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada, bien pudieran extrapolarse a cualquier otro plan territorial. Así pues, siguiendo esta categorización, en estos tres últimos casos es cuando se reciclaría el plan, yendo de la menor transformación a la más profunda.

En suma, teniendo en cuenta el sentido de estas definiciones y valorando el innovador enfoque conferido al cuestionario para que las etapas que habitualmente siguen los planes territoriales casen y se interrelacionen con las etapas del Ciclo Vital de las Políticas públicas, la que posiblemente sea la distribución más comúnmente admitida para las políticas públicas, a continuación se expone la propuesta de batería de preguntas iniciales a las que podrían someterse los planes territoriales para su seguimiento y evaluación.

2. Metodología

Tal y como se ha visto en el apartado anterior, como punto de partida se ha optado por adaptar la distribución por etapas del Ciclo Vital de las Políticas Públicas al proceso que habitualmente siguen los planes territoriales, supuesto que estos también son políticas públicas en sí mismos. Así, se ha escogido como punto de referencia de esta idea el esquema del “ciclo vital” de Lasswell (1971), porque otras opciones como las de Hogwood y Gunn (1984), que tomando como punto de partida el esquema de Lasswell distinguía nueve fases o Pallares Porta (1988) que identifica tres grandes momentos del proceso: la formulación de las políticas, la implementación o su proceso de aplicación práctica y la evaluación de su rendimiento, se ajustaban más difícilmente a las etapas del seguimiento y evaluación de planes territoriales.

De esta manera, para cada una de las etapas se han propuesto aquellas cuestiones que mejores resultados podrían aportar. Por consiguiente, para cada una de estas etapas se han planteado una serie de preguntas con las que dar respuesta a los distintos ítems que hay que ir cubriendo en el proceso de seguimiento y evaluación del plan territorial correspondiente. Y es que “El sistema con que se irá creando la estructura lógica de la evaluación se basará en una serie de interrogantes e hipótesis que permitirán hacer operativa la puesta en marcha de una evaluación (...) Se trata de concretar el problema a evaluar hasta hacerlo manejable” (AEC, 2010, p. 80). Así, “Necesitamos (...) preguntas que nos den libertad y flexibilidad para explorar el fenómeno a evaluar en profundidad... esta amplitud de la pregunta o preguntas iniciales va a ir focalizándose a lo largo del proceso de investigación/evaluación al ir descubriendo la relevancia o irrelevancia de los conceptos y sus relaciones” (Corbin y Strauss, 1990, p. 18).

Para ello, se ha buscado una triple fuente para la formulación de estas preguntas:

De un lado estaría el escaso, pero cada vez más completo, análisis científico del seguimiento y evaluación de planes territoriales, abordado por distintos académicos (Benabent Fernández de Córdoba, 2007, 2014, 2016; Garrido Clavero, 2017; Garrido Clavero y Soto Rueda, 2019; Segura Calero y Pedregal Mateos, 2014, 2017; Segura Calero, 2017, 2019; Segura Calero y Elorrieta Sanz, 2019; Soto Rueda y Garrido Clavero, 2019...) y algún proyecto de investigación específico, como el GOBEFTER II Gobernanza Efectiva del Territorio: Actualización y Propuestas para la aplicación de una política de ordenación del territorio comprehensiva en España (Proyecto I+D+i. Convocatoria 2016. Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad CSO2016-78169-R).

De otro lado estarían las frecuentes alusiones que las distintas legislaciones y guías que para el seguimiento y evaluación de políticas públicas han desarrollado las respectivas administraciones, destacando entre ellas:

- La pionera Ley Foral de Navarra 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos, en la que ya se formulaban en sus contenidos de la evaluación algunas de las preguntas aquí planteadas.
- La Ley 1/2014, de 24 de junio, de Transparencia Pública de Andalucía, en la que se establece cómo los planes y programas deberán ser sometidos a evaluación para concretar sus resultados y grado de cumplimiento.
- Los *Fundamentos de evaluación de políticas públicas* (Agencia Estatal de Evaluación de las Políticas Públicas y la Calidad de los Servicios [AEC]), por precisar los conceptos y las preguntas a través

de una exhaustiva enumeración histórica de los principales autores y la aportación de “qué les falta y les sobra a las definiciones de las que disponemos frente a las exigencias del nuevo milenio” (AEC, 2010, p. 75).

- La *Guía de seguimiento y evaluación de los planes de actuación de los servicios públicos* del Observatorio para la Mejora de los Servicios Públicos (Observatorio para la Mejora de los Servicios Públicos [OMSP]) por resultar un documento de gran adaptación al seguimiento y evaluación de planes territoriales, y permitir pasar de los conceptos teóricos a los conceptos medibles a través de la propuesta de un complejo método con el que “tras su operativización, transformando los conceptos teóricos en elementos medibles, puede procederse a la creación de indicadores que expresarán la relación y el modo de medición y análisis” (OMSP, 2008, p. 42), proceso último al que han de llegar las preguntas planteadas, pues si no pueden cristalizar en unas respuestas plausibles carecen de interés práctico.
- El *Cuestionario para el análisis de evaluabilidad de planes y programas* (Instituto Andaluz de Administración Pública [IAAP]), que incluye 61 preguntas fundamentales con las que facilitar “el análisis de las condiciones que permiten que planes y estrategias sean susceptibles de evaluación, es decir, que cuentan con las características necesarias para llegar a ser evaluados” (IAAP, 2019, p. 2).

Y por último se ha acudido a la experiencia directamente adquirida por el propio autor.

- En primer lugar, al realizar su tesis doctoral sobre el seguimiento y evaluación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de la provincia de Granada, un seguimiento y evaluación *ex post* del plan provincial de planificación territorial más antiguo de los actualmente vigentes en Andalucía (1987); lo que permite una amplia retrospectiva de los hechos territoriales sucedidos, si bien dificulta el recuperar los aspectos más cruciales en el inicio del planteamiento del plan.
- En segundo lugar, al haber realizado algunos trabajos profesionales de seguimiento *in itinere* de planes territoriales subregionales, destacando el inédito Informe de valoración del grado de cumplimiento del Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada (Secretaría General de Ordenación del Territorio y Sostenibilidad Urbana de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía [SGOTSU]); plan emblemático en la ordenación territorial andaluza por resultar el más longevo (1999) y el más reiteradamente evaluado (3 veces: Informe de 2003, Informe de 2009 e Informe de 2016); circunstancia que se hacía muy propicia para que desde esta Administración se plantease una revisión en profundidad de la metodología a aplicar en el seguimiento y evaluación de los demás planes territoriales aprobados en la Comunidad Autónoma y que ha permitido al autor obtener denominadores comunes entre los tres informes realizados, así como trazar una línea evolutiva entre ellos.
- Y en último lugar, al haber participado en la evaluación *ex ante* de un plan comarcal, en concreto en la evaluación ambiental estratégica del Plan Especial de Ordenación de la Vega de Granada (2017), que incorpora un apartado expreso sobre el seguimiento del mismo, así como un preciso sistema de indicadores.

Quíntuple circunstancia que ha permitido indagar tanto en el seguimiento como en la evaluación, en tres tiempos diferentes (*ex post*, *in itinere* y *ex ante*), sobre tres tipos diferentes de ámbitos (regional/provincial, subregional y comarcal) y para tres tipos de planes (generales, parciales y sectoriales).

Así, supuesto que “Las preguntas pueden provenir de la propia comunidad beneficiaria, de los gestores del proyecto o programa o de las autoridades políticas y se suelen plasmar en cinco criterios estándares aprobados por el Comité de Ayuda al Desarrollo: pertinencia, eficacia, eficiencia, impacto y sostenibilidad” (AEC, 2010, p. 38), a continuación se procede a encuadrar las preguntas preliminares planteadas en estos criterios, si bien adaptándolos a la realidad de los planes territoriales. El resultado es que estas se formularán, tal y como se precisa en la Tabla 2, atendiendo a: la fase del Ciclo Vital de las Políticas Públicas en el que se enmarcan, las dificultades que entrañan para ser respondidas, la información que han de aportar, a quién deben dirigirse, la repercusión o el impacto territorial que pueden desvelar, la implicación que tiene en el cumplimiento de los objetivos y las determinaciones del plan o la posibilidad que existe de poder relacionarle indicadores cuantitativos o cualitativos.

Tabla 2. Cuestiones a considerar en el planteamiento de preguntas para llevar a cabo el seguimiento y evaluación de un plan territorial

ETAPA	PREGUNTA	Dificultades para ser respondidas	Información que aporta	A quién ha de dirigirse	Posible repercusión o impacto que son capaces de revelar	Implicación en el cumplimiento de objetivos y determinaciones	Posibilidad de relacionares con indicadores
Diseño	1, 2, 3, n...						
Implementación	1, 2, 3, n...						
Resultados	1, 2, 3, n...						
Impactos	1, 2, 3, n...						
Terminación	1, 2, 3, n...						
Reciclaje	1, 2, 3, n...						

Elaboración propia

Por último manifestar que no cabe duda de que esta batería de preguntas deberá adaptarse al tipo de plan territorial considerado, así como al territorio y la población a la que se dirige, pues las diferencias geográficas y culturales que concurren en cada circunstancia hacen imprescindible mantener en todo momento una cierta fenomenología en su planteamiento. Así, como mínimo “deben adaptarse a los objetos de estudio, a los sistemas de información, los recursos disponibles y las hipótesis planteadas” (Bueno Suárez y Osuna Llana, 2013, p. 101). Es por ello que no se pretende presentar una relación maximalista de aspectos a inquirir, sino más bien plantear una batería de preguntas básicas que no deberían pasar desapercibidas al afrontar este tipo de evaluaciones, la cual sería completada y rectificada en sucesivos procesos analíticos y experimentales.

3. Resultados

Siguiendo la sistemática planteada en la metodología, sintetizada en el Gráfico 1, a continuación se presentan algunas de las preguntas preliminares que tanto para el seguimiento como para la evaluación de planes territoriales debería plantearse antes de iniciar su análisis. Así, como puede apreciarse en la Tabla 3, estas se enumeran atendiendo a la etapa del seguimiento y evaluación de planes territoriales que se ha establecido, precisándose cuando corresponde los aspectos a los que afecta.

3.1. Durante la etapa de diseño del plan:

Lo primero que habría que plantearse es la existencia misma de un problema y si ese problema requería de una solución imperiosa, es decir, si el problema se había convertido en una necesidad y para quién era una necesidad; pues a veces estos problemas están solo en la agenda institucional (listado de problemas a los que los decisores públicos sienten la necesidad de dar una respuesta, en principio, independientemente de si la sociedad los siente como problema o no) y no en la agenda sistémica (todos aquellos problemas que lo son en tanto en cuanto la sociedad los comienza a percibir como tales), según la distinción que hace Losada Maestre (2014). Así, una vez tomada la decisión de que el problema es merecedor de atención, de incorporarse a la agenda política, hay que conceptualizar el propio problema, las necesidades surgidas y las soluciones planteadas. Es lo que algunos autores consideran como la parte operativa de la formulación de un plan (López Sánchez, 2014), la cual puede subdividirse a su vez en el análisis de alternativas y la programación y planificación de acciones. “Así, la formulación aporta un análisis de los objetivos fijados, de los medios y recursos necesarios, de las posibilidades de alcanzar los objetivos, de la sostenibilidad de las medidas, del grado de transformación social de cada una, de los grupos objetivos, de los posibles efectos no deseados, etc.” (López Sánchez, 2014, p. 69). Todas estas cuestiones suelen sintetizarse en los diagnósticos de los planes territoriales a través de sus bases, objetivos y

estrategias; siendo clave conocer si los objetivos están relacionados adecuadamente con los problemas, necesidades y retos planteados (IAAP, 2019). Por tanto, habrá que preguntar si el diagnóstico contempló convenientemente todos estos aspectos, pues de ello dependerá que el plan naciera viciado o no. Un paso adelante lo supondrá el precisar la viabilidad de estos objetivos y estas medidas, tanto en si eran realistas, como en si estaban debidamente reforzadas con presupuesto, medios, temporización y coordinación con otras iniciativas, ya que de ello suele depender su éxito o fracaso. También interesa saber la difusión dispensada al plan en sus inicios, así como las reacciones que suscitó, sobre todo para justificar posibles problemas de conocimiento y aceptación. Por último, ayuda al seguimiento y evaluación de un plan saber si este ya surgió desde este prisma, es decir, si ya en sus orígenes proponía el ser seguido y evaluado, o no; de ser así, se podría revisar el sistema previsto, ejecutarlo y compararlo con el recién realizado, para extraer conclusiones más allá de su mera repristinación.

3.2. Durante la etapa de implementación del plan:

Durante la implementación del plan es crucial sondear la actitud de los stakeholders (IAAP, 2019), es decir, los responsables, agentes gestores y población a la que se dirige el plan, revelando su nivel de conocimiento, su grado de implicación y haciendo balance de las principales críticas manifestadas al mismo. De ello dependerá la aversión o afección al mismo, su consideración a escala intemporal, interescalar, intersectorial e intergubernamental, y en definitiva que sea tenido en cuenta o no en sus acciones cotidianas. También es preciso preguntar por si se están siguiendo los procedimientos prefijados para la implementación del plan y si ha sido necesario improvisar otros procedimientos para atender condiciones sobrevenidas. Por supuesto que confirmar la suficiencia de los recursos empleados, tanto financieros como materiales, humanos y técnicos, será clave, no ya sólo para confirmar el acierto de las previsiones, sino para detectar futuros requerimientos de provisión, cuestión fundamental para seguir garantizando la vigencia del plan. Igualmente interesa saber cómo se incardina el plan con otros planes y políticas públicas. Si ha habido cambios sustanciales tanto en los contenidos del plan como entre los agentes encargados de su gestión, incluyendo oscilaciones políticas de relevancia. Si se ha llevado a cabo algún tipo de seguimiento o evaluación durante el periodo transcurrido desde su entrada en vigor. Si fruto de las mismas o por iniciativa menos fundada se ha pensado en su derogación, sustitución o revisión. Y si todo este camino se ha visto acompañado de un proceso de amplia participación y plena transparencia, ya fuese consignado en el debido Plan de Comunicación o Difusión, ya fuese improvisado a iniciativa de qué parte, pues no hay que olvidar que “la evaluación, en el contexto político actual, aparece ligada a la transparencia democrática, así como a la ya clásica rendición de cuentas” (Gutiérrez Díaz, 2014, p. 103).

3.3. Durante los resultados del plan:

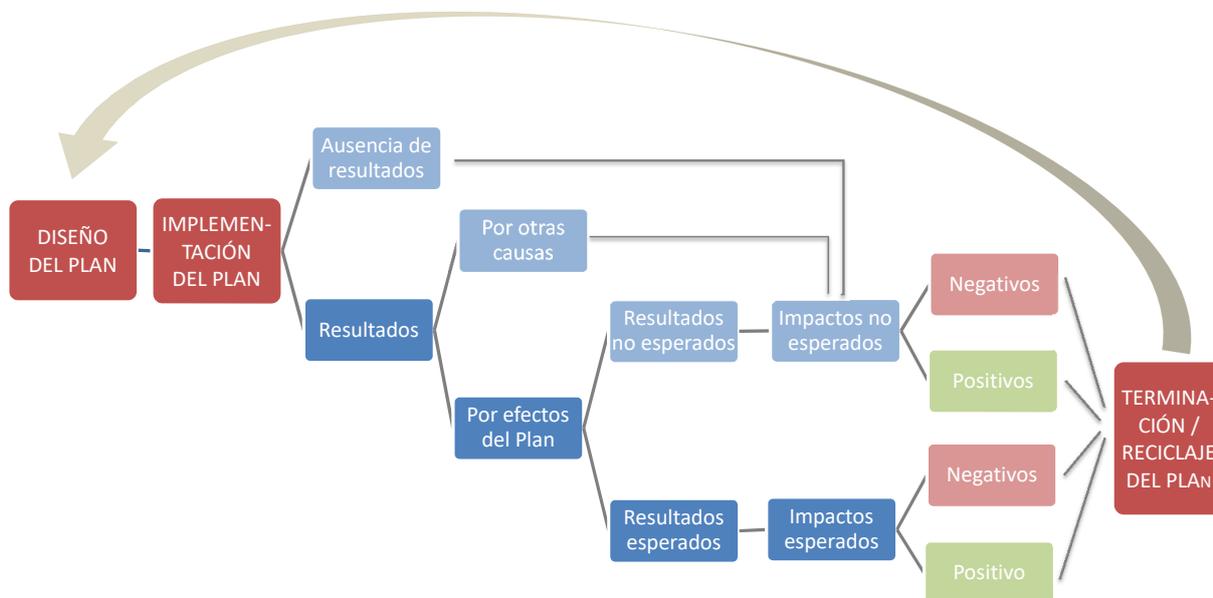
De entrada es preciso discernir entre aquellos resultados que son debidos casi que en exclusividad a las acciones del plan y aquellos otros logros que se han debido más bien a la influencia de factores ajenos al mismo (otros planes, otras políticas públicas, desaparición “natural” del problema, etc.). Seguidamente es preciso determinar cuánta repercusión han tenido las acciones programadas en la consecución de esos resultados, para poder demostrar si obedecen a la lógica planteada en las bases, objetivos y estrategias, o por el contrario han sido fruto de una cierta improvisación afortunada; esto es lo que se denomina resultados esperados y no esperados. Todo ello conduce a un diagnóstico de los resultados obtenidos, en el que será preciso diferenciar a quién afectan fundamentalmente (la población destinataria del plan, sus responsables, sus gestores e incluso entes menos personalizados como el medio ambiente o la sociedad); si los efectos han sido inmediatos o por el contrario han requerido de plazos más o menos dilatados, ya que esta periodicidad puede ayudar a tomar decisiones en cuanto a la prorrogación del plan; y si los efectos han resultado ser directos y concretos o han sido fruto de una concatenación de reacciones, pues ello puede ayudar a precisar la cirugía de la acción y así ahorrar costes a la par que se evitan efectos colaterales indeseados.

3.4. Durante los impactos del plan:

Partiendo de que un plan puede producir más efectos que los resultados obtenidos, la primera cuestión a afrontar es qué habría sucedido de no intervenir; este es el primer impacto a tener en cuenta, la denominada “alternativa cero”, y que no es otra cosa que una simulación de qué es lo que habría pasado si no se ponen en funcionamiento las acciones del plan. A partir de aquí se pueden ir desgranando los

impactos a través de un complejo diagnóstico que ha de tener en cuenta múltiples variables (ambientales, económicas, sociales, políticas, culturales, etc.) y debe concretarse en impactos esperados o previsible, impactos no esperados o sobrevenidos, impactos positivos e impactos negativos. Con esta última clasificación la evaluación puede proceder a corregir las desviaciones y afecciones del plan, lo que llevará al debate de su derogación, revisión o sustitución.

Gráfico 1. Esquema del procedimiento a seguir para llevar a cabo el seguimiento y evaluación de un plan territorial



Elaboración propia

3.5. Durante la terminación del plan:

Para acabar un plan correctamente y transmitir sus determinaciones a otra planificación o regulación, es fundamental conocer con exactitud cuál ha sido su validez, cuál ha sido su eficacia y eficiencia, así como la percepción y grado de satisfacción que del mismo han tenido entre los administrados y administradores. En cuanto al grado de satisfacción se han desarrollado algunos instrumentos como los análisis de la demanda y grado de satisfacción ciudadana o la recopilación de quejas y sugerencias (Ley Foral 21/2005 de Navarra, capítulos VII y VIII), sin embargo no dejan de ser extrañezas al día de hoy y la mayor parte de las iniciativas de participación pública se concentran en el diseño del plan. Por su parte, la determinación de la validez, eficacia y eficiencia está aún menos desarrolladas,

(...) Parece que la Administración no dedica mucha atención a este aspecto y si hay estudios que hayan analizado esta cuestión no son públicos... En todo caso debe decirse que conocer o medir la eficacia de un plan es una cuestión compleja... [pues] si los objetivos, los valores o los fines son abstractos o poco concretos poco pueden contribuir a medir la eficacia al compararlos con los resultados. Pero aún hay más, la dificultad estriba en que el concepto eficacia en planificación es un concepto vago, que puede ser interpretado de manera distinta, bien como la capacidad del plan de responder a las distintas funciones encomendadas, es decir su rendimiento, o bien como la capacidad de producir el efecto adecuado al problema planteado... El plan no puede juzgarse desde una posición neutra, porque los planes tienen efectos diferenciados sobre los agentes y sobre los grupos sociales, y enjuiciar el plan sólo se puede realizar a partir de los valores de los intereses de cada uno de estos grupos sociales. (Benabent Fernández de Córdoba, 2007, p. 324).

Así pues, como mucho, la Administración se ha limitado a revelar el estado del cumplimiento de objetivos y determinaciones, así como el estado de ejecución de las actuaciones programadas (Norma 163 del Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía [POTA]). En definitiva, hay que justificar y fundamentar muy bien la terminación de un plan para cerrar con el pasado y abrir las puertas del futuro, aunque lamentablemente esto resulte poco frecuente.

3.6. Durante el reciclaje del plan:

Teniendo en cuenta que un plan puede concluirse o puede prorrogarse, y que en este último caso puede actualizarse, modificarse o revisarse, según la nomenclatura fijada en el marco teórico de este trabajo, cabría preguntarse qué opción es la más conveniente para el mismo. Para ello es clave calibrar la repercusión que el plan tiene no solo sobre el territorio y las cuestiones que planifica y regula, sino también sobre el resto de regulaciones y planificaciones con las que se relaciona, a fin de evitar vacíos, obsolescencias o contradicciones. Solo indagando en ello se podría reciclar un plan territorial que, como es sabido, suele ser enorme y completamente interdependiente con otras políticas.

Tabla 3. Preguntas preliminares para el seguimiento y evaluación de un plan territorial, chequeadas sobre los diferentes planes analizados

FASES Políticas Públicas	ETAPAS Seguimiento / Evaluación	PLANTEAMIENTOS básicos del Seguimiento / Evaluación	PEPMFC	POTAUG'03	POTAUG'09	POTAUG'16	PEOVG
Formulación de la Política	1. Diseño	1. ¿Existía el problema?	X	X	X	X	X
		2. ¿El problema se había convertido en una necesidad y para quien (la población, políticos, gestores, medio...)?	X	X	X	X	X
		3. ¿El diagnóstico identificaba los problemas o circunstancias correctamente?	X	X	X	X	X
		4. ¿Están bien conceptualizados los problemas?	X	X	X	X	
		5. ¿El diagnóstico identificaba las necesidades?	X	X	X	X	
		6. ¿Están bien conceptualizadas las necesidades?	X	X	X	X	
		7. ¿Se plantearon soluciones?	X	X	X	X	X
		8. ¿Se plantearon objetivos?	X	X	X	X	X
		9. ¿Existe correspondencia entre objetivos definidos y problemas identificados en la fase de diagnóstico de necesidades?	X	X	X	X	X
		10. ¿Los objetivos pueden ser alcanzados por el plan?	X	X	X	X	
		11. ¿Se estableció alguna programación para los objetivos?		X	X	X	
		12. ¿Se estableció un sistema de medición para entender el cumplimiento de los objetivos?					X
		13. ¿Se plantearon instrumentos y medidas de intervención?	X	X	X	X	X
		14. ¿Estaban bien relacionados los instrumentos y medidas de intervención con los objetivos?	X	X	X	X	X
		15. ¿Los instrumentos y medidas de intervención pueden ser alcanzados por los medios con lo que cuenta el plan?	X			X	X
		16. ¿Existieron previsiones de compatibilidad del plan con otras políticas, planes y programas?	X	X	X	X	X
		17. ¿Se divulgó correctamente el plan y entre quién (sociedad, colectivos afectados, instituciones, técnicos...)?	X				X
		18. ¿El plan tuvo pronunciamientos a favor o en contra, precisándose por quién (población, colectivos, instituciones...)?	X				X
		19. ¿Se previeron labores de seguimiento?	X	X	X	X	X
		20. ¿Se previeron labores de evaluación?				X	X
Implementación de la Política	2. Implementación	21. ¿El plan es conocido por sus responsables o agentes gestores?	X	X	X	X	X
		22. ¿El plan se gestiona correctamente: procedimientos, criterios funcionamiento interno organización, reparto tareas...?	X	X	X	X	X
		23. ¿Se encuentran los responsables o agentes gestores implicados en la implementación del plan?	X			X	X
		24. ¿Qué quejas generalizadas tienen los responsables o agentes gestores del plan?	X			X	X
		25. ¿El Plan es conocido por la población a la que se dirige?				X	X
		26. ¿La población a la que se dirige el plan se encuentra implicada en la implementación del plan?					X
		27. ¿Qué quejas generalizadas tiene la población a la que se dirige el plan?	X			X	X
		28. ¿Los recursos financieros son suficientes?	X				X
		29. ¿Los recursos materiales son suficientes?	X				
		30. ¿Los recursos humanos son suficientes?	X				
		31. ¿Los recursos técnicos son suficientes?	X				X
		32. ¿Se realizaron labores de seguimiento?	X	X	X	X	X
		33. ¿Se realizaron labores de evaluación?	X				X
		34. ¿El plan tiene compatibilidad con otras normas, políticas y planes, es decir, ha sido tenido en cuenta por éstos?	X	X	X	X	X
		35. ¿Se han realizado cambios sustanciales en el plan?	X		X	X	X
		36. ¿Se han realizado cambios sustanciales en los responsables o agentes gestores?				X	X
		37. ¿Se ha ejecutado algún Plan de Comunicación?	X				X
		38. ¿Se pensó en algún momento en su derogación, sustitución o revisión?	X			X	

Efectos de la Política	3. Resultados	39. ¿Cuál es la diagnosis de resultados obtenidos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre la población?				X	X
		40. ¿Cuál es la diagnosis de resultados obtenidos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre las instituciones?				X	X
		41. ¿Cuál es la diagnosis de resultados obtenidos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre gestores/administración?					X
		42. ¿Cuál es la diagnosis de resultados obtenidos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre el medio físico?	X	X	X	X	X
		43. ¿En qué medida los resultados se deben al plan o a otros factores externos?	X			X	X
		44. ¿Cuáles son los resultados esperados?	X			X	X
		45. ¿Cuáles son los resultados no esperados?	X				
	4. Impactos	46. ¿Cuál es el grado en el que los resultados obtenidos se incardinan con los objetivos y acciones planteados?	X			X	X
		47. ¿Cuál es la diagnosis de los impactos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre la población?	X				X
		48. ¿Cuál es la diagnosis de los impactos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre los políticos/instituciones?	X				X
		49. ¿Cuál es la diagnosis de los impactos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre los gestores/administración?	X			X	X
		50. ¿Cuál es la diagnosis de los impactos (efectos inmediatos, directos y concretos) sobre el medio físico?	X			X	X
		51. ¿En qué medida los impactos se deben al plan o a otros factores externos?	X			X	X
		52. ¿Cuáles son los impactos esperados?	X			X	X
Evaluación de la Política	5. Terminación	53. ¿Cuáles son los impactos no esperados?	X				
		54. ¿Cuál es el grado en el que los impactos obtenidos se incardinan con los objetivos y acciones planteados?	X			X	X
		55. ¿Cuál es la validez de la metodología empleada y su relación con los resultados e impactos?	X			X	X
		56. ¿Cuál es la validez de la estrategia diseñada y su relación con los resultados e impactos?	X			X	
		57. ¿Cuál es la validez de los recursos invertidos y su relación con los resultados e impactos?	X				X
		58. ¿Cuál es la validez de los instrumentos planteados y su relación con los resultados e impactos?	X		X	X	X
		59. ¿Cuál es la validez de la implementación llevada a cabo y su relación con los resultados e impactos?	X			X	
		60. ¿En relación a la eficacia del plan (relación entre objetivos y resultados), se alcanzan los parámetros de referencia?	X	X	X	X	
		61. ¿En relación a la eficacia del plan (relación objetivos y resultados), cuál es el coste de las acciones puestas en marcha?		X	X	X	X
		62. ¿La ciudadanía afectada directamente percibe favorablemente los resultados de las actuaciones?					X
		63. ¿La ciudadanía no afectada directamente percibe favorablemente los resultados de las actuaciones?					
		64. ¿El staff político percibe favorablemente los resultados de las actuaciones?					
		65. ¿Los responsables o agentes gestores perciben favorablemente los resultados de las actuaciones?	X			X	X
		66. ¿Cuál es el grado de satisfacción de las expectativas por parte de la ciudadanía?					
67. ¿Cuál es el grado de satisfacción de las expectativas por parte del staff político?							
68. ¿Cuál es el grado de satisfacción de las expectativas por parte de los responsables o agentes gestores del plan?	X						
Retroalimentación	6. Reciclaje	69. ¿Qué repercusión tiene el plan para la planificación del ámbito competencial?	X			X	X
		70. ¿En el contexto del resto de planes similares o relacionados, qué valoración recibe el plan?	X	X	X	X	X
		71. ¿Existen motivos de obsolescencia que motiven la actualización, modificación, revisión o terminación del plan?	X	X	X	X	
		72. ¿La falta de resultados o la existencia de impactos negativos invitan a actualizar, modificar, revisar o terminar el plan?	X			X	

Nota aclaratoria: PEPMFC (Informe de seguimiento y evaluación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de la provincia de Granada). POTAUG'03, POTAUG'09 y POTAUG'12 (Informe de valoración del grado de cumplimiento del Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada de 2003, 2009 y 2016 para el Informe de Seguimiento del mismo). PEOVG (Evaluación ambiental estratégica del Plan Especial de Ordenación de la Vega de Granada).

Fuente: Garrido Clavero, 2017. Elaboración propia.

4. Discusión de resultados

4.1. Durante la etapa de diseño del plan:

Con la veintena de preguntas planteadas para esta etapa se puede proceder a la evaluación del diseño del plan. Sin embargo, conviene advertir que responder a estas cuestiones puede resultar complejo, especialmente cuando ha transcurrido un importante periodo de tiempo o han cambiado el staff político y los gestores, ya que se habrá perdido la perspectiva que entonces y aquellos tuvieron sobre el problema. De todas formas, muchas de estas preguntas se pueden entrever de la lectura del propio plan y su expediente

administrativo, cuestión que si se pasa convenientemente por el matiz de la temporalidad y la ideología predominante en su momento puede ayudar a responderse.

Como ha podido apreciarse, es muy importante que exista una adecuada concatenación de fundamentos (considerar primero los problemas, luego las necesidades, las soluciones, los objetivos, los instrumentos y medidas de intervención, los medios, la difusión, y los pronunciamientos, para concluir finalmente con el seguimiento y la evaluación del plan), pues cualquier salto en esta secuencia podría dar lugar a deficiencias en su análisis, así se hace constar en la innovadora Ley Foral de Navarra 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos, cuando sostiene que “Las evaluaciones de las políticas públicas podrán versar, entre otros, sobre los siguientes extremos: a) Problemas detectados y problemas que se pretenden resolver. b) Objetivos que se pretenden conseguir. c) Resultados alcanzados. d) Relación entre los tres elementos anteriores” (artículo 10). De seguido, es preciso atender a si estos pasos fueron debidamente identificados y si se conceptualizaron correctamente, pues a veces se confunden problemas con necesidades o soluciones con objetivos, por poner solo unos ejemplos. Y por último es muy importante concretar lo más precisamente las circunstancias de cada problema, necesidad, solución, objetivo o medida previstos, para determinar si estuvieron bien fundamentados. Así pues, la información que aporta el seguimiento y evaluación del diseño del plan puede resultar crucial para detectar defectos de origen, de formulación; igualmente, “facilita la fiabilidad y validez de las conclusiones y, además, permite extraer indicaciones valiosas en relación con las metodologías y los resultados obtenidos en la implementación de políticas o planes anteriores... [así como] validar el modelo de intervención diseñado” (OMSP, 2008, p. 20).

En cuanto a quién deberían dirigirse estas preguntas, resulta evidente que habría que planteárselas a los que en su día incorporaron la formulación del plan a la agenda política del momento, hecho que no siempre será posible porque, como se dijo anteriormente, cuando haya pasado mucho tiempo puede que se difuminen los motivos, cabe la posibilidad de que los responsables hayan cambiado o que simplemente ya no quieran colaborar en el recuerdo de aquella etapa. No obstante, y en su defecto, la versión que puedan aportar los presentes protagonistas será muy útil para determinar la evolución del problema, su vigencia, cambio de orientación o definitiva desaparición, y entiéndase como protagonistas tanto los actuales gestores del plan como la población afectada.

La repercusión y el impacto que pueda ser atribuible al diseño del plan está muy relacionada con esa concatenación de fundamentos de la que se hablaba antes. De esta manera, es muy posible que al haber dejado atrás un problema esto tenga mucho que ver con que no se haya resuelto, lo cual estaría dentro de lo esperable. Pero a veces se producen impactos, positivos o negativos, totalmente inesperados y que se fundamentan en una imprecisión en el proceso de diseño del plan. El mejor ejemplo lo suele suponer la disposición de medios para cumplir las medidas previstas, que por regla general resultan insuficientes o son manifiestamente ficticios. Así pues, con el planteamiento de estas preguntas se pueden revelar algunos de estos impactos, en cierta forma “imprevistos” o “inadecuadamente previstos”. Ahora bien, cuando estos impactos se deben a condiciones que han sobrevenido después del diseño del plan, es necesario realizar un estudio específico de esas condiciones sobrevenidas para revelar la relación entre el impacto y las nuevas circunstancias. Este sería el caso, siguiendo el ejemplo antes expuesto, de la aparición de nuevas partidas de medios distintas a las previstas inicialmente para sufragar los costes de las medidas planteadas, que en apariencia pudieran hacer suponer que tales medidas estuvieron bien provistas, pero la realidad es que debieron ser revisadas precisamente por una deficiencia en su cuantificación.

La implicación en el cumplimiento de los objetivos y determinaciones del plan de las cuestiones abordadas durante esta fase de diseño no serán tan relevantes como la de otras fases, caso de la implementación. Sin embargo, en algunas circunstancias ha resultado clave. De esta manera, cuando se pregunta si el plan contó con una correcta divulgación, en realidad lo que se está haciendo es reflexionar sobre el hecho de que los objetivos y determinaciones del plan no se hayan cumplido por desconocimiento, no ya sólo de la población, sino incluso de sus propios gestores. El caso más gravoso sería aquel en el que los planteamientos del plan no llegaran a buen puerto simplemente por error de tramitación durante su diseño —caso del Plan de Protección del Corredor Litoral de Andalucía, anulado por aprobarse con un gobierno en funciones, o de los Planes Especiales de Protección del Medio Físico de las provincias andaluzas, carentes de vigencia por no publicarse su normativa hasta 20 años después de su aprobación—.

Por último, la posibilidad de relacionar estas primeras indagaciones a un sistema de indicadores prefijado resulta ciertamente difícil pero no imposible. Por ejemplo, podría ser medible la programación es-

tablecida para los objetivos, determinándose si se han cumplido los plazos y las prioridades; los medios inicialmente previstos podrían valorarse, tanto confirmándose si efectivamente se han invertido como si han cambiado los precios o costes unitarios a lo largo del tiempo; y la previsión de compatibilidad del plan con otras políticas, planes o programas se puede cotejar comprobando que efectivamente estos otros no contradicen las determinaciones ni las propuestas del plan en cuestión.

4.2. Durante la etapa de implementación del plan:

Con las dieciocho preguntas propuestas se puede hacer un seguimiento y se puede evaluar la implementación de un plan territorial. Algunas preguntas son más fáciles de responder que otras, y sobre todo algunas preguntas son menos costosas que otras —por ejemplo, es menos gravoso inquirir a los responsables o agentes gestores que a la población, que generalmente requiere un muestreo mucho más amplio, fundamentalmente a los principales agentes sociales (representantes de equipos redactores de planes, de promotores, de colegios profesionales, de colectivos proteccionistas, etc.)—. Particularmente dificultosos resultan los cálculos sobre la suficiencia de los recursos empleados, lo que con frecuencia requiere la intervención de un especialista (economistas, laborales, etc.), la elaboración de complejas memorias económicas (estudio económico financiero, informe de sostenibilidad económica, etc.) y la constante actualización de los costes; costes que cuando son monetarios se pueden precisar con cierto grado de exactitud, pero que cuando son humanos tienen sus imprecisiones, por cuanto que entran en juego factores más estrictamente psicológicos como el compromiso, la implicación, la satisfacción, etc.

La información que pueden aportar estas preguntas se centra en la responsabilidad que cada agente (políticos, gestores y población) ha jugado en la implementación del plan, así como en la repercusión de los medios empleados. Así, el grado de cumplimiento de las determinaciones del plan depende no sólo de sus gestores, sino también del grado de aceptación de la sociedad a la que se dirige y de la disponibilidad que ofrezca el staff político para el mantenimiento de su vigencia, pues sin la coparticipación de alguno de ellos el plan podría fracasar. Igual sucede con las adaptaciones y variaciones que se van sucediendo desde su aprobación, que también requiere de la mutua aceptación por todas las partes implicadas. La cuestión de las adaptaciones/variaciones es muy interesante de valorar, ya que aquel plan que haya cambiado un importante número de planificaciones o legislaciones adquirirá el rango de plan influyente y transversal, mientras que aquel otro que reiteradamente haya tenido que reformularse por incidencia de otros planes o legislaciones deberá ser considerado como plan colateral o subsidiario. Finalmente, preguntar por cuestiones de balance durante esta etapa es crucial para las etapas posteriores, ya que permitirá contar con información de primera mano de la evolución del plan; así, si se ha practicado algún tipo de seguimiento, evaluación, inventario de cambios sustanciales, difusión o planteamiento de derogación, sustitución o revisión durante su implementación debe ser inmediatamente recogida, pues resultará de vital importancia para los informes de seguimiento o de evaluación que se hagan con posterioridad, detectándose los vaivenes que ha tenido la vida activa del plan y aquellos aspectos a los que ha resultado más vulnerable.

En lo que concierne a quién deberían dirigirse las preguntas, siempre es muy conveniente empezar a distinguir entre staff político, responsables o gestores del plan, población directamente afectada y población en general. El staff político es el que tiene mayores obligaciones con la ejecución del plan, pues del grado de éxito de sus políticas prácticamente depende su subsistencia, su responsabilidad social pública o gubernamental, e incluso, en algunos casos, su responsabilidad penal. Los gestores tienen, además de esta responsabilidad, el compromiso deontológico y su propia calidad laboral. Por su parte, es preciso hacer distinción entre la población directamente afectada y el resto, por cuanto que cambian los niveles de información y opinión sobre el plan, pudiéndose dar el caso, como sucede en muchas ocasiones, que el interés particular choca frontalmente con el colectivo. En otro sentido, uno de los aspectos más polémicos es si estas preguntas se pueden plantear para testar el estado del medio físico, pues a decir de algunos ecólogos y ambientalistas (Hernández del Águila, 1985), el medio, la naturaleza, responde a nuestras demandas con hechos y manifestaciones sutilmente leibles. En esta ocasión se ha preferido delegar esta cuestión en los resultados e impactos del plan, donde debería abordarse esa hipotética respuesta del medio a las determinaciones y acciones del plan.

Las indagaciones practicadas durante el estudio de la implementación del plan tienen como primer hito valorar los reparos que los responsables, gestores y población en general han planteado al mismo durante su periodo de vigencia, circunstancia que en determinados casos pueden testarse a través de una unidad responsable de la gestión de quejas y sugerencias dentro de la propia administración, como recoge

la propia Ley Foral de Navarra 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos (Capítulo VIII). En estos reparos se fundamentan muchos de los cambios sufridos por el plan durante su implementación; cambios que suelen dar lugar a resultados no previstos y a impactos no esperados inicialmente. Una queja habitual por parte de los responsables y gestores es que las instrucciones para el cumplimiento de las determinaciones del plan no son claras ni precisas, o que estas no se han difundido todo lo que se debiese entre el distinto personal y estamentos implicados. Esto suele traducirse en una ejecución de las iniciativas del plan con un bajo índice de control y, lo que es peor, a veces incurriendo en contradicciones con las estipulaciones del plan. Cuando así sucede, se crea cierta confusión para el resto de agentes implicados, promotores y ciudadanía, que encuentran en los pronunciamientos de la Administración falta de unanimidad de criterio. Por su parte, promotores y población en general reciben el impacto de la burocratización de los trámites, las restricciones a sus acciones y en general la afeción a sus intereses personales, cuestión que no por sabida debe ser desdeñada.

Por último destacar la repercusión que la articulación del plan tiene en referencia a otros planes, normas o políticas; a veces los planes se articulan convenientemente con la planificación existente, pero no siempre ha sido así y en ocasiones han surgido discrepancias que han llevado al pleito entre distintas administraciones en defensa de sus competencias o entre la administración y la ciudadanía afectada en defensa de sus intereses. Fruto de esta articulación suelen ser las actualizaciones, modificaciones e incluso revisiones por la que pasan los planes más duraderos, siendo este el principal impacto que puede recibir un plan, ya que puede suponer su transformación parcial o incluso su sustitución o derogación.

En cuanto a la implicación en el cumplimiento de los objetivos y determinaciones del plan, la implementación es crucial. Según se gestionen las acciones propuestas se cumplirá o no con lo previsto, ya que los problemas que pueden surgir en la arrancada y el mantenimiento de una propuesta serán claves para lograr su plena efectividad. Así pues, en la etapa de implementación de un plan es donde se construye su cumplimiento, luego distintos avatares y condiciones sobrevenidas concretarán el sentido de este cumplimiento, pero el momento de la acción es éste, y de él depende no sólo su éxito, sino incluso su viabilidad.

En última instancia la posibilidad de relacionar indicadores a la etapa de implementación es manifiesta por cuanto que ya en este momento de las políticas públicas se pueden hacer seguimientos y evaluaciones *in itinere*, durante su vigencia, con el fin de corregir las desviaciones que hubieran surgido durante el proceso de gestión. Sin embargo estos indicadores deben ser lo suficientemente flexibles e inmediatos como para corregir prácticamente en tiempo real estas desviaciones, por lo que no deberían resultar extremadamente complejos de obtener. Así pues, estos indicadores suponen “instrumentos para la observación continua de los progresos y el ajuste de las actuaciones para alcanzar mejores resultados” (OMSP, 2008, p. 20).

4.3. Durante la etapa de resultados e impactos del plan:

Preguntarse sobre los resultados alcanzados, la distribución de los efectos o los impactos que se han constatado y sectores sobre los que se han producido ya se reconoce en la que fue la primera legislación española sobre evaluación de las políticas públicas (artículo 10 de la Ley Foral de Navarra 21/2005). Pero hay que advertir que aunque es en esta etapa cuando menos impedimentos se tienen para contestar a las preguntas planteadas, sin embargo es cuando más complejas se vuelven las respuestas. Los impedimentos son pocos porque basta con la decisión del responsable y la capacitación del evaluador para responder a las preguntas. Pero la complejidad es tal que es quizás la etapa en la que el evaluador debe emplearse más a fondo. Para contestar a muchas de estas preguntas se requiere de un importante ejercicio de abstracción, ya que muchas de las respuestas se encuentran ocultas o son difícilmente deducibles a primera vista (resultados o impactos no esperados por deberse a circunstancias sobrevenidas desde la aprobación del plan, incidencia de factores externos como la entrada en vigor de nuevas legislaciones o planificaciones, etc.), o bien requieren de un mayor esfuerzo de conceptualización (efectos inmediatos, como los sucedidos en un determinado corto plazo de tiempo a fijar desde la entrada en vigor de las determinaciones del plan; efectos directos, como los que en la relación causa-efecto es manifiestamente palpable; efectos concretos, como los que se cumplen certeramente y sin apenas efectos secundarios; incardinación con los objetivos y acciones planteados, cuando guardan una estrecha relación entre los objetivos, acciones y resultados obtenidos; etc.). En consecuencia, hay que ser muy precisos, conocer muy bien la sistemática y tener un amplio conocimiento holístico para dar contestación a una serie de cuestiones que, con frecuencia, superan las especialidades disciplinarias.

La información que aportan estas etapas suelen ser las más determinantes del seguimiento y evaluación, pues de ellas depende en gran medida lo que pase con posterioridad con el plan, hasta el punto de que con unos resultados pobres y unos impactos negativos muy altos con frecuencia la terminación del plan suele ser inminente (tal y como ha podido constatar el autor en los planes evaluados). Es por ello por lo que es tan importante distinguir entre resultados e impactos esperados y no esperados, y entre resultados e impactos positivos y negativos. La conclusión de esta matriz será el instrumento fundamental que servirá para decidir si acabar con un plan o prorrogarlo, y en qué condiciones.

Precisamente por esta abstracción y conceptualización de la que antes se hablaba, en esta etapa las preguntas se dirigen hacia el propio evaluador, que podrá recabar la opinión de los demás agentes implicados, pero que al final será él mismo quien habrá de encasillar si un determinado resultado o impacto ha sido esperado o no esperado, positivo o negativo, caso de no existir un sistema de indicadores previamente establecido.

Como podrá entenderse, la repercusión que los resultados e impactos son capaces de revelar es total. Esta es la esencia misma del seguimiento y evaluación de planes territoriales y así es comúnmente admitido, hasta el punto que las principales evaluaciones territoriales trabajadas en nuestro entorno llevan por nombre la Evaluación de Impacto Ambiental y la Evaluación de Impacto Territorial, muestra significativa de qué es lo que se pretende: evaluar los resultados e impactos de una determinada intervención.

La implicación en el cumplimiento de objetivos y determinaciones es alta, en especial cuando se trata de resultados e impactos esperados y positivos. Sin embargo, los resultados e impactos no esperados y negativos adquieren tal envergadura que aquellos pasan a un segundo plano frente a éstos, pues lo que ya interesa de verdad no es tanto que se haya cumplido con lo previsto entonces, como valorar si la situación actual requiere de otras intervenciones.

Por último, relacionar indicadores a los resultados e impactos es muy oportuno porque ayudan a detectar buena parte de los hechos no esperados, mientras confirma los esperados. Mas si en su día estos no se previeron, cómo podrían haberse anticipado indicadores al respecto. Es por ello que en esta etapa prevalece la capacidad interpretativa del evaluador más que cualquier otra fuente de información, no obstante:

(...) cuando los resultados y efectos directos e indirectos son observables, los datos de indicadores obtenidos durante la fase anterior sirven de datos de referencia para analizar una comparación entre lo esperado y lo observado. Esta nueva información permite a los/as responsables y agentes gestores/as reajustar metas y el propio sistema de indicadores. (OMSP, 2008, p. 20)

4.4. Durante la etapa de terminación y reciclaje del plan:

La dificultad de las preguntas que se plantean durante estas etapas radica más que en ser contestadas en sí misma, en ofrecer unos resultados concluyentes, claros y concisos, a partir de los cuales quienes tienen que decidir si prolongar o finalizar el plan puedan pronunciarse con fundamento. Fijar la validez de los distintos aspectos internos que conforman el plan requiere de un importante esfuerzo sintético y valorativo, normalmente traducido en un informe de seguimiento, un informe de evaluación o una Memoria de Gestión del Plan (Norma 163 del Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía [POTA]), dependiendo del caso y del encargo, en el que hay que tener en cuenta no solo el momento de la evaluación sino también el recorrido del plan y los logros adquiridos por este a lo largo de su vigencia. Es el momento de plantearse si “¿Los planes son efectivos?, ¿En qué aspectos no están funcionando?, ¿Cuáles son las dificultades de aplicación?, ¿Por qué? (Benabent González de Córdoba, 2007). Es por ello que durante estas etapas es clave contar con la participación de varios evaluadores que permitan obtener distintas ópticas y distintos pareceres, lo que puede hacerse a través de la incorporación de sus distintas versiones en el mencionado informe de seguimiento o informe de evaluación, o bien encargando varios de estos informes con los que llevar a cabo un careo entre ellos, ya sean internos, como proponen algunos autores (Ferro y Mourato, 2011), ya sean externos, como apuestan otros (Serrano Rodríguez, 2011).

Uno de los principales aspectos que han de destacar estos informes es la eficacia y la eficiencia del plan. De ello dependerá, en buena medida, que se tome la decisión de que el plan se termine ahí, o de que se prorrogue su vigencia y las condiciones en las que esta prórroga debe llevarse a cabo —dejándolo tal cual o redefiniéndolo a través de su simple actualización, modificándolo en aquellos aspectos que lo requieran o revisándolo íntegramente si es necesario que siga vigente pero sometido a una profunda

transformación—. Al margen de este fin, la determinación de la eficacia y eficiencia del plan contará como una experiencia de gran valor para la formulación de sucesivos planes.

Como puede argüirse de la propia formulación de las preguntas, quien ha de responderlas son: por un lado, la ciudadanía, que habrá de contestar a cuestiones de percepción del plan, así como de grado de satisfacción respecto a las expectativas creadas, distinguiéndose, si es posible, entre población directamente afectada y población no afectada directamente, pues sus respuestas diferirán; para ello se pueden emplear estudios de análisis de la demanda y de evaluación de la satisfacción de los usuarios con respecto a sus servicios, utilizando para ello técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas, tal y como precisa la propia Ley Foral de Navarra 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos (Capítulo VII). El staff político, que valorará si ha mejorado la situación de partida o incluso si le presta rédito electoral. Y los responsables y gestores, que deben expresar los quebraderos de cabeza que le han dado y cómo deberían evitarse, además de los problemas que le han supuesto en relación con sus superiores (el staff político) y los administrados (la ciudadanía), con los que siempre deben congraciarse. El cuestionario se puede ampliar a otros profesionales como los redactores de planes o los promotores de actuaciones, en el primer caso para obtener la valoración que recibe el plan en comparación con otros planes similares, y los segundos para intentar ver de qué manera se articularían mejor sus iniciativas sin contravenir las determinaciones del plan.

Los impactos que las preguntas son capaces de revelar durante esta etapa son tan variados como las causas que justifican qué hacer con el plan a partir de la evaluación. Pero si hubiera que resumirlos en alguna categoría haría referencia a la efectividad del plan, a si se han logrado unos resultados eficaces con costes eficientes, o todo lo contrario. Siempre se va a valorar mejor la eficacia, la consecución de los objetivos planteados, pero también hay que tener en cuenta a que coste se han logrado y si este coste está en relación con las mejoras conseguidas. También hay que tener en cuenta que lograr objetivos no es solo cumplir los inicialmente previstos, sino también haber sido capaces de adaptarse a las condiciones sobrevenidas y, sobre todo, recibir una percepción favorable por parte de los distintos agentes implicados.

En consecuencia, es quizás aquí donde un sistema de indicadores adecuado cobra mayor repercusión. Este no solo ayudará a cuantificar las conclusiones, tan importantes de exponer como se ha visto, sino que además coadyuvará a la exportación de la experiencia del plan, ya sea para someterlo a debates científicos sobre sí mismo, ya sea para que sirva de aprendizaje para otros planes.

4.5. Aplicación de las preguntas preliminares en los planes analizados:

Para comprobar estos resultados, las citadas preguntas se han aplicado a la evaluación de tres planes territoriales realizados por un equipo interdisciplinar que encabezaba el autor (el Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de la provincia de Granada, el Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada y el Plan Especial de Ordenación de la Vega de Granada), constatándose su funcionamiento; funcionamiento que deberá ser ratificado, modificado o refutado por la comunidad científica y los profesionales en la materia con base en sus propias experiencias, pero que a grandes rasgos ofrece los siguientes resultados:

- En cuanto a la diferenciación entre seguimiento y evaluación: Los seguimientos (POTAUG 2003, 2009 y 2016) han resultado contener menos preguntas de las formuladas que las evaluaciones (PEPMFC y PEOVG), particularmente a partir de la etapa de Diseño. Se intuye que ello puede deberse a que las evaluaciones intentan profundizar más en las causas y consecuencias que los seguimientos, así como en la repercusión que el plan ha tenido o está teniendo.
- En cuanto a la diferenciación entre el momento del seguimiento o evaluación: El *ex ante* (PEOVG) es el que más preguntas parece contener, seguido de cerca por el *ex post* (PEPMFC) y a distancia por el *in itinere* (POTAUG 2003, 2009 y 2016). En parte ello se debe a que cuanto más reciente ha sido el seguimiento o evaluación, más atención se ha prestado a estos asuntos, constatándose por tanto una cierta evolución en el planteamiento de las preguntas propuestas. Igualmente se infiere que en los informes intermedios se dispone de menos capacidad de maniobra para formular determinados tipos de preguntas, singularmente los que tienen que ver con el sondeo de opinión y los recursos empleados, toda vez que al estar en pleno funcionamiento el plan estos son datos difíciles de recopilar y por tanto no suele preguntarse por ellos de manera exhaustiva.

- En cuanto a la diferenciación entre el tipo de ámbitos: Difícilmente se pueden obtener conclusiones claras al respecto, pues aunque se supone que a mayor ámbito mayor complejidad para responder preguntas y por consiguiente se deberían formular menos preguntas, lo cierto es que en el análisis realizado no se puede ratificar este extremo, pues si bien el ámbito más reducido, el comarcal del PEOVG, es el que más preguntas contiene, a él le sigue el ámbito más extenso, el regional/provincial del PEPMFC, en vez del subregional del POTAUG, que resulta ser el más parco.
- En cuanto a la diferenciación entre el tipo de plan: Al igual que en el caso anterior, con los casos analizados no se puede concluir diferencias entre planes generales (PEPMFC), planes parciales (POTAUG) y planes sectoriales (PEOVG). Se presupone que los sectoriales pueden afinar más al presentar sus interrogantes, pero también es cierto que tienen algunos hándicaps, como el hecho de no poder concluir si los resultados o impactos son debidos al propio plan o a otras iniciativas, lo que les pudiera cohibir a la hora de interpelar en este sentido.

5. Conclusiones

Resumiendo, de la etapa de diseño hay que recuperar los principios que inspiraron el plan para comprobar si estos siguen siendo una prioridad hoy; de la etapa de implementación es clave indagar en los problemas y dificultades que surgieron durante su gestión para corregirlos, si procede; de la etapa de resultados e impactos hay que poner en una balanza si los resultados e impactos positivos compensan los negativos; y de la etapa de terminación y reciclaje es crucial presentar un informe de seguimiento o de evaluación en el que determinar la eficacia y eficiencia del plan para decidir su prórroga o no y, en caso de prorrogarse, en qué condiciones.

Así pues, asumida la factibilidad y la conveniencia de realizarle procesos de seguimiento y evaluación a los planes territoriales, tal y como se hace en otras políticas públicas —estas con un proceder bastante consolidado ya—, se ha propuesto una batería de preguntas con las que arrancar estos procedimientos, supuesto que no se tiene constancia de que exista una sistemática prevista, ni siquiera de que haya una homogeneización de criterios al respecto, más allá de la precisión que de los contenidos que han de tener las evaluaciones se hace en la Ley Foral 21/2005, de 29 de diciembre, de evaluación de las políticas públicas y de la calidad de los servicios públicos de Navarra.

Del chequeo practicado a los tres planes territoriales, que en total suman cinco informes de seguimiento/evaluación, se constata que varias preguntas preliminares son comunes y están presentes en diferentes tipos de planes, con especial coincidencia en los casos del PEPMFC y el PEOVG. En cuanto a las etapas, existe una manifiesta presencia de las preguntas planteadas especialmente durante el diseño y el reciclaje de los planes, lo que hasta ahora parece haber interesado más a las administraciones competentes; mientras que en las demás etapas (implementación, resultados, impactos y terminación) se infiere una clara diferenciación entre las evaluaciones, más completas, y los seguimientos, con menos presencia de estas preguntas. Similares circunstancias suceden con el momento del seguimiento/evaluación, dándose el caso de que tanto en los *ex ante* como en los *ex post* se suelen plantear más preguntas que durante los *in itinere*, pudiendo deberse esto a que los seguimientos/evaluaciones intermedias requieren de más inmediatez que las iniciales y finales por cuanto que sus resultados quedarán rápidamente desfasados por el paso del tiempo.

Así pues, las preguntas más reiteradas han sido las que guardan relación con: el certero diagnóstico de los problemas que motivaron el plan, la idoneidad de las soluciones y objetivos planteados para resolver esos problemas, la eficacia de los instrumentos y medidas previstos para desarrollar los correspondientes objetivos, la correcta gestión del plan, la compatibilidad con otras normas o planificaciones, y los resultados obtenidos sobre todo en cuanto al medio físico.

Como ha podido comprobarse en el análisis practicado, existen algunas carencias, pero estas no restan validez a la lista de cuestiones preliminares planteadas, sino que muestra la heterogeneidad de las evaluaciones actuales y la necesidad de completar las metodologías que se están empleando, lo que requeriría de un mayor estudio de casos. No obstante, se reitera que esta es una primera aproximación al estado de la cuestión, a expensas de trabajos más específicos. Igualmente, hay que considerar que aunque no se expone cómo deberían contestarse estos interrogantes, solo con el planteamiento mismo de estas preguntas ya se estaría haciendo una labor evaluadora en sí misma; si bien, efectivamente, esta debería desarrollarse con una metodología y una práctica que deberían ser, también, motivo de investigación y desarrollo en el futuro.

Lo más importante ahora es que con el inédito planteamiento de estas preguntas, distribuidas por etapas —etapas que se relacionan directamente con el ciclo vital de las políticas públicas en el que ya existe un amplio consenso científico—, cualquier evaluador de planes territoriales podría emprender el análisis de un plan en vigor y reflexionar sobre sus éxitos y fracasos, para a partir de ahí facilitar la decisión de sus responsables de prorrogarlo, modificarlo o caducarlo.

Pero estas preguntas no atienden solo a las necesidades de los responsables de planes territoriales, sino que van más allá y responden a las inquietudes que el staff político tiene sobre la repercusión que el susodicho plan tiene para sus intereses a la hora de legitimar su actuación y generar confianza; responden a las demandas de seguridad jurídica que reiteradamente reclaman los gestores de estos planes, nada propicios a las ambigüedades y muy partidarios de evitar cualquier tipo de conflicto; y dan cumplida respuesta a la población en general, ya que se hacen eco de la percepción que tienen sobre el plan, las expectativas creadas, sus principales reparos, el grado de aceptación que recibe y la satisfacción que les depara.

Ítem aparte, la consolidación de un procedimiento de seguimiento y evaluación de planes territoriales, el cual necesariamente tendría que pasar por esta primera fase del planteamiento de preguntas de partida, podría suponer un hito para la comunidad científica por cuanto que permitiría realizar análisis comparados inter-planes; información clave para corregir la planificación territorial vigente, orientar la futura e, incluso, revelar el estado de cada espacio ordenado en relación con lo previsto para él.

En suma, las preguntas aquí planteadas, las cuales se han sometido a un primer análisis de dificultades, potencialidades, viabilidad, eficacia y calibrado, han de cumplir la función de dinamizar el seguimiento y evaluación de planes territoriales, en línea con lo que está sucediendo con otras políticas públicas, primero para mantenerse a la vanguardia epistemológica del seguimiento y evaluación de políticas públicas, segundo para instaurar en la Administración iniciativas tan loables como la transparencia, la presentación de resultados y la rendición de cuentas, y tercero para mejorar los resultados y aceptación de los planes, así como de la propia política de Ordenación del Territorio.

Referencias

- Agencia Estatal de Evaluación de las Políticas Públicas y la Calidad de los Servicios (AEC), (2010). *Fundamentos de evaluación de políticas públicas*. Madrid: Ministerio de Política Territorial y Administración Pública, Gobierno de España.
- Benabent Fernández de Córdoba, M. (2007). Los planes de Ordenación del Territorio en España. De la Instrumentación a la Gestión. En *Actas del V Congreso Internacional de Ordenación del Territorio*. Málaga: FUNDICOT.
- Benabent Fernández de Córdoba, M. (2014). *Introducción a la teoría de la planificación territorial*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Benabent Fernández de Córdoba, M. (2016). Teorías de la planificación territorial: métodos de decisión. Ciudad y Territorio. *Estudios Territoriales*, XLVIII(189), 353-368.
- Bueno Suárez, C. y Osuna Llaneza, J.L. (2013). Reflexiones epistemológicas y metodológicas para la evaluación de políticas públicas. *Andamios, Revista de Investigación Social*, 10(21), 95-117. <https://doi.org/10.29092/uacm.v10i21.300>
- Comisión Europea. Estrategia Territorial Europea Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE (1999). Recuperado de http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/pdf/sum_es.pdf
- Comisión Europea. La gobernanza europea - Un Libro Blanco, COM (2001) 428 final-Diario Oficial C 287 de 12.10.2001 EUR-Lex - I10109 - EN - EUR-Lex § (2001). Recuperado de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3A110109>
- Comisión Europea. Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador, /* COM/2010/2020 final */ § (2010). Recuperado de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52010DC2020>
- Comité de las Regiones. Libro Blanco del Comité de las Regiones sobre la Gobernanza Multinivel (2009). Recuperado de <http://cor.europa.eu/en/activities/governance/Documents/CoR%27s%20White%20Paper%20on%20Multilevel%20Governance/ES.pdf>

- Consejo de Europa. (1983). *Carta Europea de Ordenación del Territorio*. Presentado en Conferencia Europea de Ministros Responsables de la Ordenación del Territorio, Torremolinos (España). Recuperado de https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/474/46059/1/Documento37.pdf
- Corbin, J.M. & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13(1), 3-21. <https://doi.org/10.1007/BF00988593>
- ESPON. (2013). *Territorial Impact Assessment of Policies and EU Directives. A practical guidance for policymakers and practitioners based on contributions from ESPON projects and the European Commission*. Recuperado de <https://www.espon.eu/topics-policy/publications/guidance/territorial-impact-assessment-policies-and-eu-directives>
- ESPON 2.3.1. (2007). *Application and effects of the ESDP in the Member States*. Recuperado de <https://www.espon.eu/topics-policy/publications/guidance/territorial-impact-assessment-policies-and-eu-directives>
- ESPON 2.4.2. (2006). *Integrated analysis of transnational and national territories. Final Report*. Recuperado de https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/fr-3.2_final-report_voll.pdf
- ESPON 3.1. (2004). *Integrated tools for European spatial development. Final Report*. Recuperado de https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/fr-3.2_final-report_voll.pdf
- ESPON 2020. (2018). *The territorial dimension of future policies. Working Paper*. Recuperado de <https://www.espon.eu/future-policies>
- Faludi, A. (2004). Las tradiciones de planificación territorial en Europa: su papel en el proceso de la Estrategia Territorial Europea (ETE). En J. Farinós Dasí y J. Romero (Coords.), *Ordenación del territorio y desarrollo territorial: el gobierno del territorio en Europa* (pp. 17-44). Ediciones Trea.
- Farinós Dasí, J. (2011). De la Evaluación Ambiental Estratégica a la Evaluación Territorial: ¿Camino de ida y vuelta?. En J. Farinós Dasí (Ed. y Coord.), *De la Evaluación Ambiental Estratégica a la Evaluación de Impacto Territorial: Reflexiones acerca de la tarea de evaluación* (pp. 17-34). Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Ferrao, J. y Mourato, J. (2011). Evaluación y ordenación del territorio en Portugal: de exigencia legal a fuente de aprendizaje político y de innovación institucional. En J. Farinós Dasí (ed. y coord.), *De la Evaluación Ambiental Estratégica a la Evaluación de Impacto Territorial: Reflexiones acerca de la tarea de evaluación* (pp. 471-498). Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Garrido Clavero, J. (2017). *La incidencia de las políticas públicas en las transformaciones territoriales: el PEPMFC de la provincia de Granada* (Tesis doctoral inédita). Universidad de Granada. TESEO.
- Garrido Clavero, J. y Sánchez del Árbol, M.A. (2018). Evaluación del Plan de Protección del Corredor Litoral de Andalucía en la provincia de Granada. *Cuadernos Geográficos*, 57, 110-131. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i1.5529>
- Garrido Clavero, J. y Soto Rueda, J.M. (2019). El decano de la planificación territorial en Andalucía: Seguimiento y evaluación del PEPMFC para la provincia de Granada. En *Actas del IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio*. Santander: FUNDICOT.
- Gutiérrez Díaz, E. (2014). La evaluación de las políticas públicas. En G. Pastor Albaladejo (Ed.), *Teoría y práctica de las políticas públicas* (pp. 101-128). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Hernández del Águila, R. (1985). *La crisis ecológica ¿De dónde viene, a dónde nos conduce?*. Barcelona: Laia/Divergencias.
- Herrador Lindes, I. y Martín Mesa A. (2010). Evaluación y planificación estratégica territorial. En A. Martín Mesa y R. Merino Rodríguez (Dirs.), *Planificación Estratégica Territorial: Estudios Metodológicos* (pp. 117-134). Sevilla: Consejería de Gobernación. Junta de Andalucía.
- Hildenbrand Scheid, A. (1996). *Política de ordenación del territorio en Europa*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Hogwood B.W. y Gunn L.A. (1984). *Policy Analysis for the Real World*. Oxford: Oxford University Press.
- Instituto Andaluz de Administración Pública (IAAP), (2019) *Cuestionario para el análisis de evaluabilidad de planes y programas en la Junta de Andalucía*. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeadministracionpublica/institutodeadministracionpublica/publico/documentacion.epp>

- Lasswell, H.D. (1971). *El futuro de la ciencia política*. Madrid: Tecnos.
- López Sánchez, E. (2014). La formulación de las políticas públicas. En G. Pastor Albaladejo (Ed.), *Teoría y práctica de las políticas públicas* (pp. 67-82). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Losada Maestre, R. (2014). La formación de la agenda como punto de partida de las políticas públicas. En G. Pastor Albaladejo (Ed.), *Teoría y práctica de las políticas públicas* (pp. 47-66). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Nogués Linares, S. (2019). Relatoría Área D. Los retos de las ciudades y territorios ante las nuevas economías, la disrupción tecnológica y las nuevas formas de movilidad. En *Actas del IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio* (pp. 1117-1133). Santander: FUNDICOT
- Observatorio para la Mejora de los Servicios Públicos de la Dirección General de Modernización e Innovación de los Servicios Públicos (OMPS), (2008). *Guía de seguimiento y evaluación de los planes de actuación de los servicios públicos*. Sevilla: Consejería de Justicia y Administración Pública, Junta de Andalucía.
- Palladares Porta, F. (1988). Las políticas públicas: el sistema político en acción. *Revista de estudios políticos*, 62, 141-162. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=27007>
- Román Masedo, L. (2014). La terminación de las políticas públicas. En G. Pastor Albaladejo (Ed.), *Teoría y práctica de las políticas públicas* (pp. 129-148). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Ruíz, A. (2013). *La evaluación como intervención pública. Proceso estándar de evaluación*. Madrid: Análisis y Evaluación de Políticas y Servicios Públicos, Goberna.
- Seasons, M. (2003). Monitoring and Evaluation in Municipal Planning: Considering the Realities. *Journal of the American Planning Association*, 69(4), 430-440. <https://doi.org/10.1080/01944360308976329>
- Segura Calero, S. y Pedregal Mateos, B. (2014). Mecanismos de evaluación y seguimiento en planes de ordenación del territorio de Andalucía. *Perspectiva Geográfica*, 19(2), 357-378. <https://doi.org/10.19053/01233769.4104>
- Segura Calero, S. y Pedregal Mateos, B. (2017). Monitoring and Evaluation Framework for Spatial Plans: A Spanish Case Study. *Sustainability*, 9, 1706, 1-19. <https://doi.org/10.3390/su9101706>
- Segura Calero, S. (2017). *Mecanismos de evaluación, seguimiento y gestión de instrumentos de ordenación del territorio. Análisis internacional comparado* (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla. TESEO.
- Segura Calero, S. (2019). Marco conceptual y componentes clave para el seguimiento y evaluación en la ordenación del territorio. *TERRA Revista de Desarrollo Local*, 5, 83-104. <https://doi.org/10.7203/terra.5.14526>
- Segura Calero, S. y Elorrieta Sanz, B. (2019). El seguimiento y la evaluación de planes territoriales en España: una visión regional comparada. En *Actas del IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio* (pp. 1135-1150). Santander: FUNDICOT.
- Serrano Rodríguez, A. (2011). La evaluación de las políticas de impacto ambiental: Una reflexión desde la toma de decisiones. En Farinós Dasí, J. (ed. y coord.) *De la Evaluación Ambiental Estratégica a la Evaluación de Impacto Territorial: Reflexiones acerca de la tarea de evaluación* (pp. 211-252). Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Sociedad Española de Evaluación de Políticas Públicas. (2019). *El Diario de la Evaluación. La Sociedad Española de Evaluación ha celebrado un workshop para definir claves para la futura Ley de Evaluación de Políticas Públicas de Andalucía*. Recuperado de <https://www.diarioevaluacion.com/noticialey>
- Soto Rueda, J.M. y Garrido Clavero, J. (2019). La evaluación de Impacto Territorial (EIT): Sobre la posibilidad de su institucionalización en Andalucía (España). En *Actas del IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio* (pp. 1175-1190). Santander: FUNDICOT.
- Unión Europea. (2007). *Agenda Territorial de la Unión Europea. Hacia una Europa más competitiva y sostenible de regiones diversas*. Recuperado de http://www.ecourbano.es/imag/REF%20Agenda%20Territorial_Ue.pdf

Cita bibliográfica: Marino Alfonso, J.L., Poblete Piedrabuena, M.A., & Beato Bergua, S. (2020). Paisajes de Interés Natural (PIN) en los Arribes del Duero (Zamora, España). *Investigaciones Geográficas*, (73), 95-119. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MAPPBB>

Paisajes de Interés Natural (PIN) en los Arribes del Duero (Zamora, España)

The landscapes of natural interest in Arribes del Duero (Zamora, Spain)

José Luis Marino Alfonso^{1*}
Miguel Ángel Poblete Piedrabuena²
Salvador Beato Bergua³

Resumen

A partir del *análisis integrado del paisaje* se efectúa la identificación, caracterización y valoración de Paisajes de Interés Natural (PIN) en un sector representativo del Parque Natural de Arribes del Duero enclavado en la provincia de Zamora (Castilla y León). La investigación parte del trabajo de campo, la interpretación paisajística del medio natural y su representación cartográfica. Sobre esta base se realiza la tipificación y jerarquización de las unidades de paisaje natural en tres niveles: conjuntos, tipos y unidades. A continuación se seleccionan los lugares y elementos paisajísticos de mayor interés natural en función de criterios de representatividad y singularidad. La posterior descripción permite realizar una evaluación de los valores científicos, culturales y de uso y gestión, a tenor de la cual se formaliza, en última instancia, un diagnóstico general de los PIN. Como resultado de la aplicación metodológica se han inventariado ocho PIN, de los cuales cinco han obtenido una valoración global alta. En definitiva, se desarrolla una herramienta que pretende facilitar la catalogación y calificación de los paisajes naturales a escala local, a la vez que generar un recurso territorial favorable para el desarrollo sostenible.

Palabras clave: análisis integrado del paisaje; unidades de paisaje natural; valoración del paisaje natural; patrimonio natural; desarrollo territorial sostenible; espacios naturales protegidos; Sayago.

Abstract

Based on *integrated landscape analysis* and identification, a characterisation and assessment of landscape sites is carried out in a representative sector of the Natural Park of Arribes del Duero located in the province of Zamora (Castile and Leon). The research is based on field work, landscape interpretation, and its cartographic representation. The classification and hierarchisation of natural landscape units is carried out in three levels: sets, types, and units. The sites and landscape elements of greatest interest are then selected according to criteria of representativeness and uniqueness. The subsequent description enables an evaluation of the scientific, cultural, and use and management values, according to which a general diagnosis of the landscape site is formalised. As a result of the methodological application, eight landscape sites have been inventoried (of which five have obtained a high global assessment). In short, a tool is developed that aims to facilitate the cataloguing and qualification of natural landscapes at a local level, while generating a favourable territorial resource for sustainable development.

Keywords: integrated landscape analysis; landscape units; natural landscape assessment; natural heritage; sustainable territorial development; natural protected areas; Sayago.

1 Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Campus de El Milán. C/ Amparo Pedregal, s/n, 33011 Oviedo (Asturias), España. jolumarino@gmail.com. * Autor para correspondencia.

2 Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Campus de El Milán. C/ Amparo Pedregal, s/n, 33011 Oviedo (Asturias), España. mpoblete@uniovi.es

3 Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Campus de El Milán. C/ Amparo Pedregal, s/n, 33011 Oviedo (Asturias), España. uo187213@uniovi.es

1. Introducción

La geografía es la ciencia que tiene por objeto fundamental el estudio de las relaciones que sobre la superficie terrestre se producen entre los elementos físicos, bióticos y humanos. Resultado de esta interacción surge el paisaje, entendido como una construcción espacial fruto de la suma de una evolución natural y un devenir histórico (Martínez de Pisón, 2002). Por consiguiente, dejando a un lado los paisajes naturales o vírgenes de los anecúmenes, el paisaje es, en última instancia, un hecho cultural⁴. En este sentido, la geografía física, concebida no como disciplina aparte sino como parte de un todo (García, 2001), ha sentado muchas de las bases conceptuales y metodológicas con las que los geógrafos se han acercado a los paisajes (Martínez de Pisón, 2009). Probablemente el esfuerzo más importante, y que más éxito cosechó entre los geógrafos físicos españoles, fue el encabezado por Bertrand⁵ (Muñoz, 1979). En efecto, el *análisis integrado del paisaje*⁶ se convirtió a partir de comienzos de los setenta del pasado siglo en una fecunda herramienta de investigación que trajo consigo un progresivo y considerable avance en el conocimiento geográfico de los paisajes españoles (Panareda, 1973; Sala, 1978; Plaza, 1986; Arozena, 1991; García, 1994; Ibarra, 1993a; Molina, 1998; Redondo, 1998; Sanz, 1998; Jerez, 2008; Marañón, 2009; Gómez, 2010; Fernández, 2014; Beato, 2018). De forma paralela, en las últimas décadas el concepto de paisaje se ha ido renovando a partir de enfoques sociales que tratan de integrar plenamente las preocupaciones ambientales y culturales de las sociedades contemporáneas. Así concebido, el paisaje podría llegar a constituirse, en palabras del propio Bertrand, en “una de las dimensiones del paradigma ecológico-económico-social” (Bertrand, 2010, p. 6).

En este complejo y cambiante campo de investigación, y desde una perspectiva sistémica y aplicada, se inscribe el presente trabajo, cuyo propósito fundamental es el desarrollo de un procedimiento destinado a facilitar la identificación, caracterización y valoración del interés natural de los paisajes a escala local. En concreto, se efectúa una propuesta metodológica centrada en el análisis de los paisajes de “dominante natural”⁷ con el objeto de inventariar y evaluar aquellos lugares o elementos del territorio que desde el punto de vista paisajístico tienen una mayor representatividad o singularidad natural. Estos paisajes, bien por su relevancia, diversidad, calidad, valor escénico o interés socioeconómico, son valedores de una atención preferente en cuanto a su conocimiento, protección y divulgación. Para ello, sería conveniente la articulación de una figura de protección en torno a la cual desarrollar la gestión y ordenación de estos⁸, encaminada hacia la puesta en valor del patrimonio paisajístico como recurso con fines científicos, culturales, didácticos, educativos, estéticos y ecoturísticos. Este instrumento de planificación territorial bien podría denominarse Paisaje de Interés Natural o PIN⁹, definido como un espacio geográfico que sustenta un paisaje o mosaico paisajístico de especial interés natural por su carácter monumental, escénico, ecológico, pedagógico o científico.

La aplicación práctica de esta propuesta metodológica se ha realizado en un sector del Parque Natural de Arribes del Duero situado en la comarca zamorana de Sayago, donde previamente este método de trabajo ya se había empleado en la selección y valoración de Lugares de Interés Geomorfológico (LIGm) y Biogeográfico (LIBg). Se pretende, por tanto, abordar de manera global el estudio del patrimonio natural a partir de una metodología integral destinada a inventariar y evaluar los diferentes tipos de Lugares de Interés Natural (LIN), esto es, geomorfológicos (LIGm), biogeográficos (LIBg) y paisajísticos (PIN).

4 El Convenio Europeo del Paisaje (CEP), aprobado por el Consejo de Europa en 2000 y ratificado por el Parlamento español en 2007, reconoce por primera vez esta visión del paisaje en un instrumento de carácter político-jurídico, al contemplar tanto los aspectos naturales como culturales de forma integrada en la protección, gestión y ordenación de los paisajes (Consejo de Europa, 2000).

5 La base teórica de la concepción paisajística de Bertrand se encuentra en “Paysage et Géographie physique globale. Esquisse methodologique” (1968).

6 Esta metodología gira en torno al concepto sistémico de paisaje y a la unidad de paisaje homogénea como instrumento elemental a través del cual se accede al conocimiento del paisaje desde un enfoque integrado (Pérez-Chacón, 2002).

7 Entendemos por paisajes de “dominante natural” aquellos en los que uno o varios elementos abióticos y/o bióticos (generalmente una geoforma y/o una cobertura vegetal natural) tienen una mayor relevancia en la conformación del propio paisaje, independientemente del mayor o menor grado de modificación impuesto por la actividad humana.

8 El Anteproyecto de CEP (1997) ya incluía entre las medidas jurídicas y financieras para la protección, gestión y ordenación de los paisajes la posibilidad de crear figuras específicas para los paisajes de especial calidad o rareza (Zoido, 2006).

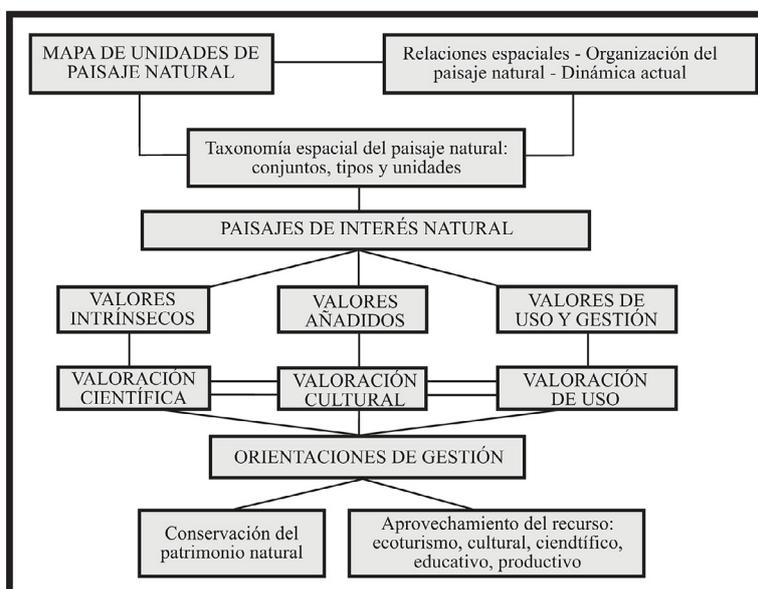
9 A pesar de que son numerosas las referencias a lugares, áreas, sitios, puntos o itinerarios de interés paisajístico a escala municipal o comarcal, como instrumento jurídico es irrelevante en la ordenación del territorio en nuestro país. Tan sólo se ha localizado como figura de protección legal en las Directrices de Ordenación de Ámbito Subregional de Segovia y Entorno (Boletín Oficial de Castilla y León, 2005), donde se catalogan 20 lugares con formas de relieve de interés paisajístico.

2. Metodología

2.1. Fuentes y procedimientos de investigación

La identificación, caracterización y valoración de Paisajes de Interés Natural (PIN) en los Arribes del Duero zamoranos se acomete, como ya se ha reseñado, mediante un método de trabajo aplicado y validado anteriormente en la misma zona de estudio de forma sectorial, en concreto, para Lugares de Interés Geomorfológico (LIGm) (Marino, Poblete y Beato, 2017a) y Lugares de Interés Biogeográfico (LIBg) (Marino, 2020). De manera sucinta, esta metodología parte de un minucioso estudio del medio natural y su representación cartográfica. A partir de la cartografía se realiza la clasificación del inventario geocológico en rangos taxonómicos, sobre cuya base se procede a identificar los lugares y elementos de mayor interés siguiendo criterios de representatividad y singularidad. La caracterización de los lugares seleccionados permite evaluar sus valores científicos, culturales y de uso y gestión, a partir de los cuales se realiza en última instancia una diagnosis y propuesta de actuación territorial y ambiental (Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico para el inventario y valoración de PIN



Fuente: González, Serrano y González, 2014; Marino *et al.*, 2019. Elaboración propia

Las raíces de este procedimiento de investigación se encuentran en los pioneros trabajos desempeñados en nuestro país en el campo del patrimonio geomorfológico, basados en la aplicación de métodos para la organización de la información recogida (Martín-Duque, Caballero y Carcavilla, 2010) y, de forma destacada, el inventario y valoración de los Lugares de Interés Geomorfológico (Serrano y González, 2005; Serrano, Ruiz, Arroyo y González, 2006; González, 2006; Serrano, González, Ruiz y González, 2009; Dóniz, 2009; Becerra, 2013; González *et al.*, 2014). Del mismo modo, para abordar los aspectos biogeográficos se han incorporado propuestas metodológicas como la clasificación de la vegetación en niveles jerárquicos (Arozena y Molina, 2000) y su valoración (Lozano, Cadiñanos y Meaza, 2018).

Por consiguiente, se plantean ahora las pertinentes adaptaciones a la metodología citada con el objeto de integrar los elementos de la geodiversidad y la biodiversidad en el procedimiento de inventario y valoración del interés natural de los paisajes. Se detallan, a continuación, las siete fases establecidas para tal propósito:

1. Caracterización del paisaje natural y sus elementos¹⁰. Se analizan los distintos elementos del medio natural que intervienen en la organización del paisaje. En concreto se hace referencia a la influencia

¹⁰ En esta fase se sintetizarán los resultados obtenidos en otros trabajos publicados previamente o inéditos en los que se han llevado a cabo diversos análisis sectoriales del medio natural de los Arribes del Duero zamoranos (Marino, Poblete y Beato, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019; Marino, 2020), y que constituyen la base sobre la cual se ha realizado la definición de las unidades de paisaje natural desde una perspectiva sistémica.

de la configuración geomorfológica y las formas de relieve resultantes, las condiciones climáticas y sus variaciones altitudinales, los recursos hídricos disponibles, el sustrato litológico y los suelos a él vinculados, la fisonomía y composición de la vegetación y, en última instancia, la acción antrópica.

2. Representación cartográfica del paisaje natural. Se han identificado para su representación cartográfica los elementos geomorfológicos y vegetales esenciales, de cuya combinación espacial resultan en última instancia las unidades de paisaje natural, entendidas como espacios que a la escala determinada se caracterizan por una fisonomía homogénea y una evolución común (Ibarra, 1993b; Pérez-Chacón, 2002; Rodríguez y Castañón, 2016).
3. Identificación y clasificación de las unidades de paisaje natural. Se catalogan las unidades de paisaje natural en tres niveles jerárquicos: conjuntos, tipos y unidades. El nivel elemental está constituido por la *unidad*, internamente homogénea y diferente del resto, fruto de las particulares relaciones establecidas entre los factores geográficos, preponderando a esta escala de análisis la vegetación y los usos del suelo. Los *tipos* resultan de la agrupación de aquellas unidades que comparten un mismo armazón paisajístico, determinado por las formas de relieve. Unidades y tipos de paisaje natural responden en última instancia a las grandes discontinuidades espaciales derivadas de los contrastes topográficos y bioclimáticos, configurando así los grandes *conjuntos* (Arozena y Molina, 2000; Mata y Sanz, 2004; Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020).
4. Selección de PIN. El inventario de PIN incluye lugares (sitios extensos) o elementos (puntos reducidos) siguiendo criterios de representatividad (lugares o elementos característicos) y singularidad (lugares o elementos especiales), de tal modo que todos los niveles jerárquicos del inventario estén integrados en algún PIN (Serrano *et al.*, 2009).
5. Caracterización de PIN. Se crea una ficha para sintetizar los rasgos naturales del paisaje fundamentales de cada PIN (tipo, organización, dinámica, percepción visual, intereses principales y secundarios y atribución del PIN). Contiene también información relativa al uso y gestión del PIN (contenido cultural, accesibilidad, grado de interés, estado de conservación, usos actuales, comunicaciones, infraestructuras, impactos y situación legal) (Serrano y González, 2005; González, 2006).
6. Valoración de PIN. Se evalúan treinta elementos agrupados en tres tipos de valores: científicos, culturales y de uso y gestión (diez de cada uno).

Los valores naturales puramente paisajísticos (científicos o intrínsecos) se evalúan mediante una escala de puntuación en la que se asigna un punto por cada elemento reconocido (hasta un máximo de cinco). Son diez valores, cinco de ellos geomorfológicos (génesis, morfología, dinámica, litología y estructura), y otros cinco biogeográficos (diversidad vegetal, riqueza florística, cobertura arbolada, madurez y función ecológica) (Meaza y Cadiñanos, 2000; Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020).

Los valores culturales se añaden a los elementos anteriores, enriqueciendo el paisaje natural. Se trata de elementos paisajístico-estéticos, culturales (elementos patrimoniales, aspectos culturales y fases históricas de uso y ocupación), didácticos (recursos y niveles pedagógicos), científicos (significancia y representatividad) y turísticos (contenidos y potencial). Del mismo modo se establece una escala de puntuación, en este caso variable entre 5 y 10 dependiendo del elemento valorado (Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020).

La capacidad de uso y gestión evalúa la facilidad o dificultad de utilización del PIN a partir de la accesibilidad, fragilidad, vulnerabilidad, intensidad de uso, riesgo de degradación, impactos, condiciones de observación, límites de cambios aceptables, servicios y equipamientos y potencial económico. Se establece ahora una escala del 0 al 2 en la que el 2 representa un valor positivo que facilita su uso, mientras que el 0 es un valor negativo que lo dificulta (Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020).

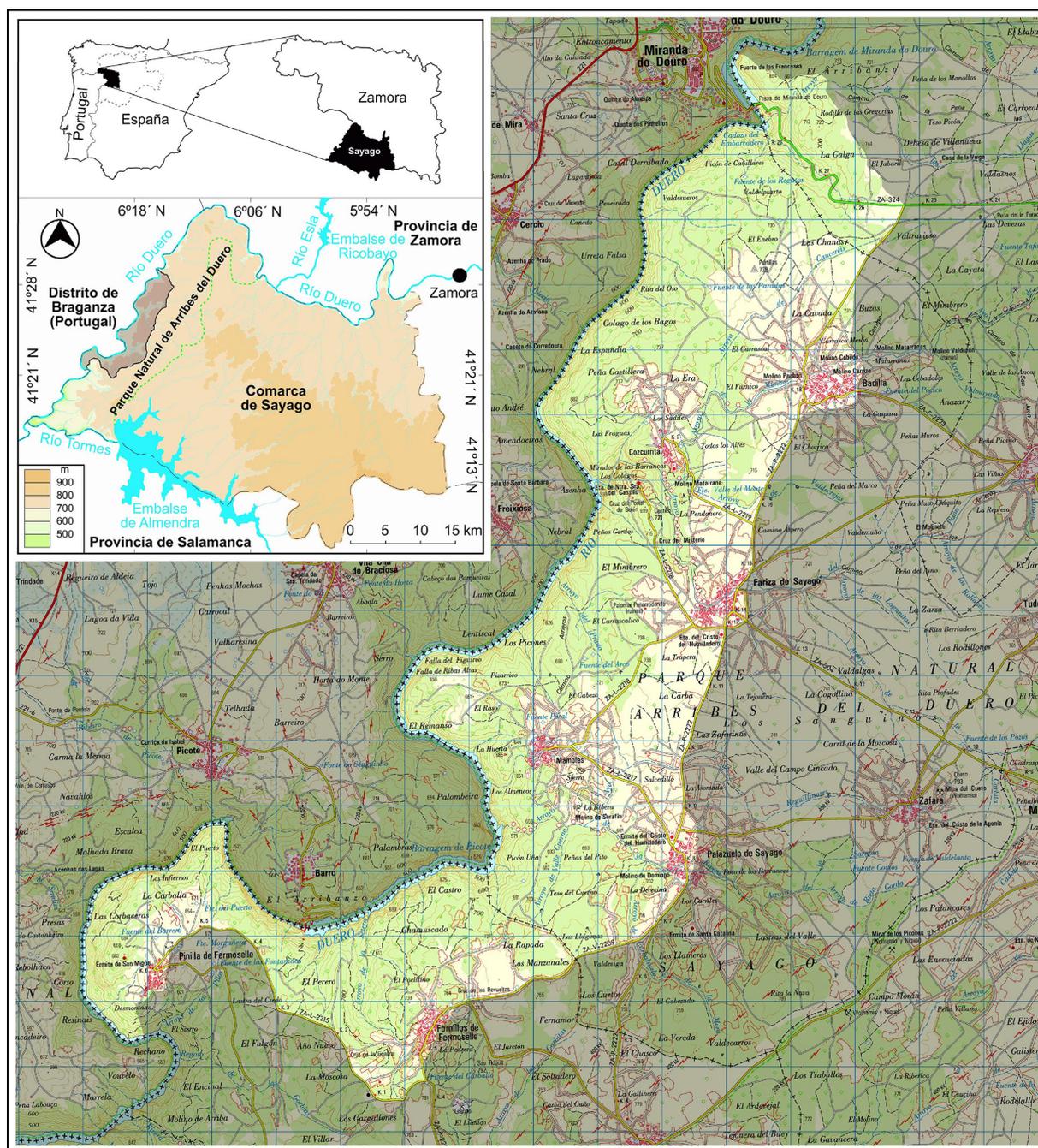
Al final, los tres tipos de valores se ponderan sobre diez para poder compararlos y hacer la media final que determina la valoración global.

7. Diagnóstico de PIN. En función de los resultados obtenidos se establece una orientación de uso del PIN, recomendándose una serie de medidas correctoras que deberían introducirse en su gestión, así como herramientas con las que poner en valor sus potencialidades (Serrano y González, 2005; González, 2006; Becerra, 2013).

2.2. Área de estudio: caracterización del paisaje natural y sus elementos

El área de estudio se localiza en el Parque Natural de Arribes del Duero (Castilla y León, España). En concreto, se trata de una porción que representa el 6% de la superficie total del espacio protegido (106.105 ha) ubicada en la comarca zamorana de Sayago. Se extiende a lo largo de 20 km de forma paralela al río Duero por su margen española entre las localidades de Miranda do Douro y Pinilla de Fermoselle (Figura 2). Abarca tres términos municipales (Torregamones de Sayago, Fariza y Villar del Buey) a los que pertenecen siete núcleos de población que se incluyen en la zona estudiada (Badilla, Cozcurrita, Fariza, Mámolos, Palazuelo de Sayago, Fornillos de Fermoselle y Pinilla de Fermoselle). La población que habita este sector asciende a 529 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

Figura 2. Localización del área de estudio



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2009. Hoja 395 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Elaboración propia

El paisaje natural de los Arribes del Duero está determinado por un accidente físico de carácter trascendental, puesto que de él se derivan notorios contrastes topográficos, edafoclimáticos, biogeográficos y antrópicos que dan como resultado la configuración de un complejo mosaico paisajístico. Se trata, en efecto, de la garganta fluvial abierta por el río Duero en su búsqueda, a través de la penillanura zamorano-salmantina, de su desembocadura atlántica.

Fue con la basculación de la península ibérica hacia el océano Atlántico durante la orogenia alpina cuando la cuenca del Duero, hasta ese momento sin salida al mar, fue capturada por la red atlántica a través de un profundo y estrecho valle. Este encajamiento, al realizarse sobre los rígidos materiales cristalinos del zócalo paleozoico, estuvo guiado por las grandes líneas de fractura, que orientaron la dirección general del río de NE a SO. A su vez, el hondo cauce del río Duero pasó a constituir el nivel de base de una red dendrítica de pequeños arroyos estacionales, pero ferozmente erosivos, que progresivamente han ido desmantelando los mantos de arena que cubren la penillanura a la vez que exhumaban un caótico paisaje granítico de berrocal (Solé, 1958; Martín-Serrano, 1988).

Es de este modo como la configuración geomorfológica ha trascendido de forma significativa en el paisaje natural, no solo a través de la influencia que ejerce en el resto de los factores geográficos, sino también como propio armazón de las diferentes unidades en que se articula el propio paisaje natural. Así, mientras las escarpadas vertientes resultantes del encajamiento han limitado la explotación agraria en favor de la conservación de masas arbóreas más o menos densas, las tierras llanas de la penillanura fueron tempranamente roturadas para su aprovechamiento agro-ganadero. Del monótono perfil mesetario tan solo sobresalen pequeños relieves residuales, cuyo carácter pedregoso ha determinado el uso silvo-pastoril a través de un arbolado abierto con densos matorrales. Estas suaves elevaciones (sierros, tesos, cerros) se encuentran individualizadas por estrechas vaguadas, adaptadas a las principales líneas de debilidad estructural. El relleno de estas llanuras aluviales por las arenas procedentes de la denudación de los interfluvios ha favorecido el desarrollo de praderías y pastizales entre abundante vegetación de ribera. Aguas abajo, estos pequeños valles quedan a su vez colgados sobre la garganta fluvial, dando paso a encajados arroyos cuyos saltos y cascadas son testigos de la gran capacidad erosiva que poseen para desmantelar los materiales graníticos alterados y hacer aflorar compactos afloramientos y caóticos relieves de bloques más o menos redondeados (Marino *et al.*, 2018b).

Respecto a la influencia de la configuración geomorfológica sobre el resto de componentes naturales, por su importancia cabe destacar en primer lugar la modificación impuesta por el relieve en las condiciones climáticas. Así, mientras la penillanura mantiene unos valores similares al resto de la cuenca del Duero, con inviernos relativamente fríos (temperatura media de enero inferior a 5°C) y largos (el periodo de heladas se prolonga desde primeros de noviembre hasta mediados de abril) y veranos cortos y cálidos (temperatura media de julio inferior a 22°C); la garganta suaviza y reduce la duración de los inviernos (el periodo libre de heladas se prolonga en 50 días y la temperatura media de enero supera los 5°C) a la vez que alarga y hace más calurosos los veranos (temperatura media de julio por encima de 22°C) (Nafría *et al.*, 2013). Sin duda, el cañón fluvial actúa como un acumulador térmico que propicia un incremento del gradiente térmico vertical, definiendo así su excepcionalidad microclimática (García, 1986; Calonge, 1990).

Fruto de la interacción entre elementos geomorfológicos y climáticos se producen significativas implicaciones en los recursos hídricos disponibles. La primera de ellas responde a cuestiones litoedáficas, por cuanto la porosidad de los suelos arenosos acrecienta el déficit durante el verano, ya de por sí seco (55 mm de precipitación), mientras que la impermeabilidad del sustrato granítico provoca la rápida saturación de los acuíferos durante el invierno (185 mm) y las estaciones equinocciales (185 mm en otoño y 155 mm en primavera). Las precipitaciones, aunque no muy abundantes (600 mm en total), se concentran en menos de 75 días de lluvia al año (Nafría *et al.*, 2013), coincidiendo con el paso de borrascas atlánticas arrastradas por vientos del SO, responsables en última instancia del desbordamiento de las riveras. En la segunda alteración climática inducida por el relieve con repercusiones en el balance hídrico interviene también la acción humana. Se trata, en concreto, de un incremento de la humedad del aire en el interior de la garganta fluvial por evaporación del agua embalsada por las presas del Duero, lo que origina con relativa frecuencia episodios de niebla y rocío.

Otro factor determinante en la organización del paisaje natural es el suelo, íntimamente ligado al sustrato litológico y con importantes implicaciones en el paisaje natural. Sobre los materiales graníticos y metamórficos que sustentan la penillanura se asientan suelos pardos ácidos, muy pobres por su estructura arenosa y extrema delgadez, fruto del desmantelamiento al que han sido sometidos los mantos de alteración por la multitud de arroyos que se adaptan a las innumerables fracturas del zócalo. Este hecho explica la vocación forestal del territorio, orientado hacia el aprovechamiento ganadero. Conforme los arroyos se aproximan a la garganta, se incrementa la acción erosiva de éstos. En muchos casos las propias

laderas, totalmente verticales, han imposibilitado la evolución del suelo, por lo que el roquedo aflora de forma masiva. Tan solo la vegetación casmofítica es capaz de colonizar este tipo de espacios. Por el contrario, la presencia de exiguos depósitos terciarios, dispuestos de forma discordante sobre el zócalo paleozoico por el primitivo cauce del Tormes (Escuder y Mediavilla, 2000), ha dado lugar a un suelo rojo fersialítico suficientemente profundo y rico como para albergar masas de alcornoque más o menos puras y densas (Jovellar, 2008; Marino *et al.*, 2018a).

Las modificaciones topoclimáticas impuestas por la configuración geomorfológica explican, junto a los condicionamientos edáficos, la distribución de la vegetación en dos pisos diferenciados (Navarro y Valle, 1987). Por encima de los 700 m s.n.m. se extiende el piso supramediterráneo. Se corresponde con el ámbito de las frías llanuras, con el rebollo como vegetación potencial, que no real, por cuanto su superficie ha sido reducida a favor de la encina (González, 1992). Por debajo de los 700 m s.n.m., donde el factor abrigo de la garganta favorece el desarrollo de una vegetación mediterránea típicamente termófila, se extiende el piso mesomediterráneo. Encinas, enebros y cornicabras colonizan los espacios más ásperos, donde las fuertes pendientes han limitado el aprovechamiento agrario. Como bisagra entre ambos dominios —marcescente-atlántico y perennifolio-mediterráneo— aparecen el alcornoque y el quejigo. El primero vinculado a la fina cobertera sedimentaria que cubre algunos sectores de la penillanura, capaz de retener más humedad en el suelo. Y el segundo resguardado en laderas umbrosas del cañón principal o de los pequeños valles secundarios. El fondo de estos valles, y todas las riberas fluviales que se abren aguas arriba, son monopolizadas por el fresno y algunos sauces (Sánchez, 1984; Marino *et al.*, 2017b).

En última instancia debe señalarse el papel de la acción antrópica como último agente modelador del paisaje natural desde una doble óptica: la influencia que los factores naturales ejercen en el propio desarrollo de las actividades, y los efectos de la explotación de los recursos naturales sobre el paisaje¹¹. Ya ha quedado reseñado que las fuertes pendientes del arribanzo¹² y los mediocres suelos de la penillanura han supuesto una importante limitación al aprovechamiento agrario, orientando los usos hacia la explotación ganadera y forestal. Salvo algunos bancales destinados al olivar, el terrazgo (cerealista y vinícola) se localiza en el cinturón de cortinas (pequeñas parcelas cercadas) que rodea los núcleos de población. Si antaño estas tierras cumplían un papel fundamental en la dieta campesina, ahora se destinan al consumo animal cuando se agostan las praderías y pastizales de las riberas. Los montes comunales también complementaban la dieta humana (reparto de quiñones) y animal (aprovechamiento de los rastrojos), además de ofrecer otros recursos como madera, leña, bellota o corcho (Costa, 1902; Cabo, 1956; Crespo, 1968; Sánchez, 1991). Sin embargo, la despoblación del último medio siglo ha desencadenado un proceso de matorralización en estos espacios, cuyos estadios más avanzados se manifiestan en la densificación del arbolado en las zonas más próximas al río Duero (Marino *et al.*, 2017b; Marino, 2020).

3. Resultados

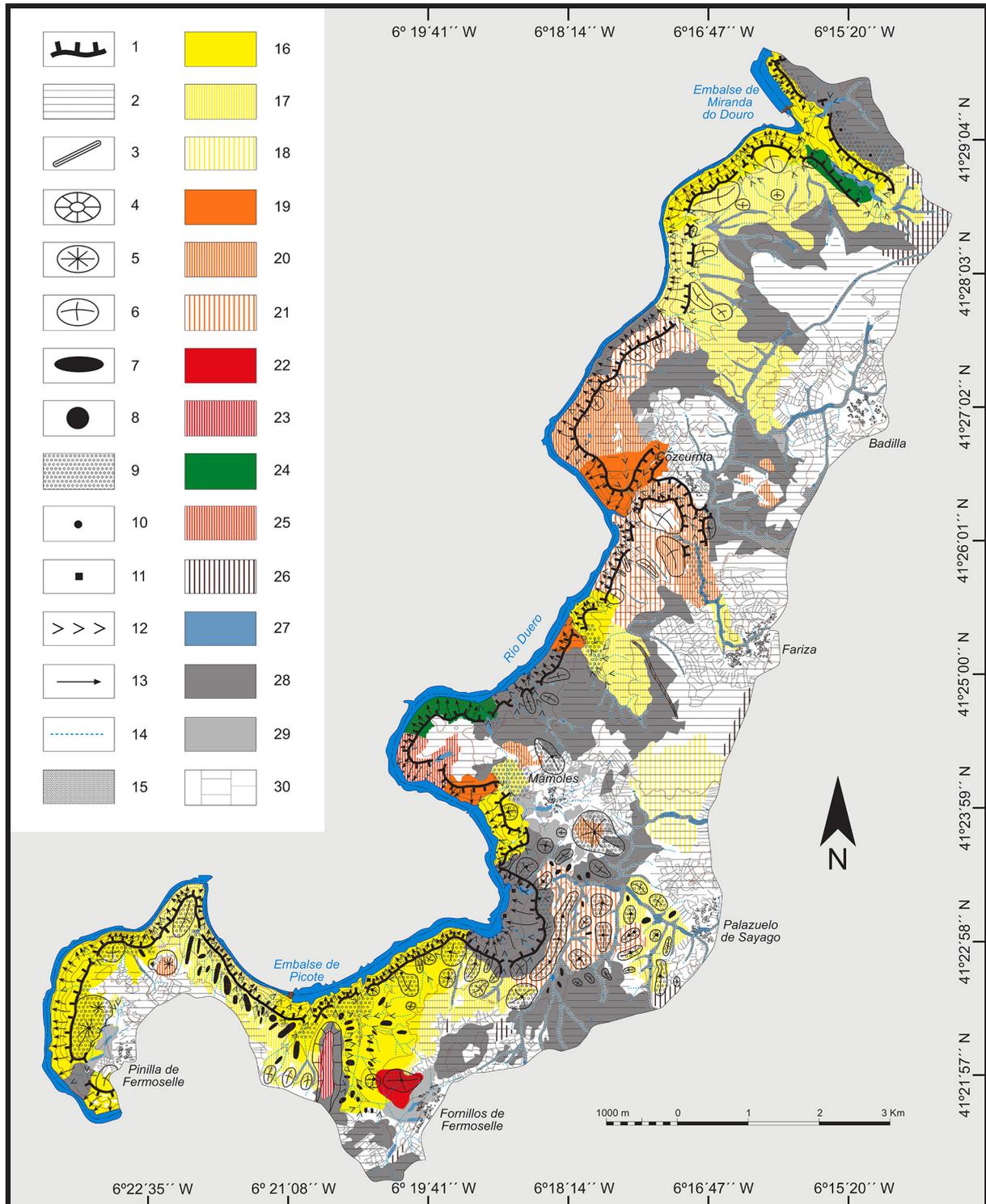
3.1. Representación cartográfica del paisaje natural

De todos los elementos explicados, los que tienen una mayor trascendencia en la configuración del paisaje natural son la geoforma y la cobertura vegetal. Ambos componentes son determinantes, por cuanto constituyen los rasgos definitorios de cada unidad de paisaje natural, lo que posibilita la asignación de una denominación a cada una de las unidades. Por consiguiente, con base a ellos se ha confeccionado el mapa, a partir de la intercalación de los mapas de unidades geomorfológicas y vegetales elaborados previamente (Marino *et al.*, 2017a; Marino, 2020) y aplicando un diseño que sigue las últimas propuestas de representación cartográfica del paisaje natural (Rodríguez y Castañón, 2016). Así, los elementos geomorfológicos que articulan las unidades de paisaje natural constituyen la base del mapa, representados en negro mediante símbolos (Joly, 1997); mientras que para la vegetación se utiliza una gama cromática establecida en función de los factores ambientales (Gausson, 1966), diferenciándose a su vez cuatro categorías en función de la fisonomía (porte y grado de recubrimiento): formaciones arbóreas cerradas (colores planos de tonalidades intensas), formaciones arbóreas abiertas (tramas de líneas de color equidistantes), pies aislados (tramas de líneas de color más separadas), matorrales y formaciones herbáceas (tonalidades de gris) y cultivos (blanco) (Figura 3).

11 Desde esta segunda perspectiva cabe reseñar los trabajos acerca del paisaje agrario sayagués desarrollados por Prada Llorente (2001, 2005, 2011).

12 El Diccionario de la lengua española define el término arribes como “pendientes escarpadas a ambos lados de los ríos Duero, Tormes, Huebra, Camaces y Águeda”. En Salamanca se emplea el término en femenino, pudiendo decirse las arribes o las arribas; mientras que en Zamora se utiliza en masculino los arribes o los arribanzos.

Figura 3. Combinación de elementos geomorfológicos y fitogeográficos en la representación cartográfica del paisaje natural de los Arribes del Duero zamoranos



1. Garganta. 2. Superficie de erosión. 3. Monte-isla lineal. 4. Monte-isla de cumbre plana. 5. Monte-isla cónico. 6. Monte-isla dómico. 7. Dorso de ballena. 8. Domo granítico. 9. Bolos graníticos. 10. Piedra caballera. 11. Tor granítico. 12. Valle en V. 13. Reguero de erosión. 14. Arroyo intermitente. 15. Fondo de valle aluvial. 16. Encinar cerrado. 17. Encinar abierto. 18. Encinas (pies aislados). 19. Enebral cerrado. 20. Enebral abierto. 21. Enebros (pies aislados). 22. Alcornocal cerrado. 23. Alcornocal abierto. 24. Quejigar cerrado. 25. Cornicabral abierto. 26. Rebollos (pies aislados). 27. Fresneda con sauces. 28. Matorrales (leguminosas, jaras, cantueso y berceo). 29. Pastos y prados. 30. Cultivos (cereales, vid, almendro y olivo) y cortinas de piedra con arbolado (encina, enebro, alcornoque y rebollo).

Fuente: Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020. Elaboración propia

3.2. Identificación y clasificación de las unidades de paisaje natural

El análisis detallado del mapa permite identificar las unidades de paisaje natural y establecer una clasificación jerarquizada en tres niveles: conjuntos, tipos y unidades de paisaje natural.

El rango superior (conjuntos de paisaje natural), de menor escala y mayor extensión y homogeneidad paisajística, integra los niveles inferiores a partir de las grandes discontinuidades espaciales determinadas por los factores geográficos (topográficos, geomorfológicos, edafoclimáticos, bioclimáticos y antrópicos). De este modo, se han diferenciado dos conjuntos o grandes unidades de paisaje natural: el de la garganta fluvial del Duero y el de la penillanura zamorana. En la organización de los niveles jerárquicos (Tabla 1) se identifica cada conjunto mediante un código numérico romano y se relaciona cada uno de ellos con la tipología correspondiente establecida en el *Atlas de los Paisajes de España* (Mata y Sanz, 2004).

Tabla 1. Organización de los niveles jerárquicos de las unidades de paisaje natural. Conjuntos de paisaje natural

Código	Denominación	Tipología de paisajes		
		Asociaciones	Tipos	Paisajes
I	Penillanura	Penillanuras y piedemontes (12)	Penillanuras salmantino-zamoranas y piedemontes de los Montes de León (49)	El Sayago (49.03)
II	Garganta	Gargantas, desfiladeros y hoces (20)	Gargantas y valles en la frontera portuguesa (84)	Arribes del Duero entre Fermoselle y Moral de Sayago (84.03)

Fuente: Mata y Sanz, 2004. Elaboración propia

Los tipos de paisaje natural representan el nivel intermedio. Están protagonizados por las principales formas de relieve, cuyas discontinuidades en el espacio determinan en gran medida la articulación del complejo mosaico de paisaje natural. Cada tipo agrupa una o varias geoformas, en función de la trascendencia paisajística que tengan y la relación establecida con la cobertura vegetal. La denominación de cada tipo hace referencia a la forma de relieve que actúa como almacén de las unidades de paisaje natural (nivel inferior), acompañada de una referencia a la fisonomía vegetal, en gran medida resultante de las propias implicaciones que la forma de relieve tiene sobre la vegetación y los usos del suelo. De igual modo, a cada uno de estos tipos se le ha asignado un código alfabético y se acompaña de las unidades geomorfológicas a las que pertenecen y sus características (Tabla 2).

Tabla 2. Organización de los niveles jerárquicos de las unidades de paisaje natural. Tipos de paisaje natural

Cód.	Denominación	Unidades geomorfológicas	Características
A	Llanuras erosivas con arbolado abierto, matorrales, prados y cultivos	Superficie de erosión (S _{750-780 m})	Nivel superior de edad finimiocena excavado sobre materiales graníticos hercínicos
		Superficie de erosión (S _{680-750 m})	Nivel intermedio de edad plio-pleistocena excavado sobre materiales gnéisicos y graníticos precámbrico-cámbricos y graníticos hercínicos
		Superficie de erosión (S ₆₄₀₋₆₆₀)	Nivel inferior de edad pleistocena excavado sobre materiales metasedimentarios precámbrico-cámbricos y graníticos hercínicos
B	Sierros, tesos y cerros con arbolado abierto, matorrales y cultivos en bancales	Monte-isla cónico	Relieve residual cónico modelado durante el mioceno-plioceno sobre materiales gnéisicos precámbrico-cámbricos
		Monte-isla cónico	Relieve residual cónico modelado durante el mioceno-plioceno sobre materiales metasedimentarios precámbrico-cámbricos (pegmatitas, metapelitas y rocas de skarn)
		Monte-isla lineal	Relieve residual largo y estrecho modelado durante el mioceno-plioceno sobre diques de cuarzo hercínicos
C	Terrazas terciarias con arbolado abierto	Monte-isla de cumbre plana	Relieve residual aplanado modelado durante el mioceno-plioceno sobre depósitos oligocenos (conglomerados, arenas y lutitas) del primitivo río Tormes

D	Berrocales con arbolado abierto o semiabierto	Lanchares graníticos	Grandes y compactos afloramientos subhorizontales (dorsos de ballena) y curvos (domos) con residuales acastillados exhumados durante el pleistoceno-holoceno sobre materiales graníticos de grano medio-grueso hercínicos. Presencia en superficie de pilas o pilancones y acanaladuras, así como cavidades y oquedades rocosas (cuevas y tafoni)
		Bolos graníticos	Colinas y laderas recubiertas por caos de bloques exhumados durante el pleistoceno-holoceno sobre materiales graníticos de grano fino hercínicos. Presencia de piedras caballeras sobre plintos, rocas pedestal y bloques hendidos, así como microformas variadas (pilas o pilancones, acanaladuras, cuevas y tafoni)
E	Llanuras aluviales con arbolado abierto y pastos	Llanura aluvial	Fondo de valle plano estrecho y alargado sobre la penillanura con aluviones y coluviones cuaternarios asociados a fracturas tardihercínicas y pasillos de arenización
F	Garganta principal con arbolado cerrado o semiabierto, matorrales, vegetación rupícola y cultivos en bancales	Garganta fluvial	Profundo encajamiento del río Duero sobre los materiales del zócalo paleozoico de la penillanura zamorano-salmantina durante el pleistoceno-holoceno. Las escarpadas vertientes resultantes son conocidas como arribes, arribas o arribanzos. Las laderas se encuentran fuertemente incididas por regueros de erosión lineal y en las paredes graníticas son frecuentes las torres ruinosas
G	Valles secundarios con arbolado cerrado o semiabierto	Valle en V	Arroyo intermitente tributario del río Duero con valle estrecho y alargado profundamente encajado en su tramo final. El brusco cambio de pendiente entre la penillanura y el arribanzo da lugar a cascadas y rápidos de agua. En lechos rocosos graníticos y gnéisicos se originan marmitas de gigante

Fuente: Marino *et al.*, 2019. Elaboración propia

El nivel inferior o básico (unidades de paisaje natural) es el de mayor escala y heterogeneidad. Está formado por teselas paisajísticas singulares desde el punto de vista natural, dotadas de gran homogeneidad interna resultado de las relaciones particulares que en ellas se dan. A esta escala de trabajo, vegetación y usos del suelo son responsables de las principales discontinuidades entre unas y otras. En la denominación se incluye la forma de relieve sobre la que se asienta la unidad (de este modo queda referenciada la relación con el tipo en el que se integra) y la formación vegetal o uso del suelo. La relación establecida entre ambos elementos permite descifrar la estructura fisonómica (abierta o cerrada) de la formación vegetal en cuestión. De cualquier forma, se señalan las unidades vegetales que integran la unidad de paisaje en cuestión y sus características, así como la identificación mediante un código numérico arábigo (Tabla 3). Finalmente, las unidades de paisaje natural se representan cartográficamente, utilizándose los códigos de identificación en la leyenda para establecer la adscripción de cada unidad al tipo y conjunto de paisaje natural correspondiente (Figura 4).

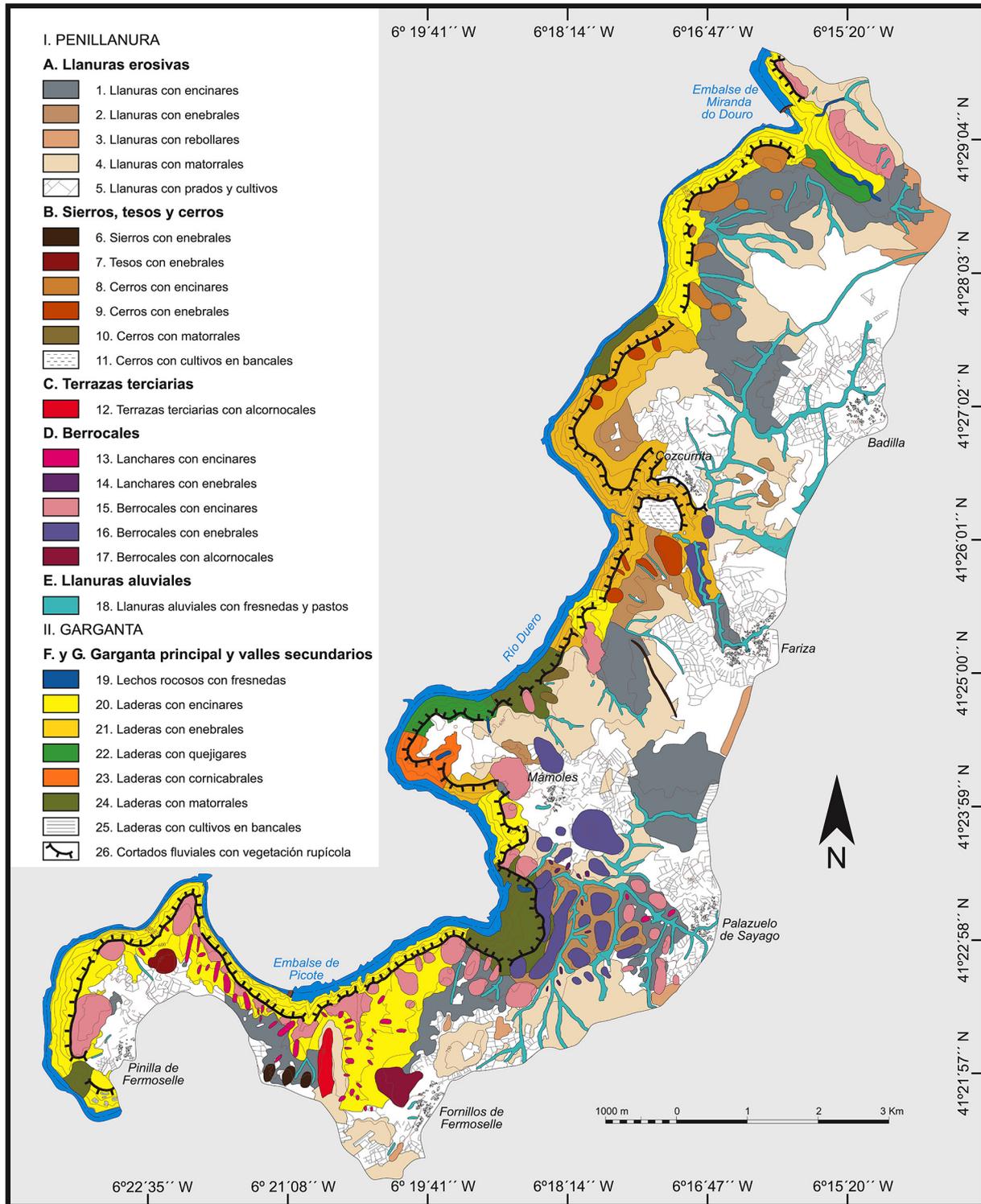
Tabla 3. Organización de los niveles jerárquicos de las unidades de paisaje natural. Unidades de paisaje natural

Cód.	Denominación	Unidades vegetales	Características
1	Llanuras con encinares	Encinar con matorral leguminoso	Formación arbórea abierta y monoespecífica de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> con sotobosque denso dominado por matorral leguminoso (<i>Cytisus scoparius</i> , <i>Cytisus multiflorus</i> y <i>Genista hystrix</i>)
		Encinar con pastizal	Formación arbórea abierta y monoespecífica de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> con sotobosque de gramíneas
		Dehesa de encina	Formación arbórea muy abierta y monoespecífica de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> muy antropizada
2	Llanuras con enebrales	Enebral con matorral leguminoso	Formación arbórea abierta y monoespecífica de <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>badia</i> con sotobosque denso de <i>Cytisus multiflorus</i> y <i>Lavandula stoechas</i>
		Matorral leguminoso con enebro	Formación arborescente muy abierta y monoespecífica de <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>badia</i> con sotobosque denso de <i>Cytisus multiflorus</i> y <i>Lavandula stoechas</i>
3	Llanuras con rebollares	Rebollar adhesionado	Formación arbórea muy abierta y monoespecífica de <i>Quercus pyrenaica</i> muy antropizada
4	Llanuras con matorrales	Matorral leguminoso	Formación arbustiva densa de <i>Cytisus scoparius</i> , <i>Cytisus multiflorus</i> y <i>Genista hystrix</i>
		Jaral	Formación arbustiva densa de <i>Cistus ladanifer</i>
		Cantuesar	Formación arbustiva densa de <i>Lavandula stoechas</i>

5	Llanuras con prados y cultivos	Praderías	Prados de siega y diente privados y cercados
		Cereal	Cereales en campos abiertos y cerrados
		Vid	Vid en campos cerrados
6	Sierros con enebrales	Enebral con matorral leguminoso	Ídem
7	Tesos con enebrales	Enebral con matorral leguminoso	Ídem
8	Cerros con encinares	Encinar con pastizal	Ídem
9	Cerros con enebrales	Enebral con matorral leguminoso	Ídem
10	Cerros con matorrales	Matorral leguminoso	Ídem
11	Cerros con cultivos en bancales	Almendro en bancales	Almendro en campos cerrados y bancales
12	Terrazas terciarias con alcornocales	Alcornocal con matorral de jara	Formación arbórea abierta y monoespecífica de <i>Quercus suber</i> con sotobosque denso dominado por <i>Cistus ladanifer</i>
		Jaral	Formación arbustiva densa de <i>Cistus ladanifer</i> .
13	Lanchares con encinares	Encinar	Formación arbórea cerrada y monoespecífica de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>
		Encinar con matorral de jara	Formación arbórea abierta y monoespecífica de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> con sotobosque denso dominado por <i>Cistus ladanifer</i>
14	Lanchares con enebrales	Matorral leguminoso con enebro	Ídem
15	Berrocales con encinares	Encinar	Ídem
		Encinar con enebro	Formación arbórea cerrada dominada por <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> acompañada puntualmente por <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>badia</i>
		Encinar con matorral leguminoso	Ídem
		Encinar con matorral de jara	Ídem
16	Berrocales con enebrales	Enebral con matorral leguminoso	Ídem
17	Berrocales con alcornocales	Alcornocal con encina	Formación arbórea cerrada dominada por <i>Quercus suber</i> acompañada puntualmente por <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>
18	Llanuras aluviales con fresnedas y pastos	Fresneda con sauces	Formación arbórea abierta dominada por <i>Fraxinus angustifolia</i> acompañada puntualmente por <i>Salix fragilis</i> , <i>Salix atrocinerea</i> y <i>Salix salviifolia</i>
		Pastizales	Pastos de diente comunales y abiertos
19	Lechos rocosos con fresnedas	Fresneda con sauces	Ídem
20	Laderas con encinares	Encinar	Ídem
		Encinar con enebro	Ídem
		Encinar con pastizal	Ídem
		Encinar con matorral de jara	Ídem
21	Laderas con enebrales	Enebral	Formación arbórea cerrada y monoespecífica de <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>badia</i>
		Enebral con matorral leguminoso	Ídem
		Matorral leguminoso con enebro	Ídem
22	Laderas con quejigares	Quejigares de umbria	Formación arbórea cerrada y monoespecífica de <i>Quercus faginea</i> sobre vertientes de umbria
23	Laderas con cornicabrales	Cornicabrales de solana	Formación arborescente abierta y monoespecífica de <i>Pistacia terebinthus</i> sobre vertientes de solana
24	Laderas con matorrales	Matorral leguminoso	Ídem
		Jaral	Ídem
		Berceal	Formación herbácea densa de <i>Stipa gigantea</i>
25	Laderas con cultivos en bancales	Olivo en bancales	Olivo en bancales
26	Cortados fluviales con vegetación rupícola	Vegetación rupícola	Vegetación pionera del <i>Sedo-Scleranthion</i> o del <i>Sedo albi-Veronicion dillenii</i> y vegetación casmofítica

Fuente: Marino, 2020. Elaboración propia

Figura 4. Mapa de conjuntos, tipos y unidades de paisaje natural de los Arribes del Duero zamoranos



Elaboración propia

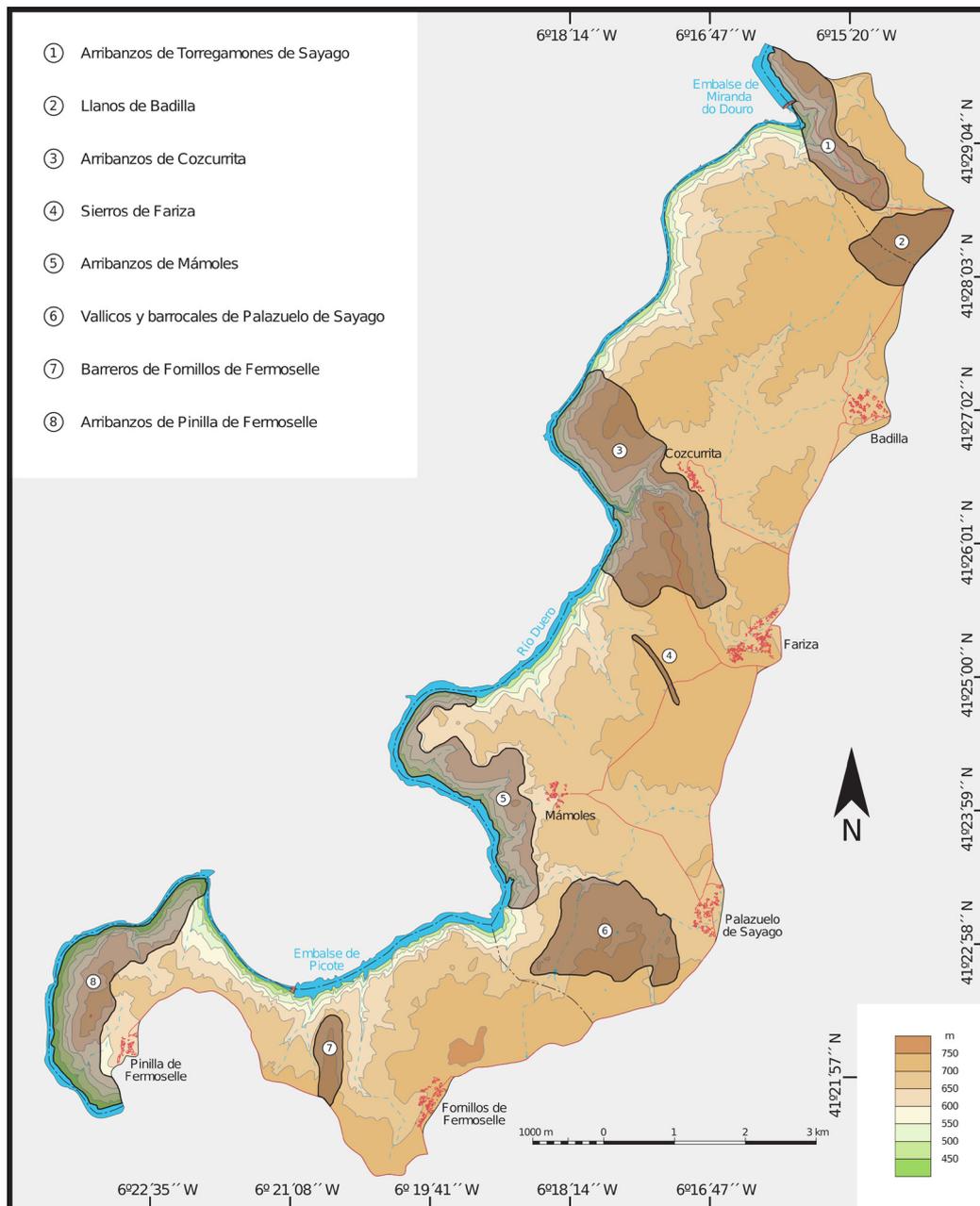
3.3. Selección de PIN

Una vez identificadas y clasificadas las unidades de paisaje natural se procede a la elección de aquellos lugares y elementos del territorio que desde el punto de vista paisajístico tienen un mayor interés natural, siguiendo un criterio de representatividad o singularidad. De este modo, a partir de la combinación de

cuatro variables (lugar, elemento, representativo y singular) se generan cuatro tipos de PIN: lugares representativos, lugares singulares, elementos representativos y elementos singulares. Los primeros pueden definirse como áreas o sitios relativamente extensos con paisajes naturales complejos —integran varias unidades de paisaje natural— característicos de los conjuntos y/o tipos a los que representan, mientras que los segundos destacan por su excepcionalidad. Por su parte, los elementos constituyen puntos de reducida extensión con paisajes naturales simples —integran una única unidad de paisaje natural—, siendo representativos o singulares en función de su significancia o especificidad.

Siguiendo estos criterios se han seleccionado en el área de estudio ocho PIN (Figura 5), en los que están representados todos los rangos taxonómicos y códigos establecidos en la fase anterior. Del mismo modo, se han reconocido en el campo los valores naturales del paisaje que hacen de estos lugares merecedores de tal calificación (Tabla 4).

Figura 5. Mapa de localización e inventario de PIN



Elaboración propia

Tabla 4. Listado de PIN seleccionados en los Arribes del Duero zamoranos

Nº PIN	Nombre	Códigos			Tipo de PIN
		Conjuntos	Tipos	Unidades	
1	Arribanzos de Torregamones de Sayago	II, I	F, G, A, B, D	20, 22, 26, 19, 15, 8, 4	Lugar representativo
2	Llanos de Badilla	I	A, E	3, 5, 1, 18	Lugar representativo
3	Arribanzos de Cozcurrita	II, I	F, G, B, A, D	21, 19, 26, 9, 11, 2, 16	Lugar representativo
4	Sierros de Fariza	I	B	6	Elemento representativo
5	Arribanzos de Mámoles	II	F	20, 21, 22, 23, 24, 26, 19, 10	Lugar representativo
6	Vallicos y barrocales de Palazuelo de Sayago	I	D, E, A	16, 18, 15, 13, 14	Lugar representativo
7	Barrerros de Fornillos de Fermoselle	I	C, B, A	12, 17, 14, 4	Lugar singular
8	Arribanzos de Pinilla de Fermoselle	II, I	F, B, D	20, 24, 25, 26, 7, 15	Lugar representativo

Elaboración propia

3.4. Caracterización de PIN

La caracterización de los PIN seleccionados se efectúa a través de una ficha descriptiva en la que se sintetizan los rasgos naturales esenciales del paisaje, relacionados con la organización, dinámica y percepción visual. La ficha se complementa con información concerniente al uso y gestión (Tabla 5).

Tabla 5. Modelo de ficha descriptiva de Paisaje de Interés Natural aplicada al PIN n.º 5. Arribanzos de Mámoles

PAISAJE DE INTERÉS NATURAL: DESCRIPCIÓN			
Identificación	Nombre: Arribanzos de Mámoles	Lugar: Mámoles	N.º: 5
Situación	Tº municipal: Fariza	Coordenadas: 41º24'59"N a 41º23'17"N - 6º19'57"W a 6º18'32"W	Altitud: 462 a 665 m
Paisaje natural	Tipo	Lugar representativo Garganta	
	Organización del paisaje natural	Profundo y estrecho valle del río Duero encajado 200 m sobre el nivel pleistoceno de la penillanura (El Raso de Mámoles). El cruce de fracturas tardihercínicas da lugar a un amplio meandro que introduce notables modificaciones topoclimáticas. En la umbría se desarrolla una masa de quejigo, mientras en la solana lo hace un cornicabral. Al sur, se suceden un enebral y un encinar. Los cortados más verticales son colonizados por vegetación rupícola. Las laderas están incididas por regueros de erosión y arroyos que, procedentes de la penillanura, generan cascadas al adentrarse en la garganta (Lastras de Aguas Bravas)	
	Dinámica del paisaje natural	Regeneración natural de las formaciones arboladas por el abandono de las prácticas agrarias: el quejigar avanza sobre los bancales de viñedo abandonados; el cornicabral alcanza un porte arborescente; el enebral y el encinar presentan una cobertura arbolada cerrada; los fresnos y sauces progresan por las riberas; y los matorrales de berceo colonizan las laderas menos pronunciadas donde antaño se cultivaba centeno	
	Percepción visual del paisaje natural	Cualquier punto enclavado en el borde de los escarpes constituye un excelente mirador natural. No obstante, existen dos pequeños recorridos que desde el núcleo de Mámoles llegan, respectivamente, al mirador del Cueto (665 m) y al del Testero del Burro (571 m). Ambos ofrecen unas vistas espectaculares del arribanzo de Mámoles.	
	Interés principal	Mosaico paisajístico de gran diversidad (encinares, enebrales, quejigares de umbría y cornicabrales de solana sobre pronunciadas laderas)	
	Interés secundario	Formas fluviales (meandro del río Duero y cascadas y rápidos en el arroyo de la Ribera) y graníticas (rocas acastilladas, piedras caballeras y torres ruñiformes)	
	Atribución del PIN	Valle principal poco antropizado con mosaico de arbolado cerrado o semiabierto, matorrales, vegetación rupícola y cultivo en bancales	

Usos	Contenido cultural	Construcciones populares en torno al arroyo de la Ribera (molinos harineros, puentes de lanchas de granito, senda empedrada). Localidad de Mámoles (iglesia románica del s. XIII, caserío de mampostería de granito, lagares rupestres, potro de piedra para herrar, cortinos). Camino de los Arrieros. Chozas de pastores. Habla sayaguesa
	Accesibilidad	Media: pistas desde Mámoles hasta el Raso y el arroyo de la Ribera. Desde estos puntos existen sendas con descensos pronunciados
	Grado de interés	Alto: científico-didáctico y paisajístico-estético
	Estado de conservación	Bueno
	Usos actuales	Pastoril. Senderismo-excursionismo (etapa 29 del GR 14, PR Lastras de Aguas Bravas y Testero del Burro, PR Molino de los Fraguales, PR Molino Serafín, PR Lagares Rupestres y Alto del Cueto). Usos turísticos en Mámoles
	Comunicaciones	Pista desde Mámoles (GR 14). Senda desde el GR 14 (PR Lastras de Aguas Bravas y Testero del Burro, señalizado mediante pintura)
	Infraestructuras	Pista y senda. Paneles informativos en Mámoles y en miradores del Alto del Cueto y Testero del Burro
	Impactos	Incendios
	Situación legal	Zona de Uso Limitado (ZUL) establecida en el PORN del Espacio Natural Arribes del Duero (2001)

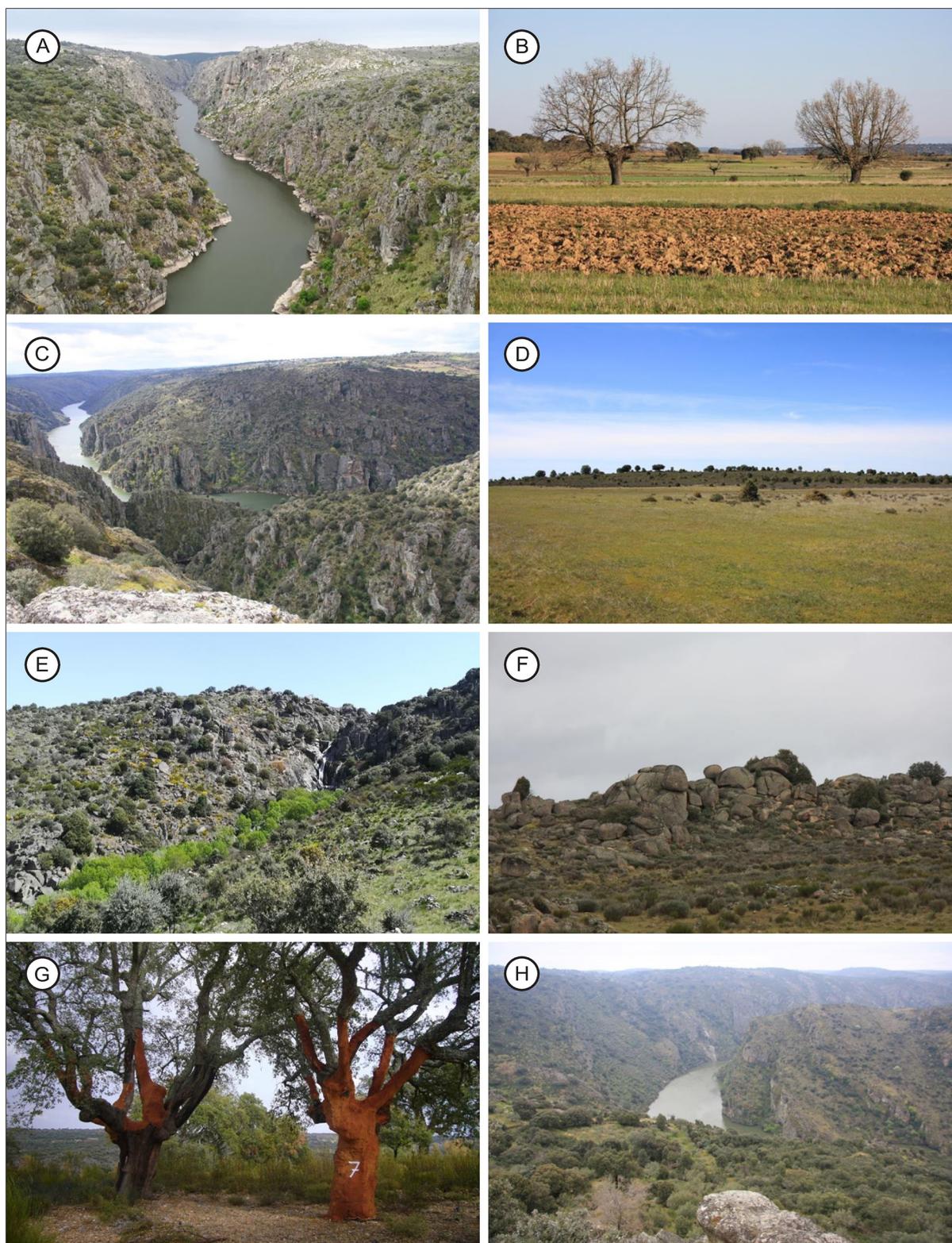
Elaboración propia

De los ocho PIN inventariados cuatro están emplazados en el interior de la garganta y otros cuatro en la penillanura. Para su denominación se han buscado términos que sirvan para expresar la configuración de cada paisaje natural. Así, se han utilizado vocablos locales que aluden al tipo de paisaje natural y su localización geográfica.

Los PIN nombrados como arribanzos se corresponden con fragmentos de la garganta fluvial del Duero, en los que están representados los principales tipos y unidades de paisaje natural que componen este conjunto. En concreto, el n.º 1 (Arribanzos de Torregamones de Sayago) se trata de un encajado valle secundario abierto por el arroyo de Peña la Galga en su aproximación a la garganta y con su desembocadura final en el río Duero. La erosión remontante que incide sobre las superficies de erosión ha hecho aflorar un paisaje de bolos graníticos, recubiertos por un denso encinar en la ladera de solana en contraposición al quejigar que se resguarda en la de umbría. En el PIN n.º 3 (Arribanzos de Cozcurrita) el encajamiento del arroyo de la Ribera es mucho más profundo, lo que ha acentuado la erosión. La pedregosidad del terreno ha permitido a la especie arbórea más resistente, el enebro, configurar una masa de inusitado carácter boscoso. El n.º 5 (Arribanzos de Mámoles) engloba uno de los característicos meandros que, adaptados al cruce de fracturas, describe el río Duero. Los contrastes topoclimáticos derivados explican la variedad de formaciones vegetales que acoge la garganta fluvial en este sector (quejigares, cornicabrales, enebrales y encinares). El último PIN representativo de la garganta, el n.º 8 (Arribanzos de Pinilla de Fermoselle), representa la transición hacia las arribas salmantinas, donde la encina se va haciendo dominante entre bancales de olivos que se sirven del aumento térmico en las laderas solariegas fruto del progresivo encajamiento del río Duero.

Sobre el conjunto de la penillanura se han seleccionado otros cuatro PIN que representan, respectivamente, los cuatro tipos de paisaje natural más característicos: las propias llanuras erosivas, los modestos relieves residuales, los amplios interfluvios graníticos entre lineales llanuras aluviales y los escasos depósitos terciarios. El PIN n.º 2 (Llanos de Badilla) representa el paisaje natural profundamente alterado de la penillanura, donde las masas de rebollo han sido aclaradas para habilitar espacios cultivables (cereal y viñedo). El n.º 4 (Sierros de Fariza) está vinculado a los escasos relieves residuales estrechos y alargados asociados a diques de cuarzo, colonizados por una rala formación de enebro. El n.º 6 (Vallicos y barrocales de Palazuelo de Sayago) combina los pastizales de ribera que se abren de forma lineal entre suaves colinas graníticas, con barrocales graníticos surgidos por el desmantelamiento de las alteritas. Por último, el n.º 7 (Barrereros de Fornillos de Fermoselle) está vinculado a los sedimentos terciarios, que antaño sustentaron una importante actividad ceramista y alfarera, como queda reseñada en la denominación del PIN y de la propia localidad. Sobre ellos se asienta una significativa mancha arbolada de alcornoque, cuya explotación ha permitido su desarrollo y conservación (Figura 6).

Figura 6. Imágenes de PIN



A. PIN n.º 1: Arribanzos de Torregamones de Sayago. B. PIN n.º 2: Llanos de Badilla. C. PIN n.º 3: Arribanzos de Cozcurrita. D. PIN n.º 4: Sierros de Fariza. E. PIN n.º 5: Arribanzos de Mámoles. F. PIN n.º 6: Vallicos y barrocales de Palazuelo de Sayago. G. PIN n.º 7: Barreros de Fornillos de Fermoselle. H. PIN n.º 8: Arribanzos de Fornillos de Fermoselle.

Fotografías de los autores

3.5. Valoración de PIN

Una vez completadas las fichas, y con base en todos los datos recopilados, se lleva a cabo la valoración de cada PIN. La evaluación se hace diferenciando tres tipos de valores: los propiamente paisajísticos de carácter natural (científicos o intrínsecos) (Tabla 6), los añadidos o culturales (Tabla 7) y los de uso y gestión (Tabla 8). Para la evaluación de los primeros se ha optado por seleccionar los cinco valores geomorfológicos y otros cinco fitogeográficos que tienen una mayor trascendencia en la configuración del paisaje natural. Al final se obtienen tres notas ponderadas sobre 10, de las que se obtiene la nota global.

Tabla 6. Evaluación de los valores científicos o intrínsecos

Valores científicos	Definición	Escala de puntuación
Génesis	Procesos que han intervenido en su formación	1 punto por cada proceso reconocido hasta un máximo de 5
Morfología	Nº de formas que componen el PIN	1 punto por cada forma presente hasta un máximo de 5
Dinámica	Elementos heredados testigos de procesos del pasado y funcionales	1 punto por cada elemento presente hasta un máximo de 5
Litología	Tipo de rocas y depósitos reconocidos	1 punto por cada tipo presente hasta un máximo de 5
Estructura	Nº de estructuras geológicas o sedimentarias visibles	1 punto por cada estructura presente hasta un máximo de 5
Diversidad vegetal	Nº de unidades vegetales	1 punto por cada unidad presente hasta un máximo de 5
Riqueza florística	Nº de especies vegetales	1. 1 especie 2. 2-9 especies 3. 10-19 especies 4. 20-39 especies 5. 40 o más especies
Cobertura arbolada	Grado de recubrimiento arbóreo	1. Extremadamente abierta: menos de un 10% 2. Muy abierta: 10-24% 3. Abierta: 25-49% 4. Semiabierta: 50-75% 5. Cerrada: más de un 75%
Madurez	Grado de naturalidad que posee el PIN en función de la mayor o menor cercanía al <i>climax</i>	1. Herbazales y matorrales abiertos de porte bajo 2. Matorrales cerrados de porte alto 3. Bosques antropogénicos 4. Bosques preclimáticos 5. Bosques, matorrales y herbazales climáticos
Función ecológica	Tipo de estructura vertical y recubrimiento vegetal que contribuye a la estabilización de los procesos biológicos, edafogénicos y morfogenéticos que tienen lugar en el PIN	1. Vegetación arbustiva o herbácea abierta 2. Vegetación arbórea abierta con sotobosque abierto 3. Vegetación arbustiva o herbácea cerrada 4. Vegetación arbórea cerrada con sotobosque abierto 5. Vegetación arbórea cerrada o abierta con sotobosque cerrado
Puntuación total	Media ponderada de 10 puntos	Máximo 50

Fuente: Meaza y Cadiñanos, 2000; Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019; Marino, 2020. Elaboración propia

Tabla 7. Evaluación de los valores culturales o añadidos

Valoración	Puntuación	Definición
Paisajística y estética	Máximo 10	Consideración escalar paisajística y estética. No existe (0), muy local y puntual (2), media o municipal (4), comarcal (6), regional (8), elemento protegido por sus contenidos paisajísticos (10)
Elementos culturales	Valores patrimoniales	Máximo 10
	Valores culturales	Máximo 10
	Valores históricos	Máximo 10
Didáctica	Recursos pedagógicos	Máximo 5
	Niveles pedagógicos	Máximo 5
Científica	Valor científico	Máximo 5
	Representatividad científica	Máximo 5

Turística	Contenidos turísticos	Máximo 5	Histórico-artístico, activo (excursionismo, otros), paisajístico, carteles-paneles indicativos, esparcimiento-relax, otros
	Potencial turístico	Máximo 5	Capacidad de atracción turística: local (1), comarcal (2), regional (3), nacional (4), internacional (5)
Puntuación total		Máximo 70	Media ponderada de 10 puntos

Fuente: Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019. Elaboración propia

Tabla 8. Evaluación de los valores de uso y gestión

Valoración	Puntuación	Definición
Accesibilidad	Alta: 2 – buena accesibilidad Media: 1 – con dificultades Baja: 0 – mala accesibilidad	Utilidad por lo accesible del PIN para su uso y gestión
Fragilidad	Alta: 0 – uso no recomendable Media: 1 – uso potencial Baja: 2 – alto valor de uso	Grado de fragilidad del PIN por sus características intrínsecas
Vulnerabilidad	Alta: 0 – cambios irreversibles Media: 1 – cambios de bajo grado Baja: 2 – no hay vulnerabilidad	Elementos del entorno del PIN que posibilitan cambios irreversibles en sus valores intrínsecos y extrínsecos
Intensidad de uso	Alta: 0 – alta frecuentación, no permite el incremento de actividades Media: 1 – frecuentación y uso moderado Baja: 2 – frecuentación y uso muy moderado	Uso actual del PIN
Riesgo de degradación	Alto: 0 – no favorece su uso Medio: 1 – uso restringido Bajo: 2 – permite su uso	Posibilidad de deterioro del PIN con su uso, hasta perder valores intrínsecos y añadidos
Impactos	Altos: 0 – desaconsejan su uso, con orientaciones de restauración Medios: 1 – permiten usos pero aconsejan restauración o eliminación de impactos Bajos: 2 – no hay impactos intensos	Elementos humanos que afectan al PIN de modo directo (carreteras, canteras, obras, etc.)
Condiciones de observación	Altas: 2 – toda la comarca Medias: 1 – entorno cercano Bajas: 0 – junto al elemento	Existencia o no de condiciones de observación (paisaje, localización, accesibilidad, etc.) para el uso del PIN
Límites de cambio aceptables	Alto: 2 – baja fragilidad y débil intensidad de uso, los cambios no implican pérdida de valores Medio: 1 – fragilidad y usos actuales permiten cambios moderados sin pérdida de valores Bajo: 0 – elevada fragilidad o intensidad de usos, el cambio implica pérdida de valores	Potencial de cambios que el PIN puede asumir sin perder sus valores intrínsecos y añadidos. Está en relación con la fragilidad y la intensidad de uso
Servicios y equipamientos	Alta: 2 – cercanos que permiten su uso Media: 1 – cercanía relativa Baja: 0 – no existen en la cercanía	Existencia de servicios y equipamientos cercanos para acoger uso turístico-económico (proximidad a ciudades con potencial turístico, rutas de senderismo, etc.)
Potencial económico	Alto: 2 – recurso económico potencial para uso turístico Medio: 1 – rentabilidad media Bajo: 0 – no rentable	Potencial económico que se espera del uso turístico del PIN
Puntuación total	20 puntos	Media ponderada de 10 puntos

Fuente: Serrano y González, 2005; González, 2006; Serrano *et al.*, 2009; Becerra, 2013; Marino *et al.*, 2019. Elaboración propia

De los ocho PIN, cinco de ellos alcanzan una valoración global alta (superior a 7). Se trata de los cuatro lugares enclavados en la garganta, esto es, los arribanzos de Torregamones de Sayago (n.º 1), Cozcurrita (n.º 3), Mámoles (n.º 5) y Pinilla de Fermoselle (n.º 8), así como los barreros de Fornillos de Fermoselle (n.º 7), único PIN situado en la penillanura que alcanza esta valoración. Todos ellos tienen una valoración intrínseca alta. En los cuatro PIN de la garganta, donde la valoración media alcanza los 8 puntos, la calidad del paisaje natural se debe a la confluencia de una gran variedad morfológica, derivada de los procesos erosivos sobre los materiales graníticos, con una conservación de formaciones vegetales relativamente densas y variadas (quejigares, encinares, enebrales, cornicabrales y fresnedas). En el PIN n.º 7 es la presencia en este enclave de una fina cobertera sedimentaria la que origina un singular paisaje de alcornocal ligado a la explotación del corcho, lo que le permite alcanzar una alta puntuación. En todos

ellos, la valoración obtenida en los elementos añadidos o culturales también es alta, debido a la multitud de componentes estético-paisajísticos, culturales, didácticos, científicos y didácticos que existen en el entorno más inmediato al PIN. Es en los valores de uso y gestión donde la puntuación se queda ligeramente por debajo de 7 (media-alta), fruto de la fragilidad, vulnerabilidad y riesgo de degradación que presentan estos paisajes arbolados ante los frecuentes incendios forestales. El resto de indicadores (accesibilidad, intensidad de uso, frecuentación, impactos, condiciones de observación, servicios y equipamientos) facilitan su potencial uso.

Los otros tres PIN, esto es, los llanos de Badilla, los sieros de Fariza y los vallicos y barrocales de Palazuelo de Sayago, se ubican sobre la penillanura. Su valoración global es media-alta (entre 5 y 7), fundamentalmente lastrada por unos valores intrínsecos relativamente bajos (por debajo de 5) debido a la homogeneidad morfoestructural que impone la monótona penillanura, junto al hecho de tratarse de un paisaje natural fuertemente alterado por la secular intervención humana. Tan solo el PIN n.º 6 alcanza una valoración científica algo más alta (cercana a 6) al tratarse de un espacio con profusión de microformas graníticas sobre un caótico paisaje de berrocal. En cuanto a los valores culturales, presentan unos resultados similares al resto de PIN (medio-alto), salvo el n.º 4, cuyo reducido tamaño, circunscrito al siero cuarcítico que representa, explica los limitados recursos culturales que posee. Por último, los valores de uso y gestión (en torno a 7) también son similares a los obtenidos por los anteriores PIN (Tabla 9).

Tabla 9. Valoración de PIN

N.º PIN	Nombre	Tipo	Valoración			
			Intrínseca	Añadida	Uso y gestión	Global
1	Arribanzos de Torregamones de Sayago	LR	8,2	8	6	7,4
2	Llanos de Badilla	LR	4,4	7	7	6,1
3	Arribanzos de Cozcurrita	LR	8,6	8,2	6,5	7,7
4	Sierros de Fariza	ER	4,6	3,4	7	5
5	Arribanzos de Mámoles	LR	7,6	7,4	6,5	7,1
6	Vallicos y barrocales de Palazuelo de Sayago	LR	5,8	7,4	7	6,7
7	Barrereros de Fornillos de Fermoselle	LS	7	7,7	7,5	7,5
8	Arribanzos de Pinilla de Fermoselle	LR	8	8	6,5	7,5

Elaboración propia

3.6. Diagnóstico de PIN

La diagnosis de los PIN identificados, caracterizados y valorados pretende reconocer la importancia del patrimonio natural ligado al paisaje en los Arribes del Duero zamoranos y ponderar el potencial que como recurso territorial poseen. Efectivamente, la calidad paisajística está determinada, en primer lugar, por los propios elementos intrínsecos del paisaje natural analizado. La cantidad de elementos de la geodiversidad y la biodiversidad que interactúan en el espacio natural protegido de Arribes del Duero da lugar, como ha quedado reseñado, a un complejo mosaico paisajístico de gran variedad y riqueza. La marginalidad geográfica de la comarca zamorana de Sayago, junto a las propias limitaciones impuestas por el medio natural a las actividades humanas, propició una explotación racional del territorio en torno a un sistema mixto agro-ganadero de subsistencia, que moldeó durante centurias el primigenio paisaje natural. El despoblamiento actual, asociado al éxodo rural y progresivo envejecimiento de la población, esconde tras de sí una ganancia en la impronta de los elementos naturales sobre el paisaje, debido a la disminución de la presión sobre el territorio. Este hecho se traduce en una importante regeneración natural de las masas arboladas, cada vez más cerradas. Pero a la vez, se genera una pérdida irreparable, tanto en las unidades de paisaje natural más humanizadas (sometidas a un proceso de matorralización) como en toda una serie de elementos culturales asociados al paisaje natural que están en desuso, tanto de carácter material (caminos, chozas de pastores, chiviteras, molinos, batanes, puentes, fuentes, cigüeñales, cortinas de piedra, lagares, potros, hornos) como inmaterial (prácticas agro-comunitarias, etnobotánica, habla sayaguesa, romances y leyendas sobre arrieros, contrabandistas o carabineros). La enorme potencialidad

de estos recursos añadidos queda patente en la valoración obtenida por los elementos culturales, y por ello el interés en su conservación.

La declaración de este espacio como Parque Natural, hace ya más de una década, supuso un avance significativo en la recuperación de muchos de estos elementos culturales, así como en la propia protección del paisaje natural, reduciendo en mayor o menor medida algunos de los principales impactos que existían mediante diferentes iniciativas: depuración de residuos vertidos a las riberas, restauración de explotaciones mineras, eliminación de vertederos y escombreras incontroladas, recuperación de la cubierta vegetal en áreas deforestadas por el fuego o sobreexplotadas, control de actividades turísticas en los entornos fluviales, regulación de actividades constructivas, restauración de cortinas de piedra, entre otras.

En la actualidad, el principal peligro que acecha al paisaje natural de los Arribes de Duero es el fuego. Desgraciadamente, los incendios asolan con periodicidad anual este espacio protegido. Por ello, la lucha contra este elemento debe convertirse en una prioridad para las distintas administraciones e instituciones, a través de campañas informativas y de concienciación, así como incrementando la dotación humana y técnica tanto para las tareas de prevención (desbroces y limpiezas de matorral) como de extinción.

En lo que se refiere a la puesta en uso y valor de los paisajes naturales, los resultados obtenidos demuestran la enorme potencialidad económica que se puede esperar del uso turístico de estos lugares, no solo por las propias características intrínsecas y añadidas de los paisajes naturales, sino también por aspectos que facilitan esta puesta en uso y valor: buena accesibilidad, moderado uso y frecuentación, existencia de condiciones de observación y servicios y equipamientos cercanos. Así, el aprovechamiento del patrimonio natural ligado al paisaje debería orientarse hacia su uso ecoturístico y didáctico, a través de itinerarios interpretativos por los diferentes PIN (visitas guiadas, folletos interpretativos, aplicaciones móviles, etc.), junto a otras actividades económicas tradicionales con cierta potencialidad (cultivos leñosos, razas autóctonas, corcho, miel y caza).

4. Discusión de los resultados

Aunque en los últimos años hay un creciente interés por utilizar la valoración del paisaje natural como herramienta de análisis y gestión ambiental (Martínez, Martín y Romero, 2003; Muñoz-Pedrerros, 2004; García, Mendoza y Galicia, 2005), no obstante, las metodologías empleadas no sólo son muy variadas y tienen enfoques o visiones distintas (filosófica, psicológica, estética, ecológica, geográfica, etc.), sino que además adolecen con frecuencia de una excesiva carga de subjetividad, máxime, los métodos visuales o perceptivos (Fairbanks y Benn, 2000; Otero, Casermeiro, Ezquerro y Esparcia, 2007). Para tratar de suplir estas deficiencias la propuesta metodológica de los PIN, a diferencia de los métodos conocidos como directos e indirectos de valoración del paisaje (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), no se limita a una evaluación de las unidades de paisaje, sino que una vez definidas y caracterizadas se procede a la selección de aquellos lugares y elementos que desde el punto de vista paisajístico tienen una mayor relevancia natural. Con la finalidad de que dicha elección de los PIN sea lo más objetiva posible, y eliminar cualquier sesgo de antemano, se ha incorporado una clasificación jerárquica de las unidades de paisaje natural, cuyo desglose orienta y facilita que la toma de decisiones esté basada exclusivamente en los principios de representatividad y singularidad. Así pues, la valoración se aplica únicamente a los PIN seleccionados y se obtiene a través de la consideración combinada de tres criterios o indicadores, a saber, científicos o intrínsecos, añadidos o culturales y finalmente de uso y gestión, los cuales son fundamentales para comprender la estructura, funcionamiento y dinámica del paisaje natural. Además, la propuesta metodológica incorpora un diagnóstico de los PIN valorados, en el que se describe el estado actual, las potencialidades y los peligros que se ciernen de cara a su aprovechamiento o desarrollo sostenible.

La metodología desarrollada se revela como una herramienta útil y eficaz para valorar el patrimonio paisajístico de los espacios naturales, pues de las 26 unidades de paisaje definidas, en una superficie de apenas 6.000 ha, se han obtenido y seleccionado 8 PIN, de los cuales 5 han alcanzado una valoración global alta. Se trata, en su mayoría, de los arribanzos, esto es, de los parajes configurados por escarpadas vertientes donde la actividad antrópica ha sido menos intensa y las formaciones vegetales conservan mejor sus cualidades naturales. Así pues, los datos obtenidos ponen de relevancia la importancia que el patrimonio ligado al paisaje natural posee en el espacio protegido de Arribes del Duero.

Por último, la metodología aplicada permite desarrollar el CEP en espacios naturales protegidos al cumplir con los objetivos fundamentales del mismo. Aunque se han tomado en consideración los elemen-

tos naturales como definidores del paisaje (valores científicos o intrínsecos), la introducción de valores añadidos al paisaje natural (elementos culturales de carácter estético-paisajístico, histórico, didáctico, etc.) entronca con la visión integral del paisaje que el convenio introduce. La capacidad del método para seleccionar aquellos lugares y elementos con mayor grado de interés paisajístico por sus valores científicos, culturales, didácticos y ecoturísticos permite generar un activo como los PIN, de tal modo que el paisaje puede llegar a convertirse en un recurso patrimonial para el desarrollo territorial sostenible (Ojeda, 2003; Mata, 2008).

5. Conclusiones

El creciente interés por el conocimiento del paisaje, bien como elemento identitario, entorno de vida cotidiano o recurso territorial, ha convertido a este objeto en un elemento clave del bienestar individual y social (Consejo de Europa, 2000). De entre todos los tipos de paisaje, los más valiosos y apreciados por sus cualidades visuales han sido tradicionalmente los de índole natural, es decir, aquellos en los que los componentes biofísicos del espacio geográfico protagonizan los rasgos fundamentales de la imagen que ofrece el territorio, esto es, del paisaje. Desentrañar la organización y dinámica de estos complejos y cambiantes sistemas conlleva un esfuerzo por integrar los elementos naturales (geomorfológicos, climáticos, hídricos, edáficos y vegetales) y antrópicos (actividades humanas tradicionales y actuales) que interactúan en un marco espacial de referencia variable. En este sentido, el *análisis integrado del paisaje*, por su visión sistémica y capacidad de adaptación a distintas escalas de trabajo, ha sido la base conceptual y metodológica con la que se ha abordado el conocimiento del paisaje natural de los Arribes del Duero zamoranos. Su aplicación ha permitido identificar, caracterizar y cartografiar las unidades de paisaje natural, a partir de un enfoque integrado centrado en la organización, dinámica e integración pluriescalar en tres niveles jerárquicos (conjuntos, tipos y unidades).

Junto a la demanda social de información y conocimiento científico acerca de los paisajes, coexiste otra exigencia ciudadana vinculada a la salvaguarda y gestión sostenible de los mismos (Consejo de Europa, 2000). En este otro sentido, es cierto que los paisajes naturales más excepcionales han gozado desde fechas más tempranas con este compromiso de protección, materializado en las diferentes figuras de Espacio Natural Protegido (ENP) existentes (muy destacadamente en los Parques Naturales). Sin embargo, no es menos cierto que la preservación de esta riqueza paisajística se ha realizado de forma indirecta, a través de los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) en los que se regulan los usos y actividades (Mulero, 2013). Con la ratificación del Convenio Europeo del Paisaje¹³ y la inmediata posterior promulgación de la Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad¹⁴, los PORN están obligados a incluir un inventario/diagnóstico de los paisajes representativos (art. 20) con el que acometer de forma adecuada la protección integral de los mismos¹⁵. En este contexto, el método de trabajo desarrollado ha facilitado la selección de las unidades definidas previamente para determinar los lugares y elementos naturales más representativos y singulares desde el punto de vista paisajístico. De este modo se han catalogado 8 PIN, cuya evaluación desde una triple perspectiva (científica, cultural y de uso y gestión) ha permitido integrar los valores intrínsecos del paisaje natural, sus contenidos añadidos (estéticos, culturales, pedagógicos y socioeconómicos) y su potencial territorial con el propósito último de realizar una orientación de uso del espacio considerado como PIN. Se da cumplimiento así al objetivo planteando en este trabajo: generar un método de análisis a escala local a través del cual combinar el conocimiento profundo de los paisajes naturales y su puesta en uso y valor como recursos territoriales.

Referencias

- Arozena, M.E. (1991). *Los Paisajes Naturales de la Gomera*. Santa Cruz de Tenerife: Cabildo Insular de la Gomera.
- Arozena, M.E. y Molina, P. (2000). Estructura de la vegetación. En G. Meaza (dir.), *Metodología y práctica de la Biogeografía* (pp. 77-147). Barcelona: Ediciones del Serbal.

13 Boletín Oficial del Estado de 5/02/2008.

14 Ley 42/2007, de 13 de diciembre.

15 El PORN del Espacio Natural de Arribes del Duero se aprobó mediante el Decreto 164/2001, de 7 de junio, por tanto y como gran parte de los actuales espacios naturales protegidos, con anterioridad a la mencionada obligatoriedad. En consecuencia, carece de tal inventario y diagnóstico de paisajes.

- Beato, S. (2018). *El patrimonio natural de la Sierra del Aramo (Montaña Central Asturiana) y la evolución de su paisaje* (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo. Departamento de Geografía.
- Becerra, R. (2013). *Geomorfología y geopatrimonio de los volcanes magmáticos de la Región Volcánica del Campo de Calatrava* (Tesis doctoral). Universidad de Castilla La Mancha. Ciudad Real. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10578/3606>
- Bertrand, G. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 39, 249-272. <https://doi.org/10.3406/rgps.1968.4553>
- Bertrand, G. (2010). Itinerario en torno al paisaje: una epistemología de terreno para tiempos de crisis. *Ería*, 81, 5-38. Recuperado de <https://www.unioviedo.es/reunido/index.php/RCG/article/view/1670>
- Boletín Oficial de Castilla y León (2005). *Decreto 74/2005, de 20 de octubre, por el que se aprueban las Directrices de Ordenación de Ámbito Subregional de Segovia y Entorno, 18351-18374*. Recuperado de <http://bocyl.jcyl.es/boletines/2005/10/26/pdf/BOCYL-D-26102005-2.pdf>
- Cabo, Á. (1956). El colectivismo agrario en Tierra de Sayago. *Estudios Geográficos*, 65, 593-658.
- Calonge, G. (1990). La excepcionalidad climática de los arribes del Duero. *Ería*, 21, 45-59. Recuperado de <https://www.unioviedo.es/reunido/index.php/RCG/article/view/1041/962>
- Consejo de Europa (2000). *Convenio Europeo del Paisaje*. Recuperado de http://www.culturaydeporte.gob.es/cultura-mecd/dms/mecd/cultura-mecd/areas-cultura/patrimonio/Convenio_europeo_paisaje.pdf
- Costa, J. (1902). Concejo colectivista en Sayago. En J. Costa (dir.), *Derecho consuetudinario y economía popular de España* (pp. 21-35). Zaragoza: Guara.
- Crespo, J. (1968). *El paisaje agrario de los Arribes del Duero*. Madrid: Instituto Juan Sebastián Elcano.
- Dóniz, F.J. (2009). Patrimonio geomorfológico de los volcanes basálticos monogénicos de la Caldera de Gairía-Malpaís Chico y el Malpaís Grande en la isla de Fuerteventura (Canarias, España). *Nimbus*, 23-24, 89-103. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10835/1533>
- Escuder, J. y Mediavilla, R. (2000). Historia geológica. En L.R. Rodríguez (Dir.), *Memoria explicativa de la Hoja 423 del Mapa Geológico de España a Escala 1:50.000* (pp. 118-120). Madrid: ITGE.
- Fairbanks, H.K. y Benn, A. (2000). Identifying regional landscapes for conservation planning: a case study in Kwazulu-Natal, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 50, 237-257. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00068-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00068-2)
- Fernández, L. (2014). *Naturaleza y paisaje en la sierra de San Vicente (Toledo)* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/29560/>
- García, J. (1986). *El clima de Castilla y León*. Valladolid: Ámbito.
- García, J. (2001). Geografía Física o Ciencias Naturales. *Investigaciones Geográficas*, 25, 33-49. <https://doi.org/10.14198/INGEO2001.25.02>
- García, J.L. (1994). *El medio natural en los Montes de Ciudad Real y el Campo de Calatrava*. Ciudad Real: Biblioteca de Autores y Temas manchegos.
- García, A., Mendoza, K.I., Galicia, L. (2005). Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 56, 77-100. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112005000100006
- Gausson, H. (1966). Emploi de la couleur dans les cartes de végétation. *Pirineos*, 79-80, 201-216.
- Gómez, D.C. (2010). *Medio físico, dinámica geoecológica, paisaje vegetal y ordenación de los recursos naturales de la campiña del río Guadaira* (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Recuperado de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/15807>
- González, M.J., Serrano, E. y González, M. (2014). Lugares de interés geomorfológico, geopatrimonio y gestión de espacios naturales protegidos: el Parque Natural de Valderejo (Álava, España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 45-64. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300004>
- González, F. (1992). La frutalización del bosque mediterráneo. En *Paisaje Mediterráneo* (pp. 136-141). Milán: Electa.

- González, J.J. (2006). *El Macizo Central de los Picos de Europa: geomorfología y sus implicaciones geocológicas en la alta montaña cantábrica* (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria. Santander. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10803/10653>
- Ibarra, P. (1993a). *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado*. Sevilla: Agencia de Medio Ambiente.
- Ibarra, P. (1993b). Una propuesta metodológica para el estudio del paisaje integrado. *Geographica*, 30, 229-242. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=59812>
- Instituto Geográfico Nacional (2009). Hoja 395 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Recuperado de <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>
- Instituto Nacional de Estadística (2018). Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero. Zamora: Población por municipios y sexo. Recuperado de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2906&L=0>
- Jerez, O. (2008). *El medio natural y los paisajes del Macizo de la Calderina (Montes de Toledo orientales)* (Tesis doctoral). Universidad de Castilla la Mancha. Ciudad Real.
- Joly, F. (1997). *Glossaire de géomorphologie. Base de données semiologiques pour la cartographie*. Paris: Armand Colin.
- Jovellar, L.C. (2008). Cartografía del hábitat potencial climático y edafoclimático de *Quercus suber* L. en el Centro-Oeste de España: efecto de la capacidad de retención de agua del suelo. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 25, 255-260. Recuperado de http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9690
- Lozano, P.J., Cadiñanos, J.A y Meaza, G. (2018). *Metodología de inventariación y valoración de los paisajes vegetales* (Documento inédito).
- Marañón, M. (2009). El paisaje natural de la Muela de los Olmos y su entorno (Serranía de Cuenca). *Ería*, 39-40, 5-32. Recuperado de <https://www.unioviado.es/reunido/index.php/RCG/article/view/1211>
- Marino, J.L., Poblete, M.Á. y Beato, S. (2017a). Valoración del patrimonio geomorfológico de un sector del Parque Natural de Arribes del Duero (Bajo Sayago, Zamora), *Cuaternario y Geomorfología*, 31(3-4), 27-50. <https://doi.org/10.17735/cyg.v31i3-4.55303>
- Marino, J.L., Poblete, M.Á. y Beato, S. (2017b). El patrimonio vegetal en los Arribes del Duero zamoranos: las formaciones de enebro *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *badia* (H. Gay) Debeaux, *Cuadernos Geográficos*, 56(3), 90-115. Recuperado de <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/5469/5848>
- Marino, J.L., Poblete, M.Á. y Beato, S. (2018a). Paisaje y conservación del alcornocal de Fornillos de Fermoselle a través de su explotación (Parque Natural de Arribes del Duero, Zamora, España). En R.U. Gonsálvez, M.C. Díaz, J.L. García, M.A. Serrano de la Cruz y O. Jerez (coords.), *Bosque mediterráneo y humedales: paisaje, evolución y conservación. Aportaciones desde la Biogeografía. Tomo 1* (pp. 208-218). Ciudad Real: Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10651/47468>
- Marino, J.L., Poblete, M.Á. y Beato, S. (2018b). Geomorfología de los Arribes del Duero zamoranos. *Estudios Geográficos*, LXXIX, 285, 419-444. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201816>
- Marino, J.L. (2020). Lugares de Interés Biogeográfico (LIBg) en los Arribes del Duero zamoranos: propuesta metodológica para su inventario y valoración. *Ería. Revista cuatrimestral de Geografía*, 2020-1. Año XL, en prensa.
- Marino, J.L., Poblete M.Á. y Beato, S. (2019). *El relieve de los Arribes del Duero zamoranos y los Lugares de Interés Geomorfológico*. Oviedo: EDIUNO.
- Martín, J.F, Caballero, J. y Carcavilla, L. (2010). Organización de información geomorfológica orientada a la ordenación y gestión de espacios naturales. El caso de Covalagua y Las Tuerces (Palencia, España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Geol.*, 104(1-4), 71-92. Recuperado de <http://www.rsehn.es/index.php?d=publicaciones&num=20&w=121>
- Martín-Serrano, A. (1988). *El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico*. Zamora: Instituto de Estudios Zamoranos.

- Martínez, J., Martín, M.P. y Romero, R. (2003). Valoración del paisaje en la zona de especial protección de aves carrizales y sotos de Aranjuez (Comunidad de Madrid). *GeoFocus*, 3, 1-21. Recuperado de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/20>
- Martínez de Pisón, E. (2002). Reflexiones sobre el paisaje. En N. Ortega (dir.), *Historias del paisaje* (pp. 13-24). Madrid: Fundación Duques de Soria y Universidad Autónoma de Madrid.
- Martínez de Pisón, E. (2009). Los paisajes de los geógrafos, *Geographicalia*, 55, 5-25. Recuperado de <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/article/view/798>
- Mata, R. (2008). El paisaje, patrimonio y recurso para el desarrollo territorial sostenible. Conocimiento y acción pública. *Arbor Ciencia, Pensamiento y Cultura*, CLXXXIV (729), 155-172. Recuperado de <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/168/168>
- Mata R. y Sanz, C. (2004). *Atlas de los Paisajes de España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Meaza, G. (Dir.). (2000). *Metodología y práctica de la Biogeografía*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- Meaza, G. y Cadiñanos, P. (2000). Valoración de la vegetación. En G. Meaza (Dir.), *Metodología y práctica de la Biogeografía* (pp. 199-272). Barcelona: Ediciones del Serbal.
- Ministerio de Medio Ambiente (2000). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico, contenido y metodología*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Molina, P. (1998). *Estudio del paisaje natural del sector centro oriental de la Depresión del Tajo (Madrid-Toledo) y el sector central de la Depresión del Ebro (Navarra-Zaragoza). Análisis y comparación de sus estructuras dinámicas* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Geografía. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10486/12691>
- Mulero, A. (2013). Significado y tratamiento del paisaje en las políticas de protección de espacio naturales en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 62, 129-145. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.1572>
- Muñoz, J. (1979). *El lugar de la Geografía Física*. Oviedo: Departamento de Geografía de la Universidad de Oviedo.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77, 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>
- Nafría, D.A., Garrido, N., Álvarez, M.V., Cubero, D., Fernández, M., Villarino, I., Gutiérrez, A. y Abia, I. (2013). *Atlas Agroclimático de Castilla y León*. Madrid: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y Agencia Estatal de Meteorología. Recuperado de <http://www.atlas.itacyl.es/>
- Navarro, F. y Valle, J.A. (1987). Castilla y León. En M. Peinado y S. Rivas-Martínez (eds.), *La vegetación de España* (pp. 117-161). Madrid: Universidad de Alcalá de Henares.
- Ojeda, J.F. (2003). Desarrollo y Patrimonio Paisajístico. *Revista PH*, 42, 52-57. Recuperado de <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1478>
- Otero, I., Casermeiro, M.A., Ezquerro, A. y Esparcia, P. (2007). Landscape evaluation: Comparison of evaluation methods in a región of Spain. *Journal of Environmental Management*, 85, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.09.018>
- Panareda, J.M. (1973). *Estructura y dinámica del paisaje del Montseny* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Barcelona. Departamento de Geografía.
- Pérez-Chacón, E. (2002). Unidades de paisaje: Aproximación científica y aplicaciones. En F. Zoido y C. Venegas (Coords.), *Paisaje y ordenación del territorio* (pp. 122-135). Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía y Fundación Duques de Soria.
- Plaza, J.I. (1986). *Organización y dinámica del paisaje en el oeste zamorano. El Campo de Aliste*. Zamora: Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo.
- Prada, E.I. (2001). *Sayago. Evolución histórica y proyección futura de su estructura territorial* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/586/>
- Prada, E.I. (2005). Paisaje agrario: antropología de un territorio. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XXXVII(144), 343-372. Recuperado de http://www3.uah.es/josemrey/Docencia/Material6Master/Esther_Prada_CyT2.pdf

- Prada, E.I. (2011). *Paisaje agrario transfronterizo. Estudio comparado Tierra de Sayago (Zamora)-Concelho de Miranda (Distrito de Braganza)*. Soria: Fundación Duques de Soria. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/sayago_miranda_tcm30-103103.pdf
- Redondo, M.M. (1998). *El paisaje integrado de La Comarca de los Montes de Navahermosa (Toledo)* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Análisis Geográfico Regional.
- Rodríguez, C. y Castañón, J.C. (2016). Modos de representación cartográfica de las unidades de paisaje: revisión y propuestas. *Ería*, 99-100-100bis, 15-40. <https://doi.org/10.17811/er.99.2016.15-40>
- Sala, M. (1978). Los geosistemas del macizo de las Gavarres. *Cuadernos de Investigación*, IV, 1, 25-41. Recuperado de <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cigh/article/view/1925>
- Sánchez, J.A. (1984). La vegetación leñosa de los Arribes del Duero zamoranos. *Studia zamorensia*, 5, 65-82.
- Sánchez, L.A. (1991). *Ganadería y comunismo agrosilvopastoril*. Zamora: Caja España.
- Sanz, C. (1998). Métodos y resultados del estudio de un paisaje natural concreto: La Sierra de Guadarrama. En E. Martínez de Pisón (coord.), *Paisaje y Medio Ambiente* (pp. 55-73). Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial de la Universidad de Valladolid.
- Serrano, E. y González, J.J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Geomorphologie: relief, processus, environnement*, 3, 197-208. Recuperado de <https://journals.openedition.org/geomorphologie/364>
- Serrano, E., Ruiz, P., Arroyo, P. y González, J.J. (2006). Lugares de interés geomorfológico. Inventario y valoración aplicada al área de Tiermes Caracena (Provincia de Soria). En A. Pérez y J. López (coords.), *Geomorfología y territorio: Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología: Santiago de Compostela: 13-15 de septiembre de 2006* (pp. 963-976). Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Serrano, E., González, M.J., Ruiz, P. y González, J.J. (2009). Gestión ambiental y geomorfología: valoración de los lugares de interés geomorfológico del Parque Natural de las Hoces del Alto Ebro y Rudrón. *Cuaternario y Geomorfología*, 23(3-4), 65-82. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.364>
- Solé, L. (1958). Observaciones sobre la edad de la penillanura fundamental de la Meseta española en el sector de Zamora. *Breviora Geologica Asturica*, 2, 3-8.
- Zoido, F. (2006). *El Convenio Europeo del Paisaje*. Recuperado de <http://paisajeyterritorio.es/assets/el-convenio-europeo-del-paisaje.-por-zoido-naranja%2c-f.pdf>

Cita bibliográfica: Speake, M.A., Carbone, M.E., & Spetter, C.V. (2020). Análisis del sistema socio-ecológico del estuario Bahía Blanca (Argentina) y su impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. *Investigaciones Geográficas*, (73), 121-145. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.SCS>

Análisis del sistema socio-ecológico del estuario Bahía Blanca (Argentina) y su impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano

Analysis of the socio-ecological system of the Bahía Blanca estuary (Argentina) and its impact on ecosystem services and human well-being

María Angeles Speake^{1*}
María Elizabeth Carbone²
Carla Vanesa Spetter³

Resumen

Los humedales costeros conforman uno de los ecosistemas más productivos del mundo, brindando diversos servicios ambientales tales como la regulación hídrica, climática, provisión de alimentos, recreación y disfrute espiritual, entre muchos otros. No obstante ello, los rápidos procesos de modificación antropogénica que enfrentan en la actualidad han logrado alterar dramáticamente su biocapacidad y resiliencia. La disponibilidad de información completa y actualizada resulta de vital importancia para la planificación y la gestión estratégica de las áreas litorales. Por ello, en el presente estudio se analiza el sistema socio-ecológico del estuario de Bahía Blanca (SSE-BB) bajo un enfoque integral. El método empleado se basó en el marco conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM), diseñado por la Organización de Naciones Unidas. Los resultados obtenidos permiten afirmar que las presiones más importantes que recibe el SSE-BB son la concentración de infraestructura en el borde costero, el dragado y relleno artificial de los humedales, la contaminación ambiental y la invasión de especies exóticas. Las consecuencias directas sobre el bienestar de la población local están signadas por la disminución de los alimentos provenientes de la pesca, la pérdida de valores asociados a la herencia cultural y de recursos turísticos de primer orden, problemas de salud derivados de la calidad del aire y conflictos entre usuarios de recursos, como es el caso de los pescadores artesanales y las empresas industriales. Se espera que el diagnóstico operativo realizado facilite la adecuada comprensión de los problemas actuales del área de estudio y fomente la búsqueda de soluciones integrales.

Palabras clave: presiones antropogénicas; servicios ecosistémicos; bienestar humano; sistema socio-ecológico; estuario de Bahía Blanca.

Abstract

Coastal wetlands are one of the most productive ecosystems in the world and provide diverse environmental services such as water, climate regulation, food, and recreation and spiritual enjoyment.

1 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), CONICET/UNS, Bahía Blanca, Argentina. angeles.speake@uns.edu.ar. * Autora para correspondencia.

2 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), CONICET/UNS, Bahía Blanca, Argentina. ecarbone@ciba.edu.ar

3 Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur (UNS). Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), CONICET/UNS, Bahía Blanca, Argentina. cspetter@iado-conicet.gob.ar

Nevertheless, the rapid processes of degradation and destruction that wetlands face have managed to dramatically alter their biocapacity and resilience. Complete and updated information is vital for coastal planning and strategic management. A comprehensive study of the socio-ecological system of the Bahía Blanca estuary is presented. The method used is based on the conceptual framework of the Millennium Ecosystem Assessment designed by the United Nations. The results obtained affirmed that the most important pressures on the estuary are due to infrastructure concentration on the coastal edge, dredging and artificial filling of wetlands, environmental contamination, and the invasion of exotic species. The direct consequences on the welfare of the local population are a decrease in fish supply, loss of tourism resources (habitat and landscape degradation, as well as biodiversity loss), health problems derived from air pollution, and conflicts between resource users (as is the case of artisanal fishermen and industrial companies). It is expected that the operational diagnosis made will facilitate an understanding of the current problems of the study area and encourage the search for integral solutions.

Keywords: anthropogenic pressures; ecosystem services; human well-being; socioecological system; Bahía Blanca estuary.

1. Introducción

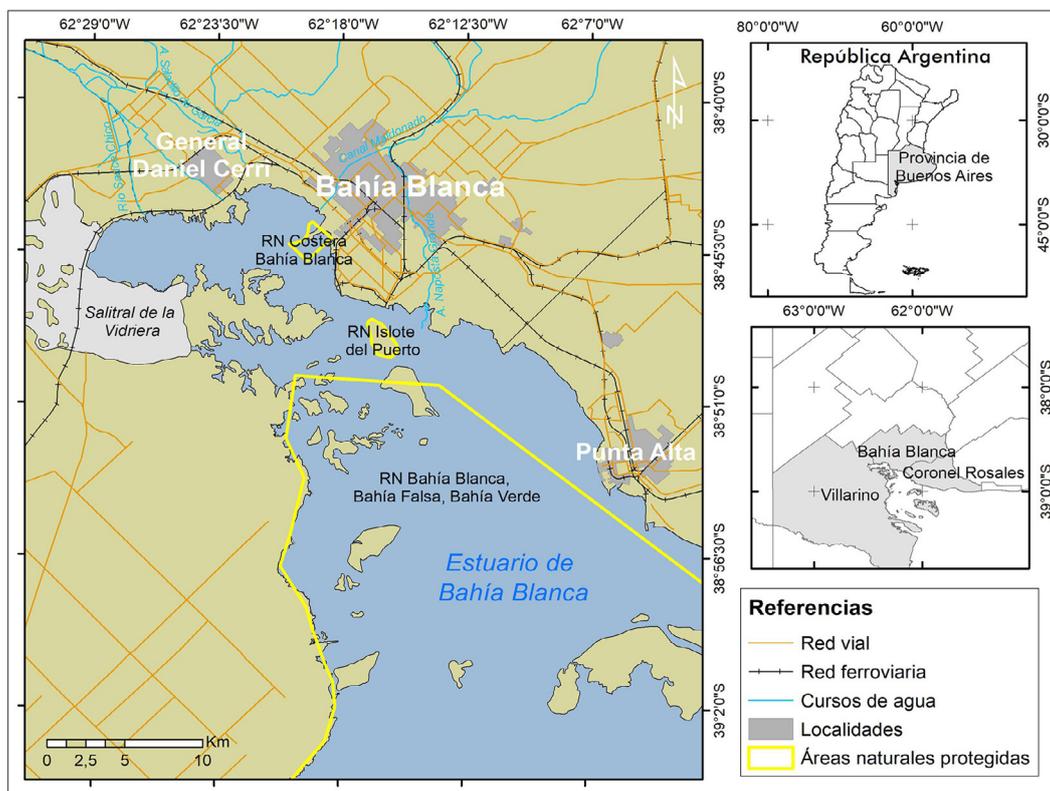
Los humedales costeros constituyen uno de los ecosistemas más productivos del mundo. Los mismos abarcan una amplia gama de hábitats, albergan gran cantidad de especies y diversidad genética, almacenan y reciclan nutrientes, filtran contaminantes y ayudan a proteger las costas de la erosión y las tormentas. Asimismo, abastecen de alimentos a la población mundial, detentan los principales puertos comerciales del mundo y son una importante fuente de productos farmacéuticos, fertilizantes, cosméticos y materiales de construcción, entre otros (Burke *et al.*, 2001; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2010; Barragán Muñoz, 2014). No obstante ello, en las últimas décadas las áreas litorales se han visto significativamente perturbadas debido al incremento en la ocupación e intensidad de uso por parte del hombre y, consecuentemente, han reducido su resiliencia (capacidad de recuperación) y su biocapacidad (capacidad para proveer servicios ambientales y absorber los desechos resultantes de su consumo) (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2015). Las principales presiones de estos ecosistemas a nivel mundial incluyen la fragmentación y destrucción de hábitats, la contaminación, la sobreexplotación de recursos y la presencia de especies invasoras (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014).

En este contexto, existe una fuerte demanda de evaluaciones científicas que permitan generar información de manera sistemática a escala global y factible de ser replicada a distintas escalas y plazos temporales. Los más reconocidos incluyen el Índice de Calidad Ambiental (*Environmental Quality Index*, EQI), el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), el modelo Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (*Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses*, DPSIR) y las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), entre otros. A nivel internacional también se ha difundido ampliamente la utilización del marco conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM), diseñado en 2001 por la Organización de Naciones Unidas (ONU) y reconocido por las partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). El propósito de todos ellos radica principalmente en obtener información oportuna y confiable que permita profundizar la comprensión sobre la interrelación entre el accionar humano y el ecosistema y facilitar los procesos de toma de decisiones.

En los estudios ambientales y, particularmente, en los referidos a áreas costeras, el enfoque de sistema socio-ecológico provee el marco más idóneo para considerar de forma integrada las múltiples dimensiones que abarca, así como las mentadas interrelaciones (UNESCO, 2010). La noción de sistema socio-ecológico hace referencia a un vínculo estrecho entre el sistema social y el ecológico (y sus respectivos subsistemas y elementos), los cuales se integran formando un conjunto inseparable que evoluciona como un todo (Challenger, Bocco, Equihua, Lazos Chavero & Maass, 2014). Desde el punto de vista geográfico, la historia de la humanidad se interpreta como la historia de apropiación y transformación de la superficie terrestre, a través de la acción de diferentes grupos humanos que le imprimen un tipo de organización y unas formas particulares de ordenamiento. Por ello, el concepto de sistema socio-ecológico hace referencia a una entidad espacial cuyos límites se definen simultáneamente por criterios sociales y ecológicos.

El estuario de Bahía Blanca constituye un excelente caso de estudio, en el cual ambos sistemas, natural y social, han co-evolucionado desde el Pleistoceno a la actualidad (Melo, 2007). Localizado en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, entre los 38° 42' y 38° 49' latitud Sur y los 62° 26' y 62° 8' longitud Oeste (Figura 1), el estuario posee una superficie aproximada de 262.527 hectáreas, superado en extensión a nivel nacional sólo por el estuario del Río de la Plata (Perillo & Piccolo, 2004).

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: IGN, 2019. Elaboración propia

Los límites del estuario se encuentran definidos por las unidades político-administrativas de segundo orden a nivel nacional. De este modo, el sistema abarca tres jurisdicciones: Coronel de Marina Leonardo Rosales, Bahía Blanca y Villarino. De acuerdo al último censo nacional, los mencionados partidos totalizan una población de 394.738 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC], 2010), siendo Bahía Blanca la localidad más numerosa y todas de localización predominantemente costera. Desde el punto de vista ecológico, las comunidades animales y vegetales se encuentran definidas por el ecotono de dos grandes provincias fitogeográficas: la Pampeana y el Espinal (Cabrera, 1971) y, fundamentalmente, por la gradual transición hacia la ecorregión del Mar Argentino, que define un complejo ecosistema de características únicas. Así es posible encontrar distintos tipos de vegetación, tales como el bosque xerófilo (vegetación adaptada a vivir en un medio seco), estepa psamófila (adaptada a suelos arenosos), estepa halófila (adaptada a suelos salitrosos), estepa de gramíneas y marismas (Nebbia & Zalba, 2007; Sotelo & Massola, 2008).

La fauna costera e insular está compuesta por guanacos, ñandúes, zorros grises, zorrinos, pumas, gatos montés, gatos de pajonal, vizcachas, peludos y maras; mientras que dentro de la fauna marina se destacan el delfín franciscana, el delfín nariz de botella, el lobo marino de un pelo, las tortugas verde, cabezona y laúd, entre otros (Sotelo & Massola, 2008). Dentro de las comunidades bentónicas se destacan los cangrejos cavadores, pequeños caracoles y variedad de poliquetos que habitan las marismas y planicies intermareales; la almeja amarilla que predomina en las playas de arena y las ostras y mejillines presentes en los estratos duros del estuario (Sotelo & Massola, 2008; Perez Castoldi, Fiori, Bravo & Carcedo, 2017). La fauna ictícola, por otro lado, detenta un gran interés comercial y está compuesta predominantemente por pescadilla, pejerrey, corvina rubia, cazón, gatuzo, palometa, rayas, camarón y langostino; siendo es-

tos últimos los que presentan mayores desembarques en el puerto (Delgado, Ferrelli, Piccolo & Perillo, 2017). El sustento económico de un importante sector de la población local depende del desarrollo de esta actividad. Las especies de tiburones bacota, escalandrún, gatopardo y cazón también se encuentran presentes en el área, ya que la región constituye un *nursery* (Llompart, 2011); no obstante su pesca se encuentra prohibida a nivel nacional por encontrarse bajo seria amenaza de extinción (Dirección de Desarrollo Pesquero, 2008).

El estuario posee una compleja interrelación entre la sociedad y la naturaleza. Por un lado, integra uno de los humedales más importantes de la región, caracterizado por la presencia de numerosas islas interconectadas por un extenso sistema de canales de marea y con una importante biodiversidad. Por otro, posee áreas fuertemente intervenidas, donde conviven múltiples usos del suelo (principalmente agrícola-ganadero e industrial) y cuenta con el mayor sistema portuario de aguas profundas del país. Numerosas investigaciones han abordado las distintas problemáticas socio-ambientales derivadas de esta situación, tales como la presencia de metales pesados (Spetter, Buzzi, Fernández, Cuadrado & Marcovecchio, 2015; Marcovecchio, Botté & Fernández Severini, 2016; Serra, Botté, Cuadrado, La Colla & Negrin, 2017; Fernández Severini, Carbone, Villagrán & Marcovecchio, 2018; Villagran *et al.*, 2019) y de enteropatógenos (Baldini, Cubitto & Chiarello, 2010; Streitenberger & Baldini, 2016), la introducción de especies exóticas invasoras (Dos Santos & Fiori, 2010; Fiori, Pratolongo, Zalba, Carbone & Bravo, 2016; Natale, Reinoso, Andreo & Zalba, 2018; Marbán & Zalba, 2019), los efectos de la actividad humana y contaminación ambiental en la fauna y flora nativa (Hempel, Botté, Negrin, Chiarello & Marcovecchio, 2008; La Sala, Petracci, Smits, Botté & Furness, 2011; Simonetti, Fiori, Botté & Marcovecchio, 2013; Spetter *et al.*, 2015b; Berasategui *et al.*, 2018), los conflictos por el acceso y utilización de los recursos costero-marinos (Heredia Chaz, 2014; Irisarri, Noceti & Carbone, 2016; Noceti, Irisarri, Barbero & Cattaneo, 2016; Ibañez Martín, Rojas & London, 2016; Noceti, 2017), la gestión de las áreas naturales protegidas (Speake & Carbone, 2017; Speake & Carbone, 2019), entre otros. Sin embargo, ninguno realiza un análisis interdisciplinario exhaustivo que permita conectar las dimensiones ecológica y socio-económica.

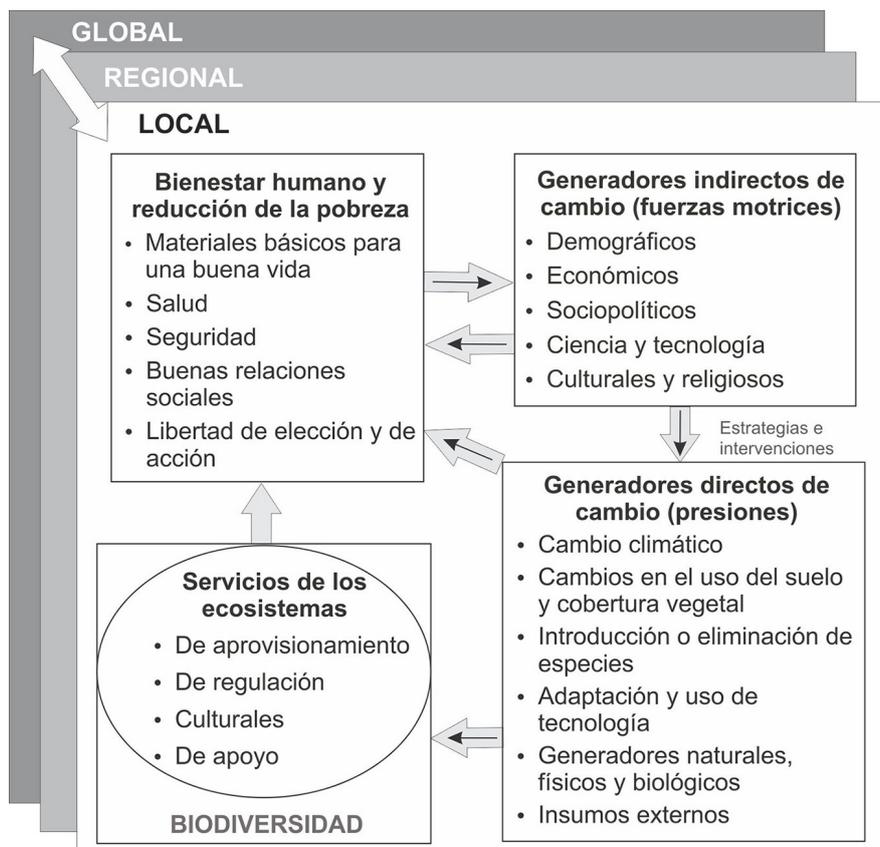
Por ello, el objetivo general de este trabajo es analizar el sistema socio-ecológico del estuario de Bahía Blanca (SSE-EBB) de manera integrada y elaborar un diagnóstico operativo que identifique e interrelacione las principales fuerzas motrices y presiones antrópicas con los cambios e impactos en el ecosistema, los servicios ambientales que éste provee y el bienestar humano y provea una base de datos para su gestión ambiental.

2. Metodología

El método empleado se basó en el marco conceptual y metodológico del Programa Internacional de Naciones Unidas, denominado “Evaluación de Ecosistemas del Milenio” (EM) (Figura 2). El marco conceptual de la EM plantea que existe una relación recíproca entre el ser humano y los ecosistemas, en la cual, por una parte, las personas provocan cambios directos o indirectos en los ecosistemas y, por otra, los cambios en los ecosistemas generan cambios en el bienestar humano (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [EM], 2005). Este planteo está estrechamente relacionado al enfoque integral adoptado desde la geografía sistémica, el cual busca comprender la relación sociedad-naturaleza desde una mirada holística que integre los aspectos naturales o físicos con los socio-culturales (Duval, 2018). De esta manera, se ponen en relación los siguientes elementos: a) impulsores indirectos de cambio (fuerzas motrices), b) impulsores directos de cambio (presiones), c) cambios de estado del socio-ecosistema, d) impactos en los servicios ecosistémicos y e) incidencia en el bienestar humano.

La consideración del bienestar humano como una dimensión particular es superadora a enfoques similares anteriores, como el DPSIR. A partir del mismo se reconocen también como aspectos determinantes en la evaluación del socio-ecosistema a la salud, la seguridad, los bienes materiales básicos para tener una buena vida y buenas relaciones sociales de la población. Es decir, todas las categorías del modelo se evalúan en función del impacto que, en última instancia, tienen sobre la calidad de vida de las personas; en tanto sean capaces de obtener un ingreso que les permita contar con medios de subsistencia, acceder a una adecuada alimentación, agua potable, aire limpio y energía, no presentar enfermedades evitables y vivir en una vivienda limpia y segura. La seguridad, a su vez, es concebida como la capacidad para reducir la vulnerabilidad a los colapsos y eventos extremos de carácter natural (Barragán Muñoz, 2014), lo cual incorpora toda una nueva dimensión de análisis.

Figura 2. Marco conceptual de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio



Fuente: EM, 2005. Elaboración propia

El esquema de trabajo se dividió en tres etapas. En primer lugar, se identificaron y analizaron los impulsores directos e indirectos de cambio (fuerzas motrices y presiones) y los cambios generados en el SSE-BB como consecuencia de los mismos. Para ello se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica y trabajo de campo. Entre los años 2016 y 2019 se realizaron 4 navegaciones por el estuario para la observación sistemática de las condiciones ambientales (fuentes de contaminación, erosión costera, presencia de especies exóticas invasoras, entre otros) y fue posible participar de dos talleres interdisciplinarios, organizados por la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP) para el diagnóstico y definición de lineamientos generales para la gestión del estuario.

Por otro lado, se seleccionaron una serie de indicadores biofísicos y socioeconómicos que pudieran dar cuenta de los cambios generados en el ecosistema, contemplando la gama de servicios de abastecimiento (A), regulación (R) y culturales (C) (Tabla 1). La selección de los mismos se realizó sobre la base de los criterios establecidos por *National Research Council (U.S.)* (2000), los datos fueron recopilados de publicaciones científicas e informes de organismos oficiales y finalmente procesados mediante técnicas de estadística descriptiva. En cuanto al análisis de las transformaciones espaciales en el sector interno del estuario se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se obtuvieron fotografías aéreas de la Oficina de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca [MBB] (Escala 1:5.000, 1990) y una imagen satelital Landsat 8 OLI (2018) del Servicio Geológico de los Estados Unidos, las cuales fueron trabajadas con el software ArcGis® 10.2.

En segundo lugar, se analizaron los efectos generados por las presiones identificadas en la capacidad de provisión del ecosistema de servicios ambientales. Como hilo conductor se consideraron los indicadores previamente analizados. Finalmente, se evalúan las respuestas oportunamente adoptadas por las instituciones u organismos involucrados en la gestión. El diagnóstico resultante se sintetizó de acuerdo al esquema propuesto por Barragán Muñoz (2014), el cual incorpora dicha dimensión, presentándose la discusión y principales conclusiones en los apartados siguientes.

Tabla 1. Indicadores y fuentes de información utilizados para evaluar los cambios de estado del socio-ecosistema e impactos en los servicios ambientales y bienestar humano de la población local

Tipo	Servicio ecosistémico afectado	Indicadores del impacto	Fuente	Años analizados
A	Pesca	Capturas anuales de variado costero (tn/año)	Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación	1989-2013
R	Regulación hídrica y depuración del agua	Valor medio de macronutrientes disueltos en agua superficial ($\mu\text{M}/\text{año}$)	Spetter <i>et al.</i> (2019)	2008-2015
		Valor medio de Escherichia coli en el Canal Maldonado (UFC/100mL)	MBB Programa Integral de Monitoreo	1995-2017
	Regulación de la calidad del aire	Emisiones gaseosas de compuestos orgánicos volátiles (VOC) en la zona industrial (promedio ppm/año)	MBB Programa Integral de Monitoreo	2003-2017
		Concentración de material particulado (Pm10) en la zona industrial ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{año}$)		
	Moderación de eventos extremos	Superficie de humedales costeros rellenados artificialmente (ha/año)	Sensores remotos	1990-2018
Control biológico	Expansión de la ostra japonesa en el estuario (índice de riesgo/ha)	Fiori, Pratalongo, Zalba, Carbone & Bravo (2016)	2015	
C	Identidad de sitio / herencia cultural	Vigencia de prácticas tradicionales (n° de familias de pescadores artesanales/año)	Noceti (2017)	1940-2017
	Conocimiento científico	Proyectos de investigación vinculados al estuario (n°/periodo de vigencia)	Secretaría de Ciencia y Tecnología UTN y UNS	2014-2019
	Recreación	Cantidad de balnearios en funcionamiento en el estuario (n°/año)	MBB Subsecretaría de Deportes	1975-2019
		Visitantes del Balneario Maldonado en temporada estival (n°/año)		2011-2017

Elaboración propia

3. Resultados

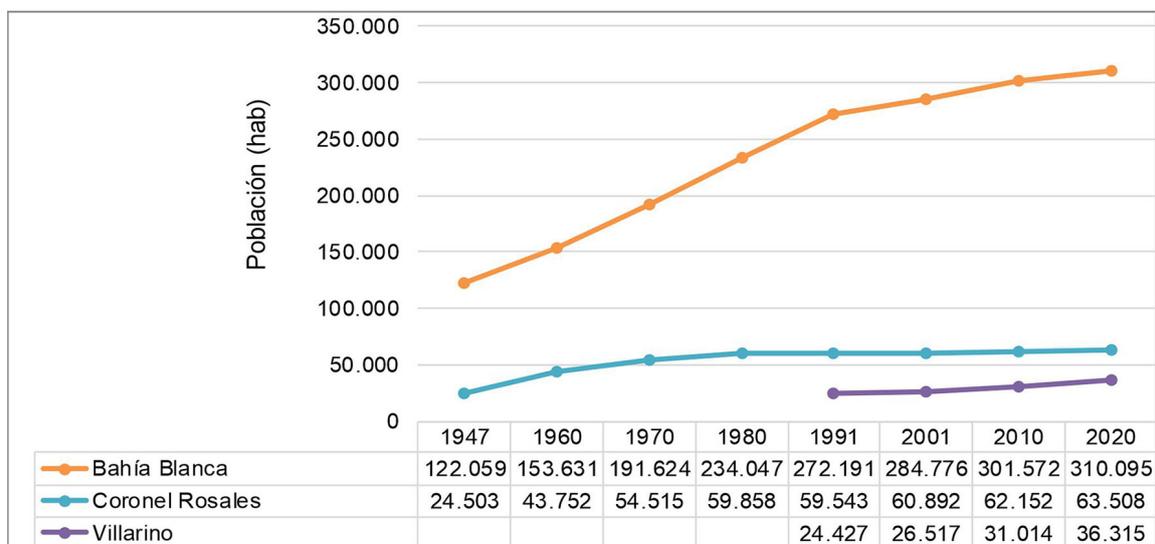
3.1. Análisis de las fuerzas motrices y presiones que enfrenta el SSE-BB y los cambios acontecidos en las últimas décadas

Una de las principales fuerzas motrices que influyen en los ecosistemas costero-marinos es el crecimiento demográfico. En el caso del estuario de Bahía Blanca, se identifican cinco asentamientos humanos de relevancia: las localidades de Bahía Blanca e Ingeniero White (partido de Bahía Blanca), General Daniel Cerri (partido de Villarino), Punta Alta y Villa del Mar (partido de Coronel Rosales). El análisis de la evolución de la población censal (1947-2010) permite constatar que los tres partidos experimentaron un crecimiento moderado pero sostenido en las últimas décadas, pasando de una población total de 356.161 habitantes en 1991 a 394.738 en 2010 (Figura 3). El partido de Bahía Blanca se destaca significativamente respecto al número poblacional, con aproximadamente 310.095 habitantes (Dirección Provincial de Estadística, 2016) y una densidad cercana a los 134,82 hab/km², lo cual lo convierte, a su vez, en el partido más numeroso del Sudoeste Bonaerense. Coronel Rosales y Villarino, por el contrario, cuentan con una población sensiblemente menor, estimada en 63.508 y 36.315 habitantes respectivamente (Dirección Provincial de Estadística, 2016).

La ciudad de Bahía Blanca, por otra parte, constituye la localidad más numerosa de todas, concentra el 90,54% de la población total de su partido y se emplaza en la zona interna del estuario. Su rápido crecimiento demográfico, del orden de aproximadamente el 150% en cinco décadas, sumado a las tendencias del mercado y las normativas urbanas sancionadas a nivel local han derivado en un proceso de ocupación del espacio discontinuo, en baja densidad y en extensión (Urriza & Garriz, 2010; Urriza, 2016). La presencia de numerosos terrenos privados vacantes dentro del ejido urbano favoreció la urbanización de la periferia a partir de la creación de núcleos suburbanos, la incorporación de nuevos loteos o la ocupación

espontánea (formal e informal) (Urriza & Garriz, 2014). Sumado a ello, las políticas adoptadas y el modelo de crecimiento impulsado desde el gobierno municipal en las últimas décadas fomentaron mayores disfuncionalidades en términos de fragmentación social⁴. Es así como la ciudad actualmente presenta un patrón de segregación territorial, en el que se distinguen principalmente la periferia norte (zona alta) ocupada por viviendas unifamiliares de estratos económicos medio y alto y fisonomía de “suburbio verde”; la periferia noroeste y este, ocupada por conjuntos habitacionales de estrato medio y medio-bajo y, finalmente, la periferia sur, localizada en el área costera (zona baja), ocupada por viviendas de menores recursos, en condiciones más desfavorables respecto a la conectividad y dotación de equipamiento e infraestructura (Urriza, 2016).

Figura 3. Evolución de la población censal de los partidos que integran el estuario de Bahía Blanca (1947-2020)



Fuente: INDEC (1947, 1960, 1970, 1980, 1991, 2001 y 2010) y Dirección Provincial de Estadística (2016). Elaboración propia

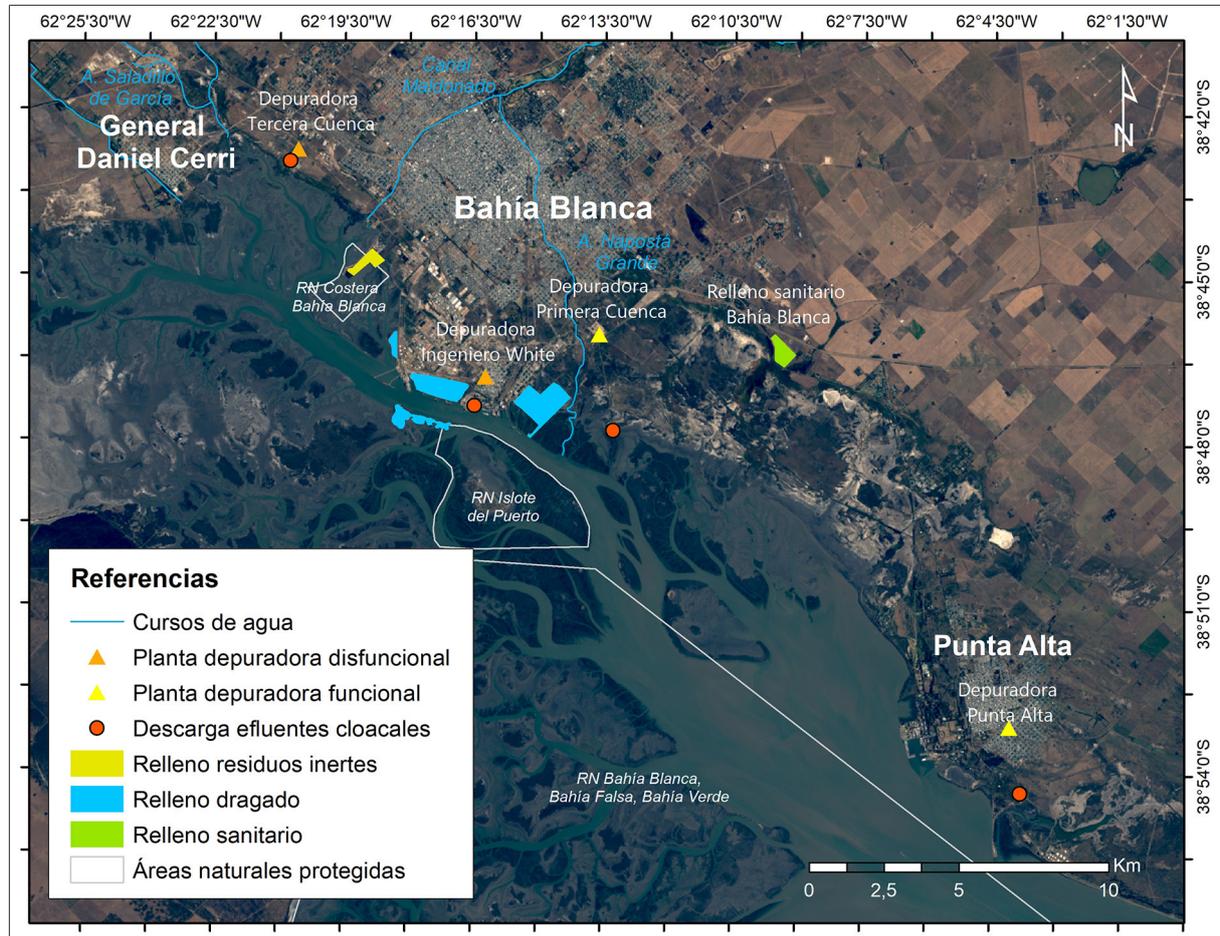
Otras fuerzas motrices identificadas para el SSE-BB se vinculan a aspectos económicos (globalización, mercados, marco de políticas) y sociopolíticos (marco legal). Las nuevas políticas de promoción a la radicación de industrias implementadas en la provincia de Buenos Aires a comienzos de los '90 desencadenaron una importante afluencia de capitales extranjeros. A escala local dos antecedentes fueron clave para la captación de inversiones: la autonomía del Puerto de Ingeniero White en 1993 y la privatización de la Petroquímica Bahía Blanca en 1995. Así, la localidad de Bahía Blanca “fue la que recibió la mayor cantidad de inversiones directas entre 1995 y los primeros ocho meses del 2000, las que llegaron para colocarse casi en su totalidad en industrias de tipo petroquímico”. (Puliafito, 2013, p. 244)

Todo ello implicó una profunda transformación del espacio en la cual el medio natural se vio significativamente modificado. En tres décadas, la superficie portuaria totalizó un incremento de aproximadamente el 207% (de 208 a 638 ha) (Puliafito, 2013; Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca [CGPBB], 2017). Las tareas de dragado realizadas desde la década del '60, lograron transformar a Bahía Blanca en el puerto más profundo del país y modificaron paulatinamente la profundidad original del Canal Principal hasta alcanzar los 13,5 m. Los sedimentos obtenidos de los últimos refulados, depositados a lo largo del canal permitieron esta expansión del área dedicada al uso industrial en aproximadamente 430 ha en detrimento del humedal costero (Figura 4). Cabe destacar que este sector es el más sensible del estuario en términos de conservación de la biodiversidad, dado que allí se producen las primeras etapas de la cadena alimentaria del sistema. Las principales consecuencias fueron la fragmentación y destrucción del hábitat natural, con la consecuente afectación de sitios de anidación, reproducción, alimentación de especies

⁴ Un claro ejemplo de ello lo constituye el “Plan Director del Periurbano Bahiense y Centros de Interés Turístico Ambiental (CITA)” desarrollado en 2010 (Ordenanzas 15637 y 16249), que impulsó la creación del denominado distrito periurbano calificado (PUC), un área destinada al uso residencial de baja densidad, con una subdivisión mínima de 1.000 y 2.500 m², en una zona de gran valor paisajístico en el sector norte de la ciudad (Urriza, 2016).

amenazadas o en peligro de extinción o de alta concentración de biodiversidad. El relleno artificial del humedal en el sector del Islote del Puerto (hoy área protegida) ocasionó la erradicación por más de 8 años de la colonia nidificante de gaviota cangrejera (*Larus atlanticus*), una especie endémica y amenazada (Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras [RHRAP], 2016).

Figura 4. Áreas de relleno del humedal costero de los últimos años (1990-2019) y puntos de descarga de vertidos cloacales



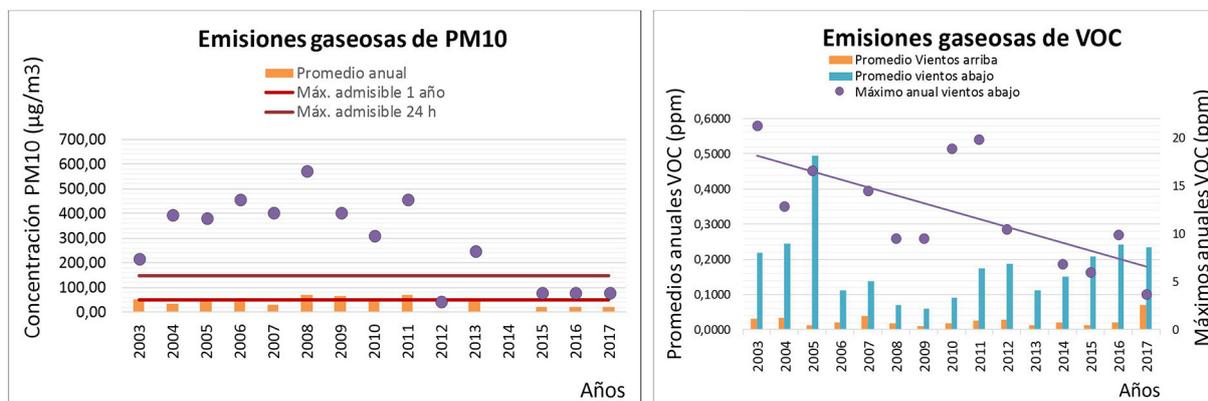
Elaboración propia

Por otro lado, como consecuencia de las actividades allí desarrolladas, el estuario presenta actualmente un nivel dinámico de contaminación, caracterizado por las emisiones atmosféricas y de efluentes líquidos provenientes de los puertos comerciales y de las diversas industrias. Dentro de los contaminantes atmosféricos monitoreados en el área industrial se analizaron puntualmente las emisiones históricas de material particulado con diámetro de partícula menor a 10 μm (PM_{10}), asociado principalmente a las plantas cerealeras, y compuestos orgánicos volátiles (VOC), vinculados a la actividad industrial. En la Figura 5 se presentan las concentraciones promedio anuales y los valores máximos detectados por año para el período 2003-2017.

El análisis de la evolución histórica de las concentraciones promedio de PM_{10} permite afirmar que tanto el valor promedio anual como los máximos valores detectados para 24 h se han reducido significativamente a partir de 2015, encontrándose en la actualidad ambos parámetros dentro de los límites admisibles por la ley (50 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). No obstante ello, es conveniente señalar que por el término de una década los valores máximos emitidos en 24 h superaron ampliamente la normativa legal, registrándose incluso en 2008 y 2011 más de 30 infracciones anuales. En el primer caso, posiblemente influenciados por la erupción del volcán Chaitén y en el segundo, por el complejo Puyehue-Cordón Caulle, en territorio chileno (MBB, 2012). En cuanto a las emisiones gaseosas de VOC, si bien los valores máximos registrados han ido disminuyendo paulatinamente a lo largo del periodo, la tendencia de los

promedios anuales vientos abajo en los últimos años es en aumento. De hecho, el incremento registrado entre 2009-2017 ha sido de 390%. Ello posiblemente pueda vincularse a un aumento de las emisiones atmosféricas en el área perimetral estudiada.

Figura 5. Variaciones históricas en las concentraciones detectadas de material particulado (PM10) y compuestos orgánicos volátiles (VOC) emitidas en el área industrial



Fuente: MBB, 2005-2017. Elaboración propia

Con respecto a la contaminación acuática, los mayores aportes de nutrientes y contaminantes provienen de las plantas depuradoras cloacales de los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales, de los arroyos Saladillo de García y Napostá Grande, del río Sauce Chico, del Canal Maldonado y de los efluentes de las industrias químicas distribuidas a lo largo del estuario (Spetter *et al.*, 2015a; Instituto Argentino de Oceanografía [IADO], 2016; Carbone, Spetter & Marcovecchio, 2016) (Figura 4). Todos los efluentes líquidos industriales finalizan en el estuario, ya sea por descarga directa, a través del canal colector del Polo Petroquímico o por colectora cloacal. La presencia de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn) ha sido confirmada en los efluentes líquidos, material particulado, sedimentos costeros y especies de todos los niveles tróficos del ambiente marino: plancton, marismas, bivalvos y peces, entre otros (Hempel *et al.*, 2008; Spetter *et al.*, 2015a, 2015b; Marcovecchio *et al.*, 2016; Serra *et al.*, 2017; Berasategui *et al.*, 2018; Fernández Severini *et al.*, 2018; Villagran *et al.*, 2019). Las concentraciones halladas de estos analitos presentan una variación espacial a lo largo del estuario, siendo más elevadas en el sector interno donde conviven los usos urbanos, comerciales e industriales y donde, fundamentalmente, existe un aporte de materia orgánica proveniente del ex basural y los desagües cloacales (Spetter *et al.*, 2015a; Serra *et al.*, 2017; Fernández Severini *et al.*, 2018).

En función de determinar el impacto de dichos contaminantes sobre el servicio ambiental de regulación hídrica, se consideraron puntualmente, por un lado, el recuento medio de *Escherichia coli* en la desembocadura del Canal Maldonado, por otro, la dinámica de macronutrientes disueltos en agua superficial en una planicie de marea del sector interno del estuario y, finalmente, las concentraciones de mercurio presentes en las descargas directas de efluentes líquidos industriales. Con respecto al primero, es preciso destacar la existencia de cuatro sitios de descarga de desechos cloacales en el estuario, asociados a sus respectivas plantas de tratamiento: White (1977), Primera Cuenca (1997, 2019), Tercera Cuenca (2008) y Punta Alta (2002, 2017) (Figura 4). La primera planta actualmente no funciona y descarga los efluentes crudos directamente al estuario, la planta Tercera Cuenca presenta serios problemas operativos y las plantas Punta Alta y Primera Cuenca volvieron a operar recientemente luego de permanecer 15 y 20 años de inactividad, respectivamente.

Los arroyos que desaguan en el estuario también reciben numerosas descargas cloacales directas a lo largo de su curso (Spetter *et al.*, 2015a; Streitenberger & Baldini, 2016; Carbone *et al.*, 2016). Los afluentes que aportan la mayor cantidad de bacterias fecales al estuario son el Canal Maldonado y el arroyo Napostá, este último con un recuento medio de *E. coli* de 7.770 UFC/100 mL en 2017 (seis mil veces superior al límite permitido por la Autoridad del Agua [ADA]) (MBB, 2017). En el caso del Canal Maldonado, se observa un abrupto cambio en los resultados de los análisis bacteriológicos de coliformes fecales a partir de 2008. Los datos históricos señalan que los valores promedio de *E. coli* en 1995 rondaban las 50

UFC/100 mL y en 2010, a los dos años subsiguientes del comienzo de operaciones de la planta “Tercera Cuenca”, el promedio ascendió a más de 1.000 UFC/100 mL (Baldini *et al.*, 2010).

En el mismo sentido, Spetter *et al.* (2019) confirman un incremento sostenido en la concentración de los macronutrientes disueltos en agua superficial en el sector interno del estuario, a partir de la puesta en funcionamiento de dicha planta. Los valores medios de nitrito (NO_2^-), silicatos (DSi) y especialmente nitrato (NO_3^-) se incrementaron en los dos años posteriores a su instalación en un 8%, 18% y 114% respectivamente. Ello significa un deterioro de la calidad del agua, disminución de la biodiversidad y mayor saturación de la capacidad de regulación y autodepuración hídrica.

En el sector interno del estuario se destaca también la presencia de un basural clandestino a cielo abierto, el ex Basural Municipal Belisario Roldán, presuntamente clausurado en 2010 mediante Ordenanza Municipal N° 15.753. Las tareas de saneamiento realizadas en dicha oportunidad incluyeron la remoción de la basura superficial del lugar y compactación de los desechos remanentes (Damiani, 2019), incrementando la superficie de terreno del lugar —en reemplazo del humedal— en más de 35 ha con relleno de residuos inertes (escombros y ramas provenientes de podas y desgajes municipales) sin previa realización de una Evaluación de Impacto Ambiental. Actualmente este sitio continúa siendo utilizado para el depósito de residuos sólidos urbanos, orgánicos e inorgánicos, y la quema ilegal a cielo abierto.

La presencia de especies exóticas invasoras en todo el estuario, por otro lado, representa un serio problema ecológico y un desafío en la gestión de las áreas naturales protegidas. En las islas de la Reserva Natural de Usos Múltiples (RNUM) Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde residen poblaciones de jabalí, liebre europea, chivos y conejos (testimonio de su antigua explotación económica); así como también ganado vacuno, el cual por efecto del pisoteo y sobrepastoreo destruye la vegetación autóctona, fomenta los procesos erosivos y disturba la nidificación de aves playeras y del pastizal (Sotelo & Massola, 2008). Por otro lado, se destaca la expansión de la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) en todo el estuario (Fiori *et al.*, 2016), la planta *Salsola soda* (*Amaranthaceae*) en el sitio de nidificación de la gaviota de Olrog (Marbán & Zalba, 2019) y tamariscos (*Tamarix sp.*) en la costa (Natale *et al.*, 2018).

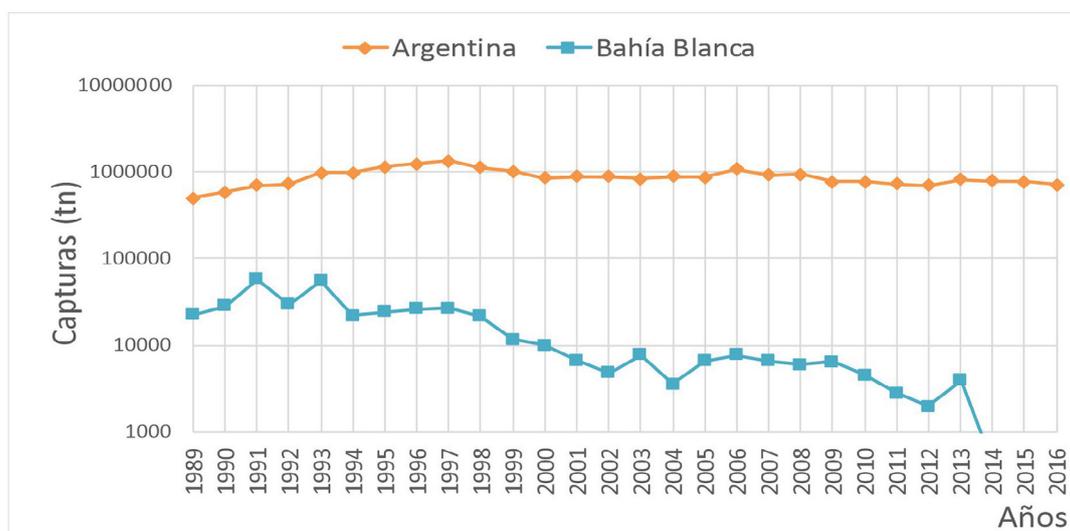
La ostra del Pacífico es un especie altamente invasiva, fue introducida en Argentina con fines de cultivo en Bahía Anegada en 1982 y se reportó por primera vez en el estuario de Bahía Blanca en 2010 (Dos Santos & Fiori, 2010). Si bien no se disponen datos de la evolución de la expansión de esta especie en el área de estudio en términos cuantitativos, es posible afirmar que actualmente se encuentra en etapa de expansión (Fiori *et al.*, 2016; MBB, 2017). Como medida de la presión generada por esta especie sobre el sistema, se toman como referencia los valores de superficie afectada y cartografía temática elaborados por Fiori *et al.* (2016). De las 2.092 ha analizadas sobre una franja costera de aproximadamente 50 km de longitud, un total de 563 ha (27%) pueden ser consideradas de alto y muy alto riesgo para la expansión de la especie. La zona más vulnerable del estuario a esta invasión se localiza entre Villa del Mar y arroyo Pareja, debido a las características naturales del sitio y relativas a su uso de suelo, a la pre-existencia de varias camas de ostras y fundamentalmente a la proximidad a múltiples fuentes de contaminación (Fiori *et al.*, 2016).

3.2. Impactos en los servicios ecosistémicos y su incidencia en el bienestar humano

El principal impacto de las fuerzas motrices y presiones analizadas sobre los servicios de abastecimiento que provee el sistema se observa, en primer lugar, en la significativa reducción de los recursos pesqueros. A partir del análisis de la evolución de los desembarques de capturas marítimas del Puerto de Bahía Blanca en el periodo 1989-2016⁵ es posible determinar un significativo decrecimiento, registrando el máximo de 57.632,4 toneladas en 1991 y el mínimo de 6,5 toneladas en 2016 (Figura 6). Ello representa una disminución en casi cuatro órdenes de magnitud. Cabe destacar que, como bien surge del gráfico presentado, los volúmenes obtenidos a escala local no siguen la tendencia nacional. Diversos autores convienen en señalar que las principales causas que originaron esta crisis pesquera en el área de estudio incluyen el aumento de la actividad portuaria, los dragados, los vertidos cloacales y la sobreexplotación del recurso (Conde, Piccolo & Pizarro, 2009; López Cazorla, Molina y Ruarte, 2014; Ibañez Martín, Rojas & London, 2016).

⁵ Los datos referidos al periodo 2017-19 no fueron incorporados debido a que las cifras provistas en la base de datos de la Dirección Nacional de Coordinación Pesquera, del Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación (Argentina) no son finales y se encuentran aún sujetas a posibles modificaciones. Provisoriamente los desembarcos estimados para el puerto de Bahía Blanca son de 12,6 tn en 2017, 30,4 tn en 2018 y 22,8 tn en 2019.

Figura 6. Evolución de las capturas anuales totales (tn) a nivel nacional y local



Fuente: Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación (2019). Elaboración propia

Por otro lado, a partir del análisis estadístico de los datos provistos por la Dirección Nacional de Coordinación Pesquera, se pudo determinar que la mayor parte de las capturas realizadas en la última década (2008-2016) corresponde a los buques congeladores que operan con red de arrastre de fondo (80,94%), mientras que los poteros nacionales y los barcos semi-industriales de rada/ría obtienen una cuota menor (10,12% y 7,75%, respectivamente) (Ministerio de Producción y Trabajo, 2019). Ello pone en evidencia la asimetría en las artes de pesca utilizadas en cada práctica y, fundamentalmente, el valor o respeto asumido en la explotación del recurso. Mientras que los buques congeladores arrastran sus pesadas redes por el fondo marino, erosionando la estructura sedimentaria, destruyendo hábitats bentónicos y capturando especies no objetivo; los pescadores artesanales llevan a cabo una pesca estacional, en pequeñas embarcaciones y basan su arte en el acabado conocimiento del comportamiento de la especie, la topografía y las condiciones climáticas e hidrográficas del lugar.

Cabe destacar que la pesca artesanal en el área de estudio constituye una práctica tradicional transmitida por más de 100 años, desde los primeros inmigrantes italianos oriundos de Nápoles hasta las generaciones actuales. La vigencia de esta práctica se encuentra seriamente amenazada por las distintas presiones desarrolladas, manifestándose en la acuciada disminución en la cantidad de familias de pescadores artesanales en actividad. En 1940, 420 familias desarrollaban su labor en el estuario de Bahía Blanca, mientras que en la actualidad sólo lo hacen unas 150 familias (Noceti, 2017). La evolución del volumen de pesca en los últimos años (2008-2013) confirma dicha situación, con un decrecimiento de -196% (pasó de 480 tn en 2008 a 162,1 en 2013) (Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación, 2019).

La disminución en los servicios de abastecimiento provistos por el sistema ha desencadenado, por otro lado, el enfrentamiento de los pescadores artesanales con las empresas industriales que operan en el estuario; así como también con otros pescadores. Esto significa un impacto en el bienestar humano, vinculado puntualmente a la merma de las buenas relaciones sociales. Por un lado, la Asociación de Pescadores Artesanales sostiene actualmente una demanda judicial contra las empresas del área industrial y Polo Petroquímico para exigir el cese del vertido de líquidos industriales y residuales⁶, así como

6 La causa FBB 22000164/2011/CFC1, caratulada: "Meninato, Rolando (PBB POLISUR S.A.) y otros S/ Envenenamiento o adulteración de aguas, medicinas o alimentos e infracción Ley 24.051" tramita por ante el Juzgado Federal N° 2, Secretaría Penal N° 6 de Bahía Blanca. A raíz del informe pericial presentado por la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA), que denuncia la presencia de cadmio y plomo en peces "en valores que superan 10 y 40 veces respectivamente lo permitido por normativa nacional e internacional para el consumo humano", la Cámara Federal de Apelaciones dispuso en junio de 2019 la creación en un plazo de 90 días de un plan de inversiones que contemple nuevas tecnologías en el tratamiento de efluentes y garantice el desarrollo sustentable del estuario. La resolución señala que "si bien en este caso no hay aún procesamiento del responsable penal del delito, la contaminación del estuario evidencia la aludida verosimilitud de un posible daño ambiental, que sumado al peligro en la demora en la demora de que dicha situación se perpetúe en el tiempo, acreditan la urgencia del caso y el dictado de la medida cautelar ambiental a fin de evitar que tal situación se prolongue en el tiempo indefinidamente, independientemente de la situación procesal del o los probables autores del ilícito".

ha protagonizado numerosas marchas, piquetes náuticos y manifestaciones públicas. Por otro lado, los pescadores artesanales locales también se oponen a la presencia de pescadores comerciales provenientes de otros puertos del país (principalmente Mar del Plata, con pesca de arrastre) y a la pesca de altura que se realiza en la zona del Rincón. López Cazorla *et al.* (2014) afirman que esta última es la principal razón por la cual la pesca artesanal de pescadilla (*Cynoscion guatucupa*), la especie más abundante del estuario, ha colapsado.

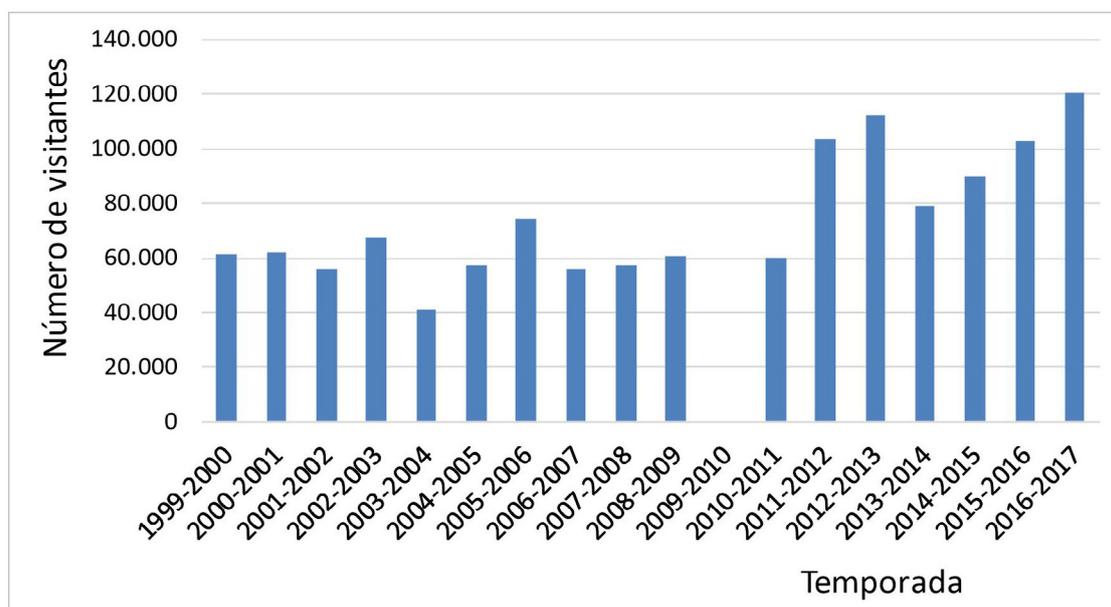
Particularmente en el caso de la contaminación acuática es posible la importancia vital de los servicios ambientales que presta el ecosistema. Algunos autores destacan el rol de las marismas en la regulación de gases atmosféricos (fijan grandes cantidades de CO₂) y sobre todo en el entrapamiento de metales pesados y/o reducción de su biodisponibilidad (Hempel *et al.*, 2008; Isacch, Escapa, Fanjul & Iribarne, 2011). Asimismo actúan como barrera superficial, atenuando las olas y reduciendo la capacidad de las corrientes marinas para erosionar y transportar los sedimentos (Spetter *et al.*, 2015a). Sin embargo, las marismas también se ven disturbadas en el área de estudio por las depositaciones de sedimentos provenientes del refulado, construcciones, introducción de especies exóticas y principalmente por la eutrofización debido a los vertidos cloacales (Isacch *et al.*, 2011), alterando la capacidad de regulación y depuración del agua del ecosistema.

En cuanto a los impactos en el bienestar humano en materia de salud, las siguientes presiones son las que detentan mayor incidencia: la contaminación atmosférica, el vertido de efluentes cloacales sin tratamiento y la presencia de basurales a cielo abierto. Con respecto a la primera, de acuerdo a numerosos autores, los principales efectos observados se asocian a enfermedades respiratorias (asma, rinitis) y de la piel (Carignano *et al.*, 2009; Colman Lerner *et al.*, 2014). Carignano *et al.* (2009) demostraron que la prevalencia de la morbilidad respiratoria inflamatoria en Ingeniero White es significativamente mayor al resto de la ciudad -dos veces la frecuencia media esperada-, al mismo tiempo que comprobaron una tendencia negativa de dicha tasa al alejarse del complejo industrial-portuario. Los autores atribuyen las razones de este fenómeno principalmente a la exposición a distintos contaminantes, como material particulado generado por las industrias granarias, aunque no desestiman la influencia de otros factores, como los estilos de vida o los estados del tiempo. En el mismo sentido, Colman Lerner *et al.* (2014) avanzaron sobre el estudio de los niveles de PM₁₀ en Bahía Blanca con el objeto de estimar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud de los niños. Los resultados arrojaron que la calidad del aire en el área urbana de la ciudad se asocia a un aumento de la mortalidad infantil del 2,5% y, en el área industrial, a uno del 5% de acuerdo a los valores guía de la Organización Mundial de la Salud.

Los vertidos cloacales sin tratamiento constituyen otra problemática sanitaria de gran relevancia. Las elevadas concentraciones de bacterias de origen fecal detectadas en distintos sectores del estuario son incompatibles con los usos recreativos y constituyen un serio riesgo higiénico-sanitario para la población local (Streitenberger & Baldini, 2016). En proximidades de la descarga del Canal Maldonado se encuentra el Balneario Municipal Maldonado, el cual es utilizado por familias locales principalmente durante la época estival. A partir de 2008, desde la puesta en funcionamiento de la planta depuradora “Tercera Cuenca”, se sucedieron en este sector numerosas irregularidades, incluyendo derivaciones directas al estuario de efluentes cloacales sin tratamiento. Se destaca especialmente un incidente a fines de 2009, donde los valores detectados en el sitio de muestreo del canal fueron excepcionalmente altos, lo que requirió la inhabilitación del balneario por la temporada y el cierre definitivo del ingreso de agua de mar a la pileta, como habitualmente se hacia de manera diaria, utilizando en su reemplazo agua de perforación.

Los efectos sobre la salud humana de la contaminación fecal acuática incluyen enfermedades entéricas (como gastroenteritis), respiratorias, infecciones oculares y erupciones cutáneas (World Health Organization [WHO], 2003), especialmente en el caso de aguas recreativas de contacto primario, donde las actividades incluyen no solo inmersión en el cuerpo de agua sino donde puede existir inhalación o ingestión. El progresivo deterioro de la calidad del agua, sin embargo, no parece ser condicionante del uso recreativo que efectivamente se hace del Balneario Maldonado, el cual se incrementa con los años (Figura 7). No obstante, ello podría estar directamente relacionado a la significativa disminución de la oferta turístico-recreativa de espacios de ocio litorales. Mientras que en 1975 se registraban 10 balnearios municipales en la franja costera del estuario (Noceti, 2017), en la actualidad sólo existen dos: el Balneario Maldonado (Bahía Blanca) y el Balneario de Villa del Mar (Coronel Rosales).

Figura 7. Visitantes del Balneario Maldonado en temporada estival



Fuente: Piccolo, Pizarro & Conde (2007) y MBB (2019). Elaboración propia

Retomando el tema de la seguridad, la presencia y facilidad de acceso/recolección de la ostra del Pacífico en algunos sectores del estuario también representa una amenaza para la salubridad pública en tanto su calidad no es apta para consumo humano y podría producir enfermedades. Esta especie tiene una tasa de filtración especialmente alta y es capaz de retener y concentrar sustancias tóxicas presentes en el agua, como metales, agroquímicos, hidrocarburos, bacterias y virus potencialmente peligrosos para la salud humana (Fiori *et al.*, 2016). Además, el impacto de esta especie exótica invasora en el equilibrio del ecosistema costero es realmente significativo en tanto transforma el entorno bentónico, formando enormes bancos y mutando la abundancia y diversidad de los organismos asociados (Fiori *et al.*, 2016). El monitoreo de siete lechos de ostras en el estuario de Bahía Blanca durante los primeros cinco años de establecimiento de la especie (2010-2015) demostró que las camas se expanden radialmente, a una velocidad promedio de 100 m/año, hasta que cubren todo el sustrato duro disponible (natural o artificial) (Fiori *et al.*, 2016).

Por último, con objeto de evaluar el impacto en los servicios referidos al conocimiento científico que provee el estuario, se contabilizaron y compararon los proyectos de investigación locales financiados en los últimos cinco años (fecha de inicio desde el 01/01/2014 y fecha de finalización hasta el 31/12/2021). Las principales instituciones vinculadas a la investigación y generación de conocimientos a nivel local son el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET/UNS, CCT-Bahía Blanca), la Universidad Nacional del Sur (UNS) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Por ello, se procesaron los datos provistos por las Secretarías de Ciencia y Tecnología de ambas universidades. Del total de 535 proyectos de investigación analizados, 31 (5,79%) corresponden a temas directamente vinculados con el estuario, de los cuales 11 se encuentran finalizados y 20 en vigencia. Ello evidencia un incremento significativo del interés científico por el área de estudio.

Los temas abordados varían ampliamente, de acuerdo a la ciencia o disciplina que trate. En términos generales, se identificaron proyectos vinculados a la caracterización y evolución de los parámetros físico-químicos del estuario, al diagnóstico de los procesos de eutrofización, al análisis de la dinámica morfosedimentaria, de los cambios de usos del suelo y de los cambios paleoambientales y paleoclimáticos, al estudio de aspectos biológicos de especies de interés, al análisis de diferentes conflictos socioambientales y de las actividades pesquera y turístico-recreativa. Por otro lado, el uso científico del estuario se materializa en las 10 estaciones de muestreo establecidas en el canal principal y las diferentes estaciones meteorológicas instaladas tanto en el ambiente marino como costero. Debido a la consolidada red de profesionales y centros de investigación actuantes, Bahía Blanca conforma uno de los puntos focales del

Programa Nacional Pampa Azul⁷, coordinado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del país.

A partir del análisis realizado, puede constatarse cómo los diversos factores que afectan indirectamente a los ecosistemas de los humedales pueden desencadenar factores que les afecten directamente (EM, 2005; Elliott *et al.*, 2017), alterando en última instancia los servicios ambientales que estos son capaces de proveer. Sobre la base de todo lo expuesto es posible determinar que, a pesar de que los humedales costeros del estuario de Bahía Blanca ofrecen una gran variedad de servicios ambientales a la sociedad, las presiones a las que se ven sometidos, en la mayoría de los casos, ponen en riesgo la continuidad en el abastecimiento de los mismos. En la Tabla 2 se suman las tendencias detectadas en la provisión de servicios por el ecosistema estudiado, a partir de los indicadores propuestos. A su vez, asociado a los mismos, se indica la escala identificada de los beneficiarios que usan y demandan el mismo.

Tabla 2. Tendencia de los servicios ecosistémicos del SSE-EBB y escala de sus beneficiarios

Tipo	Servicio ecosistémico	Tendencia	Escala de los beneficiarios			
			Local	Regional	Nacional	Internacional
A	Pesca	↓↓				
R	Regulación hídrica y depuración del agua	↓				
	Regulación de la calidad del aire	↓				
	Moderación de eventos extremos	↓				
	Control biológico	↓				
C	Identidad de sitio / herencia cultural	↓↓				
	Conocimiento científico	↑				
	Recreación	↓				

Elaboración propia

3.3. Respuestas adoptadas por la administración pública y los organismos involucrados en la gestión

Las soluciones adoptadas por los distintos gobiernos y organismos involucrados varían, tanto en la escala espacial como la temporal. En algunos casos la respuesta viene acompañada con la sanción y promulgación de leyes de reconocimiento nacional y, en otras, por reconocimientos sin vinculación jurídica. En primer lugar se destaca la declaratoria de tres ANP costero marinas. La Reserva Natural de Usos Múltiples “Bahía Blanca, Bahía Falsa, Bahía Verde” fue creada en 1991 y cuenta con un Plan de Manejo desde 2007. El mismo fue elaborado a partir de numerosas reuniones de trabajo que convocaron a profesionales de distintas disciplinas (biólogos, bioquímicos, geógrafos, licenciados en turismo, entre otros), funcionarios públicos y representantes de instituciones privadas, asociaciones civiles y ONG ambientalistas. Si bien respondió a un proceso de planificación estratégica y habilitó mecanismos de participación pública (en su instancia final), no ha sido actualizado desde entonces y cuenta con aprobación parcial⁸. Las reservas de menor tamaño, la Reserva Natural Provincial “Islote de la Gaviota Cangrejera” y Reserva Natural Municipal “Costera Bahía Blanca”, directamente no cuentan con plan de manejo.

Debido a la importancia ornitológica del área de estudio existen, a su vez, dos importantes reconocimientos internacionales. En 2008, la RNUM Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde fue designada como

⁷ Pampa Azul es una iniciativa estratégica de investigaciones científicas en el Mar Argentino. Sus principales objetivos son: 1) generar conocimientos científicos interdisciplinarios que sirvan como fundamento para la preservación y el manejo sustentable de los recursos marinos, 2) impulsar innovaciones tecnológicas que contribuyan al fortalecimiento de las industrias vinculadas al mar y al desarrollo económico de las regiones marítimas argentinas y 3) promover en la sociedad argentina mayor conciencia sobre su patrimonio marítimo y el uso responsable de sus recursos.

⁸ El Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible [OPDS] aprobó únicamente la zonificación del Plan de Manejo de la Reserva Natural de Usos Múltiples “Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde”.

Área Importante para la Conservación de las Aves (AICA) por BirdLife International⁹ y en 2016 la casi totalidad del estuario, dividido en seis subsitios, fue designado “Sitio de Importancia Regional” por la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP), transformándose en el octavo sitio de Argentina en obtener dicho reconocimiento. A fines de ese año, se propuso la incorporación de un séptimo sitio denominado “Humedal interno” —bajo administración del CGPBB— el cual se encuentra actualmente en tratamiento. En el mismo sentido, a escala local, el Municipio de Bahía Blanca declaró un listado de especies “emblemáticas” a través de la ordenanza 12.671/2004, incluyendo al cangrejo cavador, la gaviota de Olrog, el delfín franciscana, los tiburones escalandrún y bacota y, en sentido amplio, a los chorlos; mientras que el Municipio de Coronel Rosales declaró un listado de especies endémicas de la región mediante decreto 3.408/2013, convirtiéndose en uno de los primeros municipios del país en reconocer a las tortugas marinas (Matamala, 2013).

Avanzando sobre el patrimonio cultural, existen también dos importantes instrumentos jurídicos: por un lado, la declaratoria de Monumento Histórico Nacional a la ex Usina General San Martín de Ingeniero White (Ley Nacional 25.580/02) y, por otro, la declaratoria de Patrimonio Histórico Municipal al Buque Usurbil (Ordenanza Municipal 14.305/07). El primero fue desafectado de su función original como usina eléctrica en 1988 y desguazado finalmente en 1999. Si bien la declaratoria predispone su reutilización como polo cultural, la presencia de asbesto en algunos sectores retrasa la puesta en valor. Se prevé que en el corto plazo, el municipio conforme un pliego licitatorio para iniciar la descontaminación del edificio (Álvarez, 2018) y dar cumplimiento a la norma legal. En el caso del buque Usurbil, la ordenanza apunta a garantizar su preservación mediante prohibición de desguase.

Con respecto a las iniciativas concernientes al conocimiento científico, a nivel nacional se destaca, como fuera mencionado anteriormente, el Programa Nacional Pampa Azul, impulsado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del país. El mismo comenzó a implementarse en 2014 con un horizonte temporal de 10 años, a fin de coordinar el accionar científico-tecnológico del Estado en relación al mar. Simultáneamente, se destaca la sanción de la Ley PROMAR, que establece un fondo de financiamiento para dichas investigaciones.

Frente a la contaminación marino-costera, la principal medida adoptada por el Municipio de Bahía Blanca consistió en la creación del Programa Integral de Monitoreo del Polo Petroquímico y Área Portuaria del Distrito de Bahía Blanca (PIM), a cargo del Comité Técnico Ejecutivo (CTE). Si bien desde la década del '90 existían mecanismos implementados por la autoridad local para controlar la contaminación generada por el sector industrial —como la primera Estación de Monitoreo Continuo del Aire y el cromatógrafo de gases portátil— (Bambill, Montero, Bukosky, Amado & Pérez, 2017), no es sino hasta la década siguiente que dichos controles adquieren mayor rigurosidad y frecuencia. En el año 2000, a raíz del escape accidental de gas cloro y venteos de amoníaco en el área industrial, se promulgó la Ley Provincial 12.530 que dio origen a dicho programa. Su implementación desde 2002 incluye tareas de fiscalización de efluentes líquidos industriales, muestreo de contaminantes atmosféricos, monitoreo de la contaminación acústica e inspecciones regulares a plantas industriales.

Paralelamente, desde el año 1997 y a pedido de la Cámara Regional de la Industria de Bahía Blanca, el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET/UNS) realiza un programa anual de monitoreo del estuario, a fin de evaluar la calidad del agua, en el que intervienen las áreas de microbiología, biología y química marina. El Área de Química Ambiental del Municipio de Bahía Blanca, a su vez, junto con el CTE, realizan evaluaciones de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y elaboran informes técnicos para el OPDS, ADA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y Tribunal de Faltas de Bahía Blanca (MBB, 2017). Se destaca también la implementación del Proceso APELL, propuesto por la ONU, desde 2010 a fin de realizar tareas de concientización y preparación de la población local ante este tipo de emergencias (fuga tóxica, incendio, explosión)¹⁰ y la ejecución del Programa “Separación Domiciliaria y Recolección Diferenciada en Ingeniero White”, cuyos residuos secos son derivados a la Ecoplanta localizada en General Daniel Cerri para su reciclaje.

9 BirdLife International es una es una coalición global de organizaciones conservacionistas no gubernamentales, dedicada a la protección de las aves y sus hábitats. Actualmente se integra por 121 entidades, entre socias y afiliadas.

10 Las principales tareas realizadas en el marco del Proceso Apell incluyen divulgación de medidas de autoprotección en caso de emergencia (folletos domiciliarios, charlas, programas educativos), simulacros de escritorio, de campo y/o en tiempo real en diversas plantas industriales locales, ejercicios prácticos de confinamiento en instituciones educativas próximas al área industrial, capacitaciones para médicos sobre atención de pacientes afectados con productos peligrosos, entre otros.

Con respecto a la problemática planteada del mal funcionamiento de las actuales plantas depuradoras, en 2016 se iniciaron las obras para la reparación y ampliación de la Primera Cuenca. Las mismas finalizaron en septiembre de 2019, reestableciendo el tratamiento primario de los efluentes (retención de sólidos) e incorporando su tratamiento biológico (extracción de nitratos y sulfatos), así como la desinfección de barros.

Actualmente, la misma trata 2.650 m³/h, el 75% de la red cloacal de Bahía Blanca. A futuro se prevé incorporar dos etapas más de tratamiento, a fin de posibilitar la reutilización de las aguas residuales.

Figura 8. Síntesis del diagnóstico del SSE-EBB



Elaboración propia

Por último, la respuesta institucional a la crisis pesquera consistió inicialmente en la suscripción de un acta-acuerdo a fines de 2012 entre el CGPBB y tres instituciones representantes del colectivo de pescadores artesanales. Por medio del mismo, el consorcio se comprometía a realizar gestiones para optimizar la actividad pesquera (relevamiento de los pescadores activos, caracterización de las artes de pesca y los procesos de industrialización, estudios para determinar la biomasa de las especies, desarrollo y evolución estacional, entre otros). A su vez, se obligaba a otorgar una suma de dinero en concepto de subsidio a aquellos pescadores que hayan realizado la actividad como modo de vida dentro del ámbito de actuación del consorcio y con

base operativa en el Puerto de Ingeniero White, por al menos tres años continuos previo a la celebración del acuerdo (CGPBB, 2012). Actualmente este tema sigue en disputa, debido a que los pescadores artesanales denuncian irregularidades en la asignación de dichos subsidios y la cantidad y calidad de los recursos ictícolas continúa empeorando. En la Figura 8 se sintetizan los resultados obtenidos del diagnóstico realizado.

4. Discusión

4.1. Acerca de la evolución de los servicios ecosistémicos del estuario y gestión de los impactos recibidos

Los resultados presentados constituyen una aproximación preliminar a la problemática y permiten apreciar de manera general la situación actual del sistema socioecológico estudiado. En un mundo cada vez más dependiente de los recursos, el aumento de la demanda sobre un servicio ambiental o una actividad humana, generalmente resulta en la reducción de otro servicio o actividad (Carpenter *et al.*, 2009). Esto es lo que habitualmente se conoce en la literatura como *trade offs*. La explicitación de dichos intercambios es el objetivo principal de evaluaciones como la del presente trabajo. En el caso del estuario de Bahía Blanca es posible observar actualmente un incremento en la demanda de los servicios ecosistémicos de regulación —debido principalmente a las actividades industriales, portuarias y petroquímicas, como así también al incremento de la presión demográfica— con efectos negativos sobre los servicios de abastecimiento y culturales e impactos directos en el bienestar de la población local.

La superficie de humedales costeros rellenados artificialmente se ha ido incrementando notoriamente en los últimos años. Es de esperarse que esta tendencia siga en aumento. Según proyecciones de la CEPAL, se espera que la población mundial se incremente más de un 30% y que los puertos cuadrupliquen sus volúmenes de carga entre 2015 y 2050 (Sánchez *et al.*, 2015). Ello redundaría en la necesidad de más tierras para la expansión urbana y mejoras en las infraestructuras asociadas al transporte marítimo, entre otros; es decir, un recrudecimiento en las presiones que ya recibe este socio-ecosistema. Por ello es de vital importancia la sanción de leyes e implementación de políticas que regulen adecuadamente las actividades que allí se realizan. Sólo a modo de ejemplo, se desea señalar que no existe en la actualidad un marco regulatorio nacional para las actividades de dragado, aún cuando el país cuenta con más de 30 puertos comerciales de relevancia y esta práctica es responsable de grandes impactos en los humedales costeros.

Por otro lado, la crisis pesquera en el estuario de Bahía Blanca, en discrepancia con la situación actual a escala nacional, da cuenta de un problema que debe ser abordado a escala local. Los motivos han sido ampliamente desarrollados en el presente trabajo, así como algunas de las medidas instrumentadas, las cuales resultan insuficientes. Es menester garantizar el vertido de efluentes industriales dentro de los parámetros admisibles y el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales, debido a que la zona interna del estuario es especialmente vulnerable. Y, fundamentalmente, promover prácticas sustentables en la explotación de recursos renovables.

A pesar de los exhaustivos monitoreos que se realizan en el área de estudio y el trabajo diario de los organismos de control, es necesario también controlar la efectividad de las sanciones impuestas, debido a que se registra una alta tasa de reincidencia en las infracciones cometidas por las empresas que allí operan (Speake, Carbone & Spetter, 2018). Ello aplica tanto para las irregularidades en el vertido de efluentes líquidos como emisiones gaseosas. En otros enclaves industriales del país, como la ciudad de La Plata, la concentración de material particulado y compuestos orgánicos volátiles pudo reducirse exitosamente a partir de acuerdos efectivos entre las empresas y el OPDS, situación que podría replicarse en Bahía Blanca (Colman Lerner *et al.*, 2014).

En cuanto al manejo de especies exóticas invasoras, tanto a nivel local como internacional, existe aún una importante distancia a salvar entre ciencia y política, que obstaculiza una adecuada gestión ambiental (Williams & Grosholz, 2008). En el caso de la ostra del Pacífico, Fiori *et al.* (2016) proyectaron tres escenarios posibles para el estuario en función de la adopción de distintas estrategias. Idealmente los autores proponen un saneamiento integral de la zona costera, incluyendo el tratamiento efectivo de los efluentes domésticos e industriales, complementado con la extracción manual de ostras en algunos sectores puntuales como Puerto Cuatreros y los tres bancos establecidos en el sector medio del Canal Principal. El municipio de Bahía Blanca fue el único en incorporar el estudio de esta especie en su programa anual de monitoreo, más ninguno ha iniciado aún medidas de remediación orientadas específicamente a este problema. Para los casos de *Salsola soda* (*Amaranthaceae*) y tamarisco (*Tamarix sp.*) se requieren mayores estudios.

Por último, la declaratoria de tres áreas marino-costeras protegidas en el estuario sienta un precedente de la importancia otorgada al valor que posee este ambiente y la necesidad de preservarlo. Sin embargo, la simple declaratoria no es suficiente para alcanzar los objetivos de conservación establecidos. Sobran ejemplos de las denominadas “reservas de papel”, donde la norma legal de creación es la única medida impulsada por el ente administrador en favor del área. Para alcanzar una gestión efectiva es imperativo que se elaboren y actualicen los respectivos planes de manejo, dado que no sólo constituye un instrumento de planificación territorial sino también un instrumento de negociación, que permite definir actividades permisibles en el área y defender aquellas que no son negociables (FAO, 2014). Asimismo, cabe destacar que las distinciones otorgadas por organismos internacionales (sitios RHRAP y AICA), si bien revisten de notable importancia, no constituyen instrumentos jurídicamente vinculantes, debido a que la adhesión a las normas y lineamientos propuestos es voluntaria. Se trata de figuras flexibles, compatibles con numerosos usos de suelo y formas de gestión, en los que el objetivo consiste simplemente en constituir una herramienta más para las acciones de conservación ambiental. Ello representa en sí mismo un desafío, en tanto la complejidad de jurisdicciones intervinientes, la ausencia de financiamiento y equipamiento adecuado (Speake & Carbone, 2017) y, en algunos casos, de voluntad política (Speake & Carbone, 2019), entorpece el desarrollo de acciones para la conservación de la biodiversidad. Idéntica situación ocurre con los activos patrimoniales con los que cuenta el área, en cuyo caso se observa un adecuado marco legal pero escasas iniciativas que concreten su puesta en valor.

4.2. Beneficios ambientales para múltiples escalas, ¿impactos a escala local?

La abundancia de servicios ambientales provistos por los humedales costeros está por demás probada en la literatura (EM, 2005; UNESCO, 2010; FAO, 2014; Burke *et al.*, 2001; Barragán Muñoz, 2014). Ahora bien, a partir del diagnóstico realizado cabe preguntarse ¿quién recibe dichos beneficios? El análisis multiescalar permitió evidenciar fuerzas motrices y presiones originadas en gran parte a nivel global, con incidencia en el bienestar humano de la población local. Dichos resultados son similares a los obtenidos en otras áreas costeras del mundo (Montes *et al.*, 2012; Barragán Muñoz & Chica Ruiz, 2013). La sobreexplotación de recursos por parte de un grupo de personas o la contaminación derivada del desarrollo de sus actividades económicas, por ejemplo, impacta en la calidad de los servicios ecosistémicos, perjudicando o alterando el disfrute de dichos beneficios por otros sectores de la población. En otras palabras, lo que comúnmente ocurre es que “se desplaza(n) los costos de la degradación de un grupo de personas a otro, o traspasan los costos a las generaciones futuras”. (EM, 2005, p. 8)

Estas desigualdades en el reparto de beneficios, que responden a desigualdades de poder, son producto a su vez de los efectos del proceso de globalización capitalista (una fuerza motriz ineludible a nivel mundial). En los nuevos “espacios de la globalización” (Santos & Silveira, 1996), existen múltiples redes de influencia que actúan simultáneamente en una multiplicidad de escalas. Tanto las estrategias y las relaciones establecidas entre Estados, como entre organismos internacionales, tienen consecuencias directas—tangibles e intangibles— sobre el territorio, favoreciendo el equilibrio y la estabilidad o, por el contrario, intensificando las desigualdades y los contrastes (Méndez Gutiérrez del Valle, 2011).

Como sucede en numerosos sitios, ello se manifiesta en el área de estudio a partir de la reestructuración de las políticas socioeconómicas de fines del siglo pasado y la instalación de actores globales con capacidad de acción local que intervienen y modifican el espacio en función de sus propios objetivos. Así, es posible observar el accionar de grandes corporaciones industriales extranjeras en el área litoral del estuario, que se benefician de los servicios ambientales que brinda el ecosistema estuarial, en franca oposición a una población local que ve mermada su calidad de vida, en términos de desaparición de su fuente de trabajo, incremento en los problemas de salud, pérdida de lugares naturales para la recreación y el ocio, entre muchos otros.

Numerosos autores convienen en señalar que efectivamente se trata de un espacio de gran asimetría política en favor de las empresas industriales, las cuales a su vez disponen de una instrumentada ingeniería social empresaria para aplacar los conflictos socioambientales derivados de su actividad (Heredia Chaz, 2014; Irisarri, Noceti & Carbone, 2016; Noceti, Irisarri, Barbero & Cattaneo, 2016; Noceti, 2017). Incluso, del análisis realizado por Noceti (2017) a partir de los discursos, se pone de manifiesto la rotunda negación por parte de los funcionarios del CGPBB de la historia del estuario como espacio de ocio y fuente de trabajo de los pescadores artesanales. Dicha actitud busca alentar aún más la alienación y ena-

jenación del espacio, así como “habilita a legitimar al estuario cual espacio ecológicamente sacrificable para el desarrollo de actividades industriales”. (Noceti, 2017, p. 87)

4.3. Limitaciones y oportunidades de la metodología empleada

El marco conceptual y metodológico de la EM ha sido utilizado para estudiar no sólo humedales costeros como el del caso de estudio sino todo tipo de ecosistemas. El mismo se implementa a nivel nacional en numerosos países, como España (Santos-Martín *et al.*, 2016), Sudáfrica (Bohensky & Lynam, 2005), India, Brasil, Portugal, Indonesia y Fiji, entre otros (UNESCO, 2010). A escala local o regional se ha aplicado también en lugares como el Salar de Atacama en Chile; la región cafetalera andina colombiana; los ecosistemas de China Occidental; la sub-región de Vilcanota en Perú; el mar Caribe (CARSEA); la sub-cuenca del río Chirripó en Costa Rica; la Columbia Británica en Canadá y la ciudad de Estocolmo, entre otros. La numerosa lista de ejemplos da cuenta del consenso en la comunidad científica sobre las ventajas que reporta la utilización de esta metodología como marco común en la normalización de las investigaciones, lo que a su vez retroalimenta su aplicación en distintos sitios y fomenta el enriquecimiento de la información a múltiples escalas. En este sentido, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) destaca la importancia de las evaluaciones sub-globales como las del presente estudio en tres sentidos: primero, satisfacen las necesidades de los responsables de la toma de decisiones a la escala en la que fueron emprendidas; segundo, fortalecen las conclusiones globales con datos en el terreno y, tercero, fortalecen las conclusiones locales con las perspectivas, datos y modelos globales.

Puntualmente en el caso de estudio, una de las ventajas de la metodología ha sido la individualización de los generadores de cambio en función de su capacidad de incidir directa o indirectamente en el socio-ecosistema. La identificación de las principales fuerzas motrices en el estuario debe considerarse como una oportunidad en términos de gestión ambiental, ya que la mayoría de los estudios se enfocan casi exclusivamente en las presiones que recibe el sistema, subestimando la incidencia de factores demográficos, económicos, sociopolíticos y culturales (Carpenter *et al.*, 2009). Este es el primer eslabón a tener en cuenta a la hora de planificar y delinear políticas de manejo. Por otro lado, el enfoque multiescalar permitió detectar inconsistencias en los resultados obtenidos en diferentes niveles (como el caso de las diferencias en los volúmenes de pesca a escala local y nacional), evidenciando las singularidades o adaptaciones del área de estudio.

Con respecto a las limitaciones encontradas para llevar adelante el presente trabajo se destaca la escasa disponibilidad de información a escala local, especialmente la vinculada a aspectos socio-económicos o culturales. Debido a ello es que fundamentalmente se circunscribió el análisis a los indicadores eventualmente seleccionados. Esta es una problemática habitual en muchos países donde no se dispone de información en series de tiempo ininterrumpidas y/o en plazos temporales adecuados que sean capaces de reflejar la dinámica socio-ecológica del área estudiada. Consecuentemente, otros indicadores que podrían utilizarse para medir el impacto de los impulsores de cambio sobre el suministro de servicios ecosistémicos podrían ser la superficie erosionada (regulación morfosedimentaria), el número de visitantes a las áreas protegidas y/o el número de excursiones embarcadas (recreación y turismo), el presupuesto anual invertido en programas educativos específicos (educación ambiental) o bien el número total de especies o de especies nativas (valor de existencia de la biodiversidad), entre muchos otros.

En términos generales y, de acuerdo a todo lo expresado, la metodología empleada presenta un gran potencial para ser aplicada en todos aquellos municipios o regiones donde convergen lo local, lo regional y lo global, facilitando la visibilización de los distintos componentes y elementos clave del sistema socio-ecológico a estudiar. El diagnóstico operativo resultante puede resultar de utilidad para articular los intereses y responsabilidades de los actores involucrados e influir en los procesos de toma de decisiones que habiliten la implementación de acciones de restauración ecológica, elaboración de planes de manejo, incorporación de principios de gobernanza, entre otros. En virtud de ello, se plantea finalmente la necesidad de replicar el análisis en otros sistemas contiguos en el sudoeste bonaerense. Debido a la complejidad de las áreas costeras, en términos de la multiplicidad de actividades que concentran y actores involucrados, es fundamental desarrollar una red interconectada de evaluaciones, capaces de reflejar la continuidad entre los ecosistemas adyacentes (Elliot *et al.*, 2017). Los sistemas socio-ecológicos asociados a la Barrera Medanosas Austral (BMA), entre las localidades de Miramar y Pehuen-Có (al este del área de estudio) o Bahía San Blas (al sur), ambos en la provincia de Buenos Aires, constituyen buenos ejemplos de posibles casos de estudio a analizar bajo la misma óptica del presente trabajo.

5. Conclusiones

Como conclusión se sostiene que las principales presiones que recibe el estuario y que favorecen la degradación del mismo son la concentración de infraestructura en el borde costero (fundamentalmente portuaria e industrial), la contaminación ambiental, el dragado con el posterior relleno artificial de los humedales y la introducción de especies exóticas invasoras. Las consecuencias directas sobre el bienestar de la población local están signadas por la disminución de los alimentos provenientes de la pesca, la pérdida de recursos turísticos de primer orden (degradación del paisaje, pérdida de biodiversidad), problemas de salud derivados de la calidad del aire y conflictos entre usuarios de recursos, como es el caso de los pescadores artesanales versus las empresas industriales o, incluso, los pescadores artesanales locales versus pescadores industriales provenientes de zonas costeras aledañas.

Como bien señalan Laterra, Jobágy & Paruelo (2011), la falta de implementación de políticas justas y oportunas ha derivado en una marcada asimetría en la distribución del perjuicio de las pérdidas entre los distintos sectores geográficos y económicos de la sociedad. Dado que los bienes y recursos obtenidos de las áreas litorales son de interés o dominio público, la gestión de las actividades que allí se desarrollan corresponde necesariamente a la administración pública. Y, en este sentido, se presenta como prioritario que dicha gestión sea asumida siempre con el mayor grado de compromiso, facilitando procesos transparentes y participativos (principios básicos de la gobernanza).

Se estima que las principales decisiones políticas de los próximos años estarán directamente vinculadas a los *trade-offs* de los servicios ambientales provistos por los distintos ecosistemas. Las compensaciones más destacadas en el área de estudio posiblemente incluyan aquellas entre el uso portuario e industrial y la calidad del agua, la expansión urbana y la biodiversidad, la producción agrícola-ganadera y los usos recreativos. En todo caso, el diagnóstico realizado permitió comprender mejor estas interrelaciones y contribuir como insumo a los procesos de planificación y/o gestión del estuario, especialmente para la ejecución de políticas activas referidas a la prevención de futuros cambios en el ecosistema y mitigación de los impactos analizados. Dentro de las principales acciones a llevar a cabo se incluyen la implementación de acciones de restauración ecológica (tratamiento de aguas residuales, eliminación de especies exóticas invasoras, creación de corredores biológicos, recuperación del régimen hidrológico, establecimiento de cuotas de pesca, repoblación de especies marinas), la elaboración y actualización de los planes de manejo de las áreas protegidas, la zonificación de las mismas, la declaración de nuevas figuras de protección, el fortalecimiento de los programas de gestión integral de residuos sólidos urbanos, la mejora en la planificación urbana respecto de los usos del suelo, entre otros.

Por otro lado, se enfatiza en la necesidad de incrementar la efectividad en las respuestas adoptadas, en el sentido de que se adapten a la complejidad del sistema en cuestión y procuren mantener su resiliencia ecológica y social, tal como proponen Bohensky & Lynam (2005). La primera, a partir del fortalecimiento de la conservación del ambiente y, la segunda, a partir de la conservación de la memoria social. Es de vital importancia que se mantengan los programas de monitoreo para evaluar la calidad ambiental del estuario, como así también, custodiar las prácticas ancestrales que allí se realizan. La pérdida de valores asociados a la herencia cultural es un alto costo a pagar a cambio del crecimiento económico.

Finalmente, en el caso del estuario de Bahía Blanca se plantea, a su vez, como necesidad apremiante la habilitación de mecanismos que permitan mejorar la coordinación interjurisdiccional. Establecer objetivos y prioridades de manejo a nivel regional -y de manera interdisciplinaria- es clave en la gestión sostenible de este sistema. La propuesta es avanzar en el manejo de la zona costera del estuario de Bahía Blanca bajo una visión integral, a largo plazo, de acuerdo a los preceptos de la Gestión Integrada de la Zona Costera (GIZC). Ello permitiría encarar la gestión con un enfoque sistémico, que contemple y coordine las numerosas actividades que allí se desarrollan, promueva la conservación y uso de los humedales en un marco de sustentabilidad y vele por el bien común de la sociedad.

Financiación

El trabajo se realizó en el marco del PGI 24/ZG19 “Problemáticas geoambientales en la región costera Bahía Blanca” dirigido por la Dra. María Elizabeth Carbone, co-dirigido por el Dr. Walter Daniel Melo y del PGI 24/Q109 “Evaluación y control de la eutroficación en ambientes marino costeros del sudoeste bonaerense” dirigido por la Dra. Carla V. Spetter, ambos financiados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur (UNS).

Referencias

- Álvarez, P. A. (23 de diciembre de 2018). Ex Usina General San Martín. Viaje al interior de una de las máximas joyas locales. *La Nueva*. Recuperado de <https://www.lanueva.com/nota/2018-12-23-6-30-37-viaje-al-interior-de-una-de-las-maximas-joyas-locales>
- Baldini, M. D., Cubitto, M. A. & Chiarello, M. N. (2010). *Informe de los estudios bacteriológicos realizados durante 2010 en aguas y sedimentos del Estuario de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. Recuperado de http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/doc/Informe_Bacteriologico_2011.pdf
- Bambill, E., Montero, C., Bukosky, M., Amado, L. & Pérez, D. (2017). Indicadores de calidad de aire en el diagnóstico de la sustentabilidad de la ciudad de Bahía Blanca. En *Libro de Actas VI Congreso bianual PROIMCA IV Congreso bianual PRODECA*. Argentina: Bahía Blanca. Recuperado de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/prodeca-proimca/actas-proimca-2017/IM112-indicadores.pdf>
- Barragán Muñoz, J. M. & Chica Ruiz, J. A. (2013). Evaluación de los Ecosistemas Litorales del Milenio de España: una herramienta para la sostenibilidad de la zona costera. *Revista Eubacteria*, 31, 1-6. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4258312>
- Barragán Muñoz, J. M. (2014). *Política, gestión y litoral. Una nueva visión de la Gestión Integrada de Áreas Litorales*. Madrid: Editorial Tébar Flores.
- Berasategui, A. A., Biancalana, F., Fricke, A., Fernandez-Severini, M. D., Uibrig, R. Dutto, M. S. & Hoffmeyer, M. S. (2018). The impact of sewage effluents on the fecundity and survival of *Eurytemora americana* in a eutrophic estuary of Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 211, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.08.034>
- BirdLife International (2019). *Important Bird Areas (IBA) factsheet: Reserva de Uso Múltiple de Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde*. Recuperado de <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/reserva-de-uso-m%C3%BAltiple-de-bah%C3%ADa-blanca-bah%C3%ADa-falsa-y-bah%C3%ADa-verde-iba-argentina>
- Bohensky, E. & Lynam, T. (2005). Evaluating responses in complex adaptive systems: insights on water management from the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA). *Ecology and Society*, 10(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01198-100111>
- Burke, L., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M. & McAllister, D. (2001). *Pilot analysis of global ecosystems: Coastal ecosystems*. Recuperado de https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/pdf/page_coastal.pdf
- Cabrera, A. L. (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Sociedad Argentina de Botánica*, 14(1), 1-42.
- Carbone, M. E., Spetter, C. V. & Marcovecchio, J. E. (2016). Seasonal and spatial variability of macronutrients and Chlorophyll a based on GIS in the South American estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Environmental Earth Science*, 75(736). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5516-6>
- Carignano, C., Elosegui, L., Abrego, P., Spagnolo, S., Esandi, M. E., Frapichini, R., ... & Monteros, C. (2009). Estudio comparativo de la morbilidad por asma entre la población de distintas zonas de Bahía Blanca y la de toda la ciudad. *Archivos de Alergia e Inmunología Clínica*, 40(1), 19-24. Recuperado de http://adm.meducatium.com.ar/contenido/articulos/8900190024_602/pdf/8900190024.pdf
- Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R. S., Díaz, S., ... & Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS*, 105(5), 1305-1312. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106>
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Lazos Chavero, E. & Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socioecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental*, 6(2), 1-21.
- Colman Lerner, J. E., Morales, A., Aguilar, M., Giuliani, D., Ditondo, J., Dodero, V. I., ... & Porta, A. (2014). The effect of air pollution on children's health: a comparative study between La Plata and Bahía Blanca, Buenos Aires Province, Argentina. En G. Passerini & C. A. Brebbia (Eds.), *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Environmental Impact II (pp. 659-670). <https://doi.org/10.2495/EID140561>

- Conde, A. A., Piccolo, M. C. & Pizarro, N. (2009). Análisis histórico de las capturas de la flota costera en el puerto de Bahía Blanca. Período 1983-2007. *Actas del 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina. Caminando en una América Latina en Transformación*.
- Consortio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca [CGPBB] (2012). *Convenio con sector pesquero*. Recuperado de <https://puertobahiablanca.com/novedades/convenio-con-sector-pesquero.html>
- Consortio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca [CGPBB] (2017). *Visión Portuaria Bahía Blanca 2040*. Recuperado de https://puertobahiablanca.com/vision_portuaria_2040/files/downloads/Vision_BB_2040.pdf
- Damiani, M. (2019). Entrevista personal, 10 de julio de 2019. Lic. en Ciencias Biológicas, integrante del Departamento de Saneamiento Ambiental. Municipalidad de Bahía Blanca.
- Delgado, A. L., Ferrelli, F., Piccolo, M. C. & Perillo, G. M. E. (2017). Implicancias de la variabilidad físico-biológica y la aplicación de normas legislativas sobre el recurso pesquero en la zona costera del sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(1), 5-14. https://doi.org/10.11137/2017_1_05_14
- Dirección de Desarrollo Pesquero (2008). Disposición N° 55/2008. Subsecretaría de Asuntos Agrarios, Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Nación, Argentina. Recuperado de <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/disposicion/2008/55/204052>
- Dirección Provincial de Estadística (2016). *Proyecciones de población por Municipio provincia de Buenos Aires 2010-2025*. Recuperado de http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/images/Proyecciones_x_municipio_2010-2025.pdf
- Dos Santos, E. P. & Fiori, S. M. (2010). Primer registro sobre la presencia de *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) (Bivalvia: Ostreidae) en el estuario de Bahía Blanca (Argentina). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 9(93), 245-252. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=52420600004>
- Duval, V. S. (2018). Enfoque integral de las áreas protegidas desde la geografía. El caso de la provincia de La Pampa. *Boletín Geográfico*, 40(1), 52-65. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6632145>
- Elliott, M., Burdon, D., Atkins, J. P., Borja, A., Cormier, R., Jonge, V. N. & Turner, R. K. (2017). "An DPSIR begat DAPSI(W)R(M)!" – A unifying framework for marine environmental management. *Marine Pollution Bulletin*, 118, 27-40. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.049>
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [EM] (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de Síntesis*. Recuperado de https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf
- Fernández Severini, M. D., Carbone, M. E., Villagrán, D. M. & Marcovechio, J. E. (2018). Toxic metals in a highly urbanized industry-impacted estuary (Bahía Blanca Estuary, Argentina): spatio-temporal analysis based on GIS. *Environmental Earth Sciences*, 77(393). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7565-5>
- Fiori, S. M., Pratolongo, P. D., Zalba, S. M., Carbone, M. E. & Bravo, M. E. (2016). Spatially explicit risk assessment for coastal invaders under different management scenarios. *Marine Biology*, 163(245). <https://doi.org/10.1007/s00227-016-3017-5>
- Hempel, M., Botté, S. E., Negrin, V. L., Chiarello, M. N. & Marcovechio, J. E. (2008). The role of the smooth cordgrass *Spartina alterniflora* and associated sediments in the heavy metal biogeochemical cycle within Bahía Blanca estuary salt marshes. *Journal of Soils and Sediments*, 8(289). <https://doi.org/10.1007/s11368-008-0027-z>
- Heredia Chaz, E. (2014). *De la responsabilidad a la contaminación social empresaria: la ingeniería social del Polo Petroquímico de Bahía Blanca* (Tesis doctoral). Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2961/1/Heredia%20Chaz,%20Emilce.%20Tesina.pdf>
- Ibañez Martín, M. M., Rojas, M. & London, S. (2016). Servicios ecosistémicos del estuario de Bahía Blanca y el conflicto del dragado. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 26, 59-71. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2016v26/revibec_a2016v26p59.pdf

- Instituto Argentino de Oceanografía [IADO] (2016). *Informe del monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca*. Recuperado de <https://www.bahia.gov.ar/subidos/cte/informes/Informe-FINAL-Monitoreo-2015-2016.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC] (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Buenos Aires: INDEC.
- Irisarri, M., Noceti, M. & Carbone, D. (2016). ¿Desigualdad en el acceso al espacio del estuario?: el Directorio del Consorcio General del Puerto de Bahía Blanca. *IX Jornadas de Sociología de la UNLP*. Ensenada, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65102>
- Isacch, J. P., Escapa, M., Fanjul, E. & Iribarne, O. (2011). Valoración ecológica de bienes y servicios ecosistémicos en marismas del Atlántico sudoccidental. En P. Laterra, E. G. Jobágyy & J. M. Paruelo (Eds.), *El valor ecológico, social y económico de los servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y estudio de casos* (pp. 528-551). Recuperado de https://ced.agro.uba.ar/ubatic/sites/default/files/files/libro_serv_ecosist/pdf/Capitulo_23.pdf
- La Sala, L. F., Petracci, P. F., Smits, J. E., Botté, S. & Furness, R. W. (2011). Mercury levels and health parameters in the threatened Olrog's Gull (*Larus atlanticus*) from Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 181, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1808-6>
- Laterra, P., Jobágyy, E. G. & Paruelo, J. M. (Eds.). (2011). *El valor ecológico, social y económico de los servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y estudio de casos*. Buenos Aires: INTA.
- Llompart, F. M. (2011). *La ictiofauna de Bahía San Blas (Provincia de Buenos Aires) y su relación con la dinámica de las pesquerías deportiva y artesanal* (Tesis doctoral). <https://doi.org/10.35537/10915/34280>
- López Cazorla, A., Molina, J. M. & Ruarte, C. (2014). The artisanal fishery of *Cynoscion guatucupa* in Argentina: Exploring the possible causes of the collapse in Bahía Blanca estuary. *Journal of Sea Research*, 88, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.12.016>
- Marbán, L. M. & Zalba, S. M. (2019). When the seeds go floating in: A salt marsh invasion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 231(106442). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106442>
- Marcovecchio, J. E., Botté, S. E. & Fernández Severini, M. D. (2016). Distribution and behavior of zinc in estuarine environments: an overview on Bahía Blanca estuary (Argentina). *Environmental Earth Sciences*, 75(1168). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5942-5>
- Matamala, R. (2013). *Ecoturismo accesible como alternativa turístico-recreativa para personas con discapacidad visual en la localidad de Villa del Mar, partido de Coronel Rosales* (Tesina de grado). Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Melo, W. D. (2007). Orígenes morfológicos. En M. C. Piccolo y M. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca* (pp. 21-27). Bahía Blanca: Ediuns.
- Méndez Gutiérrez del Valle, R. (2011). *El nuevo mapa geopolítico del mundo*. Valencia: Editorial Tirant lo Blanch.
- Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación (2019). *Estadísticas de la Pesca Marina en Argentina*. Recuperado de <https://www.argentina.gov.ar/agricultura-ganaderia-y-pesca>
- Montes, C., Santos, F., Martín-López, B., González, J., Aguado, M., López-Santiago, C., ... & Gómez Sal, A. (2012). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. Del equilibrio entre la conservación y el desarrollo a la conservación para el bienestar humano. *Ambienta*, 98, 2-12. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/Ambienta_98.pdf
- Municipalidad de Bahía Blanca [MBB] & Universidad Tecnológica Nacional [UTN] (2014). *Estudio de la dinámica (espacial y temporal) de los efluentes líquidos industriales y urbanos en la zona del Polo Petroquímico y área portuaria de Bahía Blanca*. Recuperado de <http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/doc/Estudio-de-la-dinamica-de-los-efluentes-industriales-y-urbanos-en-la-zona-Polo-Petroquimico-y-Area-Portuaria-B-Blanca.pdf>
- Municipalidad de Bahía Blanca [MBB] (2005-2017). *Programa Integral de Monitoreo (PIM). Polo Petroquímico y Área Portuaria del Distrito de Bahía Blanca*. Recuperado de <http://www.bahia.gov.ar/cte/informes/>
- Municipio de Bahía Blanca (2017). *Informe de Gestión 2017*. Bahía Blanca: Municipio de Bahía Blanca. Recuperado de <https://www.bahia.gov.ar/Gestion2017/>

- Natale, E., Reinoso, H. E., Andreo, V. & Zalba, S. M. (2018). Mapeo del riesgo: prioridades para prevenir el establecimiento de tamariscos invasores. *Ecología austral*, 28, 81-92. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.553>
- National Research Council (U.S.) (2000). *Ecological indicators for the nation*. <https://doi.org/10.17226/9720>.
- Nebbia, A. J. & Zalba, S. M. (2007). Comunidades halófitas de la costa de la Bahía Blanca (Argentina): caracterización, mapeo y cambios durante los últimos cincuenta años. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 42(3-4), 161-171. Recuperado de <https://botanicaargentina.org.ar/wp-content/uploads/2017/06/Nebbia-ZalbaFINAL.pdf>
- Noceti, M. B. (2017). ¿Reserva, puerto o ría? Conflicto socioambiental en el estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Etnografías Contemporáneas*, 3(4), 64-91. Recuperado de <http://revistasacademicas.unsam.edu.ar/index.php/etnocontemp/article/view/215>
- Noceti, M., Irisarri, M., Barbero, A. & Cattaneo, C. (2016). Políticas y conflictos por el acceso y la utilización de recursos marítimo-costeros en el Estuario de Bahía Blanca. En *IX Jornadas de Sociología de la UNLP*. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68279>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2014). *Manejo de las áreas marino costeras protegidas para garantizar medios de vida sustentables y seguridad alimentaria*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-au458s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2010). Forum de sostenibilidad. *Revista de la Cátedra UNESCO sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU*, 4. Recuperado de http://catalog.ipbes.net/system/assessment/7/references/files/22/original/Forum_de_Sostenibilidad_4_2010.pdf?1346948046
- Pérez Castoldi, A., Fiori, S. M., Bravo, M. E. & Carcedo, M. C. (2017). Caracterización de las comunidades macrobentónicas de la zona interna del estuario de Bahía Blanca. En M. Cenizo & C. Celsi (Eds.), *Libro de Resúmenes Segundas Jornadas Bonaerenses sobre Conservación de Ambientes y Patrimonio Costero* (pp. 32-33). Villa Gesell: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Perillo, G. M. & Piccolo, M. C. (2004). ¿Qué es el estuario de Bahía Blanca?. *Ciencia Hoy*, 14(81), 55-61. Recuperado de http://aquaticcommons.org/16703/2/CienciaHoy2004_14_81_8.pdf
- Piccolo, M. C., Pizarro, N. & Conde, A. (2007). Balneario Maldonado. Su utilización por la comunidad local. En N. Cazzaniga & M.C. Vaquero (Eds.). *Ambiente natural, campo y ciudad: estrategias de uso y conservación en el sudoeste bonaerense* (pp. 245-248). Bahía Blanca: EDIUNS, Bahía Blanca.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2015). *Medidas para la gestión ecosistémica de las zonas marinas y costeras. Guía de introducción*. Recuperado de https://bluesolutions.info/images/UNEP_EBM_Guide_Espanol.pdf
- Puliafito, C. (2013). *Ciudad-Puerto de Bahía Blanca: evolución y futuro del gigante portuario. Veinte años de autonomía, cinco siglos de historia*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Servicios Directorio.
- Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras [RHRAP] (2016). *Resumen de resultados de la reunión-taller para la Evaluación Comprehensiva (SAT) del Estuario de la Bahía Blanca, Sitio RHRAP de Importancia Regional*. Bahía Blanca, Argentina.
- Sánchez, R. J., Jaimurzina, A., Wilmsmeier, G., Pérez Salas, G., Doerr, O. & Pinto, F. (2015). *Transporte marítimo y puertos. Desafíos y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39708/1/S1501003_es.pdf
- Santos, M. & Silveira, M. L. (1996). Globalización y geografía: la compartimentación del espacio. *Geografía Aplicada y Desarrollo*, 16(33), 5-12.
- Santos-Martín, F., García Llorente, M., Quintas-Soriano, C., Zorrilla-Miras, P., Martín-López, B., Loureiro, M., ... & Montes, M. (2016). *Spanish National Ecosystem Assessment: Socio-economic valuation of ecosystem services in Spain. Synthesis of the key findings*. Madrid: Biodiversity Foundation of the Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment.
- Serra, A. V., Botté, S. E., Cuadrado, D. G., La Colla, N. & Negrin, V. L. (2017). Metals in tidal flats colonized by microbial mats within a South-American estuary (Argentina). *Environmental Earth Science*, 76(254). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6577-x>

- Simonetti, P. Fiori, S. M., Botté, S. E. & Marcovecchio, J. E. (2013). Nidificación del ostrero común (*Haematopus palliatus*) en el estuario de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. *Hornero*, 8(2), 51-58. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/hornero/document/hornero_v028_n02_p051
- Sotelo, M. & Massola, V. (Eds.) (2008). *Propuesta Plan de Manejo Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Bahía Blanca, Bahía Falsa, Bahía Verde*. Bahía Blanca: los editores.
- Speake, M. A. & Carbone, M. E. (2017). Evaluación y priorización rápida del manejo de las áreas protegidas costeras en el estuario de la Bahía Blanca. En M. Cenizo & C. Celsi (Eds.), *Libro de resúmenes de Segundas Jornadas Bonaerenses sobre Conservación de Ambientes y Patrimonio Costero*. Recuperado de <http://fundacionazara.org.ar/img/otras-publicaciones/Libro-de-Resumenes-Jornadas-Costeras-Gesell-2017.pdf>
- Speake, M. A. & Carbone, M. E. (2019). Reserva Natural Costera Bahía Blanca: ¿Área desprotegida?. En Libro de Actas del VII Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XXI Jornadas de Geografía de la UNLP (pp. 1-20). Recuperado de <http://jornadasgeografia.fahce.unlp.edu.ar/front-page/actas/ponencias/Speake.pdf>
- Speake, M. A., Carbone, M. E. & Spetter, C. V. (2018). Ocurrencia de eventos de emergencia ambiental en el área costera de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. En *Libro de resúmenes de las XII Jornadas Nacionales de Geografía Física* (pp. 91-95). Argentina: Bahía Blanca. Recuperado de <https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2018/04/resc3bamenes-xiijngf-2018.pdf>
- Spetter, C. V., Buzzi, N. S., Fernández, E. M., Cuadrado, D. G. & Marcovecchio, J. E. (2015a). Assessment of the physicochemical conditions sediments in a polluted tidal flat colonized by microbial mats in Bahía Blanca Estuary (Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 91, 491-505. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.008>
- Spetter, C. V., Fernández E. M., Carbone, M. E., Negrin, V., Arlenghi, J. H., Marcovecchio, J. E. & Freije, R. H. (2019). Estudio de línea de base sobre la dinámica de nutrientes en una planicie de marea del estuario de Bahía Blanca previo a la instalación de una planta de tratamiento de desechos cloacales. En G. Borzi, L. Santucci, C., Tanjal & E. Carol (Eds.), *Libro de Actas V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie* (pp. 330-333). La Plata: Asociación Argentina de Sedimentología.
- Spetter, C. V., Popovich, C. E., Arias, A. H., Asteasuain, R. O., Freije, R. H. & Marcovecchio, J. E. (2015b). Role of nutrients in phytoplankton development during a winter diatom bloom in a eutrophic south american estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research*, 31(1), 76-87. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00251.1>
- Streitenberger, M. E. & Baldini, M. D. (2016). Aporte de los afluentes a la contaminación fecal del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 243-248. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.10>
- Urriza, G. (2016). Expansión urbana, tierra vacante y demanda habitacional en Bahía Blanca. Modelos de ciudad y política urbana en debate. *Quid* 16, 6, 281-320. Recuperado de <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2089>
- Urriza, G. & Garriz, E. (2014). ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación de una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 97-124. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383239105003>
- Villagran, D. M., Fernández Severini, M. D., Biancalana, F., Spetter, C. V., Fernández, E. M. & Marcovecchio, J. E. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in mesozooplankton from a human-impacted south western atlantic estuary (Argentina). *Journal of Marine Research*, 77, 1-25. <https://doi.org/10.1357/002224019826887362>
- Williams, S. L. & Grosholz, E. D. (2008). The invasive species challenge in estuarine and coastal environments: marrying management and science. *Estuaries and Coasts*, 31(1), 3-20. <https://doi.org/10.1007/s12237-007-9031-6>
- World Health Organization [WHO] (2003). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: coastal and fresh waters*. Malta: WHO. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/srwe1/en/

Cita bibliográfica: De Las Heras Gutiérrez, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E.G., & Campos Alanís, J. (2020). Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México. *Investigaciones Geográficas*, (73), 147-169. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.HGAMCVCA>

Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México

Spatial Analysis of the Urban Environmental Sustainability Index in the Megalopolis of Mexico City

Daniel De Las Heras Gutiérrez^{1*}
Salvador Adame Martínez²
Edel Gilberto Cadena Vargas³
Juan Campos Alanís⁴

Resumen

La sustentabilidad ambiental urbana implica alcanzar cualitativamente un nivel medioambiental, socioeconómico, e institucional que permita el funcionamiento equilibrado de la ciudad a largo plazo. Es por ello, que su análisis es relevante en las ciudades, que concentran la mayoría de la población mundial y donde se desarrollan actividades económicas y sociales fundamentales, y que presentan, así mismo, problemáticas ambientales. La detección del patrón espacial y distribución de la sustentabilidad es de interés para investigadores y agentes políticos y sociales para la comprensión del fenómeno y para su posible solución al facilitar la delimitación y caracterización de aquellas áreas de la ciudad menos sustentables. Se elaboró el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana con 35 indicadores que comprenden las tres dimensiones de sustentabilidad, aplicando técnicas de análisis espacial (autocorrelación espacial, análisis de cluster) en la Megalópolis de México. Se validó el índice, detectando una desigual distribución de los niveles de sustentabilidad, decreciente de municipios centrales a exteriores en cada zona metropolitana, una asociación espacial positiva significativa y existencia de clústeres, de elevada sustentabilidad en los centros metropolitanos conurbados y de baja sustentabilidad en zonas periféricas. Se plantea la aplicación de técnicas de análisis de correlación espacial de tipo bivariado para detección de posibles factores explicativos de sustentabilidad en posteriores estudios.

Palabras clave: Análisis espacial; Sustentabilidad urbana; Megalópolis; Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana; Indicadores; Clúster.

Abstract

Urban environmental sustainability implies qualitatively reaching an environmental, socioeconomic, and institutional level that enables the balanced long-term operation of a city. This analysis is relevant given that cities concentrate the majority of the world's population and are the home of fundamental economic and social activities – and that cities also suffer environmental problems. The detection of a spatial pattern and distribution of sustainability is of interest to researchers and political and social agents for understanding the phenomenon and its possible solution by facilitating the delimitation and

1 Universidad Autónoma del Estado de México, México. leninakan-1@hotmail.com. * Autor para correspondencia.

2 Colegio de Postgraduados y Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial- FaPUR-UAEM, Universidad Autónoma del Estado de México, México. adame_ms@yahoo.com

3 Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. edelcadena@yahoo.com.mx

4 Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México, México. jcamposa@uaemex.mx

characterisation of the least sustainable areas of a city. The Urban Environmental Sustainability Index was prepared with 35 indicators that cover the three dimensions of sustainability, and apply spatial analysis techniques (spatial autocorrelation and cluster analysis) to the megalopolis of Mexico City. The index was validated and revealed an unequal distribution of levels of sustainability that decreased from central to exterior municipalities. A significant positive spatial association and clusters of high sustainability in the metropolitan centres and low sustainability in peripheral areas was found. The application of spatial correlation analysis techniques of the bivariate type is proposed to detect possible explanatory factors for sustainability in subsequent studies.

Keywords: spatial analysis; urban sustainability; megalopolis; urban environmental sustainability index; indicators; cluster.

1. Introducción

Dentro de las problemáticas ambientales, el desarrollo urbano sustentable busca aminorar los efectos perjudiciales de la urbanización acelerada y del modo de producción predominante sobre el medio y las sociedades que habitan el mismo. En los últimos años, más de la mitad de la humanidad habita en espacios urbanos (51,46% en 2010), de ahí la importancia de las implicaciones medioambientales del fenómeno urbano en la actualidad, además de que es un proceso que se ha incrementado las últimas décadas: 33,56% en 1960; 39,28% en 1980; 46,53% en 2000 y 53,84% en 2015 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Por otra parte no presenta un comportamiento idéntico en todo el mundo, ya que, en particular, en Iberoamérica la tasa de urbanización ascendió de un 49,28% en 1960 a un 79,82% en 2015, por comparación en Europa y la Comunidad de Estados Independientes (CEI) la tasa se incrementó de un 55,39% en 1960 un 70,87% en 2015, en tanto que en América Anglosajona de un 69,92% a un 81,64%, respectivamente (ONU, 2018).

El crecimiento de la población urbana en Iberoamérica no se ha traducido en una mejora de las condiciones de vida de sus moradores (Sánchez González, 2012). Las ciudades en Iberoamérica, en general, constituyen sistemas complejos e interdependientes, en donde los desequilibrios ambientales, económicos y sociales han implicado la generación de barreras para el desarrollo sustentable de las mismas (Martínez Peralta, 2016).

Así pues, actualmente las ciudades concentran un elevado porcentaje de la población y de la actividad económica. Es por ello que la sustentabilidad urbana es fundamental para lograr una tendencia de desarrollo conveniente para generaciones presentes y futuras.

El concepto de sustentabilidad abarca diferentes componentes urbanos que trascienden lo ambiental e incluyen variables culturales, políticas, institucionales, sociales y económicas. Esta visión ha implicado el desarrollo de metodologías que contemplen el estudio de las ciudades como sistemas holísticos complejos. La aproximación interdisciplinaria puede aportar una comprensión cualitativa y cuantitativa de los problemas de desarrollo y gestión urbana (Imaz, Ayala y Beristain, 2014).

En la literatura especializada en español, se emplean indistintamente los términos sostenible y sustentable; desarrollo sostenible y desarrollo sustentable; sostenibilidad y sustentabilidad (Cortés y Peña, 2015). Méndez (2012), indica que ambos términos no presentan mayor diferenciación con respecto a su aplicación al desarrollo, sin embargo, la diferencia concierne al lugar donde se utilice el término, siempre y cuando no se modifique su objetivo principal: satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer las de las generaciones futuras.

La sustentabilidad urbana puede definirse como el alcanzar cualitativamente un nivel socioeconómico, demográfico y tecnológico que permita mantener el funcionamiento de la ciudad en el largo plazo (Graizbord, 2002). Es en este sentido que una nueva perspectiva de la ciudad debe cambiar su modelo tradicional para mantener una calidad ambiental urbana con una visión de futuro, misma que se puede considerar que está en proceso de construcción. El estudio de la sustentabilidad urbana permite elaborar propuestas en torno a diversas problemáticas ambientales territoriales, facilita diagnosticar la condición urbana, sus recursos naturales, el tipo de desarrollo, el impacto ambiental, económico y social igual que la posible participación de los diversos actores sociales (Moreno Sánchez, 2013).

La ciudad ambientalmente sustentable se caracteriza por configurarse como un sistema holístico en el cual los diferentes aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales se encuentran armonizados integralmente. Se parte de la idea que una ciudad está compuesta por subsistemas interrelacionados e interdependientes (Ruiz, 2012).

Si bien existen diversas propuestas metodológicas para medir la sustentabilidad a través de indicadores urbanos e índices resumen de los mismos, sin embargo, los trabajos de investigación desde un punto de vista espacial son escasos en la temática. Aunque el número de indicadores empleados en los estudios ambientales de carácter urbano es variable, existen dimensiones a las cuales se adscriben todos ellos, características sociales, económicas, ambientales y gubernativas.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) establece tres desafíos a tener en cuenta en la cuantificación de la sustentabilidad urbana: Riesgo de desastres y cambio climático (gestión del medio ambiente y consumo de recursos naturales; mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes; reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales); Sustentabilidad Urbana (Uso del suelo; Ordenamiento territorial; desigualdad urbana; movilidad y transporte; competitividad económica, empleo y conectividad; educación; seguridad y salud); gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia evalúa los mecanismos adecuados de gobierno, la gestión adecuada de los ingresos, gastos y deuda pública. Las tres dimensiones propuestas por el BID son de carácter Ambiental, Socio-económico y Gubernativo-Financiero, respectivamente (BID, 2011).

Existen trabajos en los que el análisis del desarrollo sustentable urbano incorpora elementos ecológicos, económicos y sociales (BID 2011; BID, 2013; Mori y Christodoulou, 2012; Shen y Guo, 2014). Estos tres elementos se traducen en tres dimensiones que fueron utilizados en la propuesta de Torres Tovar, Adame Martínez y Campos Alanís, (2014) para la medición de la sustentabilidad en la Zona Metropolitana de Toluca, con un total de 54 indicadores.

En cambio otros autores como Torre Jofré (2009) establecen cuatro dimensiones: Habitabilidad, Equidad, Competitividad y Gobernanza. Sin embargo, en la práctica engloban idénticos aspectos: la dimensión de Habitabilidad se correspondería con las dimensiones Ambiental y Socio-económica del BID, la dimensión de Equidad con la Socio-económica y en tanto que las dos últimas, Competitividad y Gobernanza quedarían englobadas en la dimensión de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia propuesta por el BID.

En la actualidad ya existe una experiencia internacional en elaborar índices de sustentabilidad urbana. Siemens, Corporate Kinghts y General Electric (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2014) han elaborado índices de ciudades sustentables y verdes. El Índice Verde de Siemens, aplicado a 17 ciudades de Iberoamérica, evalúa y mide el desempeño ambiental de las ciudades a través de las siguientes variables: energía; emisiones de CO₂, uso de tierra y edificios, transporte, residuos urbanos, agua, saneamiento, calidad de aire y Gobernanza Ambiental.

El Índice de Ciudades Sustentables de General Electric (*Forum for the Future*) promueve un panorama sustentable, alentando una competencia sana de discusión y sugerencias. Se aplicó en las 20 mayores ciudades del Reino Unido a tenor de las siguientes variables: calidad del aire, biodiversidad, residuos domésticos, huella ecológica, empleo, acceso al transporte, educación, salud, espacios verdes, cambio climático, economía y reciclaje.

Un tercer caso es el de Corporate Knights cuyo índice pretende determinar cómo se desempeña una ciudad comparada con otra en cuanto a sustentabilidad. Se aplicó en 20 ciudades de Estados Unidos de América con los siguientes sub-índices: calidad del medio ambiente, seguridad económica, gobernabilidad y empoderamiento, infraestructura y energía y finalmente, bienestar social.

En Iberoamérica también se han elaborado indicadores de sustentabilidad ambiental urbana, como es el caso de Colombia (Andrade Medina y Bermúdez Cárdenas, 2010) con la finalidad de realizar un diagnóstico de los 10 principales centros urbanos del país. Estos indicadores (un total de 20) fueron englobados en tres factores: sociales y económicos, territoriales y urbanísticos y en tercer lugar, ambientales.

Más concretamente, en México se ha creado un índice de ciudades competitivas y sustentables, aunque con una finalidad descriptiva y generalizada. Se trata de un trabajo conjunto del Banco Nacional de México S.A. (BANAMEX), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, (INFONAVIT) el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. (CMM), y el Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (IMCO). Este índice se traduce en un listado de las principales ciudades de México —un total de 79 para el año 2014— con un puntaje calculado para cada una de ellas en una serie de sub-indicadores de competitividad y sustentabilidad, en particular, en lo tocante a la sustentabilidad se tienen en cuenta los siguientes sub-índices: uso del agua, calidad del aire, disponibilidad de áreas verdes, manejo de residuos sólidos urbanos y uso de energía. (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014).

En Argentina se ha aplicado el análisis espacial en estudios ambientales urbanos (Zulaica y Celemín, 2008; Zulaica y Ferraro, 2012; Zulaica, 2013) mediante la elaboración de un Índice de Calidad de Vida Socioambiental (ICVSA), en la ciudad de Mar del Plata. En este estudio se emplean los Radios Censales como unidad de referencia espacial, y el índice es una integración de indicadores tanto sociales como ambientales. El análisis de los mismos se agruparon en cinco dimensiones: educación, salud, condición habitacional, pobreza y ambiente, y se aplica la Autocorrelación como técnica de análisis espacial.

En Chile existen estudios ambientales de carácter urbano igualmente con enfoque espacial (Escobar, 2006), que contemplan índices ambientales —en este caso Índice de Calidad Ambiental, ICA— como una variable latente explicada por un conjunto de indicadores ambientales simples que lo determinan.

Shen y Guo (2014) aplicaron técnicas geomáticas y análisis de patrones espaciales de sustentabilidad ambiental urbana por medio de la generación de un índice a partir de una jerarquización de indicadores ambientales que pudiese ser empleado como herramienta de medición, utilizado su metodología en un estudio de caso para la ciudad canadiense de Saskatoon.

Okumus y Edelman (2015) realizaron un análisis de sustentabilidad urbana en la ciudad estadounidense de Cincinnati dividiendo el espacio de la ciudad en anillos y aplicando técnicas de análisis de Clúster buscando detectar los patrones espaciales intraurbanos del fenómeno.

El presente trabajo tiene por objeto el análisis espacial de la sustentabilidad ambiental urbana de la megalópolis del centro de México mediante la creación de un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de tres subíndices que contemplen las tres dimensiones de la sustentabilidad (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). Estos subíndices son producto a su vez de la elaboración de 35 indicadores, seleccionados en razón de su disponibilidad a nivel infraestatal y siguiendo las orientaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2011). El nivel de desagregación del estudio son los municipios y alcaldías⁵ de la megalópolis, ya que el objetivo principal del estudio es indagar en la existencia de desigualdades en niveles de sustentabilidad ambiental dentro de la misma, además de delimitar y definir las áreas más desfavorecidas al respecto.

Entre la tipología de espacios urbanos por su complejidad y magnitud destacan las megalópolis, se trata de ciudades con funciones globales que se han convertido en enormes regiones urbanas policéntricas (Martínez, 2015). El término fue empleado por primera vez en 1957 (Gottman, 1957), y aunque su definición viene determinada por múltiples factores (volumen demográfico, extensión o densidad, entre otros), en México se han especificado características adicionales, las cuales se ajustan al modelo de la megalópolis mexicana: un complejo urbano y policéntrico, resultado de un proceso histórico determinado por su contexto geográfico y articulado a partir de la concentración de distintas áreas urbanas, producto de una absorción geográfica de territorios. Así mismo, que cuenta con características simbólicas basadas en su arquitectura singular y cuya complejidad urbana constituye un referente de centralidad cultural (Rivas *et al*, 2006). Los índices resumen como el ISAU se configuran como instrumentos que, sumados al uso del análisis espacial cuantitativo facilitan el acceso a la complejidad del territorio y al manejo de un número creciente de datos estadísticos; son herramientas esenciales para la identificación de áreas de homogeneidad relativa, con similitud de factores positivos o adversos en sustentabilidad ambiental.

Los subíndices e ISAU, se crearon a través del Método de Componentes Principales (MCP) a partir de 35 indicadores cuantitativos especializados, con la finalidad de detectar diferencias territoriales y el grado de relación existente entre las unidades espaciales analizadas en especial, las zonas con menor sustentabilidad ambiental y que, por tanto, puedan requerir acciones correctivas más urgentes.

Se aportaron en este trabajo varios aspectos innovadores; en primer lugar el análisis espacial de la sustentabilidad ambiental urbana en una megalópolis, representando una primera perspectiva de las dinámicas espaciales internas del fenómeno de la sustentabilidad en este tipo de estructuras urbanas. Así mismo, a partir de fuentes de datos públicas y abiertas, se construyeron indicadores significativos a partir de los propuestos por el BID, lo cual permite afirmar la posibilidad de realizar estudios de áreas metropolitanas de México y dando la posibilidad de establecer estudios comparativos entre las mismas. Del mismo modo, se ha podido demostrar la existencia de diferencias internas significativas en niveles de sustentabilidad ambiental urbana en la Megalópolis del Centro de México y determinar claramente aquellos espacios más desfavorecidos y necesitados de intervención.

5 La alcaldía es el órgano político administrativo de cada demarcación territorial de la Ciudad de México, que han substituído a las antiguas delegaciones en 2018 (Gaceta Oficial de Ciudad de México de 4 de mayo de 2018).

2. Metodología

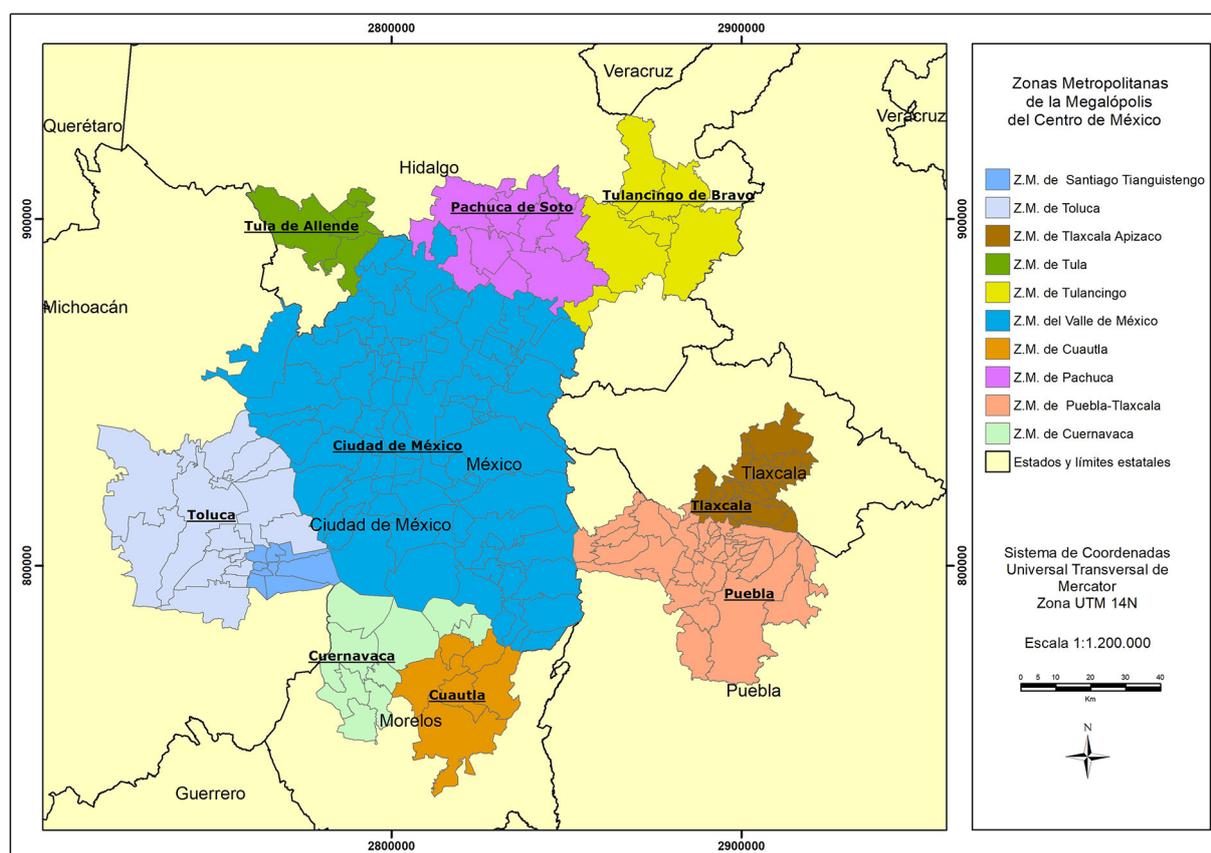
2.1. Delimitación y caracterización de la zona de estudio

La Megalópolis del Centro de México se definió legalmente por vez primera en 1996 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 1996) como un área que comprende los municipios correspondientes a las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México, así como la totalidad de los municipios que mantienen una relación funcional estrecha con la Ciudad de México y los que se ubican entre las zonas metropolitanas que integran la corona regional de ciudades y el Distrito Federal (en la actualidad, Ciudad de México), además de las alcaldías de la Ciudad de México (en el momento de definición de la Megalópolis, delegaciones del Distrito Federal).

La megalópolis de México inició su conformación en la década de los 80 del siglo pasado (Garza, 2010). La Megalópolis del Centro de México se delimitó y definió en el subsistema urbano del centro de México en torno a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, recibiendo también la denominación de Corona Regional del Centro de México, que engloba un total de 189 municipios.

Esta megalópolis es de tipo polinuclear por la existencia de varios centros y subcentros (Garza, 2010), los municipios centrales⁶ de cada una de las zonas metropolitanas y una serie de núcleos urbanos independientes (DOF, 1996) como son Tepotzotlán, Huehuetoca y Zumpango; Pirámides, Nopaltepec y Texcoco; y finalmente, Chalco y Amecameca.

Figura 1. Delimitación de Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a) y de Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2012a). Elaboración propia

⁶ Los municipios centrales son aquellos donde se localiza la ciudad principal que da origen a la zona metropolitana y que pueden hallarse conurbados con uno o más municipios vecinos, o integrada física o funcionalmente. Los municipios exteriores son contiguos a los anteriores pero no conurbados a pesar de que manifiesten un carácter predominantemente urbano (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL], Consejo Nacional de Población [CONAPO] e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2012).

En la Figura 1 se observan los límites y municipios de las siguientes zonas metropolitanas constitutivas de la megalópolis: Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistenco; Puebla-Tlaxcala; Cuernavaca; Cuautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo (DOF, 1996). Su extensión y volumen demográfico exponen gran heterogeneidad (Tabla 1). Globalmente la población ascendió a 27.777.019 habitantes en el último Censo de Población y Vivienda (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2011a) y ocupando una superficie de 18.841 kilómetros cuadrados. Esta megalópolis se ajusta al concepto de ciudad-región, ello implica la no continuidad física entre las distintas zonas metropolitanas que las conforman. Del mismo modo, al incorporar municipios periféricos situados entre diferentes zonas metropolitanas se evidencia la existencia de municipios no conurbados o con un carácter urbano menos consolidado (Connolly y Cruz, 2004).

Este espacio megalopolitano mantiene un peso desproporcionado sobre la dinámica económica a nivel nacional. Según datos del Censo Económico de 2009, nueve alcaldías de la Ciudad de México aportan por sí mismas el 17,7% del PIB nacional, seguido del Estado de México, con un 9,2%. Al considerar el total aportado por las seis entidades que la componen supone un 33,3 % del PIB nacional.

Tabla 1. Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México. Superficie y población

Zona Metropolitana	Total de Municipios	Superficie (km ²)	Porcentaje de Superficie sobre total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre total
Cuautla	6	978,84	5,2	434.147	1,56
Cuernavaca	9	1118,36	5,92	893.508	3,22
Pachuca	9	1403,29	7,45	205.812	1,93
Puebla-Tlaxcala	37	2052,72	10,87	2.633.275	9,48
Santiago Tianguistenco	6	303,16	1,61	157.944	0,57
Tlaxcala-Apizaco	19	707,63	3,76	499.567	1,79
Toluca	16	2410,05	12,79	2.014.091	7,25
Tula	5	590,92	3,13	537.078	0,74
Tulancingo	6	1416,85	7,52	284.755	1,02
Valle de México	76	7859,91	41,72	20.116.842	72,42
Total Megalópolis	189	18.841,73	100	27.777.019	100

Fuente: Marco Geoestadístico Municipal (AGEM) (INEGI, 2010a) y Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a).
Elaboración propia

Históricamente la Megalópolis del Centro de México se ha configurado como eje estructurador del territorio y la actividad económica nacional. El nivel de participación en el Producto Interior Bruto Nacional (PIB) supone un 33,3% (INEGI, 2009), además de la concentración de un tercio de la población del país, lo cual alude a un patrón altamente centralizado y concentrado.

Esta megalópolis se presenta como uno de los sistemas territoriales más complejos a nivel mundial: la Zona Metropolitana del Valle de México, a cuyo alrededor crecen bajo el mismo patrón de ocupación dispersa del territorio, y concentración económica y demográfica, otras zonas metropolitanas de importancia como Toluca, Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala-Apizaco, Cuernavaca, Cuautla, Tula, Tulancingo, Pachuca y Tianguistenco.

El conjunto de estas ciudades, a través de interacciones funcionales determinan condiciones de uso no racional de los recursos naturales y energéticos, imponen costos económicos y sociales a los sectores productivos y a la población, y determinan vacíos para la gobernabilidad de espacios y situaciones que no corresponden a los niveles de gobierno actualmente existentes.

2.2. Procesamiento de datos

Los indicadores que se emplean en este trabajo contemplan una serie de temáticas de sustentabilidad (Tablas 2, 3 y 4) agrupadas en las tres dimensiones de las que se compone (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). En base a estas tres dimensiones se agruparon los indicadores en subíndices

con los que calcular el ISAU. No obstante es preciso reconocer que existe una importante limitante en la disponibilidad real de datos, sobre todo al tener que tratarse en un nivel de desagregación a escala municipal. A través de bases de datos de instituciones públicas mexicanas diversas como el INEGI, la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL, el Sistema Nacional de Información del Agua, SINA y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA, se han recopilado datos adecuados para elaborar 35 indicadores. De la Dimensión I ambiental 15 indicadores; de la Dimensión II socioeconómica 17 indicadores; en tanto que de la Dimensión III financiero-gubernativa, tres (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2. Indicadores de la Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental

Temáticas de sustentabilidad ambiental y cambio climático	Indicador	Unidades	Fuente
I. Agua	1. Cobertura de Agua	Porcentaje de Viviendas con agua potable	INEGI, 2011a
	2. Disponibilidad de recursos hídricos	Volumen concesionado de agua (metros cúbicos) por habitante	CONAGUA, 2012
	3. Concentración de contaminantes en las aguas superficiales	Nivel de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	CONAGUA, 2012
	4. Cobertura de Alcantarillado	Porcentaje de Viviendas con sistema de drenaje	INEGI, 2011a
II. Saneamiento y Alcantarillado	5. Tratamiento de aguas residuales	Existencia de Instalación de Tratamiento de aguas residuales en el término municipal	CONAGUA, 2012
	5. Efectividad del alcantarillado	Capacidad de tratamiento de aguas residuales (metros cúbicos) respecto al volumen concesionado	CONAGUA, 2012
III. Gestión de residuos sólidos	6. Cobertura de recolección de residuos sólidos	Existencia de Servicio de recolección de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2011a
	7. Eliminación final adecuada de residuos sólidos	Existencia de Servicio de Tratamiento de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2011a
IV. Energía	8. Cobertura energética	Porcentaje de Viviendas con suministro de energía eléctrica	INEGI, 2011a
V. Calidad del Aire	9. Control de la calidad del aire	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	10. Concentración de contaminantes en el aire	Porcentaje de días anuales con niveles de contaminantes superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
VI. Mitigación del cambio climático	11. Sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	12. Emisiones de gases de efecto invernadero totales	Porcentaje de días anuales con niveles de emisiones superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
	13. Planes y objetivos de mitigación	Existencia de Planes y objetivos de mitigación	INE, 2012
VII. Vulnerabilidad ante desastres naturales	14. Sensibilidad ante desastres naturales	Riesgo de Inundación a nivel municipal	CENAPRED, 2010

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010); Atlas Digital del Agua. México 2012 (CONAGUA, 2012); El medio ambiente en México, 2013-2014 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT, 2014]; Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (SINAICA, 2010); Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012). Elaboración propia

Tabla 3. Indicadores de la Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral

Temáticas de Sustentabilidad de desarrollo urbano integral	Indicador	Unidades	Fuente
I. Uso del Suelo/ Ordenamiento del territorio	1. Densidad	Habitantes por kilómetro cuadrado	INEGI, 2011a
	2. Vivienda	Número de personas por vivienda particular habitada (Hacinamiento)	INEGI, 2011a
	3. Áreas verdes y de recreación	Superficie de áreas verdes por habitante (metros cuadrados/habitante)	INEGI, 2011b
II. Desigualdad urbana	4. Pobreza	Porcentaje de población en situación de pobreza	CONEVAL, 2011
	5. Segregación socioespacial	Índice de segregación	Elaboración propia
	6. Desigualdad de ingresos	Coefficiente de GINI	CONEVAL, 2011
III. Movilidad/Transporte	7. Seguridad vial	Víctimas de accidentes de tráfico por 100.000 habitantes	INEGI, 2011a
IV. Competitividad de la economía	8. Producto bruto	Valor Agregado Bruto Censal/habitante	INEGI, 2011a
V. Empleo	9. Desempleo	Porcentaje de Desocupada sobre la PEA	INEGI, 2011a
	10. Empleo informal	Porcentaje de Población Subempleada sobre la PEA	INEGI, 2011a
VI. Conectividad	11. Internet	Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de internet	INEGI, 2011a
	12. Telefonía	Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de telefonía	INEGI, 2011a
VII. Educación	13. Calidad Educativa	Promedio académico por centros a nivel municipal	INEE, 2015
	14. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI, 2011a
	15. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación post-básica	INEGI, 2011a
VIII. Seguridad	16. Violencia	Número de delitos por cada 100.000 habitantes	INEGI, 2011a
IX. Salud	17. Provisión de servicios de salud	Porcentaje de Población Derechohabiente	INEGI, 2011a

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009 (INEGI, 2011b); Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2011); Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015). Elaboración propia

Esta selección de variables, inspirada por las propuestas del BID, establece que las urbes iberoamericanas padecen de un crecimiento acelerado que implica una serie de desafíos para su sustentabilidad futura:

a) Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Abarca la gestión del medio ambiente y consumo de recursos naturales (calidad y contaminación de las aguas, consumo de agua, eficiencia de uso, tratamiento de aguas residuales, gestión de residuos sólidos, eficiencia energética) así como mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) y otras formas de contaminación (control de calidad y contaminación del aire, emisiones de gases efecto invernadero).

b) Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral.

Incluye el control del crecimiento y mejora del hábitat humano (densidad constructiva y demográfica, calidad de vivienda, disponibilidad de áreas verdes y de recreo, así como desigualdad urbana —segregación, marginación, inequidad de ingreso—); la Promoción del transporte urbano sustentable

(seguridad vial); la Promoción del desarrollo económico local competitivo y sustentable (PIB, desempleo, empleo informal, además cuestiones de conectividad —acceso a internet y telefonía—) y la provisión de servicios sociales de alto nivel y promoción de la cohesión social (aspectos de educación y seguridad).

c) Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Dimensión de sustentabilidad fiscal y gobernabilidad, existen datos a nivel municipal de únicamente dos aspectos, impuestos y deuda pública.

Tabla 4. Indicadores de la Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia	Indicador	Unidades	Fuente
I. Impuestos y autonomía	1. Ingresos e impuestos municipales	Indicador calculado mediante el índice de Autonomía Financiera	INEGI, 2010b, 2011a y Barcelata Chávez, 2015
II. Gestión del gasto	2. Calidad del gasto público	Indicador calculado mediante el índice de gasto público municipal	INEGI, 2010a y Barcelata Chávez, 2015
III. Deuda	3. Sustentabilidad de la deuda municipal	Servicio de la Deuda respecto al Balance Primario	INEGI 2010b, 2011b y ASF 2012

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Estadística de finanzas públicas estatales y municipales de 2010 (INEGI, 2010b); Auditoría Superior de la Federación (ASF, 2012); Barcelata Chávez (2015). Elaboración propia

Las fuentes identificadas son de carácter público en su totalidad. En el caso de la Dimensión I, los datos proceden del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Calidad del aire, contaminación atmosférica y emisión de gases de efecto invernadero); de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) para la calidad y contaminación de las aguas, consumo municipal, eficiencia de uso, tratamiento de aguas residuales, cobertura de drenaje, calidad del servicio, así como cartografía base de agua (Subgerencia de Información Geográfica del Agua, dependiente de CONAGUA).

El periodo de análisis comprende 2010 a 2015 debido a la disponibilidad de datos con los que elaborar los indicadores. En su mayoría de los indicadores (23) fueron construidos total o parcialmente (dos de la dimensión III, Tabla 4) a partir de datos del Marco Geoestadístico Básico, de la Estadística de Finanzas Públicas estatales y municipales, del Censo de Población y Vivienda de 2010, Cartografía Geoestadística Urbana y del Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010; INEGI 2010a; INEGI 2010 b; INEGI, 2011a e INEGI, 2011b), todos ellos construidos con datos de 2010.

No obstante, para la elaboración completa de 10 indicadores y parcial de otros dos (Tabla 4) se recurrió a datos comprendidos al periodo 2010-2015, como en el caso de 4 indicadores de temáticas de agua y saneamiento de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, que se crearon con datos del Atlas Digital del Agua de México de 2012 (CONAGUA, 2012) o cuatro de los indicadores de calidad del aire y mitigación del cambio climático, producto del registro de la emisión de los gases de efecto invernadero entre 2010 y 2015 en un total de 75 estaciones repartidas a lo largo de la zona de estudio. Los indicadores *Planes y objetivos de mitigación* (Dimensión I, Tabla 2) y *Calidad Educativa* (Dimensión II, Tabla 3) del Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012) y del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015) respectivamente, solo pudieron calcularse con datos de 2012 y 2015. Del año 2015 proceden insumos parciales con los que calcular los indicadores *Ingresos e Impuestos Municipales* y *Calidad del Gasto público* (Tabla 4).

2.3. Elaboración de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana

Se construyó el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de 35 indicadores agrupados en tres dimensiones, cada una de estas correspondiendo a respectivos subíndices: el Subíndice de la Dimensión I se compone a su vez de dos subíndices, uno con 8 indicadores numéricos y el otro con 7 indicadores de tipo nominal. Con los tres subíndices se calculó a su vez el ISAU. Tanto los Subíndices como el ISAU se elaboraron con la técnica del Análisis de Componentes Principales (ACP).

El ACP se trata de una técnica matemática que permite explorar la estructura subyacente de los datos y re-expresar los datos originales en pocas dimensiones que captan la mayor varianza posible de una com-

binación lineal de las variables originales. En este sentido, el Método de Componentes Principales permite estudiar las relaciones que existen entre las variables cuantitativas, sin considerar a priori, ninguna estructura, ni de variables, ni de individuos (Olivares, 2014). El ACP reduce la dimensión original, permitiendo una visión más sencilla del fenómeno, en su aplicación genera un nuevo conjunto de variables con las que se puede recuperar tanto la multidimensionalidad conceptual del fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana, como contar con un índice (primera componente) resumen del fenómeno, es decir, el ISAU, para cada uno de los municipios y alcaldías de la zona de estudio (CONAPO, 2012b).

Se decidió no otorgar una ponderación diferenciada a los 35 indicadores, a fin de evitar la arbitrariedad que en cierto modo existe en el otorgamiento de pesos diferentes con ciertas metodologías.

El cálculo de los componentes principales depende de las unidades de medida empleadas en las variables. Es por tanto importante, antes de aplicar el ACP, estandarizar las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1, ya que, de lo contrario, las variables con mayor varianza dominarían al resto. Seguidamente los indicadores fueron agrupados según su Dimensión para el cálculo inicial de Subíndices, con la siguiente disposición:

- Subíndice Dimensión I

Este subíndice es el único que cuenta con dos tipos de indicadores, 8 de tipo numérico y 7 de tipo binario (Ausencia=0 y Presencia=1). Con los indicadores de tipo numérico se llevó a cabo su estandarización y ACP. En cambio con los siete indicadores de ausencia/presencia, se calculó su subíndice de forma diferente, en el software IBM SPSS 24 con la siguiente fórmula:

Subíndice Dimensión Ib= [(Tratamiento de aguas residuales + Cobertura de recolección de residuos sólidos + Eliminación final adecuada de residuos sólidos + Control de la calidad del aire + Sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero + Planes y objetivos de mitigación + Sensibilidad ante desastres naturales)/7]*100

Seguidamente se procedió a re-escalar el primer subíndice (obtenido de los indicadores numéricos) en un rango de 0 a 100 y mediante el ACP se obtuvo el Subíndice de la Dimensión I. A su vez este último fue igualmente re-escalado.

- Subíndice Dimensión II

Esta dimensión (Desarrollo Urbano Integral) consta de 17 indicadores, los cuales fueron estandarizados y se aplicó el ACP. Una vez aplicado el ACP fue re-escalado de 0 a 100.

- Subíndice Dimensión III

Esta dimensión (Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia) consta de 3 indicadores, al igual que en los subíndices anteriores fueron estandarizados y se aplicó el MCP. Una vez aplicado el MCP será re-escalado de 0 a 100.

La validación de los subíndices y del ISAU se comprobó con la obtención de una Varianza Total Explicada superior a 50 en el segundo componente en todos ellos.

La validación del ISAU y de los tres subíndices se comprobó con la obtención de una Varianza Total Explicada superior a 50 en el segundo componente (Hinojosa, Garrocho, Campos y Campero, 2015) en todos ellos: Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental-50,18%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral-55,67%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia-71,45%. La Varianza Total Explicada obtenida en el segundo componente en el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) fue de 89,04%.

Finalmente el ISAU fue re-escalado en un rango de 0 a 100, estableciéndose seis niveles de sustentabilidad según el puntaje obtenido para cada unidad espacial en el índice: Muy Baja (ISAU= 0-16,667); Baja (16,668-33,333); Media-Baja (33,334-50); Media-Alta (50,001-66,667); Alta (66,668-83,333) y Muy Alta (83,334-100). Se estratificó por criterio de intervalos equivalentes, consistente en dividir el rango de valores de atributo en sub-rangos de igual tamaño.

2.4. Técnicas de análisis espacial

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es un conjunto de técnicas estadísticas creadas para detectar patrones y tendencias en los datos, y poder así formular hipótesis sobre los mismos (Her-

nández, 2015). Estas técnicas describen y visualizan distribuciones espaciales, como el agrupamiento y dispersión de fenómenos en el territorio.

El AEDE ofrece grandes posibilidades en el análisis de fenómenos con dimensión espacial sobre todo en ausencia de un marco formal o teoría previa acerca del fenómeno analizado, ello ocurre con frecuencia en ciencias sociales, cuando se analizan grandes bases de datos geográficos cuya distribución no se conoce a priori, como es el caso del patrón espacial de la sustentabilidad ambiental urbana en un espacio tan complejo como el de una megalópolis (Chasco, 2006). El AEDE crea una interfaz que facilita el estudio de la información geográfica, permitiendo descubrir patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes, así como resultados interpretables que permiten al investigador evitar conclusiones superficiales y erróneas sobre el fenómeno (Celemín, 2009).

A través del análisis espacial se indaga en el descubrimiento de la estructura ambiental urbana por medio de un análisis de autocorrelación espacial denominado Índice Global de Moran, que permite detectar zonas de configuraciones ambientales diferenciadas y un acercamiento al grado de inequidad al considerar la asociación existente entre las unidades espaciales en relación al ISAU. Es decir, el análisis del Índice Global de Moran permite descubrir si se cumple la hipótesis de que cierta variable (ISAU) tiene una distribución aleatoria o si, por el contrario, existe asociación significativa de valores similares o no similares entre zonas vecinas (Gómez, Prieto, Mellado y Moreno, 2015).

Por medio del Índice Global de Moran y del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se puede estimar el grado de concentración espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, identificar clústeres de elevada y baja sustentabilidad ambiental dentro de la megalópolis, y analizar la heterogeneidad u homogeneidad según el ISAU en la Megalópolis del Centro de México. En este trabajo se empleó el Sistema de Información Geográfica ArcMap 10.2 y la herramienta de software gratuita GeoDa.

Mediante el análisis de datos, se pretende registrar la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales vecinas, existiendo alguna de las siguientes posibilidades (Zulaica y Celemín, 2009):

- Autocorrelación espacial positiva: las unidades espaciales contiguas muestran valores similares. Indica una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales.
- Autocorrelación espacial negativa: las unidades espaciales vecinas presentan valores muy dispares. Indica una tendencia a la dispersión de las unidades espaciales.
- Sin Autocorrelación: no se presenta ninguno de los casos anteriores. Los valores de las unidades espaciales vecinas tienen valores producidos aleatoriamente.

El Índice Global de Moran es una medida geográfica-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice oscila entre -1 y 1; los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean altos o bajos. Los tendientes a -1 indicarían autocorrelación negativa y los tendientes a 1 nos indicarían el máximo de autocorrelación positiva. Los valores próximos a 0 indican la ausencia de correlación espacial entre los valores de análisis, es decir, la no existencia de un patrón definido. Se considera significativo cuando es mayor a 0,5 (Celemín, 2009).

El índice Global de Moran se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)}$$

Donde:

y_i = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial analizada «i».

y_j = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial vecina «j».

w_{ij} = Proximidad entre las unidades espaciales «i» y «j» (llamada también «matriz de pesos espaciales»).

n = Número de unidades espaciales

De la relación entre la variable y su rezago espacial es posible construir el diagrama de dispersión de Moran (Figura 2) que clasifica los valores en cuatro cuadrantes: en el cuadrante I o AA se concentran las

observaciones altas de la variable rodeadas de vecinos con similar característica, lo mismo para el III o BB, pero en este caso las observaciones corresponden a bajos valores de la variable. Por otro lado, en el cuadrante II o BA, se ubican los valores bajos de la variable en vecindario con características opuestas, y en el cuadrante IV o AB, se presenta el caso opuesto al cuadrante II; en este caso son altos valores de la variable rodeados de vecinos con bajos valores. En el diagrama de dispersión de Moran se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial de dicha variable estandarizada, representándose ambos valores en un eje cartesiano. El retardo espacial puede definirse como una media aritmética simple de los valores de la variable en cuestión de las unidades espaciales limítrofes

La pendiente de la recta de regresión es el valor del estadístico Índice de Moran de autocorrelación espacial global, de forma que cuanto mayor sea el ángulo que forma esta con el eje de abscisas, más fuerte será el grado de autocorrelación espacial y viceversa (Sánchez Gamboa y Taddei Bringas, 2014).

Figura 2. Diagrama de dispersión de Moran

WZ	II (BA)	I (AA)
	III (BB)	IV (AB)
	Zt	

Elaboración propia

El Índice Global de Moran se calculó partir de los resultados del Índice ISAU por medio del programa GeoDa. Se tuvo en cuenta que los *p-valores* fuesen inferiores a 0.05 y que de este modo los resultados fuesen significativos. La significancia en Geoda se calculó por el método de permutación (Lavado, 2015).

Así mismo, una asociación significativa puede no darse en toda la ciudad, sino solo en algunas zonas. Es por ello que tiene gran importancia recurrir a indicadores locales de asociación espacial, el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (en inglés LISA: Local Indicators of Spatial Association), que permiten tener una visión espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, a diferencia del análisis del Índice Global de Moran por medio de lectura de gráfica sin una plasmación espacial (Martori y Hoberg, 2008).

Además de ello LISA tiene como objetivo que el estadístico obtenido para cada zona suministre información sobre la relevancia de valores similares alrededor de la misma (Anselin, 1995). Mediante su empleo se puede observar a simple vista la hipotética existencia de clústeres de determinadas características.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran permite clasificar las unidades espaciales (municipios/alcaldías) de acuerdo con la relación de su Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran respecto a los valores registrados en las unidades espaciales vecinas en cinco categorías:

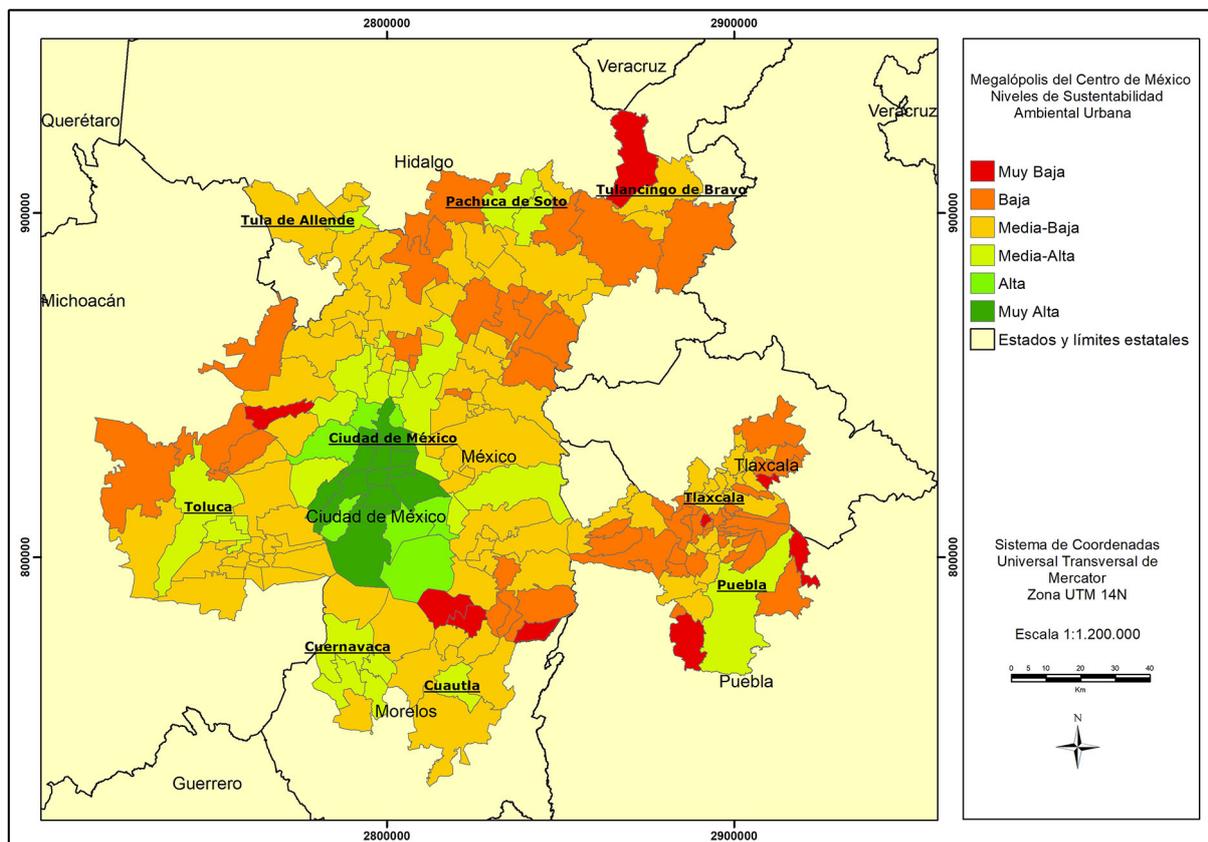
1. Bajo-Bajo Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores bajos del atributo en estudio (en nuestro estudio, Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) que tengan como vecinas unidades espaciales que presenten igualmente valores bajos (serían zonas con segregación significativa de bajos niveles de Índice Sustentabilidad Ambiental Urbana).
2. Alto-Alto En esta categoría están unidades espaciales con valores altos de los atributos (Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) bajo nuestro análisis, rodeadas de unidades espaciales que registren igualmente valores altos.
3. Bajo-Alto Se incluye en esta categoría a unidades espaciales con valores bajos del atributo en cuestión, rodeadas de unidades espaciales que registren en contraposición valores altos.
4. Alto-Bajo Son unidades espaciales con valores altos del atributo estudiado, rodeadas de unidades espaciales que registran valores bajos.
5. Estadísticamente No Significativo Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores estadísticamente no significativos y cuyos valores de segregación no se pueden determinar de manera confiable en términos estadísticos.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se calculó en el programa ArcMap 10.2 con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.

3. Resultados

La Megalópolis del centro de México presenta unos niveles de sustentabilidad ambiental urbana muy desiguales en su interior (Figura 3), lo cual es comprensible dada su estructura polinuclear y su gran extensión territorial y volumen demográfico.

Figura 3. Niveles del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis del Centro de México



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a). Elaboración propia

En 2010 la Megalópolis contaba con 27.777.019 habitantes, de los cuales 7.278.796 habitaban en municipios y alcaldías con niveles de sustentabilidad por debajo de 50, es decir, un 26,2% del total (Tabla 5). Así mismo, aquellas unidades con niveles de Muy Baja y Baja sustentabilidad sumaban un 5,48% del total demográfico, la nada despreciable cifra de 1.520.957 habitantes sobre prácticamente un 30% de la superficie total de la zona de estudio.

Tabla 5. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana por municipios y alcaldías

Nivel de Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana	Número de Municipios	Superficie total (kilómetros cuadrados)	Porcentaje de superficie sobre el total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre el total
Muy Alto	12	932,24	4,95	7.706.140	27,74
Alto	6	799,28	4,24	2.642.914	9,52
Medio-Alto	24	3163,18	16,79	10.149.139	36,54
Medio-Bajo	85	8330,53	44,21	5.757.839	20,73
Bajo	53	4869,14	25,84	1.413.136	5,09
Muy Bajo	9	747,37	3,97	107.821	0,39
Total Megalópolis	189	18841,74	100	27.776.989	100

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a). Elaboración propia

En contraposición, las unidades espaciales con Muy Alta y Alta sustentabilidad eran escasas en número (18 de un total de 189) pero su peso demográfico era muy importante, 10.349.054 habitantes, es decir, el 39,27% de la población de la megalópolis.

El desequilibrio de peso numérico y demográfico entre municipios con Muy Alta-Alta y Muy Baja-Baja sustentabilidad (Figura 3) es evidente y viene determinado por el desigual tamaño demográfico de los mismos.

Las unidades espaciales (municipios y alcaldías) con niveles de Muy Alta y Alta Sustentabilidad se concentran en su totalidad en la Ciudad de México y sus inmediaciones (alcaldías de Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtemoc, Venustiano Carranza, Iztacalco, Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Tlalpan con Muy Alta sustentabilidad). Existe una notable diferencia entre la Ciudad de México y los núcleos de las zona metropolitanas de su corona en niveles de sustentabilidad, ya que estos son inferiores, con Media-Alta sustentabilidad, como ocurre en Puebla (ISAU de 59,85), Toluca-Metepec-Chapultepec (ISAU de 62,8 en el primer caso y 65,71 y 50,98 respectivamente), Pachuca-Mineral de la Reforma (ISAU de 60,85 y 60,77), Cuernavaca-Temixco-Emiliano Zapata-Jiutepec (ISAU de 63,7, 51,49, 55,23 y 64,89 respectivamente) y Cuatla (ISAU de 52,12). Por otro lado, el caso de Tula de Allende, el municipio con sustentabilidad más elevada es el contiguo de Atitalaquia, con un ISAU de 53,65.

En cambio los municipios con Muy Baja y Baja sustentabilidad son aquellos periféricos de los núcleos metropolitanos de la corona de la Ciudad de México e intermedios entre los mismos, generalmente no conurbados, como se puede observar en la Figura 3 por los límites de las Ageb, así se comprueba al norte de Toluca con tres municipios con Baja sustentabilidad y un promedio de ISAU de 24,53 (Almoloya de Juárez, Temoaya y Otzolotepec), siete al nordeste (ISAU de 28,1) y siete al sudeste (ISAU de 16,9) de la Ciudad de México (entre otros, Texcoco, Temascalapa, Axapusco, Otumba, Tezoyuca al nordeste y Ayapango, Ozumba y Tepetlixpa al sudeste), oeste y este de Pachuca de Soto (San Agustín Tlaxcala y Epazoyucan con un ISAU promedio de 31,6).

Excepciones significativas a este patrón, son los casos de los municipios centrales de Tulancingo de Bravo al nordeste de la megalópolis (Acatlán, Cuauhtemoc de Hinojosa y Singuilucan) y un gran número de pequeños municipios situados en el este de la megalópolis, que forman un corredor conurbado entre Tlaxcala y Puebla como pueden ser Santa Isabel Xiloxotla, Santra Cruz Quilehltla, Santa Catarina Ayometla, San Lorenzo Axocomanitla, San Juan Huactzinco, San Jerónimo Zacualpan, La Magdalena Tlatelulco, Tetlatlahuca, Tepeyanco, Acuamanala de Miguel Hidalgo y Coronango con Muy Baja y Baja sustentabilidad en todos ellos y en las periferias conurbadas al norte, este y sur de los dos grandes núcleos de Tlaxcala y Puebla igualmente: Tetla de la Solidaridad, Xaloztoc, Tzompantepec, Huejotzingo, Teolocholco, Amozoc, Ocoyucan, entre otros.

El patrón general de la sustentabilidad ambiental urbana en la megalópolis del centro de México es de decrecimiento de los centros metropolitanos hacia las periferias no conurbadas, con algunas excepciones como en la zona metropolitana de Tula y en las de Puebla-Tlaxcala-Apizaco.

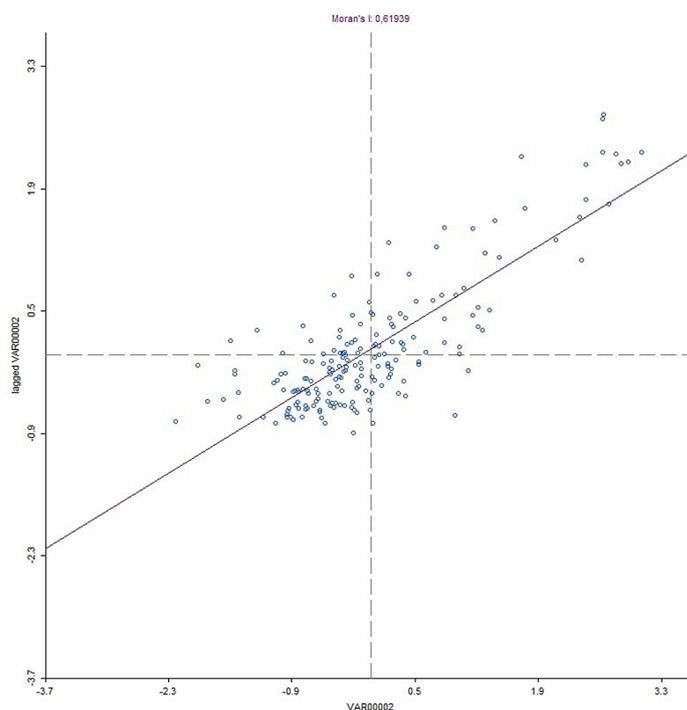
Una vez determinado el patrón espacial de la sustentabilidad ambiental urbana y la presencia de una importante heterogeneidad interna en niveles de la misma y una primera aproximación de áreas favorecidas y más desfavorecidas, es de interés comprobar si en la megalópolis existe asociación espacial estadísticamente significativa de la sustentabilidad.

Un primera aproximación al respecto la aporta el cálculo del Índice de Autocorrelación Global de Moran, que arrojó un valor de 0,619 (Figura 4), lo cual confirma la existencia de asociación espacial positiva significativa, es decir, la presencia en la zona de estudio de uno o varios conglomerados espaciales de unidades territoriales (municipios y alcaldías) con valores de sustentabilidad similares, ya sean altos o bajos. Un valor del índice como el obtenido y superior a 0,6 nos indica por una parte, que los niveles de sustentabilidad tienen una distribución en la megalópolis con un patrón no aleatorio (ello ocurría con valores próximos a cero) y que los niveles de sustentabilidad de cada unidad espacial están relacionados con los niveles de sustentabilidad de las unidades (municipios y alcaldías) vecinos.

En el diagrama de Moran (Figura 4) se puede apreciar como la pendiente de la recta de regresión tiene un notable ángulo en relación al eje de abscisas, lo cual es evidencia junto al valor del índice, de lo significativo de la autocorrelación existente. En el I y III cuadrantes aparecen los municipios y alcaldías con Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana superior e inferior a la media respectivamente y que están rodeadas

de unidades espaciales con de índices de sustentabilidad superiores e inferiores a la media de la megalópolis. Se corresponderían con clústeres de tipo Alto-Alto (Cuadrante I) y tipo Bajo-Bajo (Cuadrante III).

Figura 4. Diagrama de Dispersión de Moran. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana



Elaboración propia

La megalópolis muestra una asociación espacial positiva y significativa en niveles de sustentabilidad ambiental urbana, para un análisis más profundo se dispone de la cartografía producto del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (Figura 5).

En la Tabla 6 se puede ver los cinco clústeres fundamentales existentes en la Megalópolis. En primer lugar destacar los dos clústeres de tipo Alto-Alto, uno preeminente de superficie, número de municipios y alcaldías y peso demográfico, que se extiende en torno a la Ciudad de México y de Toluca y en segundo lugar el conformado en torno a Cuernavaca y su vecino municipio conurbado de Jiutepec. En el primer caso el clúster incluye las 16 alcaldías de la Ciudad de México y una serie de municipios conurbados de su periferia, ya administrativamente pertenecientes al estado de México: Valle de Chalco, Ixtapaluca, Nezahualcoyotl (municipio de gran volumen de población: 1.110.565 habitantes) al este; Ecatepec (igualmente muy poblado: 1.656.107 habtantes), Tlanepantla, Tecámac, Coacalco de Berriozábal, Tultitlán, Cuatitlán, Cuatitlán Izcalli al norte y Atizapán de Zaragoza, Naucalpan de Juárez, Huixquilucan y Cuajimalpa de Morelos al oeste. Al oeste de la Ciudad de México, en torno a Toluca (capital del estado de México: 819.561 habitantes) en dirección este, los municipios de Metepec, San Mateo Atenco y Chapultepec).

Tabla 6. Caracterización de los Clústeres de la Megalópolis del Centro de México

Tipo de Clúster	Situación	Número de municipios	Población Total (2010)
Alto-Alto	Ciudad de México-Toluca	34	17.742.094
Alto-Alto	Cuernavaca	2	562.121
Alto-Bajo	Pachuca	2	395.266
Bajo-Alto	Periferia Ciudad de México	15	485.418
Bajo-Bajo	Clústeres en la periferia de Puebla y Tlaxcala	39	738.085

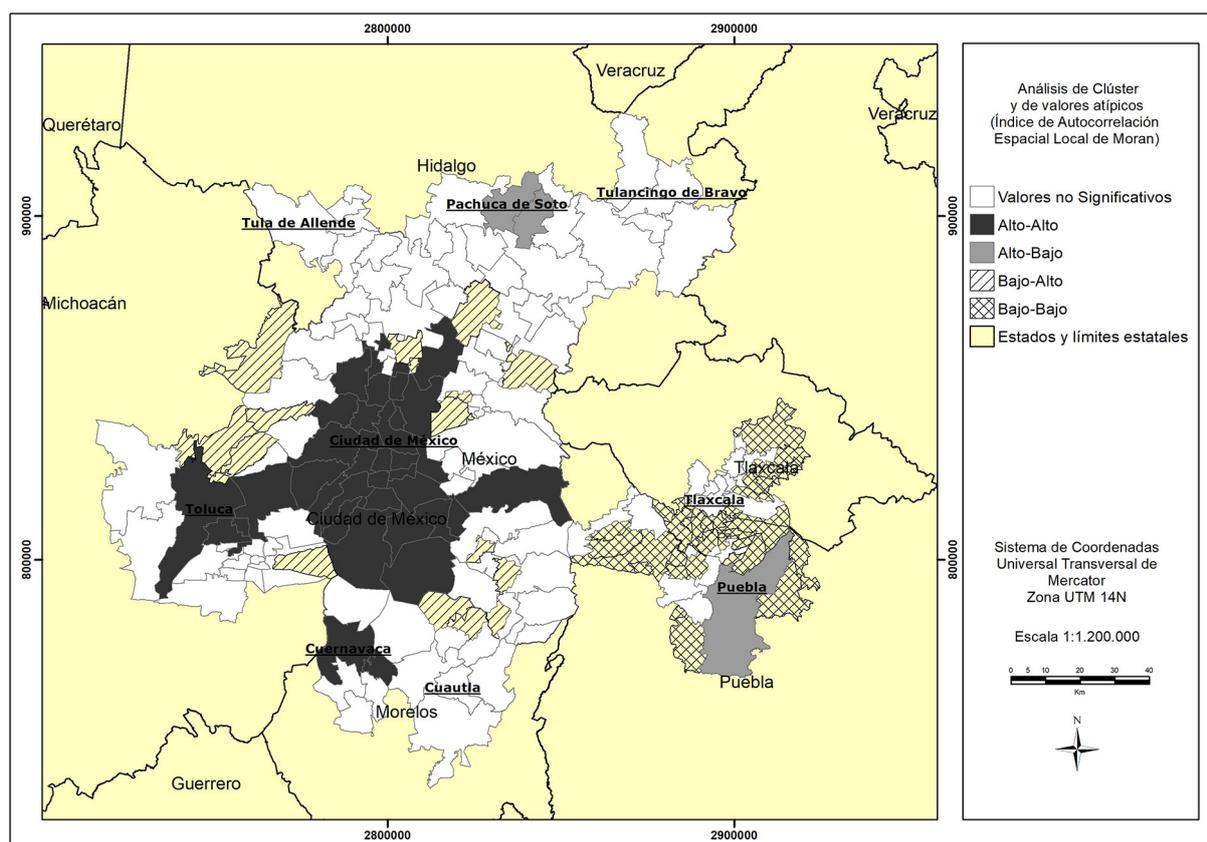
Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a). Elaboración propia

Existen igualmente dos clústeres de tipo Alto-Bajo, uno al este de la megápolis, conformado por el municipio de Puebla (capital estatal y cuarta ciudad mexicana más poblada con 1.434.052 habitantes) y otro al norte de la megápolis, de Pachuca (capital estatal) y su vecino municipio conurbado de Mineral de la Reforma. Se trata pues, de grandes núcleos urbanos rodeados de espacios suburbanos, sobre todo en el caso de Puebla, con niveles de sustentabilidad Bajos y Muy Bajos.

Los clústeres de tipo Bajo-Alto se localizan fundamentalmente en torno al gran clúster de tipo Bajo-Bajo de Ciudad de México-Toluca, sobre todo al nordeste (Temascalapa, Nextlalpan, Otumba y Atenco), sudeste (Temamatla, Ayapango, Tepetlixpa, Totolapan y Tlanepantla) y al noroeste: Villa del Carbón, Isidro Fabela, Temoaya y Oztolotepec (estos dos últimos al norte de Toluca y con la particularidad prácticamente excepcional de que los dos primeros son municipios con población no urbana superior ligeramente al 50%).

Los clústeres de tipo Bajo-Bajo se encuentran, en tres grupos próximos entre sí, situados en torno a los centros metropolitanos de Puebla y Tlaxcala, en particular el conglomerado de pequeños municipios conurbados (un total de 28 municipios conforman este clúster con casi 460.000 habitantes, cuyos centros más importantes son Huehotzingo y San Pablo del Monte, ambos con casi 70.000 habitantes) situados entre ambas y que conforman un verdadero corredor urbanizado (Figuras 3 y 5), igualmente al nordeste de Tlaxcala (Tetla de la Solidaridad, Xaloztoc, Tocatlán, Tzompantepec, Coaxomulco, Santa Cruz Tlaxcala y Contla de Juan Cuamatzli) y al este (Tepatlatxco de Hidalgo y Amozoc) y sur de Puebla (Ocoyucan y San Gregorio Atzompa) aparecen más unidades como clústeres de tipo Bajo-Bajo.

Figura 5. Mapa de clústeres del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a). Elaboración propia

Gracias al análisis de clúster, se pudo obtener una delimitación nítida en la Megápolis de México según sus niveles de sustentabilidad ambiental urbana (Figura 5), los agrupamientos de alcaldías y municipios con valores altos se sitúan en torno a los centros metropolitanos de Ciudad de México, Toluca, Tianguistengo y Cuernavaca (clústeres de tipo Alto-Alto), así como de Pachuca y Puebla, en estos casos, con la particularidad de contigüidad con municipios con valores bajos de sustentabilidad, y que en el

caso de Puebla y Tlaxcala se añade la presencia de clústeres de tipo Bajo-Bajo. Se confirma de este modo la presencia de agrupamientos de unidades espaciales con valores altos y bajos de sustentabilidad, y por lo tanto, la existencia de desequilibrios internos en la Megalópolis de México.

Del análisis de los resultados, de la distribución espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, de la lectura de índice de Moran y su diagrama y del Índice de Autocorrelación Global de Moran y su cartografía se extraen las siguientes consideraciones:

Existe en la megalópolis una significativa heterogeneidad interna entre sus municipios y alcaldías según sus niveles de sustentabilidad, dándose sus niveles más elevados en las alcaldías de la Ciudad de México, municipios conurbados vecinos y en menor medida en los centros metropolitanos de Cuernavaca, Toluca, Puebla y Pachuca. En contrapartida los niveles bajos de sustentabilidad se encuentran en municipios no conurbados (con excepciones).

Se detectó la existencia de asociación espacial positiva significativa (superior a 0,6) de los municipios y alcaldías según sus niveles de sustentabilidad, lo cual aporta respaldo geoestadístico para afirmar la existencia de agrupamientos de unidades espaciales según sus niveles de sustentabilidad, es decir, de clústeres. Se han podido delimitar cinco clústeres principales en la megalópolis según sus niveles de sustentabilidad (Tabla 6) que confirman el patrón espacial de centros (clústeres de tipo Alto-Alto y Alto Bajo) metropolitanos con valores altos de sustentabilidad y periferias con valores de sustentabilidad bajos (clústeres de tipo Bajo-Bajo y Bajo-Alto), en particular en la periferia de la Ciudad de México y en las periferias de las zonas metropolitanas de Puebla y Tlaxcala (Figura 5).

Así pues, se puede afirmar que en cuestión de sustentabilidad ambiental urbana dentro de la megalópolis el patrón espacial fundamental es de disminución de los niveles de sustentabilidad de los núcleos metropolitanos (Ciudad de México, Puebla, Toluca, Cuernavaca, Pachuca fundamentalmente) y municipios vecinos conurbados hacia las periferias, fundamentalmente municipios no conurbados (sí bien se trata de municipios en su inmensa mayoría con población eminentemente urbana, ya que únicamente 15 municipios del total de 189 de la zona de estudio tenían menos de un 50% de población urbana).

Si bien apenas algo más de un 26% (más de siete millones de habitantes) de la población de la megalópolis viven en espacios con niveles de sustentabilidad ambiental urbana por debajo de 50, no debe de llevar a engaño, ya que al tratarse los municipios y alcaldías con sustentabilidad superior a 50 de carácter más urbano y en general, con mayor volumen demográfico, suponen una escasa proporción de la superficie de la megalópolis, es decir, los municipios con niveles de sustentabilidad inferiores a 50 suponen casi tres cuartas partes del espacio megalopolitano (74,02%).

4. Discusión de resultados

Desde los años noventa del pasado siglo han aparecido numerosas propuestas de indicadores, sistemas de indicadores e índices para la medición y cuantificación de la sustentabilidad ambiental en espacios urbanos (IMCO, 2014; Torres, Adame y Campos, 2014). Mayoritariamente se trata de discusiones teóricas y en el caso de trabajos con finalidad de estudio de caso, son análisis sin preocupación espacial ni geo-estadística (Andrade Medina y Bermúdez Cárdenas, 2010). Entre otras propuestas, Siemens, Corporate Kinghts y General Electric (IMCO, 2014) presentaron índices de ciudades sustentables y verdes, aplicándolos a ciudades de Iberoamérica, Reino Unido y Estados Unidos de América.

En este trabajo, aplicado en un país Latinoamericano como es México, se siguió orientativamente para la elaboración de indicadores la propuesta ICES del BID, desarrollada entre 2012 y 2016 y aun cuando en la práctica de los 65 propuestos únicamente se pudieron construir 35 ante la inexistencia de datos, se ha demostrado la posibilidad de abarcar las tres dimensiones de la sustentabilidad ambiental urbana y la gran mayoría de las temáticas, con excepción de las temáticas de *gestión pública participativa*, *gestión pública moderna* y *transparencia*, todas ellas pertenecientes a la dimensión de Sustentabilidad fiscal y gobernabilidad. La propuesta aplicada aquí a la Megalópolis del Centro de México es susceptible de ser reproducida en cualquier área metropolitana mexicana o municipio de carácter urbano.

Es de interés comentar que propuestas como la de ICES de indicadores, a pesar de su intención de aplicación internacional no tiene en cuenta las posibilidades existentes en cada país, de modo que solo una parte de los indicadores propuestos pudieron ser elaborados ante la inexistencia de datos, algunos de los propuestos, sobre todo en las temáticas de Movilidad y Transporte y Competitividad de la economía son de difícil o subjetiva elaboración para el caso de México, (Hernández *et al*, 2017)

En comparación con otras investigaciones, como el Índice de ciudades competitivas y sustentables (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014), en este trabajo se rehusó a incluir indicadores de tipo subjetivo, en el mencionado índice de ciudades competitivas y sustentables elaborado para urbes mexicanas, a pesar de afirmarse de que el referido índice pudo ser calculado gracias a mejores fuentes de información y a nuevas tecnologías que permitieron el uso de fuentes no convencionales, en ningún momento se presenta adecuadamente la metodología de elaboración de subíndices de carácter tan subjetivos como sistema de derecho confiable y objetivo; sociedad preparada, incluyente y sana; sistema político estable y funcional o gobiernos eficientes y eficaces. Se rechazó el empleo de indicadores subjetivos ya que estos presentan un cierto carácter inestable (ya que percepciones y opiniones personales se originan más en consideraciones personales que en fenómenos concretos comprobables) y a que se dificulta la comparación entre diferentes casos de estudio dadas las diferentes conceptualizaciones que producen diferentes colectivos en relación a la percepción de una misma situación, como por ejemplo, con respecto a la inseguridad (Tonon, 2010; Veenhoven, 2000).

Los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes con los de otros trabajos de elaboración de índices de sustentabilidad en espacios urbanos y aplicación de técnicas espacial, aun cuando las escalas de las zonas de estudio no fuesen idénticas, ya que es novedoso el análisis de una megalópolis desde esta perspectiva.

Entre los escasos trabajos de análisis espacial de sustentabilidad urbana, cabe destacar los trabajos sobre Mar del Plata en Argentina, Saskatoon en Canadá y Cincinatti en EEUU (Zulaica y Celemin, 2008; Shen y Guo, 2014; Okumuş y Edelman, 2015). Si bien se trata de ciudades de menor tamaño y población que la megalópolis de México (564.056, 246.376 y 296.945 habitantes respectivamente), en todos estos trabajos se realizó análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) como autocorrelación espacial y de clúster y apuntaron oportunamente lo idóneo de investigar los patrones espaciales de la sustentabilidad dentro del tejido urbano. En estos estudios se detectó la tendencia de decrecimiento de los niveles de sustentabilidad ambiental de los centros urbanos a las periferias —si bien al tratarse de ciudades de países muy diferentes, la terminología varía, como radios censales en Argentina y Anillos en el caso de Cincinatti—. Como en el caso de la megalópolis la dicotomía es la mencionada de centro-periferia, siendo aquellas áreas suburbanas las que presentan menor sustentabilidad.

En la Megalópolis del Centro de México existe una mayor complejidad en la distribución de los niveles de sustentabilidad, en parte se explica por su estructura polinuclear jerárquica y por su gran extensión (cerca de 19.000 kilómetros cuadrados)

La posibilidad de realizar el análisis espacial a un nivel de desagregación inferior al municipio y alcaldía se ve imposibilitado por la ausencia de variables con los que calcular indicadores de las dimensiones de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia (no existen variables de ningún tipo a nivel de ageb o sección electoral con los que elaborar indicador alguno) y gran número de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental (únicamente sería posible calcular tres indicadores de esta dimensión: cobertura de agua; cobertura de alcantarillado y cobertura energética), todo a pesar de la idoneidad de la escala de ageb y sección electoral para el análisis espacial a escala urbana.

5. Conclusiones

El estudio de la sustentabilidad ambiental urbana tiene importancia creciente ya que las ciudades son espacios en los que vive la mayor parte de la población y donde se desarrollan predominantemente las actividades económicas y sociales, y a consecuencia de lo anterior surgen problemas de tipo socioambiental. Del mismo modo determinar el patrón espacial y distribución de la sustentabilidad es aspecto fundamental para la comprensión del fenómeno y en la propuesta de posibles medidas correctivas para su solución al determinar y delimitar las áreas más desfavorecidas con un respaldo geoestadístico.

Teniendo presente esta realidad, en este trabajo se construyó un índice resumen de sustentabilidad ambiental urbana que fue convenientemente validado, contemplando las tres bases de la sustentabilidad: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral; y gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia; incluyendo la mayoría de las temáticas propuestas por el BID en su ICES gracias a la creación de un total de 35 indicadores. Con el referido índice se pudo cuantificar eficazmente la sustentabilidad desde una perspectiva espacial en un territorio urbano de gran extensión, complejidad y excepcional volumen demográfico como es la Megalópolis del Centro de México, a un ni-

vel de desagregación conveniente y máximo, dados los requerimientos de disponibilidad de variables para la elaboración de los indicadores. Se elaboraron por vez primera un significativo número de indicadores para el caso de México a nivel de municipalde los propuestos por el BID para Latinoamérica, incorporando la gran mayoría de las 23 temáticas de sustentabilidad. Únicamente no se pudieron incluir tres, las temáticas de gestión pública participativa, gestión pública moderna y transparencia, todas ellas de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia, ante la ausencia de datos.

En el estudio de la sustentabilidad urbana, este trabajo aporta primordialmente la novedad de su enfoque espacial con la aplicación de técnicas de análisis espacial con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Se determinó su patrón espacial en la megalópolis, delimitando de forma precisa aquellas áreas con mayor y menor sustentabilidad. Se averiguó que los niveles de sustentabilidad no presentan una distribución aleatoria en la megalópolis y se demostró con respaldo geoestadístico la existencia de asociación espacial, y por medio de cartografía, de clústeres según tipología y su exacta localización. Si bien existen contados estudios de la sustentabilidad ambiental urbana, como se ha indicado en la discusión, no se han realizado hasta el presente trabajo en México ni en un espacio urbano de tipo megalopolitano.

Del análisis espacial de la sustentabilidad se extrane las siguientes conclusiones: en la Megalópolis del Centro de México existe una significativa autocorrelación espacial de niveles de sustentabilidad ambiental urbana, o lo que es lo mismo, presencia de agrupamientos de unidades espaciales (municipios y alcaldías) de valores altos y bajos de sustentabilidad. Como se ha mencionado anteriormente, existe una dualidad centro-periferia en las diferentes zonas metropolitanas de la megalópolis, ya que los niveles de sustentabilidad ambiental urbana son más elevados en los municipios centrales metropolitanos (incluyendo las capitales y municipios contiguos de carácter conurbado) que en los municipios exteriores periféricos (con algunas excepciones en Puebla y Tlaxcala - Apizaco). Dentro de los municipios y alcaldías con niveles de sustentabilidad ambiental urbana más elevados, es de destacar la diferencia existente entre aquellas pertenecientes a la Ciudad de México y los restantes municipios centrales de las demás zonas metropolitanas. La desigualdad de niveles de sustentabilidad viene respaldada con el análisis de clúster, los clústeres de valores altos de sustentabilidad están localizados en los municipios y alcaldías centrales metropolitanas, mientras que los clústeres de bajos niveles, aparecen fundamentalmente en municipios exteriores periféricos. Paradójicamente son aquellas zonas de la megalópolis con un carácter urbano menos marcado las que presentan una sustentabilidad más baja.

Estas conclusiones tienen interés y valía al tratarse de la primera aproximación al fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana en sus tres dimensiones desde una perspectiva espacial en un espacio urbano de tipo megalopolitano. Se ha demostrado lo factible de poder realizar posteriores estudios de sustentabilidad ambiental urbana en México con enfoque espacial.

La delimitación precisa de la megalópolis según sus niveles de sustentabilidad ambiental urbana abre nuevas posibilidades para posteriores trabajos, como la caracterización del comportamiento de los tres subíndices de sustentabilidad en áreas con baja y alta sustentabilidad ambiental urbana y averiguar si existe una dicotomía de comportamiento de los mismos y cuales afectan más a la sustentabilidad según en que zonas de la megalópolis.

El manifiesto desequilibrio existente en la Megalópolis mexicana en sus niveles de sustentabilidad ambiental urbana, y la existencia de espacios concretos con niveles bajos y muy bajos, muestran la necesidad de intervención de políticas públicas en temas de agua, alcantarillado y saneamiento, gestión de residuos, control de la contaminación del aire y aguas, consideración ante desastres naturales (como el riesgo de inundación en el caso megalopolitano), uso del suelo y ordenamiento del territorio, desigualdad urbana (pobreza, marginación), movilidad y transporte público, informalidad económica, educación, servicios de salud o incluso aspectos de gobierno local en aquellos espacios (municipios y alcaldías) más rezagados.

El estudio de la distribución geográfica y asociación espacial de los eventos de salud es denominada epidemiología espacial (Pérez Abad, 2014). Uno de sus principales objetivos es mostrar qué parte de la variación espacial de la distribución de la frecuencia de una enfermedad pueda estar explicada por factores de riesgo (baja sustentabilidad ambiental) y no atribuidas al azar. En diversos estudios, se ha demostrado la relación causa efecto de la contaminación atmosférica y de las aguas sobre la morbilidad, especialmente en enfermedades cardiorrespiratorias (Franco Piedrahita, 2012), neoplásicas, digestivas e infecciosas (Riojas Rodríguez, Schilmann, López y Finkelman, 2013).

Así pues, una futura línea de trabajo será el estudio de la epidemiología espacial en la Megalópolis del Centro de México en relación con la sustentabilidad ambiental urbana. Se pretende aplicar técnicas de análisis espacial de tipo bivariado, como el Índice Bivariado de Moran (Wartenberg, 1985) que permitan el análisis de posibles relaciones de causa y consecuencia del ISAU con la incidencia espacial de mortalidad por enfermedades respiratorias y digestivas o neoplasias.

Referencias

- Andrade Medina, P. y Bermúdez Cárdenas, D.C. (2010). La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia. *Bitácora* 17, 2(17), 73-93. <http://dx.doi.org/10.15446/bitacora>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association LISA. *Geographical Analysis*, 27(2). 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Auditoría Superior de la Federación (ASF) (2012). *Análisis de la Deuda Pública de las Entidades Federativas y Municipios*. Agosto de 2012. Ciudad de México: Cámara de Diputados
- Banco Nacional de México S.A. (BANAMEX), Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CNM), Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). *Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*. México.
- Barcelata Chávez, H. (2015). Círculos de pobreza y finanzas municipales en México. *Economía, Teoría y práctica*, (42), 69-103. <https://doi.org/10.24275/ETYP/AM/NE/422015/Barcelata>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2011). *Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe*, Oficina de Relaciones Externas del BID.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013). *Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Guía metodológica*, Banco Interamericano de Desarrollo, segunda edición del Anexo 2.
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18, 11-31. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3832/383239099001.pdf>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2010). Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal. Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos.
- Chasco, C. (2006). Análisis estadístico de datos geográficos en geomarketing: el programa GeoDa. *Distribución y Consumo*, 2, 34-45. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28281725_Analisis_estadistico_de_datos_geograficos_en_geomarketing_el_programa_GeoDa
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2012). *Atlas Digital del Agua. México 2012*. Sistema Nacional de Información del Agua.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012a). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010*. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012b). Índice de marginación urbana. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2011). Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 2(1), 36-64. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/rde/2011/01/10/metodologia-para-la-medicion-multidimensional-de-la-pobreza-en-mexico/>
- Connolly, P. y Cruz, M.S. (2004). Nuevos y viejos procesos en la periferia de la Ciudad de México. En A. Guillermo Aguilar (Coord.), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países* (pp. 455-475). México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cortés, H.G. y Peña, J.I., (2015), De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos, *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 78, 40-54. <https://doi.org/10.21158/01208160.n78.2015.1189>
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (15/07/1996). *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*, México.

- Escobar, L., (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *EURE*, 32(96), 73-98. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612006000200005>
- Franco Piedrahita, M.C., (2012). *Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.
- Gómez, D., Prieto, M.E., Mellado, A. y Moreno, A. (2015). Análisis espacial de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en la ciudad de Madrid, España. *Revista Española de Salud Pública*, 89(1), 30-31. <http://dx.doi.org/10.4321/S1135-57272015000100004>
- Gottmann, J. (1957). Megalopolis or the urbanization of the Northeastern seaboard. *Economic Geography*, 3(33), 189-200. <https://doi.org/10.2307/142307>
- Graizbord, B. (2002). Elementos para el reordenamiento territorial: Usos del suelo y recursos. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 17(2), 411-423. <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v17i2.1146>
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México, (04 de mayo de 2018). *Ley Orgánica de Alcaldías de la Ciudad de México*, México.
- Garza, G. (2010). La transformación urbana de México, 1970-2020 en G. Garza y M. Schteingart (Coords.), *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional* (pp. 31-87). Ciudad de México: El Colegio de México.
- Hernández, V. (2015). Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012. *EURE*, 41(122), 185-207. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000100009>
- Hernández, E. M., Adame, S. y Cadena, E., (2017). Los retos de la sustentabilidad urbana en México. Reflexiones sobre su evaluación a través de la Metodología ICES del BID. *Quivera*, 19(1), 85-97.
- Hinojosa, R., Garrocho, C. F., Campos, J. y Campero, A. C. (2015). Pronóstico de accidentes viales en el espacio intrametropolitano de Toluca: un enfoque Bayesiano. *Transportes*, 23(2), 43-55. <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i2.882>
- Imaz , M., Ayala , D., y Beristain , A.G. (2014). Sustentabilidad, territorios urbanos y enfoques emergentes interdisciplinarios, *Interdisciplina*, 2(2), 33-49. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46523>
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2012). Iniciativa de ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN).
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2015). *Resultados Nacionales de Planea Educación Básica 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2009). *Censos Económicos 2009*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010a). *Marco Geoestadístico*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010b). *Estadística de finanzas públicas estatales y municipales*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011a). *Censo de población y vivienda 2010*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011b). *Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009, DENUÉ marzo 2011*.
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). *Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*. México
- Lavado, J.C. (2015). Evaluación de autocorrelación espacial global y local para zonas de tránsito. En *XIII Rio de Transportes*, 19 e 20 de agosto. Río de Janeiro, Brasil.
- Martínez, P. M. (2015). La producción del espacio en la ciudad latinoamericana. El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización. *Hallazgos*, 12(23), 211-229. <https://doi.org/10.15332/2422409X>
- Martínez Peralta, C.M. (2016) Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. *Estudios Sociales*, 25(47), 353-358. <https://doi.org/10.24836/es.v25i47.321>

- Martori, J.C. y Hoberg, K. (2008). Nuevas técnicas de estadística espacial para la detección de clusters residenciales de población inmigrante. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12(256-280). Recuperado de <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1409>
- Méndez, M. A. (2012) *La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología. Estudio de caso en dos museos de la provincia de pichincha*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Moreno Sánchez, E. (2013). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. *Estudios Sociales*, (43), 161-186. <https://doi.org/10.24836/es.v22i43.51>
- Mori, K. y Christodoulou, A. (2012). Review of Sustainability Indices and Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, (32), 94-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001>
- Olivares, B. (2014). Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*, 14(4), 366-368. Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/19470/19439>
- Okumuş, G. y Edelman, D. (2015). An indicator modelo f the spatial quantification and pattern analysis of urban sustainability: A case of study of Cincinatti, Ohio. *Current Urban Studies*, (3), 231-240. <http://dx.doi.org/10.4236/cus.2015.33019>
- Pérez Abad, N. (2014). *Minería de datos espaciales: detección de agregaciones espaciales de riesgo de morir por cáncer de mama y próstata en España y su asociación con la contaminación industrial* (Trabajo de Fin de Máster). Facultad de estudios estadísticos, Universidad Complutense de Madrid.
- Riojas Rodríguez, H., Schilmann, A., López Carrillo, L., y Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55(6), 638-649. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10628941011>.
- Rivas Tovar, L. A., Carmona Tapia, S., Chávez Espejel, J.A., García Márquez, M., Maldonado Hernández, B. (2006). Mapas políticos metropolitanos en las megalópolis mexicanas. *Universidad & Empresa*, 5, (10), 7-31.
- Ruiz Sánchez, J. (2012), Ciudad, complejidad y energía, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 171, 73-86. Recuperado de <https://www.eukn.eu/fileadmin/Lib/files/ES/2013/04-CyTET%20171.pdf>
- Sánchez González, D. (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. *Revista de Estudios Sociales*, (42), 40-56. <http://dx.doi.org/10.7440/res42.2012.05>
- Sánchez Gamboa, J.M. y Taddei Bringas, C. (2014). Regiones y distribución espacial de las actividades económicas en Sonora. *Estudios Sociales*, 22(43), 189-215. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000100008
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2012). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010*. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2014). *El medio ambiente en México, 2013-2014*. México.
- Shen, L. y Guo, X. (2014). Spatial quantification and pattern analysis of urban sustainability based on a subjectively weigh indicator model: A case study in the city of Saskatoon, SK, Canada. *Applied Geography*, 53, 117-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.001>
- Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) (2010). Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. México.
- Tonon, G. (2010). La utilización de indicadores de calidad de vida para la decisión de políticas públicas. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 9(26), 361-370. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682010000200017>
- Torre Jofré, M. (2009). Índice de Sostenibilidad Urbana: una propuesta para la ciudad compleja. *Revista Digital Universitaria*, 10(7). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art44/int44.htm>

- Torres Tovar, R., Adame Martínez, S. y Campos Medina, E. (2014). Propuesta de indicadores para medir la sustentabilidad en la zona metropolitana de Toluca. *Debate Económico*, 3(9), 121-143. Recuperado de <https://issuu.com/laesmx/docs/debateno9complf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2018), DESA/Population Division. World Urbanization Prospects. Recuperado de <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>
- Veenhoven, R. (2000). Why social policy needs subjective indicators ?. En F. Casas y C. Saurina (Eds.), *Proceedings of the Third Conference of the ISQOLS* (pp. 807-817). Universidad de Girona.
- Wartenberg, D. (1985). Multivariate spatial correlation: a method for exploratory geographical analysis. *Geographical Analysis*, 17(4), 263-283. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1985.tb00849.x>
- Zulaica, L. y Celemín, J.P. (2008). Estudio de las condiciones de calidad de vida en los espacios urbanos y periurbanos del sur de la ciudad de Mar del Plata (Argentina) a partir de la elaboración y análisis espacial de un índice sintético socioambiental. *Papeles de Geografía*, (47-48), 215-233. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40712217013>
- Zulaica, L. y Ferraro, R. (2012). Procesos de crecimiento, indicadores de sustentabilidad urbana y lineamientos de intervención en el periurbano marplatense. *Arquisur Revista*, (2), 124-142. <https://doi.org/10.14409/ar.v1i2.936>
- Zulaica, L. (2013). Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad. *Revista Electrónica Georaguaia*, (3), 1-25. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/52476966.pdf>

Cita bibliográfica: Duval, V.S., Benedetti, G.M., & Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (73), 171-188. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>

El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina

The impact of street trees on the urban microclimate. Bahía Blanca, Argentina

Valeria Soledad Duval^{1*}
Graciela María Benedetti²
Katherine Baudis³

Resumen

El conocimiento de la dinámica del sistema ambiental urbano es esencial para diseñar estrategias de planificación y gestión que permitan una mejor urbanística. El arbolado viario forma parte de la infraestructura verde y brinda múltiples beneficios sociales y ambientales a los ciudadanos. Entre ellos, contribuye al mejoramiento del confort térmico humano. La vegetación modifica el clima local ya que regula la temperatura y la humedad relativa generando un microclima. Por tal motivo, el objetivo del trabajo fue analizar la influencia del arbolado de alineación sobre el microclima de la localidad de Bahía Blanca, Argentina. Para ello, se midió la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento debajo del árbol y fuera de su copa. Estas mediciones se realizaron considerando especies con estructuras de copa distintas. Los datos se registraron durante la mañana, el mediodía y la tarde en dos días típicos de verano. Se seleccionaron calles con distinta orientación en cuatro barrios con tipologías diferentes. El análisis demostró que la temperatura debajo del árbol fue menor en relación con la del exterior, siendo más visible entre las 12 h y 15 h. La humedad relativa fue superior debajo del árbol principalmente durante la mañana y la velocidad del viento fue en general inferior bajo el árbol. Esta investigación contribuye a revalorizar los beneficios generados por el arbolado en las ciudades desde el aspecto climático.

Palabras clave: arbolado urbano; microclima; infraestructura verde; servicios ambientales; Bahía Blanca.

Abstract

A knowledge of the dynamic urban environmental system is essential when designing planning and management strategies that enable better urban planning. Street trees are part of the green infrastructure and provide multiple social and environmental benefits to citizens. In summertime, when the highest temperatures are recorded, trees contribute to improving human thermal comfort. Vegetation modifies the local climate because it regulates temperature and relative humidity by generating a microclimate. The purpose of this paper is to analyse the influence of street trees on the microclimate of the city of Bahía Blanca in Argentina. To evaluate the microclimate, air temperature, relative humidity, and wind speed were measured under the trees and away from the trees. Measurements were made considering three trees species with different crown structures. Data were recorded in the morning, noon, and afternoon on two

1 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. CONICET. Argentina. valeria.duval@uns.edu.ar. * Autora para correspondencia.

2 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Argentina. gbenedet@criba.edu.ar

3 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. CIN. Argentina. katherine.baudis@uns.edu.ar

typical summer days. Four neighbourhoods with different building typologies were selected. The streets selected had different orientations: north-south and west-east. Data analysis showed that the temperature under the trees was lower than further away from the trees. This situation was most visible between 12 noon and 3 pm. and wind speed was lower under the trees since they act as obstacles. This research evaluates the climatic benefits generated by trees in cities.

Keywords: urban tree; microclimate; green infrastructure; environmental services; Bahía Blanca.

1. Introducción

El arbolado es un elemento de vital interés que ofrece numerosos servicios ambientales y genera beneficios para los habitantes (Benedetti, Campo y Horvath, 2014). Su presencia ayuda a mejorar las condiciones de vida física, psíquica y estética de la población y desde el aspecto económico, contribuye a aumentar el valor de las propiedades (Calaza e Iglesias, 2016). Los espacios arbolados confieren identidad, estructura y significado a la ciudad. Por otra parte, según Ochoa (1999), la vegetación en las ciudades provee numerosas funciones ecológicas como por ejemplo, el arbolado de alineación que reduce los ruidos y favorece la captación de agua. Además es indispensable para el incremento de la sostenibilidad y funciona como lugar de asentamiento y descanso de muchas especies de aves e insectos (Grau y Kortsarz, 2012).

La influencia de la vegetación sobre el clima se manifiesta en diversas escalas, principalmente en la micro escala local (Silva, 2009). Esta es definida como la menor escala de estudio en la que se puede analizar el clima urbano, pudiendo variar desde unos pocos metros hasta 10 km (Andrade, 2010). Entre las variables microclimáticas del entorno, la temperatura y la humedad relativa del aire son las que ejercen mayor influencia (Martini, Biondi y Batista, 2017). Las áreas verdes urbanas son fundamentales en la regulación del microclima ya que mejoran la calidad del aire, reducen la evaporación y disminuyen las aportaciones térmicas al interceptar la radiación solar y proporcionar sombra (Adams y Smith, 2014). Es por ello que la calidad de vida de una zona urbana depende en gran parte del mantenimiento de los espacios verdes inmersos en el medio urbano.

Varios autores trabajaron en la relación microclima-vegetación. Por ejemplo, Ochoa (1999) evaluó la función de la vegetación en el microclima urbano y diseñó herramientas para su aprovechamiento. Mascaró, Mascaró, Martins y Wessheimer (2001) estudiaron el uso ambiental del arbolado urbano a través de los efectos de su sombra y de la evapotranspiración e hicieron hincapié en la temperatura y humedad relativa del aire y en la ventilación e iluminación de los recintos urbanos de los edificios que los delimitan. Rojas, Roset y Navés (2015) analizaron la calidad del microclima urbano en relación a la disminución de la cantidad de aportaciones térmicas por la vegetación, discriminado por especie.

En Argentina, Kurbán, Papparelli, Cúnsulo, Montilla y Ríos (2007) realizaron un trabajo sobre los espacios verdes y la temperatura en ecosistemas áridos de San Juan. En éste se cuantificó el alcance y la intensidad del efecto higrotérmico de los espacios verdes en el clima urbano a través de mediciones climáticas. Esto permitió obtener isotermas de cada espacio verde y relacionar los índices arbóreos con los valores climáticos. Por otro lado, Kurbán y Grasso (2016) expresaron que la vegetación tiene diversos efectos en el microclima urbano. Dentro de ellos se encuentran las variaciones en la incidencia de la radiación solar y la velocidad y dirección del viento que puede estar influida por la densidad de la vegetación.

Bahía Blanca presenta numerosas dificultades en relación al arbolado urbano. En los últimos años se han detectado problemáticas como la falta de mantenimiento, la reducción en el presupuesto para nuevos ejemplares y la ausencia de una política integral de gestión (Minervino, 2018; Minervino, 2019; Moreno, 2019). Desde el punto de vista académico se han realizado inventarios del arbolado de alineación en distintos barrios de la ciudad (Benedetti y Campo, 2007; Benedetti *et al.*, 2014) donde se aplicó la metodología del censo verde para caracterizar el arbolado y establecer medidas de gestión. Este consiste en inventariar las especies del arbolado de vereda recopilando los siguientes datos: su nombre, altura, superficie de la copa, el diámetro a la altura de la copa (DAP), estado fitosanitario, etc. Por otro lado, Capelli, Piccolo, Ferrera y Campo (1986) estudiaron el clima local y el estado de la cobertura arbórea relacionando las oscilaciones térmicas diarias con la densidad del follaje. Si bien esta investigación contribuyó a comprender la influencia de la vegetación en las condiciones microclimáticas, la información está desactualizada y solo se tuvo en consideración el centro urbano como área de estudio.

Por otra parte es clave conocer los beneficios del arbolado urbano en localidades intermedias que registran temperaturas muy elevadas (superiores a 35 °C) durante el verano (La brújula, 2020; La Nueva,

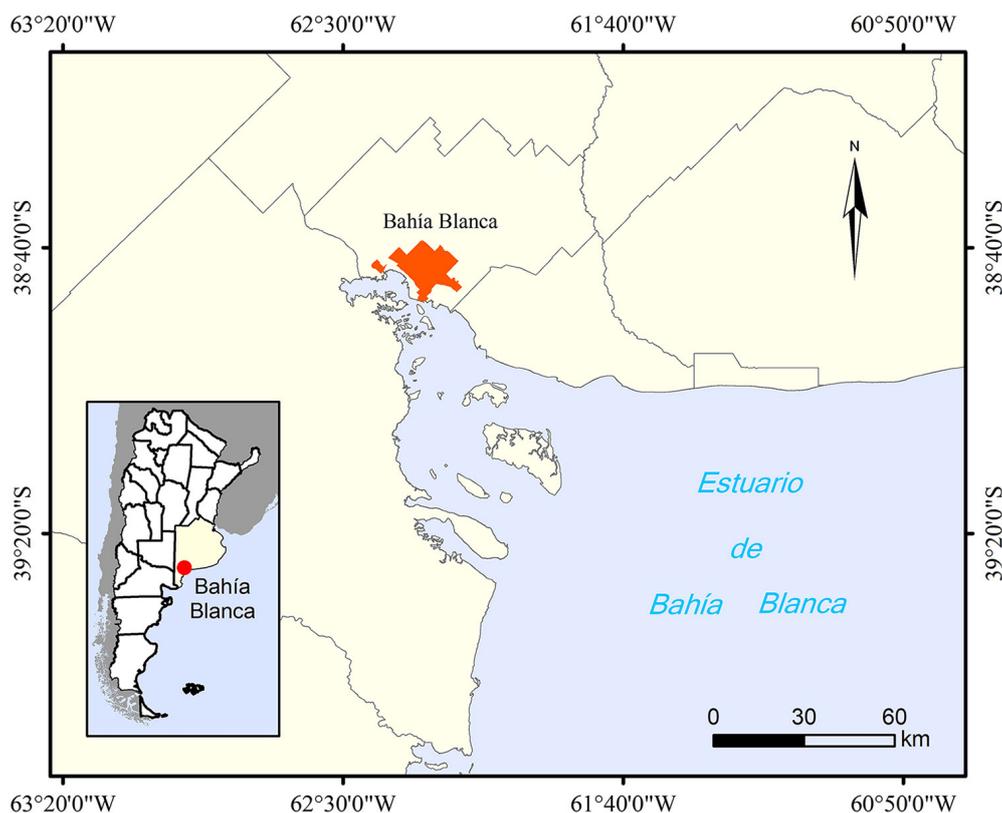
2020). De esta forma resulta relevante establecer medidas de mitigación para mejorar las condiciones de confort de las personas. Considerando los problemas detectados y los beneficios en el confort térmico que implica la presencia de los árboles en las ciudades, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la influencia del arbolado en el microclima urbano de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). Esta investigación es un aporte fundamental ya que integra el estudio de variables climáticas a nivel microlocal en sectores construidos con diferente morfología y el papel de la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana. Como finalidad se busca revalorizar los beneficios del arbolado de alineación en la vida de las personas.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca está ubicada al suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), en el partido homónimo (Figura 1). Se sitúa además a 5 km del estuario de Bahía Blanca, que es un ambiente marino costero que posee una superficie de aproximadamente 3000 km² (Abasto *et al.*, 2019). Es una localidad intermedia con una población de 301.531 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010).

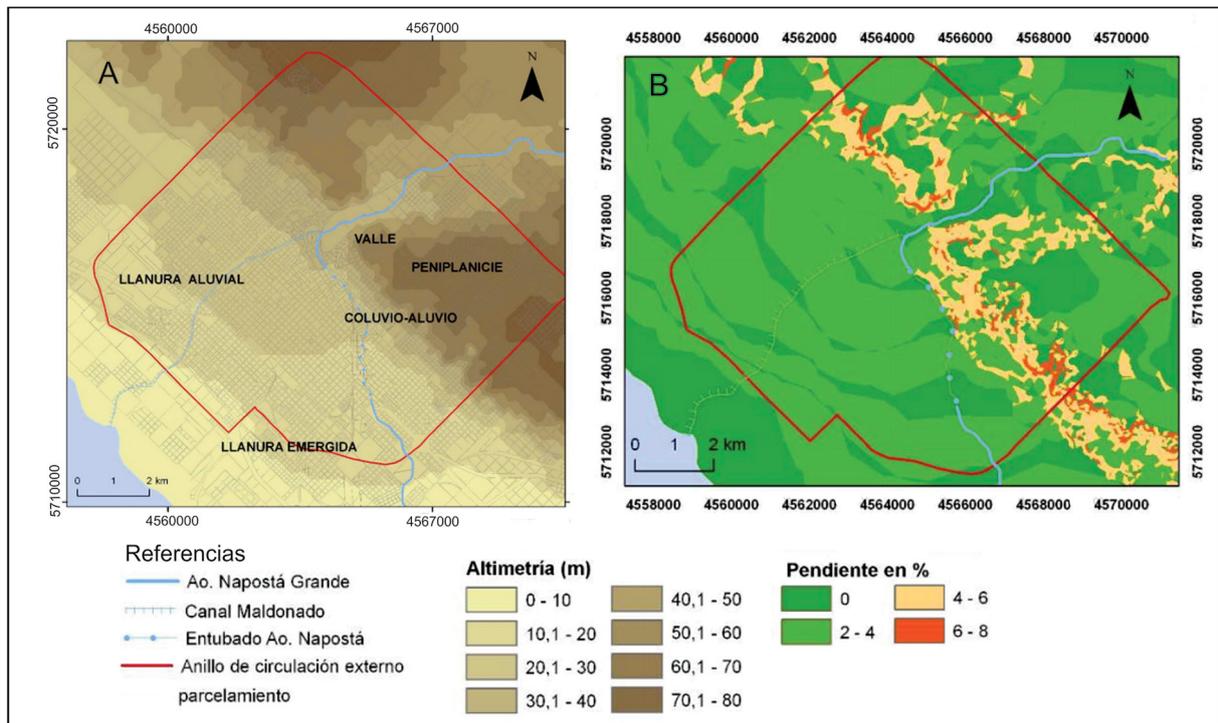
Figura 1. Localización de Bahía Blanca, Argentina



Elaboración propia

Geomorfológicamente, la ciudad posee tres unidades: la peneplanicie pedemontana que se extiende al noroeste y está compuesta por depósitos de tosca, la llanura aluvial ubicada en el sector este y los conos coluviales originados por el movimiento en masa sobre la pendiente y la llanura emergida, donde se ubica la planicie aluvial del Arroyo Napostá por debajo de los 20 m s.n.m (Zapperi y Campo, 2011). Los valores altimétricos de la ciudad oscilan entre los 8 y los 74 m s.n.m, disminuyendo en sentido norte-sur. Su relieve es aterrazado hacia el norte-noreste, con sectores bajos y anegados al sur. Las mayores pendientes se identifican en el área coluvio-aluvial y las menores en el sector de la llanura emergida (Zapperi y Campo, 2011). En la Figura 2 se muestra el mapa con las unidades geomorfológicas y de pendiente de la localidad.

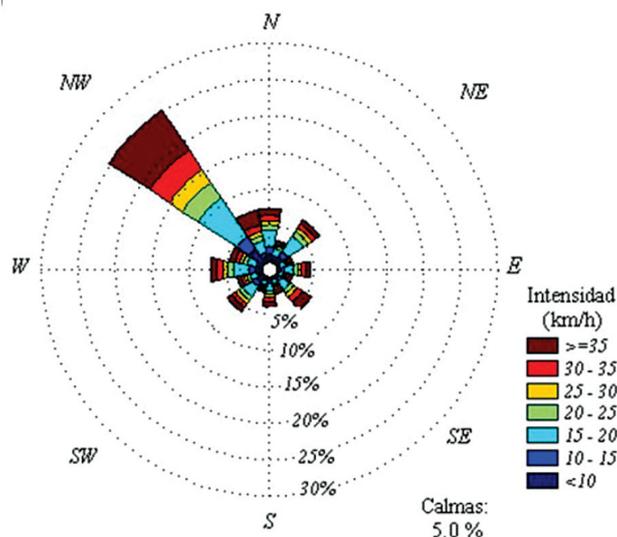
Figura 2. Mapa de unidades geomorfológicas (A) y de pendiente (B) de la ciudad de Bahía Blanca



Fuente: Zapperi y Campo, 2011

El clima es semiárido de transición, entre el cálido y el húmedo del este de la provincia de Buenos Aires y el frío y seco de la Patagonia. Se caracteriza por una marcada estacionalidad térmica que permite la diferenciación entre el verano y el invierno (Aliaga, Ferrelli y Piccolo, 2017). La temperatura media anual para el período 1981-2010 fue de 15,3 °C y la precipitación media anual fue de 650,9 mm presentando una alta variación anual con mayor cantidad de lluvias a fines de la primavera y principios del verano (Servicio Meteorológico Nacional, 2020). Los vientos son moderados y predominan desde el sector Noroeste y Oeste, con una velocidad media de 20 km/h (Campo, Fernández y Gentili, 2017). En la Figura 3 se muestra la rosa de los vientos de la ciudad del período 1991-2013.

Figura 3. Rosa de los vientos de Bahía Blanca del período 1991-2013.

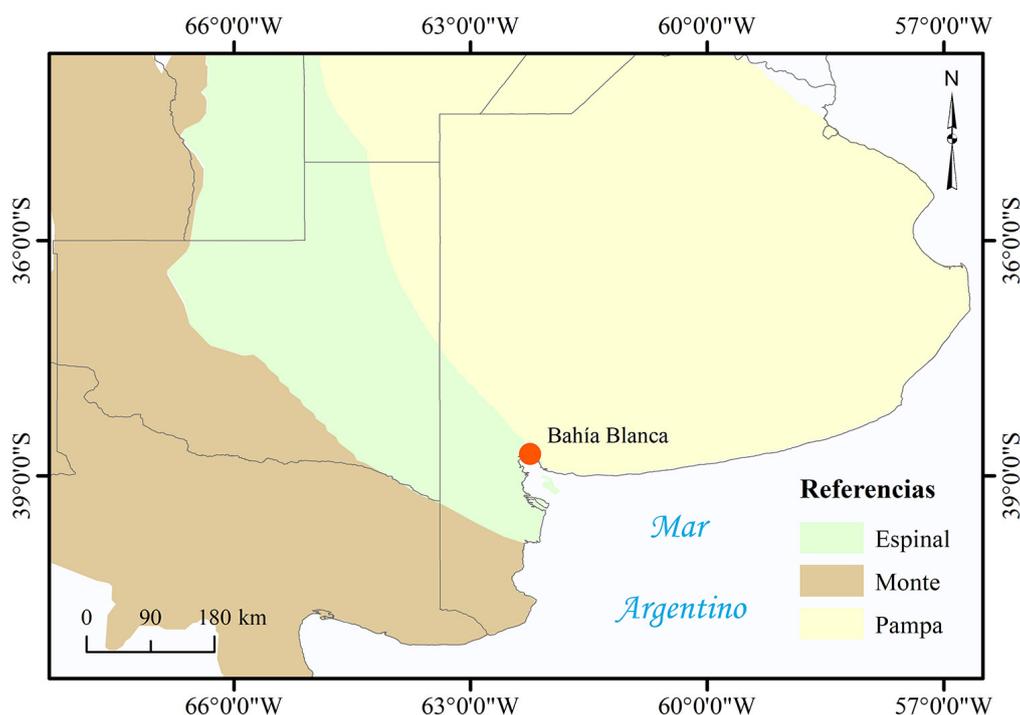


Fuente: Martin, Serio, Pescio y Dragani, 2016

Por otra parte, la localidad está inserta en la llanura pampeana y está representada por tres provincias fitogeográficas: Pampa, Espinal y en menor medida el Monte (Cabrera, 1976). La provincia Pampa está compuesta por un pastizal de gramíneas cuya forma de vida dominante es la herbácea, el Espinal por árboles xerófitos del género *Prosopis* y el Monte es una formación arbustiva cuyo género representante es *Larrea* (Petagna de del Río, s.f.). El paisaje vegetal natural se transformó y fue reemplazado por especies exóticas. Solo en algunos sectores de la ciudad se reconocen pequeños relictos de vegetación nativa. En consecuencia, los árboles y arbustos que se distribuyen en el medio urbano son ejemplares plantados por la sociedad (Benedetti y Campo, 2007). Algunas de estas especies incluso son invasoras como *Ailanthus altissima*, *Gleditsia triacanthos*, *Ligustrum lucidum*, *Melia azedarach* y *Robinia pseudoacacia* var. *umbraculifera* (Matthews, 2005).

Fueron seleccionados cuatro barrios de la ciudad para el cumplimiento del objetivo: Pacífico, Villa Miramar, Anchorena y Parque Patagonia (Figura 5). Esta elección se realizó considerando la diferencia de la morfología edilicia entre los sectores y de su cobertura vegetal. Las tipologías de construcción fueron identificadas a partir de la clasificación de Zona Climática Local (ZCL) de Stewart y Oke (2012). Cada barrio presenta una tipología distinta por lo cual se estima que podría influir en las condiciones microclimáticas. Esto se debe a que cada material (por ejemplo pavimento, tierra, hormigón, ladrillo) presenta un comportamiento térmico-ambiental diferente al otro (Correa, Larsen y Lesino, 2003). La radiación solar que incide en los materiales es absorbida o reflejada de una forma singular por cada uno de ellos. Las superficies como el pavimento poseen un bajo porcentaje de reflectancia y una elevada absorción de radiación solar durante el día que posteriormente liberan a la atmósfera incrementando la temperatura del aire (Grau y López, 2018).

Figura 4. Provincias fitogeográficas del sur de la provincia de Buenos Aires

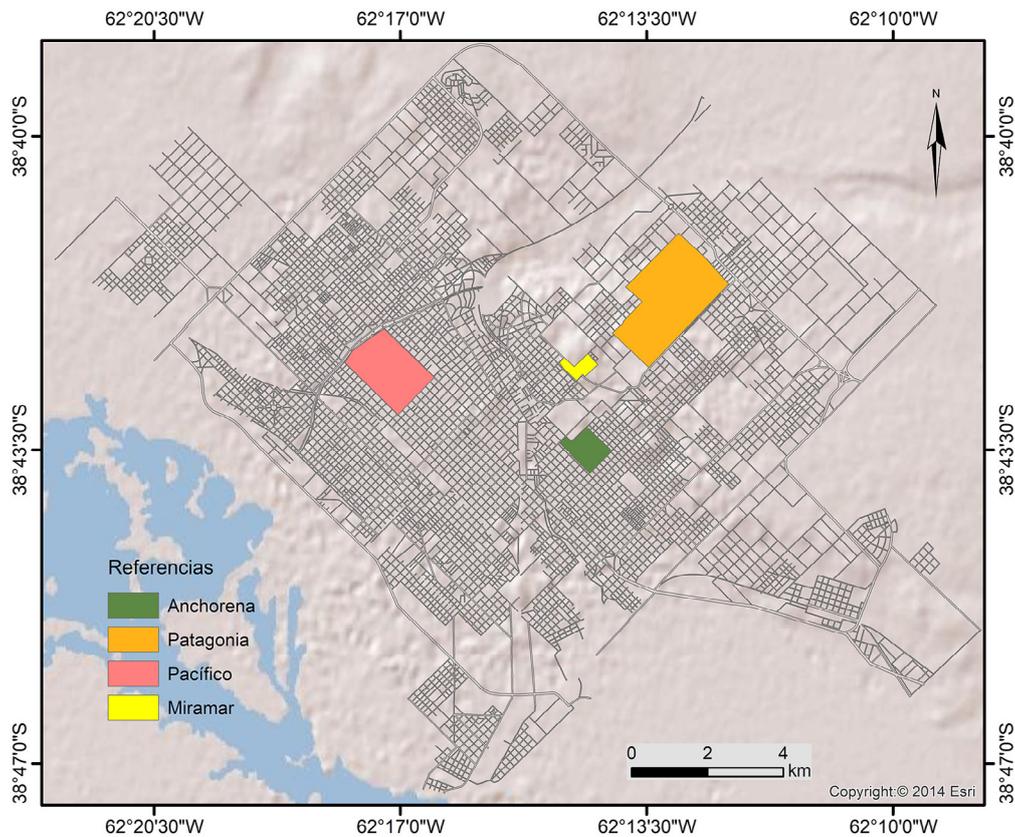


Elaboración propia

El barrio Pacífico se localiza en el noroeste y está delimitado por las calles 9 de Julio, Juan Molina, Estomba y la Avenida Buenos Aires. En sus inicios este sector fue ocupado por inmigrantes italianos y españoles quienes plantaban árboles propios de su cultura mediterránea como el olivo (*Olea europea*) (Benedetti *et al.*, 2014). Por otra parte, Villa Miramar es un barrio marginal ubicado en el noreste de la ciudad y comprendido entre las calles Ricardo Rojas, Pasteur y Laudelino Cruz hasta Fragata Sarmiento. En la década de 1970 comenzó como un espacio de crecimiento espontáneo en cercanías del Parque Campaña del Desierto aunque recién en 1991 se regularizó la posesión de las tierras a través de la entrega

de certificados precarios de tenencia por parte de la municipalidad. Actualmente continúan reclamando por la situación de precariedad y por la búsqueda de consolidación del barrio (Urriza, 2016). Anchorena está localizado al este de la ciudad y está delimitado por las calles Matheu, Sócrates, Agustín de Arrieta, Balboa, 14 de Julio y la Avenida Láinez. Posee aproximadamente tres mil personas (INDEC, 2010) y se caracteriza por la presencia de viviendas de clase media y alta. Su origen está relacionado con una de las familias más ricas y tradicionales de Argentina (Uriburu), quienes solicitaron el loteo y remate de sus tierras. El barrio Parque Patagonia se encuentra en el noreste, entre las calles Ramón y Cajal, Pilmaiquen, 14 de Julio, Salliqueló, Tres Sargentos y Rufino Luro Cambaceres. Este sector fue subdividido en lotes y subastado en 1951. Es un barrio parque, un tipo de nomenclatura residencial compuesta por viviendas unifamiliares de baja densidad. Esta caracterizado por poseer amplias zonas de espacios verdes y gran riqueza en el arbolado de las calles (Urriza y Garriz, 2014). Los ejemplares poseen más de 40 años de antigüedad y la familia predominante es la Cupresaceae.

Figura 5. Localización de los barrios seleccionados en Bahía Blanca



Elaboración propia

2.2. Materiales y métodos

Para el análisis microclimático, en primer lugar se caracterizó a nivel local la variación espacial de la temperatura del aire y de la humedad relativa en Bahía Blanca. En segundo lugar, para cuantificar la incidencia de los árboles de alineación de la ciudad en las variables climáticas, se midieron la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento debajo de la copa del árbol y en el exterior y se hicieron las medias aritméticas de los valores. La medición del exterior se realizó en el centro de la calle, es decir en un área alejada de la influencia del arbolado y de las viviendas. Se identificaron especies arbóreas representativas en cada barrio sobre la base de censos urbanos previos (Benedetti, 2003; Benedetti y Campo, 2007; Benedetti y Duval, 2012; Benedetti *et al.*, 2014) para conocer si existe una influencia de la estructura del árbol en los datos climáticos registrados. Para el caso del barrio Anchorena, se utilizaron los datos obtenidos de la aplicación "Bahía Arbolado" (<https://www.bahia.gob.ar/arboloado/censo>) perteneciente a la Dirección General de Aéreas Públicas y de la Secretaría de Modernización y Gobierno Abierto de la

Municipalidad de Bahía Blanca. Por otra parte, en cada barrio se eligieron dos calles con orientación norte-sur y este-oeste. La finalidad de esta selección fue analizar la diferencia de los elementos climáticos en áreas con distinta orientación solar. El instrumental utilizado para estas mediciones fue el DAVM+ (*Digital Air Flow/ Volume Meter*) Supco que se dispuso a una altura de 1 m sobre el nivel de la calle. Los valores fueron registrados en forma simultánea, durante dos días típicos de verano (21 y 23 de febrero de 2019), en cuatro horarios del día: a las 9 h, 12 h, 15 h y 18 h. Los días típicos de verano se caracterizan por ser cálidos, secos, con vientos provenientes del Norte y Noroeste y con abundante polvo en suspensión (Cappelli, Piccolo y Campo, 2005). En cada calle se consideraron tres puntos de medición que referían a árboles con estructura de copa distinta (abierta, semiabierta y cerrada). Los datos obtenidos en campo fueron procesados y analizados para realizar una descripción del comportamiento de los elementos climáticos tomados. Con esta información se realizaron gráficos y se compararon los resultados de cada barrio.

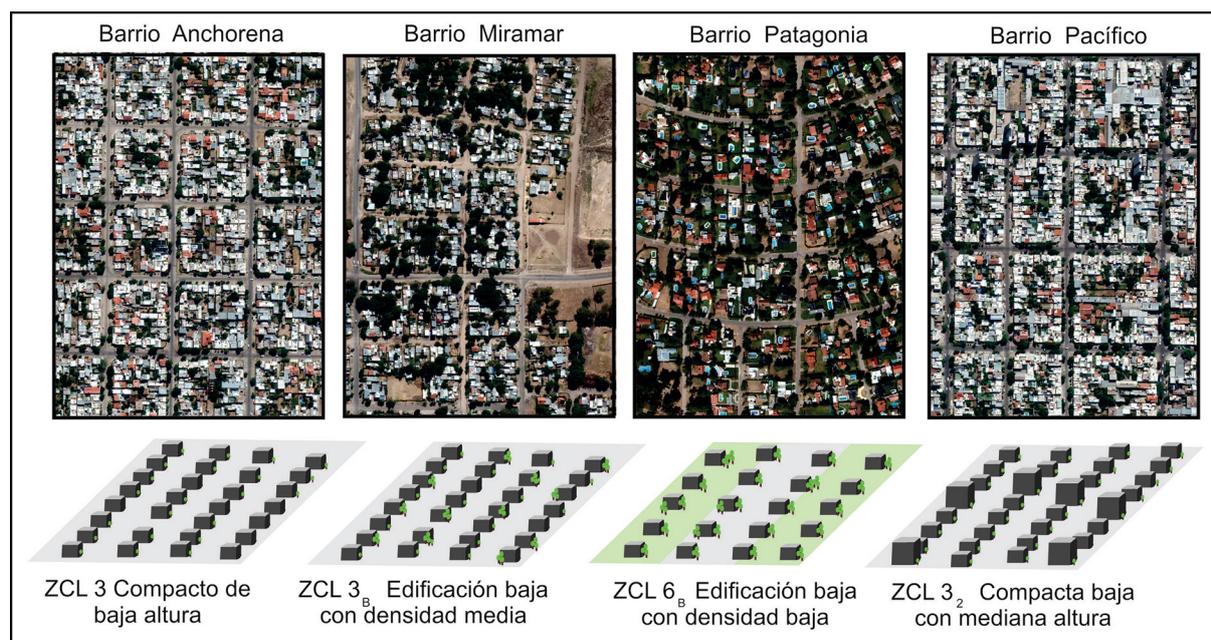
Se obtuvo también el porcentaje de cobertura vegetal de cada barrio a través del software libre *I-Tree Canopy*. Esta herramienta permite realizar análisis de espacios verdes sobre áreas urbanas. En cada barrio se seleccionaron 700 puntos y se los clasificó sobre la base de dos categorías: con vegetación y sin vegetación. Estas clases permitieron reconocer el valor de cobertura vegetal en contraposición al de la construcción.

3. Resultados

3.1. Tipología y cobertura urbana

La morfología y el material de las edificaciones juegan un rol fundamental en las variaciones microclimáticas. Por lo tanto, su estudio es esencial en la comprensión de la dinámica de los elementos climáticos. Por ello es necesario reconocer la tipología urbana a través de los tipos de edificación y de cobertura. En la Figura 6 se observa la aplicación en el área de estudio de la clasificación de Zona Climática Local (ZCL) propuesta por Stewart y Oke (2012). El barrio Anchorena pertenece a la ZCL 3, compacto de baja altura. Éste se caracteriza por ser una edificación densa de baja altura (de 1 a 3 pisos), pocos árboles, cubierto por pavimento y materiales de concreto. El barrio Miramar pertenece a ZCL 3_b, de tipo edificación compacta. Además cuenta con una cobertura permeable debido a que la calle es de tierra a diferencia de los otros barrios. En el caso del barrio Patagonia, la zonificación que presenta es ZCL 6_b ya que se advierte un área de edificaciones bajas (de 1 a 3 pisos) separados entre sí. En este barrio tipo parque, la superficie de las propiedades es mayor en relación con los otros barrios. El barrio Pacífico se define como ZCL 3₂, de estructura compacta y de edificaciones de baja altura con algunas de mediana altura (mayores a 3 pisos).

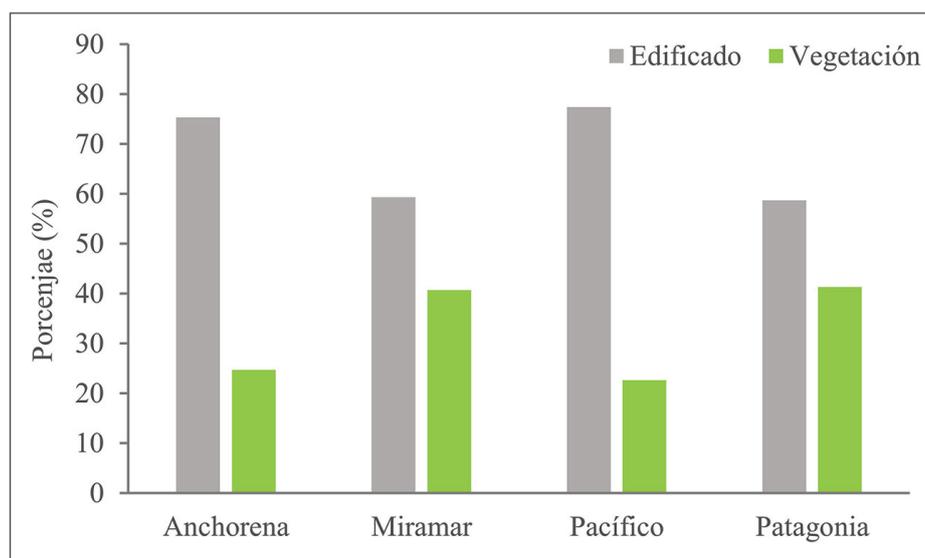
Figura 6. Zona Climática Local de cuatro barrios de la ciudad de Bahía Blanca



Fuente: Stewart y Oke (2012). Elaboración propia

Mediante la aplicación del *I-Tree Canopy* se identificó el porcentaje de cobertura vegetal en los cuatro barrios. El barrio Anchorena presentó una cobertura de 24,7 %, Miramar 40,7 %, Pacífico 22,6 % y Patagonia 41,3 % (Figura 7). Cabe mencionar que el barrio Miramar se destaca por un paisaje arbolado principalmente en el interior de las residencias. El Patagonia posee mayor cobertura vegetal, tanto en las veredas como en el interior de las casas, en relación con los otros barrios debido a su tipología. Sin embargo, el sector nuevo de este barrio se diferencia del más antiguo por estar poco vegetado, situación que influyó en la cobertura vegetal total. El barrio Pacífico es el que tiene mayor porcentaje de edificaciones y menor cantidad de vegetación. La mayor cantidad se presenta en las veredas.

Figura 7. Porcentaje edificado y de cobertura vegetal en el área de estudio



Elaboración propia

3.2. Caracterización del arbolado

Según Benedetti *et al.* (2014), en el barrio Pacífico las especies *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano) y *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* (acacia bola) se encuentran en mayor cantidad. En el caso de Villa Miramar, las especies dominantes son *Ulmus pumila* (olmo) y *Fraxinus pennsylvanica* (Benedetti y Duval, 2012). El barrio Patagonia presenta una gran variedad de especies de estructura arbórea y arbustiva. Los géneros dominantes son *Pinus*, *Picea*, *Cupressus*, *Cedrus*, *Acacia*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Prunus* y *Eucaplyptus*. Por último, en el barrio Anchorena se reconocieron como géneros dominantes *Fraxinus*, *Acacia*, *Prunus* y *Lagerstroemia*.

La influencia de los árboles en el microclima urbano depende, entre otros factores, de sus características. Es decir, el grado de incidencia en los parámetros de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento será diferencial según la especie. Cada cual posee condiciones de cobertura, forma de la hoja, periodicidad, altura, etc. que condicionan el microclima de ese espacio (Leuzinger, Vogt y Koner, 2010; Shashua-Bar, Yaakov y Potchter, 2010). Para este caso en particular, se seleccionaron los individuos arbóreos según su estructura de copa considerando que es el factor con mayor incidencia en las condiciones microclimáticas. Entre las especies de copa compacta y cerrada se registraron árboles como el *Ulmus pumila* (olmo), *Ligustrum lucidum* (aligustre), *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano), *Melia azedarach* (paraíso), *Eriobotrya japonica* (níspero) y *Brachychiton populneus* (braquiquito). Por otra parte, los ejemplares con densidad media y copa semiabierta los representan *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* (acacia bola), *Albizia julibrissin* (acacia de constantinopla), *Lagerstroemia indica* (crespón), *Prunus cersifera* (ciruelo de jardín), *Acacia dealbata* (aromo) y *Cercis siliquastrum* (árbol de judea). Por último, el *Arce palmatum* (arce japonés), *Albizia julibrissin* (árbol de la seda), *Parasenegalia visco* (visco), *Robinia pseudoacacia* (acacia blanca) y *Robinia pseudoacacia Casque Rouge* (acacia rosada) poseen una baja densidad de follaje y sus copas son abiertas. En la Tabla 1 se muestra 3 especies representativas de los tipos de copas incluidas en el estudio.

Tabla 1. Especies representativas según forma de la copa

Características de las especies según su estructura de copa	
<p>Especie</p> 	<p>Estructura de copa abierta: <i>Parasenegalia visco</i> (visco)</p> <p>Pertenece a la familia Fabaceae. Es un árbol nativo de 8 a 12 m de altura. Tiene un follaje verde azulado, liviano y semipersistente que configura una copa regular. Posee hojas compuestas bipinnadas, de color verde claro y con aspecto plumoso. Su flor es amarilla y su fruto es una legumbre aplanada y dehiscente (Dicek, 2009).</p>
<p>Especie</p> 	<p>Estructura de copa semiabierta: <i>Albizia julibrissin</i> (acacia de constantinopla)</p> <p>Árbol de la familia Fabaceae. Es exótico y originario de Asia. Posee copa aparasolada o globosa y un tronco corto con muchas ramificaciones que salen de la parte media. Su hoja es compuesta, bipinnada y perenne. La flor es hermafrodita y su fruto es una legumbre aplanada, subcoriácea que perdura en el tiempo después de la caída de las hojas (Cané, 2008).</p>
<p>Especie</p> 	<p>Estructura de copa cerrada: <i>Melia azedarach</i> (paraíso)</p> <p>Árbol de la familia Meliaceae, originario de Asia. Posee copa globosa, tronco recto y ramas frágiles. La corteza es oscura y rugosa y su hoja es compuesta, bipinnada y de color verde medio. La flor es blanca y violeta y su fruto es una drupa globosa que permanece en el árbol durante todo el invierno (Cané, 2008).</p>

Elaboración propia

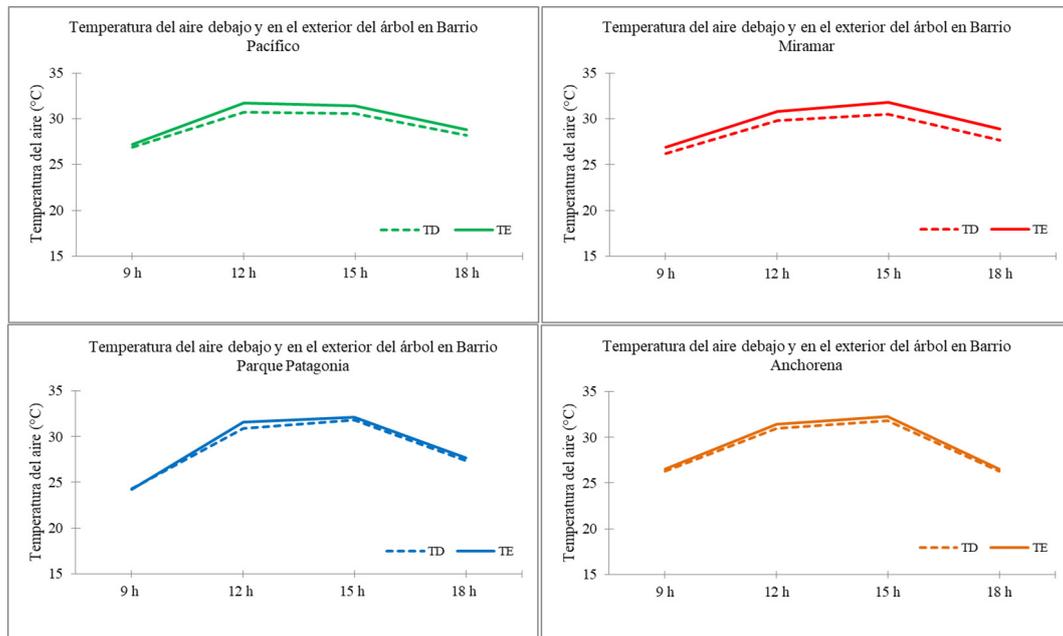
3.3. Análisis según orientación y cobertura vegetal

3.3.1. Temperatura del aire

En el barrio Miramar, la temperatura media de ambos días en el horario establecido fue de 29,6 °C. Las máximas fueron registradas a las 15 h con valor medio de 31,9 °C. Las mínimas se midieron a las 9 h siendo de 26,9 °C. La diferencia de temperatura entre el centro de la calle, es decir en la vía de circulación pavimentada, y debajo de la copa del árbol fue de 1,1 °C. La mayor diferencia se observó a las 15 h (1,3 °C) y a las 18 h (1,2 °C) mientras que la menor diferencia fue a las 9 h (0,7 °C) (Figura 8). Esto se podría deber a que en el horario de las 12 h, la superficie recibe mayor cantidad de radiación que se traduce en un aumento de la temperatura en horas posteriores. Esta es la razón por la cual es el horario (15 h) de máxima temperatura registrada. Por la tarde, la temperatura del aire continúa siendo elevada en verano por la emisión de calor de la superficie terrestre. Por otra parte, en todos los horarios la temperatura registrada debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la calle.

Se comprobó que la estructura de la copa tuvo una influencia importante en la temperatura del aire. Principalmente, *Ulmus procera* y *Ligustrum lucidum* fueron las especies que registraron la mayor diferencia de temperatura debajo de la copa en relación con el exterior. Con respecto a la temperatura entre calles con distinta orientación, se determinó que la oscilación fue de 1,2 °C para los horarios considerados. Los mayores contrastes se registraron a las 9 h siendo superior en la orientación este-oeste (2,3 °C) y a las 18 h (1,9 °C), en la orientación norte-sur. En los horarios de las 12 y 15 h, la diferencia fue leve. Esta situación se explica por la trayectoria solar durante el día, en la cual las calles con orientaciones este-oeste poseen menor exposición solar por la tarde, coincidente con el período de mayor temperatura del aire.

Figura 8. Temperatura del aire debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

En el barrio Pacífico, la temperatura media de ambos días fue de 29,5 °C. Se observó que las máximas fueron registradas a las 15 h con valor medio de 33 °C. Las temperaturas mínimas se midieron principalmente a las 9 h siendo de 27,2 °C en promedio. La diferencia de temperatura entre el centro de la calle y debajo de la copa del árbol obtuvo un valor de 0,9 °C, siendo mayor a las 12 h (1 °C) y menor a las 9 h (0,3 °C) (Figura 8). Por otra parte, en todos los horarios, la temperatura registrada bajo el árbol fue inferior a la de la calle. Las especies de copa cerrada y follaje denso tuvieron una gran influencia en la temperatura del aire. Por ejemplo se mencionan *Melia azedarach* y *Fraxinus pennsylvanica*, en los cuales se registró una diferencia mayor de temperatura. A la mañana, fue superior debajo del árbol y a la tarde inferior en relación con la calle. La diferencia de temperatura entre distintas orientaciones fue de 1,5 °C. Las mayores oscilaciones se midieron a las 18 h (2,9 °C) siendo superior en la orientación norte-sur y a las 15 h (0,9 °C) para la calle este-oeste. En los horarios restantes se observó una diferencia insignificante.

En Barrio Anchorena, la temperatura media de ambos días fue de 29,2 °C. Los valores más altos se registraron en las mediciones de las 12 h y 15 h con un valor medio de 31,8 °C. Las mínimas se midieron a las 9 h y 18 h con un promedio de 26,4 °C. La diferencia entre el centro de la calle y bajo el árbol fue de 0,4 °C. La mayor diferencia se observó a las 15 h (0,5 °C) mientras que la menor, a las 9 h y 18 h (0,2 °C) (Figura 8). En especies arbóreas de follaje denso y copa cerrada, como *Ligustrum japonicum*, la temperatura varió entre 30,6 °C (bajo el árbol) y 32,5 °C (calle). La diferencia entre las distintas orientaciones fue de 0,9 °C. Las mayores oscilaciones se registraron a las 9 h (1,2 °C) y a las 18 h (1,1 °C), ambas superiores en la orientación este-oeste. En el horario de las 12 h se midió una leve variación.

En el barrio Parque Patagonia, la temperatura media de ambos días fue de 28,9 °C. Los valores más elevados se reconocieron en el horario de las 15 h con un promedio de 32 °C. Las temperaturas mínimas se midieron a las 9 h con un valor medio de 24,1 °C. Entre el centro de la calle y el árbol, la diferencia de temperatura fue de 0,6 °C. El horario de las 12 h (0,7 °C) fue el que registró mayores diferencias mientras que el de las 9 h (0,1 °C) se observó la menor (Figura 8). Por otra parte, en la mayoría de los horarios, la temperatura debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la de la calle. Si se considera la influencia según la especie, la mayor variación se observó en *Eriobotrya japonica* en el cual se midió 30,5 °C y en la calle, 33,4 °C. Esto se debe a su copa compacta y su follaje denso. Por el contrario, *Acacia dealbata* posee una copa pequeña y follaje semiabierto lo cual generó que fuese la especie con menor diferencia de temperatura registrada entre ambos sitios. En cuanto a la orientación de las calles, la diferencia de temperatura no fue significativa en el horario de las 9 h. Las máximas oscilaciones se registraron a las 18 h (2,3 °C) siendo superior en la orientación este-oeste y a las 15 h (0,7 °C), para la calle orientada norte-sur.

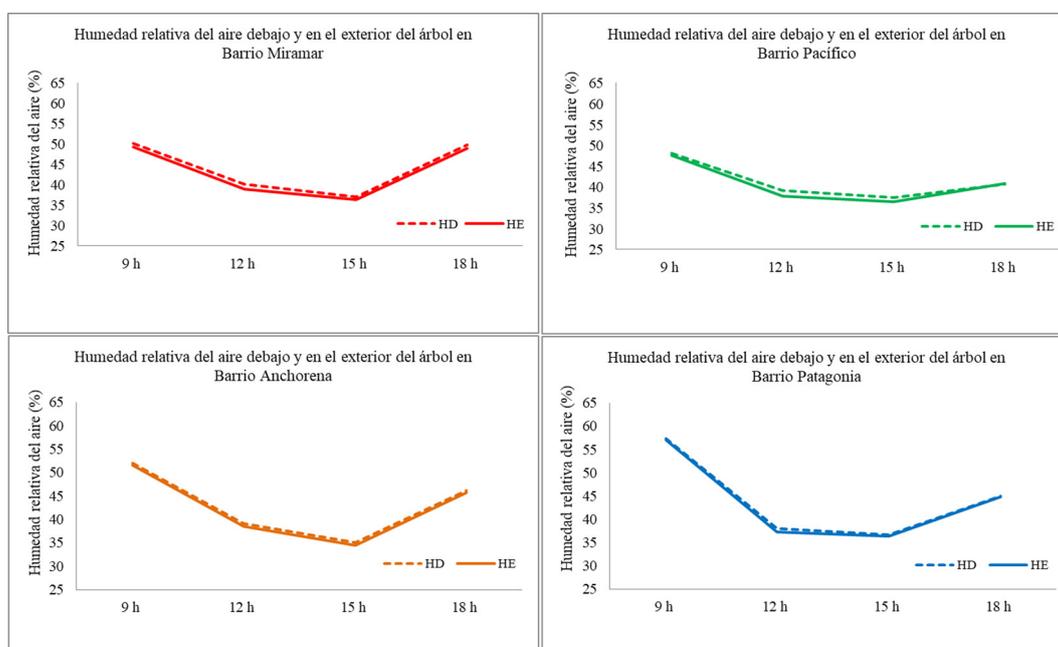
3.3.2. Humedad relativa

En el barrio Miramar la humedad relativa media para los días y horarios seleccionados fue del 43,3 %. En general, la curva diaria tuvo los máximos durante la mañana disminuyendo hacia las 15 h. A las 18 h se visualizó un aumento en relación con el anterior horario. La diferencia del elemento debajo y fuera de la copa arbórea demostró que en general la vegetación contribuye a incrementar la humedad del aire. Sin embargo, se observaron valores superiores en la calle en algunos momentos del día. Esto se puede deber a la presencia de calle de tierra, sin asfaltar o cementar. La menor diferencia de humedad relativa fue a las 9 h (0,8 %) y a las 18 h (0,9 %) mientras que la mayor, a las 12 h (1,1 %) (Figura 9). Si se comparan las especies se puede comprobar que aquellas con follaje más denso son las que registran mayores diferencias de humedad en relación al centro de la calle. Se destaca el *Ligustrum lucidum* cuya humedad relativa debajo de la copa fue de 52 % y afuera de éste, 48,6 % a las 15 h. Por otra parte también se debe mencionar *Ulmus pumila*, que a las 9 h midió una diferencia de 2,5 %, siendo la humedad superior bajo el árbol.

En el barrio Pacífico la humedad relativa media fue del 38,3 %. La curva diaria tuvo los mayores valores durante la mañana y fue en disminución hasta las 15 h. A las 18 h se observó un incremento en relación con el anterior horario. La diferencia debajo y fuera de la copa arbórea fue menor a las 18 h (0,3 %) y a las 9 h (0,5 %) mientras que la mayor se registró a las 12 h (1,4 %) (Figura 9). No se observaron diferencias significativas entre calles con distinta orientación.

En el barrio Anchorena la humedad relativa media para los días y horarios seleccionados fue del 42,6 %. Se verificó una disminución en los horarios de máxima exposición solar (entre las 12 h y 15 h) y un incremento a la mañana y tarde. Los valores oscilaron entre 58 % y 52 % a las 9 h disminuyendo a 35 % durante las 12 y 15 h. Durante la tarde la humedad relativa se elevó hasta un 63 %. Se pudo constatar que este elemento climático fue superior debajo del árbol y que su valor disminuía con la mayor exposición solar. La mayor diferencia de humedad entre ambas zonas se midió en el horario de las 12 h y 15 h (0,6%) y la menor a las 9 h (0,4%) (Figura 9). En relación con la copa y follaje, se observaron mayores diferencias de humedad relativa en *Brachychiton populneus* y *Robinia pseudoacacia* en relación con las otras especies y con el exterior. Por ejemplo, al mediodía la humedad relativa debajo del braquiquito fue de 51,1 % mientras que en el exterior fue 49,5 %. En el caso de la acacia blanca, debajo de su copa se midió 51,5 % y fuera de esta, 49,5% a las 15 h.

Figura 9. Humedad relativa del aire debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

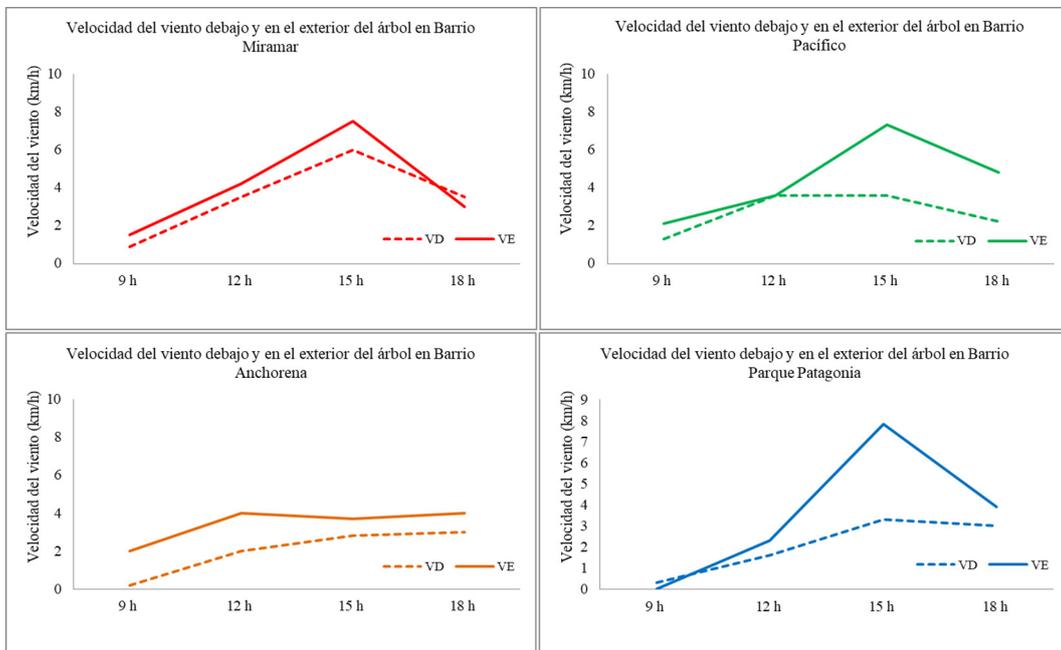
En el barrio Parque Patagonia la humedad relativa media fue del 43,8 %. Se observó una disminución en los horarios de máxima exposición solar (entre las 12 h y 15 h) y un incremento a la mañana y tarde.

Osciló entre 60 % y 55 % a las 9 h, disminuyó entre 36 % y 39 % a las 12 h y aumentó hasta el 58 % a las 18 h. Se observó que la humedad fue mayor debajo de las copas de los árboles. La mayor diferencia entre ambas zonas se produjo en el horario de las 12 h (0,8 %) y la menor a las 18 h (0,2%) (Figura 9). Por ejemplo, en el caso del *Eriobotrya japonica*, de follaje denso y copa cerrada, la humedad relativa fue del 23 % debajo del ejemplar y se redujo a 21,5 % en el centro de la calle en el horario de las 15 h.

3.3.3. Velocidad del viento

En el barrio Miramar la velocidad media del viento en los horarios considerados fue de 4,5 km/h. En relación a la diferencia entre el viento en calle y debajo de la copa del árbol, se registró la máxima a las 15 h (1,5 km/h) y la mínima a las 18 h (0,5 km/h) (Figura 10). En general la calle con orientación este-oeste tuvo mayor velocidad de viento lo cual podría influir en la temperatura del aire. Por otra parte, debajo de la copa de los árboles se observó en general menor velocidad de viento en comparación con los sitios sin influencia arbórea. Por ejemplo, a las 12 h se midió una velocidad de 5,8 km/h bajo la copa compacta de *Ulmus pumila*, mientras que en el centro de la calle el valor fue de 10, 2 km/h.

Figura 10. Velocidad del viento debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

En el barrio Pacifico la velocidad media del viento en los horarios de registro fue de 4,4 km/h. En relación a la diferencia entre el viento en calle y debajo de la copa del árbol, se observó la máxima a las 15 h (3,7 km/h) y la mínima a las 12 h (calma) (Figura 10). La calle con orientación norte-sur tuvo mayor velocidad de viento en ambos días. La influencia de este elemento se observa en la temperatura que fue superior en la calle con orientación este-oeste. Además en los árboles de estructura de copa cerrada se registró una menor velocidad de viento en relación con la calle y en comparación con los otros ejemplares de árboles de copa abierta o semiabierta. Por ejemplo, debajo de *Robinia pseudoacacia* se registró 4,2 km/h mientras que en la calle, 6,5 km/h.

En el barrio Anchorena la velocidad media del viento fue de 3,2 km/h. La máxima diferencia de velocidad entre la calle y bajo el árbol se dio a las 9 h (1,8 km/h) y la mínima a las 15 h (0,9 km/h) (Figura 10). Esta velocidad fue mayor en espacios ausentes de vegetación ya que no hay intercepción con ningún elemento. Por el contrario, para los días analizados se comprobó que la velocidad se redujo debajo de los árboles. Por ejemplo, en *Robinia pseudoacacia*, la velocidad del viento fue de 0,9 km/h debajo del árbol y de 3,8 km/h en el centro de la calle. La calle con orientación este-oeste tuvo mayor velocidad de viento lo cual podría influir en la temperatura del aire.

En el barrio Parque Patagonia la velocidad del viento presentó una media de 3,2 km/h. Los días analizados fueron poco ventosos y durante las mañanas el viento estuvo en calma aumentando hacia la tarde. Las ráfagas de viento fueron superiores en el centro de la calle, mientras que debajo de las copas de los árboles se redujo considerablemente. En relación a la diferencia entre el viento de la calle y debajo de la copa del árbol, la máxima se registró a las 15 h (4,5 km/h) y la mínima a las 9 h (0,3 km/h) (Figura 10). En ejemplares de copas densas y compactas la disminución del viento fue mayor como fue el caso de *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* donde la velocidad del mismo fue de 2,7 km/h bajo el árbol. Fuera del árbol éste aumentó a 8 km/h, a las 15 h. No hubo una diferencia significativa de velocidad del viento según la orientación de las calles. La calle con orientación este-oeste tuvo valores más elevados lo cual influyó en una disminución de la temperatura del aire.

4. Discusión de resultados

El arbolado urbano influye en la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento modificando el microclima de la ciudad y generando beneficios a los habitantes. Del análisis de los elementos climáticos medidos en los cuatro barrios se comprobó que la diferencia de temperatura entre el sector de la copa del árbol y fuera fue de 1 °C. Este resultado concuerda con el trabajo de Wang, Bakker, Groot, Wortche y Leemans (2015) realizado en Países Bajos, en el cual llegó a la misma diferencia de temperatura entre ambos sitios. En todos los horarios de medición la temperatura registrada debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la de la calle. La mayor diferencia entre ambos lugares se midió en especies de follaje denso y de copa cerrada. En barrios con mayor porcentaje de vegetación la diferencia aumentó, como es el caso de Miramar y Patagonia.

En relación con la orientación de las calles, norte-sur y este-oeste, se determinó que la influencia sobre los elementos climáticos es ínfima. Esto difiere de otros estudios realizados en que la cobertura estuvo significativamente influenciada por la orientación de calle. Entre ellos, la investigación de Sanusi *et al.* (2016) en Australia, donde la reducción de temperatura del aire fue mayor en calle con orientación este-oeste (2, -1 °C) en comparación con las de norte-sur (0,9 °C). Los autores aplicaron una metodología similar a la utilizada en este trabajo seleccionando días típicos de verano, identificando el porcentaje de cobertura de áreas arboladas y no arboladas y realizando las mediciones de distintos parámetros climáticos en calles con distinta orientación.

Por otra parte, es necesario considerar el tipo de clima de las ciudades en las cuales se lleva a cabo las investigaciones, el instrumental y las variables a considerar. En relación a esto, Rojas *et al.* (2015) estudiaron la influencia del arbolado viario sobre el microclima local en la ciudad de Barcelona. En su análisis concluyeron que la variación de temperatura entre ambos sectores fue de 1 °C. La diferencia con el estudio realizado en Bahía Blanca radica en que en el trabajo de la ciudad española se agregó a la temperatura del aire, la temperatura radiante que es el calor emitido por radiación de los elementos del entorno y además el instrumental empleado para las mediciones fue un termómetro de bulbo. Por otra parte, Gillner, Vogt, Tharang, Dettmann y Roloff (2015) definieron que la diferencia de temperatura por influencia de la vegetación es de 2 °C. Este estudio se realizó en Dresden (Alemania) y analizaron la influencia de la densidad foliar y la transpiración de seis especies arbóreas de climas templados, en el efecto de enfriamiento en las ciudades.

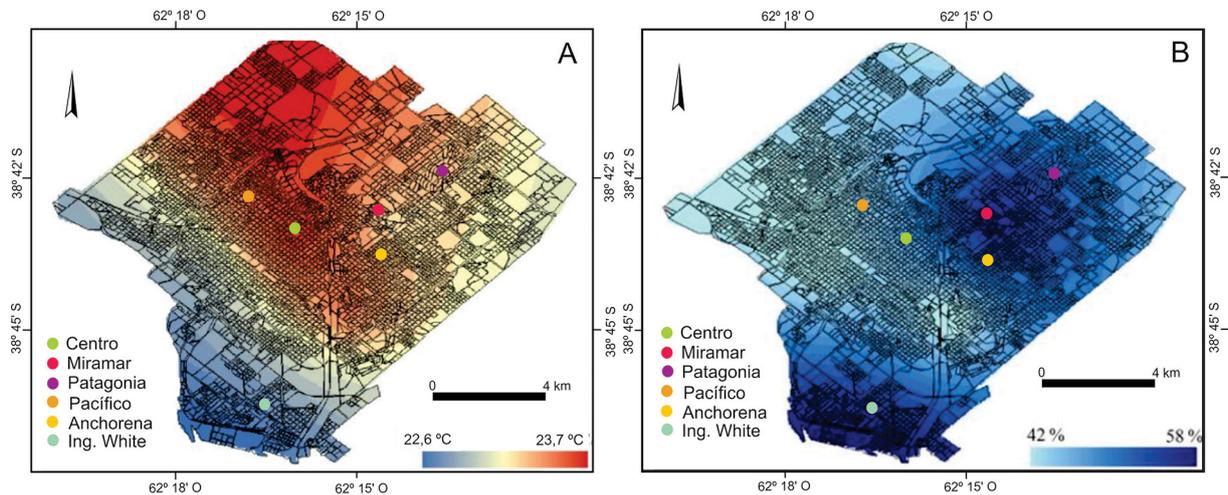
La humedad relativa del aire es mayor debajo de la copa del árbol en relación con su exterior. Las especies con estructura de copa cerrada fueron las que registraron mayores diferencias con el sector de la calle. Por lo que se puede concluir que la vegetación influye en este elemento incrementando su valor. Durante la mañana y noche se observan los porcentajes más elevados.

En relación con la temperatura del aire y la humedad relativa en la localidad de Bahía Blanca, está comprobado que existen variaciones de estos elementos durante el verano (Ferrelli y Piccolo, 2017). La diferencia térmica media entre distintos sectores de la ciudad es de 1,1 °C, registrándose los valores más elevados en el centro de la ciudad (23 °C) y los más bajos en el área de Ingeniero White (22 °C) (Figura 11). En relación con los barrios analizados se observa que, si bien la temperatura entre los sectores del área de estudio es exigua, hay un descenso mínimo para los barrios Miramar, Patagonia y Anchorena en relación con el barrio Pacífico. Es decir, la temperatura del aire descendió desde el noroeste al sureste.

Estas oscilaciones térmicas entre los distintos sectores de la ciudad pueden ser explicadas a partir, por ejemplo, de la morfología de cada sector (densidad y tipo de edificación), de la presencia o ausencia de vegetación (densidad y cobertura) y de la cercanía o lejanía al estuario. También se debe analizar la influencia

de otros elementos climáticos que contribuyen a modificar la temperatura (humedad relativa y viento). En relación con la humedad relativa, se observó que los máximos valores se presentaron en el suroeste, en particular en Ingeniero White y el noroeste, en los barrios Anchorena, Miramar y Patagonia. En estos sectores hay una gran influencia de la cercanía al mar y de la mayor cantidad de vegetación, respectivamente. Los mínimos se encuentran en la zona noroeste y suroeste coincidentes con el centro de la ciudad y el barrio Pacífico.

Figura 11. Temperatura media (A) y humedad relativa (B) en verano en Bahía Blanca



Fuente: modificado de Ferrelli y Piccolo (2017)

En relación con la velocidad del viento, la mayor frecuencia se registró en las calles con orientación este-oeste, sin embargo no es una diferencia significativa. Las especies con densidad de follaje más elevada registraron menor velocidad de viento en comparación con las otras especies. La cobertura vegetal en este caso actúa como un obstáculo al viento reduciendo su velocidad. Los barrios con alto porcentaje de vegetación, como es el caso de Patagonia, presentaron mayores diferencias entre el sector de la copa del árbol y fuera de este. Otro factor que influye en la circulación del viento y en su velocidad es la tipología de edificación. Por lo tanto, los barrios como Pacífico con una densidad de construcción mayor registraron una velocidad reducida en relación a los otros barrios. Queda demostrado que la vegetación con sus características (por ejemplo: forma y densidad de follaje) influye en el clima local creando un microclima que implica una modificación en el comportamiento de las variables climáticas.

Por otra parte, es clave conocer las características que ofrece el arbolado y las necesidades principales en el diseño (Rojas *et al.*, 2015). Vaz, Phillip, Morison y Doick (2019) determinaron que de acuerdo a la forma y periodicidad de la hoja, la forma de la copa, la densidad de follaje, entre otros, algunas especies poseen mayor potencial para proporcionar enfriamiento que otras. En Bahía Blanca se identificaron diferencias en el registro de temperaturas entre las especies de estructura de copa abierta y las de copa cerrada. Estas últimas lograron un enfriamiento de la atmósfera mayor que las primeras.

Se comprobó también que existe una relación entre las variables climáticas y de estas con la vegetación. Por ejemplo se observó que el viento reduce la temperatura del aire medida principalmente en árboles de copa abierta y de mayor altura. Esto se debe a que este tipo de estructura contribuye a la circulación del aire. Los ejemplares de copa cerrada y de menor altura, retienen mayor calor en su interior al presentar un obstáculo al viento. Con respecto a la humedad, debajo de los árboles de copa cerrada se presentaron los porcentajes más elevados de humedad relativa. En este sentido, esta investigación puede ayudar a los planificadores urbanos en el diseño de las áreas verdes urbanas y del arbolado de alineación para generar un aumento del confort especialmente en zonas de alta densidad peatonal potenciando el uso de especies nativas en reemplazo de las exóticas que en algunos casos son invasoras.

5. Conclusiones

Se pudo comprobar la modificación de las condiciones microclimáticas en las calles seleccionadas, a una micro escala. En el caso de la temperatura del aire la variación entre el sector debajo de la copa del árbol y fuera de ella es de alrededor de 1 °C. La mayor oscilación entre estos dos sectores se observó

principalmente en los horarios de las 12 h y 15 h, coincidente con la mayor radiación recibida por la superficie terrestre y el incremento de la temperatura. Por otra parte, en los barrios con máximo porcentaje de vegetación según el software *I-Tree* se registraron las diferencias más elevadas de temperatura debajo y fuera de la copa del árbol (Miramar y Patagonia). El análisis de las orientaciones permitió reconocer una diferencia de temperatura de más de 1 °C siendo superior a la mañana y a la tarde. Por otra parte, se comprobó que la densidad de follaje y la estructura de la copa también inciden en el valor de este elemento. En general, los ejemplares con abundante follaje y copa cerrada registraron menor temperatura con el exterior en comparación con los individuos de copa abierta y poco follaje.

En relación con la humedad relativa se evidenció un porcentaje mayor debajo del árbol en relación con el centro de la calle. Además se demostró que en el barrio con presencia de calles no asfaltadas o cementadas, se registraron los valores más elevados. De la comparación entre las especies, según su copa y follaje, se visualizó que aquellas de copa cerrada obtuvieron mayor variación de humedad que la registrada en el centro de la calle.

La velocidad de viento media fue de 3,8 km/h, siendo superior en Miramar y Pacífico. Se registró mayor frecuencia de la velocidad en las calles con orientación este-oeste. Además se verificó que en los árboles de copa cerrada y alto porcentaje de follaje se midieron las menores velocidades de viento en comparación con los otros árboles. Esto es debido a que la vegetación actúa como un obstáculo al viento. Las mayores variaciones se dieron en los barrios Patagonia y Pacífico. En el primer caso se corresponde con un barrio con alto porcentaje de vegetación y en el segundo, con edificaciones que pudieron contribuir a modificar los valores de velocidad por actuar como objeto de fricción.

La localización y tipología de edificación junto con el porcentaje y las características del arbolado de alineación en los barrios seleccionados demostraron que existe una influencia en el clima local. Se comprueba la presencia de un microclima basado en la modificación del comportamiento de la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento. Este análisis contribuye a reconocer a importancia del arbolado viario para el bienestar humano. Por otra parte pensar en nuevas estrategias para incrementar la masa vegetal en las ciudades, que acompañen al arbolado urbano y a los espacios verdes, también posibilitará establecer las bases para mejorar la calidad de vida de la población. Principalmente en sectores de la ciudad con mayor densidad poblacional densamente pobladas, como la zona céntrica, donde el porcentaje de construcción es elevado y predomina los materiales con capacidad de absorción de la radiación solar elevada.

El estudio sobre esta temática contribuye a profundizar sobre el concepto de ciudades sostenibles y resilientes en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El arbolado urbano y los espacios verdes son parte de la infraestructura de las urbes y en general tienen una escasa prioridad en la planificación y gestión de las ciudades por la ausencia del reconocimiento de los beneficios que otorgan. Exponer los resultados obtenidos en este caso y continuar profundizando sobre esta línea resulta fundamental para el desarrollo de ciudades sostenibles.

Financiamiento

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación Geografía física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales (24/G067). Este es dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y co-dirigido por la Dra. Verónica Gil y se encuentra subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur. También al apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), instituciones en las cuales se encuadra este estudio.

Agradecimientos

Las autoras agradecen especialmente los comentarios y sugerencias del equipo editorial que contribuyeron en la mejora del artículo.

Referencias

- Abasto, B., Fernández, E. M., Girones, L., Serra, A., Arlenghi, J. H., Arias, A. & Spetter, C. V. (2019). Dinámica espacial del carbono orgánico particulado en zona interna del estuario de Bahía Blanca y sus tributarios en primavera. En *V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie* (pp. 130-133). La Plata, Argentina.

- Adams, M.P. & Smith P.L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 132, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.008>
- Aliaga, V., Ferrelli, F. y Piccolo, C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37(4), 1237-1247. <https://doi.org/10.1002/joc.5079>
- Andrade, A. R. (2010). *Articulações entre o clima urbano eo clima regional: uma abordagem a partir da análise de Irati e Guarapuava* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Recuperado de https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24084/Tese_Aparecido%20Ribeiro%20de%20Andrade.pdf
- Benedetti, G. (2003). La problemática de los cipreses en un espacio geográfico urbano residencial: Barrio Parque Patagonia, Bahía Blanca. *Contribuciones Científicas*, 15, 55-62.
- Benedetti, G. y Campo, A. (2007). Arbolado de alineación: el mapa verde de un barrio en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Papeles de Geografía*, 45-46, 27-38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40704602>
- Benedetti, G., Campo, A. y Horvath, L. (2014). Arbolado público en el Barrio Pacífico, ciudad de Bahía Blanca: aportes para la gestión. *Párrafos Geográficos*, 13(1), 28-55. Recuperado de http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2014_V13_1/21-2.pdf
- Benedetti, G. y Duval, V.S. (2012). Arbolado urbano y barrios marginales en Bahía Blanca. En *I Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana. Desafíos y escenarios de desarrollo para las ciudades latinoamericanas* (pp. 269-278). Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En D. Parodi (Ed.), *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* (pp. 1-14). Buenos Aires: Acme.
- Calaza, P. e Iglesias, I. (2016). *El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación*. Madrid, España: Mundiprensa.
- Cané, L. (2008). *Arboles que se cultivan en la Argentina*. Buenos Aires: Distal.
- Campo, A. M., Fernández, M. E. y Gentili, J. O. (2017). Variabilidad temporal del PM10 en Bahía Blanca (Argentina) y su relación con variables climáticas. *Cuadernos Geográficos*, 56(3), 6-25. Recuperado de <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/5084/5844>
- Capelli, A., Piccolo, M. C., Ferrera, I. y Campo, A. (1986). Influencia de los árboles en el clima de la ciudad. *Revista Universitaria de Geografía*, 2(1-2), 39-54.
- Cappelli, A. M., Piccolo, M. C. y Campo, A. M. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Buenos Aires: Dunker.
- Correa, E. N., Flores, S. y Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7(9): 25-30. Recuperado de <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2003/2003-t011-a005.pdf>
- Dicek, N. (2009). *Patrimonio verde urbano*. Bahía Blanca: Municipalidad de Bahía Blanca. Recuperado de http://www.bahiablanca.gov.ar/subidos/libro_patrimonio_verde_urbano.pdf
- Ferrelli, F. y Piccolo, C. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. *Bitácora Urbano Territorial*, 27(3), 91-100. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n3.56995>
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S. y Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005>
- Grau, A. y Kortsarz, A. M. (2012). *Guía de Arbolado de Tucumán*. Recuperado de <http://www.guiadearbolado.com.ar/Publicaciones/GuiadeArboladodeTucuman-2Edicion.pdf>
- Grau, J. S. y López, J. (2018). Pavimentos reflectantes para la mitigación del cambio climático. Parte I: Estudio teórico y de laboratorio. *Asfalto*, 28(8), 13-25. Recuperado de https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/13_jsimon.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Recuperado de <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>

- Kurbán, A. y Grasso, M. (2016). Confort térmico en espacios verdes urbanos de ambientes áridos. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1), 32-43. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2476/2308>
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E. y Ríos, E. (2007). Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *Averma*, 11, 9-15.
- Leuzinger, S., Vogt, R. y Koner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>
- Martin, P. Serio, L., Pescio, A. y Dragani, W. (2016). Persistencia de vientos superficiales del cuadrante este en estaciones costeras de la Patagonia. *GEOACTA*, 40(2), 87-97. Recuperado de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2018martinpaulabeatriz.pdf>
- Martini, A., Biondi, D. y Batista, A. (2017). Urban forest components influencing microclimate and cooling potential. *Revista Árvore*, 41(6), e410603. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000600003>
- Mascaró, J., Mascaró, L., Martins, L. & Wessheimer, M. (2001). Arbolado urbano: aspectos ambientales. *Anales LINTA*, 2(5), 51-54. Recuperado de https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/901/11746_901.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Matthews, S. (2005). *Sudamérica invadida: el creciente peligro de las especies exóticas invasoras*. Nairobi: Programa Mundial sobre Especies Invasoras.
- Minervino, M. (14 de julio de 2018). Según un especialista, el arbolado urbano de Bahía es deficiente. *La Nueva*. Recuperado de <https://www.lanueva.com/nota/2018-7-14-7-0-22-segun-un-especialista-el-arbolado-urbano-de-bahia-es-deficiente>
- Minervino, (25 de mayo de 2019). Tratan de “asesina” a una empleada municipal por el talado de unos árboles. *La Nueva*. Recuperado de <https://www.lanueva.com/nota/2019-5-20-7-0-8-tratan-de-asesina-a-una-empleada-municipal-por-el-talado-de-unos-arboles>
- Moreno, F. (25 de marzo de 2019). La poda de árboles sigue generando polémicas en la ciudad. *La Nueva*. Recuperado de <https://www.lanueva.com/nota/2019-3-25-7-0-8-la-poda-de-arboles-sigue-generando-polemicas-en-la-ciudad>
- Petagna de del Río, A. M. (Sin fecha). Marginalidad del espacio natural y uso del suelo. Recuperado de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Teoriaymetodo/Conceptuales/278.pdf>
- Ochoa, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/01JMot01de12.pdf>
- Rojas, G. M., Roset, J. y Navés, F. (2015). La vegetación en el confort micro climático. Comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España. *Architecture, City and Environment*, 10(29), 59-84. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78453/3589-1398-1-PB.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. and Livesley, S. (2016). Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. *Journal of Environmental Quality*, 45, 167-174. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039>
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. y Livesley, S. J. (2017). Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. *Landscape and Urban Planning*, 157, 502-511. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.010>
- Servicio Meteorológico Nacional (2019). Recuperado de <https://www.smn.gob.ar>
- Servicio Meteorológico Nacional (2020). Estadísticas climáticas normales. Recuperado de <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- Shashua-Bar, L., Yaakov, Y. y Potchter, O. (2010). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 30(1), 44-57. <https://doi.org/10.1002/joc.1869>
- Silva, C. F. (2009). *Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Terezina* (Tesis de maestría). Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/41663460_Caminhos_bioclimaticos_desempenho_ambiental_de_vias_publicas_na_cidade_de_Terezina_-_PI

- Stewart, I. D. y Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin American Meteorological Society*, 93, 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Urriza, G. (2016). Expansión urbana, tierra vacante y demanda habitacional en Bahía Blanca. Modelos de ciudad y política urbana en debate. *Quid 16. Revista del Área de Estudios Urbanos*, 6, 281-320. Recuperado de <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2089/1777>
- Urriza, G. y Garriz, E. (2014). ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación en una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 97-123. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239105003.pdf>
- Vaz, M., Phillip, J., Morison, L. y Doick, K. J. (2019). *The role of urban trees and greenspaces in reducing urban air temperatures*. United Kingdom: Forestry Commission.
- Wang, Y., Bakker, F., Groot, R., Wortche, H y Leemans, R. (2015). Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosyst*, 18, 1305-1331. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0447-7>
- Zapperi, P. A. y Campo, A. M. (2011). Efectos de las precipitaciones intensas y su relación con las características geomorfológicas en Bahía Blanca. *Párrafos geográficos*, 10(1), 593-614. Recuperado de http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2011_V10_1/15-29.pdf

Cita bibliográfica: Moreno Jiménez, A., Cañada Torrecilla, R., & Méndez Arranz, D. (2020). La concentración de partículas en el aire: análisis estadístico de la relación espacial entre medidas de superficie y del sensor MODIS para dos tipos de tiempo en la Comunidad de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, (73), 189-209. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MJCTMA>

La concentración de partículas en el aire: análisis estadístico de la relación espacial entre medidas de superficie y del sensor MODIS para dos tipos de tiempo en la Comunidad de Madrid

Particulate matter concentration in the air: statistical analysis of spatial relations between surface and MODIS data for two weather types in the Madrid region

Antonio Moreno Jiménez^{1*}
Rosa Cañada Torrecilla²
David Méndez Arranz³

Resumen

Los sensores remotos están monitoreando la contaminación de la atmósfera planetaria y generando una abundante información sobre los aerosoles / partículas, entre otros componentes, como sucede con el sensor MODIS y su indicador *Aerosol Optical Depth* (AOD). Su cotejo con las clásicas medidas en estaciones de superficie suscita problemas de discordancias entre ambos tipos de datos. Asumiendo que debería existir una relación positiva entre ellas, en este trabajo se acomete un análisis sistemático de datos para dos tipos de tiempo, especialmente proclives a altas concentraciones de partículas en el aire en la región de Madrid, para evaluar la intensidad de la correlación entre AOD y PM₁₀ superficial y explorar sus posibles variaciones en función de ciertas variables atmosféricas (temperatura, viento y humedad relativa), de los tipos de tiempo y del contexto geográfico de cada estación de medida. En consonancia con los hallazgos de otros autores, los resultados de este trabajo corroboran, en general, la existencia de tal relación positiva, aunque afloran inconsistencias y frecuentes casos en los que la relación estadística se reduce y llega a desvanecerse por razones presumiblemente diversas, entre otras la notable falta de datos.

Palabras clave: contaminación del aire; teledetección; MODIS; espesor óptico de aerosoles (AOD); material particulado (PM₁₀); Madrid.

Abstract

Remote sensors are monitoring planetary atmospheric pollution and producing considerable information on aerosols – similarly to the MODIS sensor and its Aerosol Optical Depth (AOD) indicator. Comparison with common ground measures shows discordances between both data sources. Assuming a hypothetical positive relation between them, this work makes a systematic analysis of data representing two weather types prone to high particulate matter concentration in the Madrid region, explores the strength of AOD-PM₁₀ correlation, and the influence of meteorological variables (temperature, wind,

1 Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid, España. antonio.moreno@uam.es. *Autor para correspondencia.

2 Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid, España. rosa.canada@uam.es

3 Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid, España. david.mendez@uam.es

and relative humidity), weather types, and the geographical context. In line with other authors' findings, the results of this investigation generally support the positive relation, although inconsistencies appear, and in many cases the statistical relation frequently decreases, and may become null because of various potential reasons – including abundant missing data.

Keywords: air pollution; remote sensing; MODIS; aerosol optical depth (AOD); particulate matter (PM₁₀); Madrid.

1. Introducción

Los avances en la teledetección y la preocupación ambiental han concitado la atención sobre la información remota de la contaminación atmosférica, como alternativa y complemento a las tecnologías que, mediante sensores superficiales, miden de manera estática o móvil la calidad del aire. Estas resultan costosas de desplegar si se quiere cubrir de manera exhaustiva, o al menos representativa, el territorio a las diferentes escalas y con el detalle que dicha información es necesaria. En esa línea, los organismos dedicados a la observación espacial están desarrollando satélites y sensores para medir la concentración de partículas en el aire (PM_x) o aerosoles (mezclas de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, de fuentes naturales y antrópicas). Es sabido que dicha polución posee una trascendencia notable sobre la salud y el bienestar humano, y en particular sobre las personas con patologías cardiovasculares y respiratorias, como diversos estudios están poniendo de manifiesto (e.g. Jerrett *et al.*, 2005; Kloog, Koutrakis, Coull, Lee y Schwartz, 2011; World Health Organization, 2013; Prieto-Flores, Moreno, Gómez-Barroso, Cañada y Martínez, 2017; Royé, Zarrabeitia, Riancho y Santurtún, 2019).

Actualmente, en teledetección satelital existen dos maneras de estimar la presencia de aerosoles: mediante sensores activos y pasivos. Entre los primeros se encuentra el LIDAR (*LIght Detection And Ranging*), basado en la emisión de radiación láser pulsada y medición de la radiación retrodispersada por las partículas. En contraste, los sensores pasivos miden la radiación solar reflejada por la Tierra. Una de las principales diferencias entre sus productos radica en el componente espacial, debido a que la tecnología láser recoge datos sobre un punto en el espacio del planeta y los sensores pasivos captan radiación referenciada sobre una superficie más o menos grande (píxel).

La NASA lanzó una serie de satélites conocidos como *Earth Observation System* (EOS), entre los cuales se encuentran Terra y Aqua, que vuelan desde 2000 y 2002 respectivamente. A bordo de ellos se halla el sensor pasivo MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), del que se obtiene, como parámetro de interés aquí, el *espesor óptico de aerosoles* en la atmósfera (Harbula y Kopačková, 2011), conocido en inglés como AOD (*Aerosol Optical Depth*) o AOT (*Aerosol Optical Thickness*), resultado de aplicar ciertos algoritmos de cálculo (Levy *et al.*, 2013). AOD es una medición adimensional de la dispersión y absorción de la radiación solar ocasionada por el conjunto de aerosoles de la columna vertical entre la superficie terrestre y el techo atmosférico (Tsai, Jeng, Chu, Chen y Chang, 2011) que se distribuye comercialmente a resoluciones de 3 y 10 km.

Por su parte, las habituales medidas de PM_x en las estaciones estáticas terrestres conciernen a un microentorno distinto (el emplazamiento del sensor), por lo que físicamente no equivalen a las medidas de AOD. A raíz de ello en la tradición de estudio se ha planteado el reto de comprobar la relación entre ambas medidas, e incluso estimar las partículas en tierra (el hábitat humano) a partir de los datos de AOD.

Este trabajo avista solo al primero de los retos mencionados, asumiendo como hipótesis general una presumible relación positiva entre medidas de AOD por los sensores satelitales y de las partículas registradas en tierra. Se expone a continuación el estado de esa cuestión.

1.1. Antecedentes

Con el fin de explorar el potencial para calcular AOD mediante el uso de satélites, el cual empezó a considerarse en la década de los 70, Kaufman y Fraser (1983) midieron el AOD desde la superficie con un transmisómetro en 8 bandas espectrales entre 440 y 870 nm. Entre los resultados se detectaron algunos de los principales problemas, como la imposibilidad de diferenciar la repercusión de las partículas y la humedad relativa en la medición. Posteriores investigaciones consolidaron la posibilidad de realizar mediciones satelitales de AOD y diagnosticaron los principales retos a la hora de efectuar correcciones atmosféricas, siendo éstos recopilados por Kaufman *et al.* (1997). Destacan la necesidad de rellenar la

falta de datos de aerosoles en los productos finales mediante interpolaciones, la carencia de conocimientos específicos acerca de las características radiativas de los aerosoles y los distintos tipos de superficies (tierra, océano, etc.), la inclusión de modelos explicativos de la distribución vertical de los aerosoles en la atmósfera, el desconocimiento del efecto de composiciones mixtas de partículas y la presencia de nubes, entre muchos otros.

Entre los primeros estudios que correlacionan AOD del sensor MODIS con los aerosoles presentes en la superficie terrestre existen dos de especial mención: Wang y Christopher (2003) obtuvieron correlaciones de 0,7 al comparar AOD con mediciones horarias de $PM_{2,5}$ de siete estaciones en el Condado de Jefferson (Alabama, EEUU), mientras que Chu *et al.* (2003) hallaron correlaciones de hasta 0,82 en el norte de Italia utilizando PM_{10} diario superficial como parámetro. Aun siendo notables las diferencias metodológicas entre ambos estudios debido a los parámetros y escalas utilizados, y que las condiciones de la localización en el último caso eran ideales —las masas de aire eran estables y las fuentes de contaminación fijas—, ambos trabajos mostraron el gran potencial de aplicación de sensores remotos para la monitorización de la contaminación atmosférica.

Desde entonces, gran cantidad de estudios han intentado esclarecer la relación empírica entre AOD satelital y PM superficial, tratando no sólo de identificar los factores que la alteran sino de aplicar modelos de estimación de la concentración de aerosoles en superficie. El uso de datos meteorológicos para mejorar la medida de dicha relación ha sido probado con eficacia por Gupta y Christopher (2009) al incluir en su método multivariante la temperatura, la altura de la capa límite atmosférica, la humedad relativa y la velocidad del viento. Los cimientos teóricos se resumen de la siguiente manera: primero, una mayor temperatura puede indicar una creciente actividad fotoquímica generadora de material particulado y sus precursores. Segundo, la altura de la capa límite atmosférica (aquella cuya mezcla es predominantemente homogénea, debido a la turbulencia ocasionada por la influencia directa de la superficie irregular y determinadas situaciones climatológicas) indicará la distribución de los aerosoles en la columna de aire y, por tanto, la mayor o menor concentración en superficie. Tercero, la humedad ocasiona el crecimiento higroscópico de los aerosoles y la consecuente modificación de su coeficiente de extinción. Por último, la velocidad del viento incide en el grado de transporte de contaminantes. Adicionalmente se considera la estacionalidad de las correlaciones, ya que determinadas situaciones de estabilidad atmosférica pueden facilitar el estancamiento de contaminantes.

Aunque la enorme cuantía de factores capaces de perturbar la relación entre AOD y PM sugiera el empleo de laboriosos modelos que incluyan todos ellos para una estimación lo más completa posible —modelos de transporte químico (Liu, Koutrakis y Kahn, 2007) o regresiones con usos del suelo (Shi, Ho, Xu, y Ng, 2018), entre otros—, existe el riesgo de incurrir en dudosas correlaciones positivas debido a la alta dimensionalidad de datos y factores. Así, por ejemplo, Gupta y Christopher (2009) alcanzaron correlaciones de 0,58 al confrontar $PM_{2,5}$ únicamente con las variables meteorológicas, mientras que obtuvieron correlaciones de 0,60 usando solo AOD. Además de las variables meteorológicas, Ma, Hu, Huang, Bi y Liu (2014) incluyeron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la población como variables en su modelo, obteniendo correlaciones en torno a 0,78 sin considerar el AOD y 0,72 considerando únicamente AOD. En el estudio de Shi *et al.* (2018) se puede apreciar la notable diferencia entre los coeficientes de las variables implicadas según la estación del año considerada, revelando la naturaleza cambiante de su relación con $PM_{2,5}$; pese a la evidente mejora de la capacidad predictiva del modelo confeccionado, el cálculo de coeficientes en diferentes períodos de tiempo genera nuevas cuestiones sobre el impacto de las condiciones circunstanciales en la relación AOD-PM.

1.2. Objetivos

En ese frente de indagación y en línea con el trabajo de Moreno, Cañada y Méndez (2018), el presente estudio profundiza en el examen de la relación espacial entre AOD satelital y PM superficial, teniendo muy en cuenta que ambas tecnologías de medición, terrestre y remota, difieren sustantivamente en ámbito y procedimiento, y que sobre cada lugar intervienen muchas y distintas variables contextuales. Resulta, pues, pertinente dedicar esfuerzos para conocer los rasgos y eventuales condicionantes de las coincidencias y divergencias entre ambos tipos de medidas, para lo que se recurre aquí a planteamientos metodológicos parcialmente distintos a los previamente propuestos.

En ese sentido, se confrontarán ambas medidas y se escrutará su compleja relación, bajo las siguientes premisas analíticas:

- Atender situaciones atmosféricas de alta concentración de partículas, prioritarias por su impacto en la calidad de vida de los seres vivos.
- Considerar el posible papel de ciertas variables meteorológicas (temperatura, viento y humedad relativa), cuya pertinencia ha sido señalada en la bibliografía.
- Tener en cuenta la dimensión temporal y su posible incidencia en la variabilidad de la relación, emprendiendo análisis por tipos de tiempo bien definidos, en estaciones del año contrastadas (verano e invierno) y con desagregación incluso por días.

A través de ello, y basándonos en el caso de la Comunidad de Madrid, se espera arrojar algo de luz sobre ciertos factores presumiblemente intervinientes en la mencionada relación, poner de relieve las dificultades en el análisis y en la interpretación de los resultados, y abrir vías para indagaciones ulteriores que posibiliten un conocimiento más amplio de la polución del aire apoyado en la teledetección.

El estudio, referido a la Comunidad de Madrid, se basará en una muestra de datos correspondiente a una serie de días, bien definidos en base a sus características meteorológicas y pertenecientes a dos tipos de tiempo muy concretos. En el apartado siguiente se detallan las principales decisiones metodológicas.

2. Metodología

2.1. *Ámbito de estudio y datos*

El territorio analizado abarca la Comunidad de Madrid, siendo de especial interés la ciudad de Madrid por su mayor influencia sobre el contenido de material particulado en la atmósfera y la concentración de población.

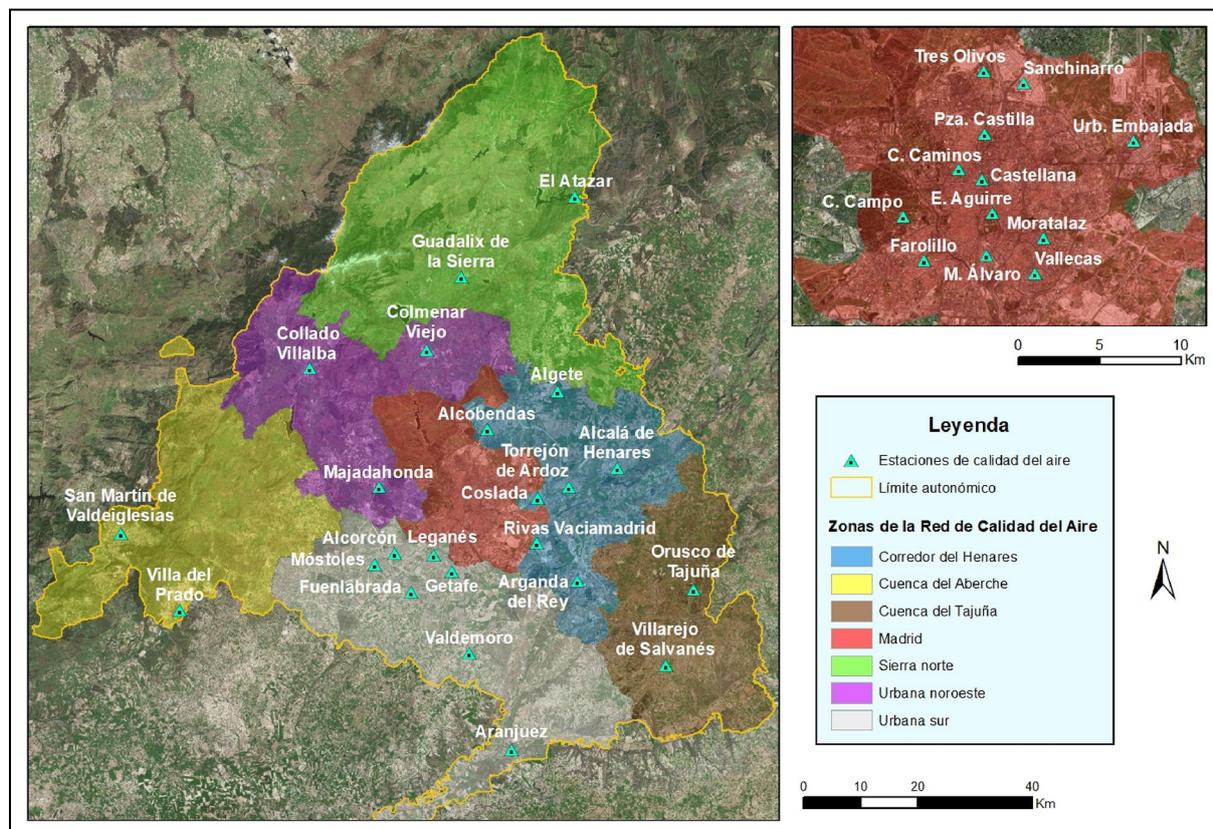
Las investigaciones previas sobre el tema han usado datos terrestres tanto de PM_{10} , como de $PM_{2,5}$, pero en este caso se ha optado por el primero, debido al escaso número de estaciones terrestres con medidas de $PM_{2,5}$ en la zona de trabajo. Los registros de PM_{10} proceden de 35 estaciones superficiales de medición, de las que 23 pertenecen a la Comunidad de Madrid y 12 al Ayuntamiento de Madrid (Figura 1). La Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid se divide en zonas con características similares, delimitadas en base a factores como los usos del suelo, la densidad de población, la orografía o el crecimiento industrial (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2014). Las zonas mejor representadas son, exceptuando el municipio de Madrid, el Corredor del Henares y la Urbana sur, con 7 estaciones cada una. El resto de las zonas contienen 3 estaciones (Urbana noroeste) o 2 estaciones (Sierra norte, Cuenca del Alberche y Cuenca del Tajuña), estando pues menos representadas las zonas con inferior densidad de población.

La cartografía vectorial utilizada se ha obtenido del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid y la ortofoto del Instituto Geográfico Nacional (IGN) por medio de ArcGIS Online (ESRI).

Dada la trascendencia que las propiedades atmosféricas poseen en la concentración de partículas en el aire, según los estudios previos, en este trabajo se ha seleccionado una muestra de días representativos de dos tipos de tiempo bien definidos e identificados por Cañada (2017), ambos caracterizados por una elevada contaminación por partículas (en el periodo 2010-2015). El primero de ellos es un tipo de tiempo anticiclónico de verano (TT9), asociado a la formación de una baja térmica en la Península Ibérica, que fuerza la convergencia de vientos superficiales y la resuspensión de polvo en la atmósfera, si bien en altura predominan los movimientos subsidentes del aire (Ayuntamiento de Madrid, 2012). Las altas temperaturas y la radiación solar favorecen la formación de aerosoles secundarios que contribuyen al aumento de partículas. Las fechas incluidas en el análisis, previa comprobación de la suficiencia de los datos, son 25-30 de junio de 2012, 9-11, 18 y 21-23 de agosto de 2012 y 7-11 de agosto de 2015.

El segundo tipo de tiempo es el anticiclónico de invierno (TT6). Éste se caracteriza por estabilidad atmosférica general duradera que aumenta la concentración de contaminantes propiciada por inversiones térmicas; ellas favorecen el estancamiento del aire y la ausencia de movimientos ascensionales ventiladores. De este tipo se han seleccionado datos de los días 12-14 de enero de 2011, 3, 4 y 9 de febrero de 2011, 21-23 de diciembre de 2011 y 21 y 22 de diciembre de 2015. Ambos tipos de tiempo tienden a mostrar episodios de elevada polución, especialmente por material particulado en el TT9, debido a la intrusión sincrónica de polvo sahariano en la Península Ibérica (Cañada, 2017; Cañada y Moreno, 2017).

Figura 1. Localización de las estaciones de medición de la contaminación del aire y zonificación de la Comunidad de Madrid según la Red de Calidad del Aire



Elaboración propia

Las mediciones remotas de AOD provienen del sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua, que cubren el globo terráqueo diariamente, sobrepasando el ecuador en torno a las 10:30 y 13:30 UTC (Hora Universal Coordinada), respectivamente. El producto empleado se denomina MxD04_L2 (MOD para Terra y MYD para Aqua) y es similar al adoptado en el estudio de Moreno *et al.* (2018), donde se describe la organización de tales datos MODIS. Tal producto contiene, a una resolución de 10 km, el parámetro *Optical Depth Land and Ocean* (AOD medido a una longitud de onda de 0,55 μm), el cual ha sido seleccionado mediante herramientas de post-procesamiento dentro del portal de la NASA *Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System, Distributed Active Archive Center* (LAADS DAAC) <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>, desde el que se ha llevado a cabo la descarga. El procedimiento de estimación del AOD permite un rango de valores de -0,1 a 5, estando vinculados los valores negativos a incertidumbres inherentes al cálculo (Remer *et al.*, 2006).

Los datos de la colección 6.1 aquí utilizados son fruto de la actualización por la NASA de la colección 6, que fue estudiada anteriormente por Moreno *et al.* (2018), por lo que difieren en buena medida respecto a los de ese trabajo. En dicha actualización (*vid.* Gupta, Levy, Mattoo, Remer y Munchak, 2016) se modificó el algoritmo para estimar la AOD sobre superficies urbanas, lo que afectaba significativamente a buena parte de los datos (ciudades del área metropolitana de Madrid). Aunque la actualización debería conllevar una mejora en la calidad de los datos, en este caso ha supuesto una disponibilidad menor de éstos. Es conocido que la pérdida de datos (en ciertos lugares y momentos) por diversas causas es una limitación importante de los sensores MODIS; ello ha obligado aquí a renunciar a los de resolución de 3 km y a incluir aquellos con niveles de calidad 2 y 3. Recuérdese que cada dato lleva asociado un indicador de calidad, siendo el nivel 3 el de menor incertidumbre (Remer *et al.*, 2006).

En este estudio se han considerado también algunas variables meteorológicas en superficie: temperatura (grados centígrados), humedad relativa (%) y velocidad (m/s) y dirección del viento (grados respecto al N), aunque solo para los 23 observatorios de la Comunidad de Madrid, ya que las estaciones del Ayun-

tamiento carecían de esa información. Tanto los datos de material particulado, como los de índole meteorológica, se han tomado considerando la hora más cercana al paso del satélite sobre la zona estudiada.

2.2. Procedimientos de análisis

Con objeto de sondear de manera más amplia la hipotética relación entre AOD y PM_{10} se ha adoptado un proceso analítico con varias fases en las que se emplean diversas técnicas estadísticas exploratorias uni y bivariadas.

Primero se examina, para cada tipo de tiempo, el conjunto total de datos para caracterizar con estadísticos univariados los indicadores por separado y estudiar luego las asociaciones entre AOD, PM_{10} y las variables meteorológicas. La relación bivariada entre AOD y PM_{10} se aborda con diferentes variantes: por una parte se obtienen correlaciones lineales, con y sin el factor de corrección sobre el PM_{10} por humedad relativa, $f(HR) = 1 / (1 - HR / 100)$, empleado por Li *et al.* (2005), lo que se complementa con un filtrado de ciertos datos anómalos (*outliers*) detectados en el paso previo. Dicha corrección posibilita considerar el crecimiento higroscópico de las partículas sobre la medición en superficie, ya que la medición de AOD no discrimina dicha modificación del coeficiente de extinción, al no poder calibrarse con un método de referencia. Por otra parte, y tras clasificar los datos de AOD y PM_{10} en sendos intervalos indiciariamente relevantes, se elaboran tablas de contingencia y se usan técnicas de correlación / asociación bivariadas, que resultan menos exigentes métricamente que el coeficiente de Pearson.

En una segunda fase se han segmentado los datos por días y satélites para cada tipo de tiempo, analizando las relaciones bivariadas con tales muestras; posteriormente se examinan días selectos de potencial interés por sus condiciones específicas (mayor número de casos, diferentes niveles de correlación, etc.), y se investiga el impacto derivado de agregar las medidas superficiales de PM_{10} por píxel de AOD (mediante su promedio) o tener en cuenta factores meteorológicos.

La ejecución de los tratamientos analíticos se ha sustentado en los sistemas estadísticos SPSS y NCSS y la producción de mapas en el sistema de información geográfica ArcGIS.

3. Resultados

De acuerdo con los objetivos formulados, el análisis se centrará en los rasgos y relaciones espaciales entre las medidas de partículas en cada uno de los dos tipos de tiempo contemplados.

3.1. Visión de conjunto de las características de los datos y correlaciones entre PM_{10} y AOD

A) La distribución estadística de los datos

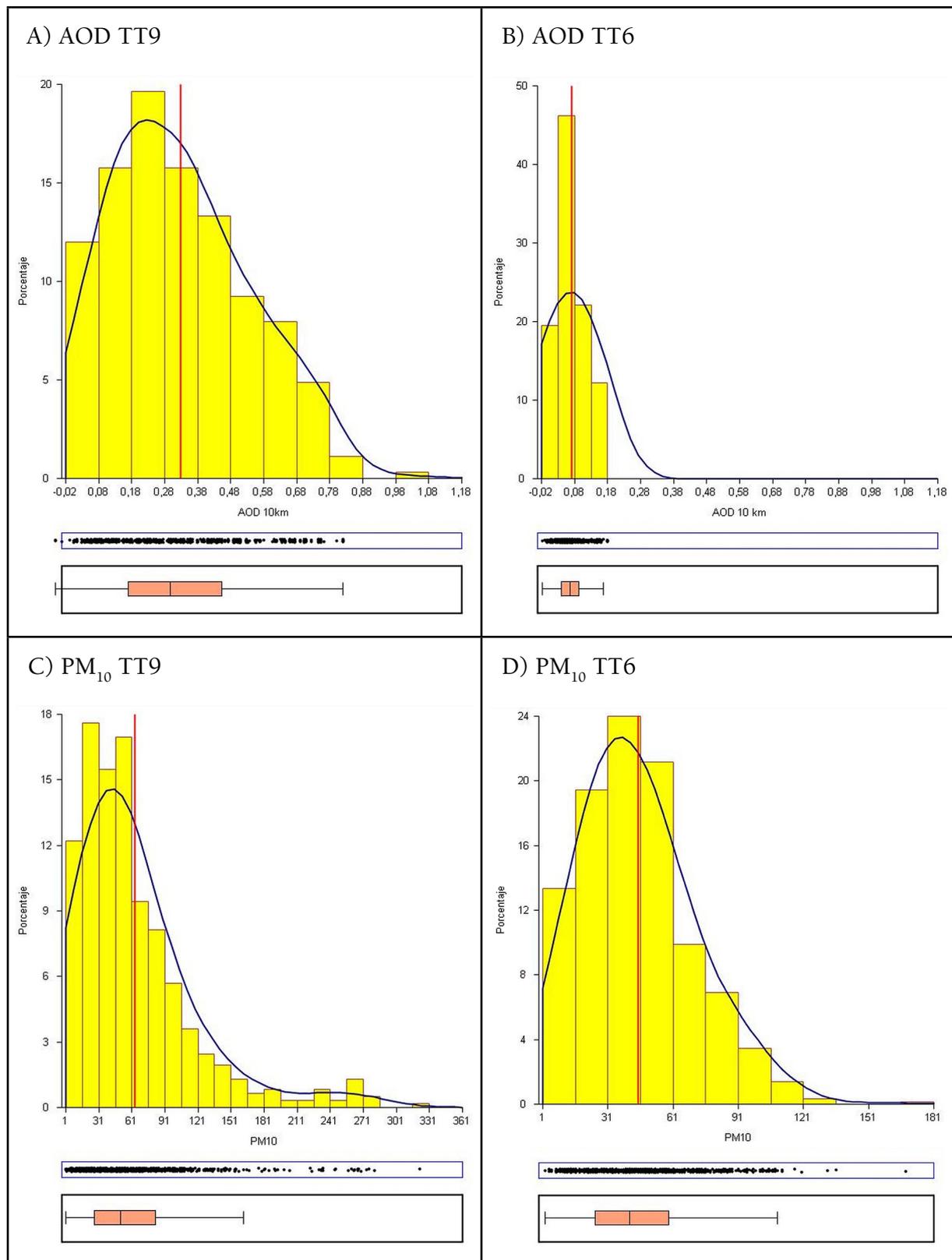
En la Tabla 1 con los resúmenes de los datos se aprecia que hay más disponibilidad de datos de alta contaminación en la muestra de tipo de tiempo anticiclónico de verano (TT9) que la de tiempo anticiclónico de invierno (TT6). Ello no repercutirá en los resultados, pues se analizarán separadamente. Las medias exhiben unos valores, tanto en AOD 10 km, como PM_{10} , claramente superiores en el TT9 respecto al TT6, como consecuencia de que en verano son muy frecuentes las intrusiones de aire sahariano provocadoras de niveles elevados de inmisión de partículas, cuya concentración supera el límite diario permitido por la legislación ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los estadísticos de variabilidad (desviación típica y coeficiente de variación) detectan que ésta también es visiblemente superior en el TT9 (verano) y los valores extremos (amplitud) ratifican esa impresión. Conviene señalar la presencia de valores mínimos sospechosamente anómalos (*outliers*), por bajos, lo que da indicios de mediocre fiabilidad, sobre todo porque los días seleccionados poseen una contaminación por partículas elevada.

Para comparar los histogramas de ambas variables entre los dos tipos de tiempo se han construido con unos límites inferiores comunes (y también el superior en AOD), aunque con intervalos de desigual amplitud. Todas las variables poseen asimetría positiva, mucho más exagerada en las partículas superficiales (Figura 2, Gráficos C y D) que en el AOD (A y B). Se aprecia también la mayor homogeneidad de los valores en el TT6 que en el TT9, en el cual destaca para AOD una larga cola a la derecha.

Finalmente, procede añadir que ninguna variable se ajusta a la normalidad, según los dos test aplicados (Tabla 1).

Figura 2. Histogramas del conjunto de datos, MODIS AOD arriba (A y B) y PM_{10} abajo (C y D), divididos según el período de tiempo al que pertenecen: tipo de tiempo anticiclónico de verano, TT9, a la izquierda (A y C) y anticiclónico de invierno, TT6, a la derecha (B y D)



Elaboración propia

Tabla 1. Estadísticos de la profundidad de aerosoles (MODIS AOD) y PM_{10} en los tipos de tiempo anticiclónico de verano (TT9) y anticiclónico de invierno (TT6) durante los días considerados

ESTADÍSTICOS	TT9 – Verano		TT6 – Invierno	
	AOD 10 km	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AOD 10 km	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
N	619	995	263	638
Media	0,33	61,91	0,07	44,94
Desviación típica	0,21	51,25	0,04	25,45
Coefficiente de variación	0,64	0,83	0,57	0,57
Mínimo / Máximo	-0,05 / 1,02	1 / 322	-0,017 / 0,180	2 / 168
Asimetría	0,521	1,86	0,482	0,811
Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov/valor de p	0,086 / 0,000	0,146 / 0,000	0,088 / 0,000	0,068 / 0,000
Test de normalidad Shapiro-Wilk / valor de p	0,962 / 0,000	0,835 / 0,000	0,968 / 0,000	0,956 / 0,000

Elaboración propia

B) Las correlaciones bivariadas

El diagrama bivariado entre AOD y PM_{10} para el TT9 (Figura 3A) muestra una tendencia escasamente definida y lejos de la linealidad. El coeficiente de Pearson arroja un valor positivo, pero exiguo. La nube de puntos para el TT6 (Figura 3D) insinúa sin embargo una tendencia positiva y significativa entre ambas variables (Tabla 2), con un $r = 0,366$, más acorde con la hipótesis plausible. En ambos casos se aprecia una heterocedasticidad muy marcada que afecta al tramo de datos medio bajo de AOD (eje X) en el TT9 y que adopta forma de abanico en el TT6.

La aplicación de la corrección por humedad, $f(\text{HR})$, mejora la r en unas décimas en ambos tipos de tiempo (Figura 3 B y E y Tabla 2), pero la fórmula no parece funcionar bien con todos los datos. Cuando la humedad relativa es alta (por encima del 60%) los valores obtenidos con ese factor de humedad son exageradamente elevados, sobre todo en el TT6. Esas altas tasas de humedad relativa durante el invierno se vinculan a las bajas temperaturas.

Apreciando que en el diagrama B (Figura 3) ciertos valores transformados (eje Y) resultan bastante anómalos (por altos) se ha construido el diagrama C, aplicando el filtro (condición de inclusión) de los datos < 250 a la variable $PM_{10} * f(\text{HR})$, para explorar luego la correlación. El resultado mejora solo muy ligeramente hasta $r = 0,152$. En el caso del TT6, sin embargo, la aplicación a la variable $PM_{10} * f(\text{HR})$ de un filtro de datos < 285 (condición de inclusión) hace que la correlación resultante mejore bastante, llegando a alcanzar una r de 0,5 (Figura 3, diagrama F). Se colige, pues, la importancia que pueden tener ciertos datos anómalos en la medición de la relación entre las variables en cuestión.

Tabla 2. Correlaciones lineales entre la profundidad óptica de aerosoles (MODIS AOD) y PM_{10} para el conjunto de datos según los tipos de tiempo, aplicando el factor de corrección por humedad ($f(\text{HR})$) y determinados filtros

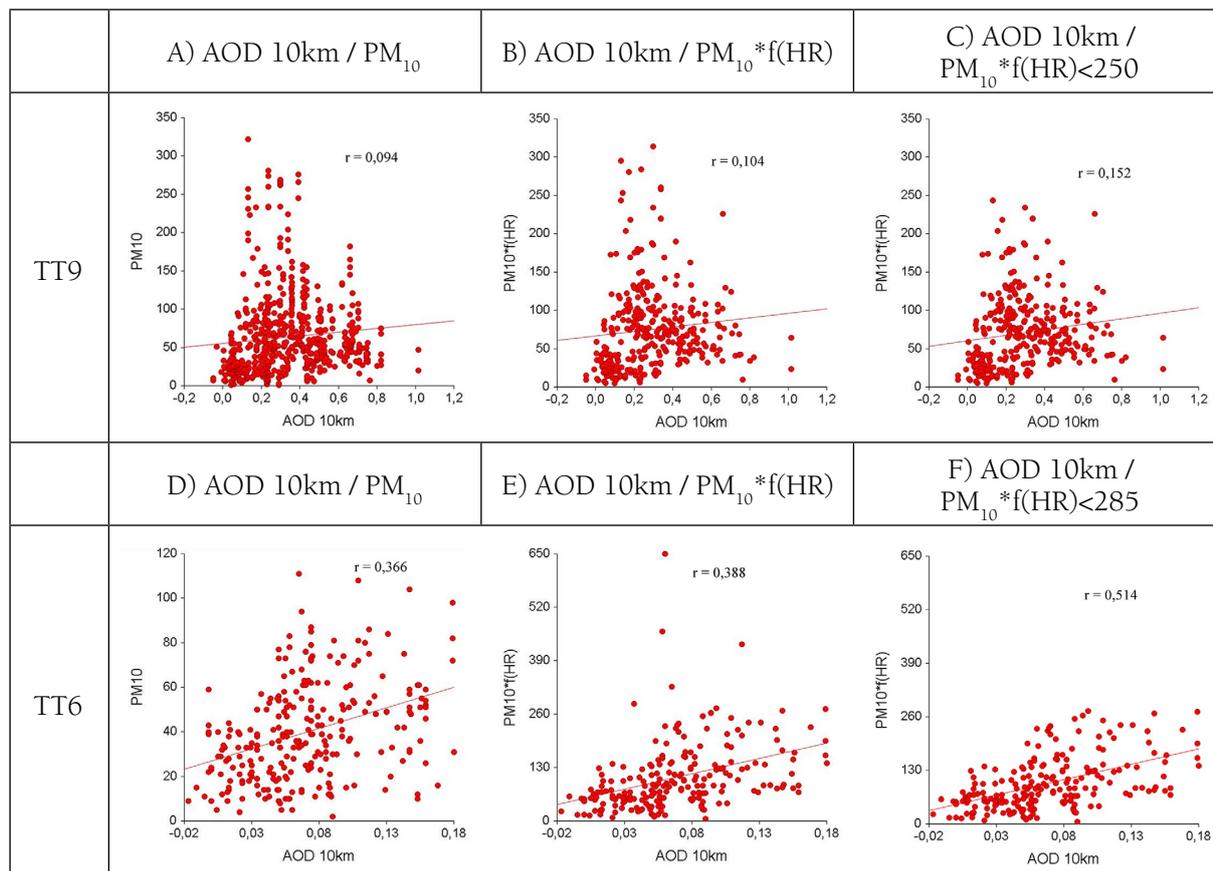
	TT9			TT6		
	r	N	Significación/p-valor ⁴	R	N	Significación/p-valor ⁴
AOD 10km / PM_{10}	0,094	614	0,019*	0,366	261	0,000**
AOD 10km / $PM_{10} * f(\text{HR})$	0,104	326	0,06	0,388	210	0,000**
	Aplicación del filtro: $PM_{10} * f(\text{HR}) < 250$			Aplicación del filtro: $PM_{10} * f(\text{HR}) < 285$		
AOD 10km / PM_{10}	0,149	319	0,008	0,443	205	0,000**
AOD 10km / $PM_{10} * f(\text{HR})$	0,152	319	0,007	0,514	205	0,000**

Elaboración propia

⁴ Como se ha señalado antes, la distribución de las variables originales (AOD y PM_{10}) no se ajusta a la normalidad, requisito básico para el test t de significación de r (i. e. $p = 0$). Por ese motivo, en esta tabla y en el resto del artículo, los resultados presentados de dicho test no se pueden considerar rigurosos, sino como una mera referencia comparativa.

Un examen atento de la heterocedasticidad en el diagrama del TT9 (Figura 3A) permite vislumbrar el valor de 0,09 como un umbral de AOD (eje X) a partir del cual la variabilidad en la PM_{10} crece mucho. En el diagrama de dispersión del TT6 (Figura 3D) es el umbral 0,05 de AOD el que permite diferenciar dos zonas: una por debajo, donde a cifras más bajas de AOD corresponden también valores bajos de PM_{10} , y otra zona por encima, donde hay menos relación (a valores medios y altos de AOD pueden corresponder valores bajos, medios o altos de PM_{10}) (Figura 3 D).

Figura 3. Diagramas de dispersión entre PM_{10} y MODIS AOD 10km en el TT9 (A, B y C) y TT6 (D, E y F)



Elaboración propia

A partir de tales observaciones se planteó acometer análisis agrupando los datos y generando tablas de contingencia. La variable AOD se ha dividido en dos intervalos, usando como límites los umbrales recién mencionados. Las PM_{10} , por su parte, se han dividido mediante el límite diario permitido por la legislación, $50 \mu g/m^3$. El resultado se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tabla de contingencia de los datos de PM_{10} y AOD para el tipo de tiempo anticiclónico de verano (TT9) y tipo de tiempo de invierno (TT6)

		PM_{10}					
		<50		>50		Total	
		Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%
TT9	<0,09	84	13,68	10	1,63	94	15,31
	>0,09	222	36,16	298	48,53	520	84,69
	Total	306	49,84	308	50,16	614	100
TT6	<0,05	79	30,27	9	3,45	88	33,72
	>0,05	103	39,46	70	26,82	173	66,28
	Total	182	69,73	79	30,27	261	100

Elaboración propia

La distribución de los datos en la Tabla 3 insinúa una relación positiva, acorde con la hipótesis esperada. La aplicación del test de la χ^2 (Chi Cuadrado) arroja un valor de 69,36 con un valor $p = 0,0000$, lo que permite rechazar la hipótesis nula (H_0) de que las dos variables son independientes y aceptar la hipótesis alternativa (H_1) de que existe relación entre ambas variables. Los coeficientes V de Cramer (0,336) y el coeficiente γ (Gamma) de Goodman y Kruskal (0,837) confirman la asociación entre ambas variables y, en este último caso, positiva.

Para el TT6, la tabla de contingencia arroja un valor del test de la χ^2 de 25,26 con una p de 0,000, que permite rechazar H_0 y aceptar también la relación entre ambas variables; los coeficientes de V de Cramer (0,311) y, particularmente, la Gamma (0,713) avalan la relación de nuevo dicha asociación positiva.

La falta de normalidad de las dos variables ha aconsejado la utilización de una tercera técnica en el estudio de estas relaciones bivariadas, el coeficiente de correlación biserial. En él se consideran las dos variables cuantitativas, si bien la variable PM_{10} se ha dicotomizado por el valor 50. Los resultados dan unos coeficientes de 0,22 para el TT9 y 0,42 para el TT6, ambos estadísticamente significativos con un p valor de 0,0000.

C) Relaciones de AOD y PM_{10} con factores meteorológicos

La correlación del espesor óptico de aerosoles y PM_{10} superficial con variables meteorológicas de tierra (velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa) da unos resultados diferentes en función del tipo de tiempo, lo cual es lógico porque ambos se corresponden con estaciones del año caracterizadas por unas condiciones atmosféricas distintas. En el **tiempo anticiclónico de verano (TT9)** la atmósfera es muy compleja: por un lado, el fuerte calentamiento superficial favorece la formación de una baja térmica que produce una convergencia de vientos superficiales y el desarrollo de un sistema convectivo, el cual a su vez incrementa la resuspensión de polvo atmosférico (Viana *et al.*, 2005). AOD y PM_{10} tienen una relación positiva con la temperatura en superficie (Tabla 4). La humedad relativa correlaciona positivamente con PM_{10} , pero la asociación resulta nula con el AOD (-0,058). La velocidad del viento superficial exhibe estadísticamente un comportamiento dispar, con AOD muestra una relación negativa y con PM_{10} positiva (Tabla 4). Los vientos del sur y sureste, procedentes de África es el que trae esa elevada carga de concentración de partículas superficiales, vientos que cuando llegan a la Meseta se calientan aún más y provocan movimientos convectivos locales. Estos vientos no se dan en altura donde predomina una subsidencia generalizada. Lo normal es que el viento contribuya a la dispersión de contaminantes, salvo en estos casos de oleadas de aire sahariano donde la elevada concentración de partículas está ligada a cierta velocidad de viento en superficie.

Tabla 4. Correlación entre AOD y PM_{10} con las variables meteorológicas: velocidad del viento (VV), temperatura (TEMP) y humedad relativa (HR) para el tipo de tiempo anticiclónico de verano (TT9) y tipo de tiempo de invierno (TT6)

		TT9			TT6		
		VV	TEMP	HR	VV	TEMP	HR
AOD 10km	Correlación de Pearson	-0,215	0,329	-0,058	-0,083	-0,286	0,276
	Significación / p-valor	0,000	0,000	0,294	0,244	0,000	0,000
	n	334	439	331	197	233	213
PM_{10}	Correlación de Pearson	0,310	0,278	-0,220	-0,137	-0,152	0,126
	Significación/ p-valor	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,009
	n	628	753	625	402	501	427

Elaboración propia

El **TT6, tiempo anticiclónico de invierno**, está dominado por la estabilidad atmosférica, que favorece el estancamiento de las masas de aire (Viana *et al.*, 2005). Hay un mayor enfriamiento del aire en la parte baja de la atmósfera que en la parte alta, lo que favorece las inversiones térmicas y la ausencia de ventilación y de dispersión de contaminantes. Tanto AOD como PM_{10} tienen una correlación negativa baja, pero que sería significativa, con la temperatura, es decir, tiende a darse una mayor concentración de partículas cuando la temperatura es más baja, plausiblemente por las citadas inversiones térmicas (Tabla 4). La relación de la velocidad del viento superficial con AOD resulta insignificante (-0,083); sin embargo, con PM_{10} es negativa, pero sería significativa, lo que concordaría con su efecto dispersor. En cuanto a la humedad relativa, corre-

laciona de modo positivo (y sería significativo) con ambas variables, lo que implica que a mayores tasas de humedad mayor es la concentración de partículas y de aerosoles atmosféricos. Es frecuente que, en invierno, como la temperatura es muy baja, se sature antes la masa de aire y aumente por tanto la humedad relativa.

3.2. Análisis segmentado por día y satélite para el tipo de tiempo de verano (TT9)

Con el fin de soslayar posibles circunstancias temporales perturbadoras, en este apartado se abordará un examen más pormenorizado de las relaciones entre los indicadores de partículas remoto y superficial, desagregando los datos por submuestras según día y satélite. Ello obviamente implica trabajar con cifras de datos mucho menores, con las consiguientes repercusiones en los test de significación (y sus requisitos).

3.2.1. Las relaciones bivariadas entre MODIS AOD y PM₁₀ superficial en el tiempo anticiclónico de verano (TT9)

En la Tabla 5 se presenta una panorámica de las relaciones bivariadas (con $n \geq 9$) en el TT9 entre AOD y PM₁₀, para luego profundizar en algunos casos reveladores. Se aprecia que las correlaciones de Terra AOD son mayormente positivas, pero sólo cuatro serían significativas. La mejor correlación corresponde al día 29 de junio de 2012 con una r de 0,828 y una p de 0,002, seguido del 26 de junio del mismo año con una r de 0,539 y una p de 0,012. En el resto de los días las correlaciones son próximas a cero (a veces negativas) y no serían significativas.

En cuanto al satélite Aqua, también son mayoría las correlaciones positivas, si bien sólo cuatro son destacadas y significativas. Resalta con una correlación de 0,558 y un valor de $p = 0,001$ el día 29 de junio de 2012 (mismo día que en el satélite Terra). Otros casos con un coeficiente notable son el 9 y el 18 de agosto de 2012. Sorprende un tanto el alto coeficiente negativo (-0,581) y significativo ($p=0,037$) del día 23 de agosto de 2012; en los casos restantes las correlaciones son cercanas a cero.

Tabla 5. Correlaciones entre MODIS AOD y PM₁₀ desagregando por día y satélite en el TT9 (anticiclónico de verano).
Nótese que concurren a veces dos pasadas (P) del satélite en un mismo día

Día	Terra AOD 10km			Aqua AOD 10km		
	r	n	Significación / p-valor	r	n	Significación / p-valor
25/06/2012	Hora 13: 0,026	17	0,922	-0,081	21	0,727
	Hora 14: -0,067	17	0,799			
26/06/2012	0,539	21	0,012*	—		
28/06/2012	P1) 0,338	28	0,078	0,204	15	0,465
	P2) 0,246	34	0,161			
29/06/2012	0,828	11	0,002**	0,558	30	0,001**
30/06/2012	-0,171	27	0,395	—		
09/08/2012	—			0,415	29	0,025*
10/08/2012	-0,04	28	0,838	0,397	12	0,201
11/08/2012	—			-0,258	21	0,26
18/08/2012	-0,036	19	0,885	P1) Hora 14: 0,237	27	0,233
				P1) Hora 15: 0,213	27	0,286
				P2) 0,595	14	0,025*
21/08/2012	0,449	20	0,047*	0,048	20	0,842
22/08/2012	0,161	14	0,581	—		
23/08/2012	0,164	13	0,591	-0,581	13	0,037*
07/08/2015	0,536	19	0,018*	-0,059	16	0,829
08/08/2015	-0,157	17	0,549	0,535	12	0,073
09/08/2015	0,062	9	0,874	-0,098	22	0,664
10/08/2015	0,3	27	0,129	Hora 15: -0,010	12	0,976
				Hora 16: 0,077	12	0,812
11/08/2015	0,509	14	0,063	P1) 0,143	17	0,585
				P2) 0,058	10	0,873

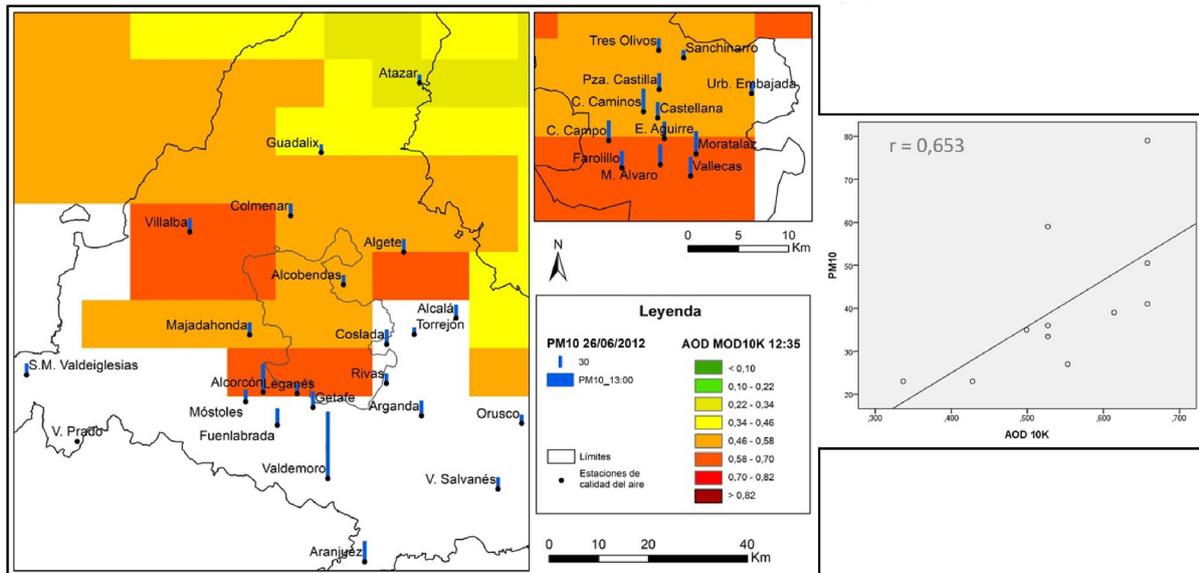
Nota: ** Sería significativo al 0,01; * Sería significativo al 0,05

Elaboración propia

3.2.2. Examen detallado para días selectos del tiempo anticiclónico de verano (TT9)

Los resultados previos invitan a escrutar con mayor detenimiento algunos de tales días, con objeto de conocer detalles de la relación entre medidas terrestres y remotas y su plasmación espacial. La confrontación de tales datos mediante técnicas cartográficas y estadísticas se abordó considerando algunas variantes: introduciendo o no la corrección de PM_{10} por la humedad relativa propuesta por Li *et al.* (2005) y promediando o no los valores de PM_{10} terrestres ubicados en el mismo píxel de MODIS AOD. Con ello se pretendió divisar posibles vías de mejora en la medición de las hipotéticas relaciones estadísticas.

Figura 4. Mapa de MODIS AOD y de PM_{10} del 26 de junio de 2012 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM_{10} de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

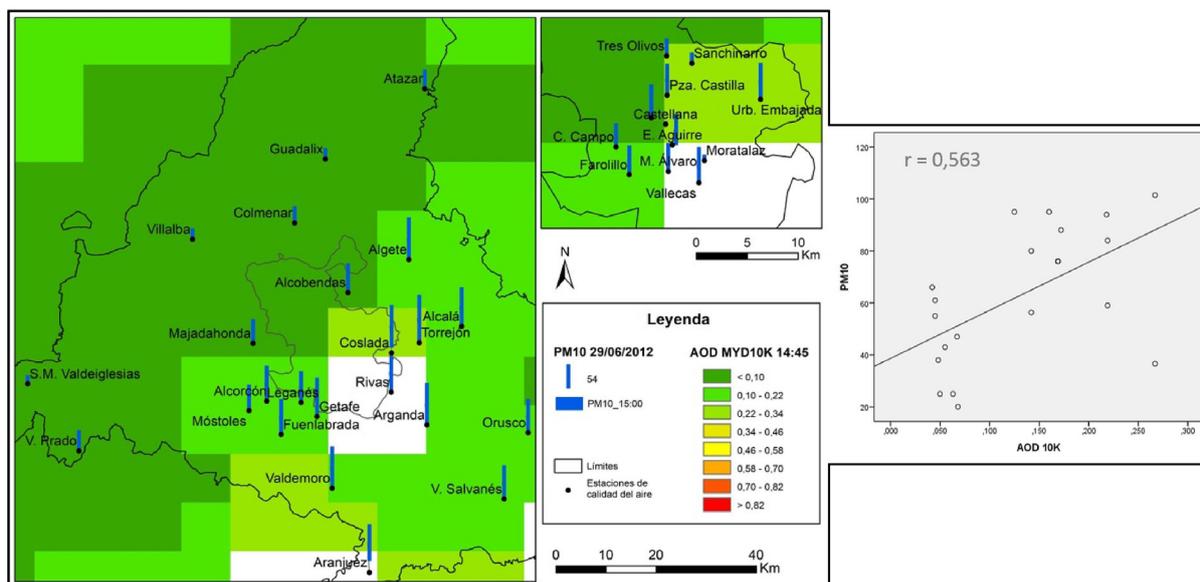
La notable correlación positiva (que sería significativa) del 26 de junio de 2012 (fecha destacada por sus elevados valores de contaminación), como se observa en la Figura 4, no incluye apenas datos de AOD de las zonas Urbana sur, Cuenca del Alberche o Cuenca del Tajuña. De hecho, las únicas estaciones de la primera de ellas incluidas (Alcorcón y Leganés) son las que generan mayor heterocedasticidad en el gráfico de dispersión. Usando la agregación (mediante promedio) de las mediciones de PM_{10} por píxel de AOD aumenta la correlación hasta 0,653, sin comprometer la significación estadística del coeficiente, aunque se reduce el número de casos hasta 11 (véase Figura 4⁵). En cambio, al aplicar la corrección por humedad, aunque la correlación se mantiene casi intacta, no sería significativa. El incremento de partículas que muestra Cuatro Caminos puede estar vinculado a factores locales (estación urbana de tráfico y temperaturas altos).

El día 29 de junio de 2012 corresponde a una bajada de la contaminación generalizada respecto a los días anteriores, pues se trata del final de un período de intrusión de polvo sahariano. En el mapa de la Figura 5⁶ se observan los valores bajos de AOD, que cubren casi la totalidad del territorio. Promediando los datos de PM_{10} por píxeles de MODIS se mejora ligeramente la correlación ($r=0,563$ respecto a $r=0,558$) manteniendo la significación, hecho menos remarcable que el gran aumento de la correlación al aplicar la corrección por humedad relativa ($r=0,807$, con $n=19$). Las estaciones Casa de Campo, Arganda del Rey, Valdemoro y Orusco de Tajuña presentan valores de PM_{10} por encima de la línea de regresión a la vez que registran una mayor velocidad del viento superficial (brisa moderada en la escala de Beaufort), pudiendo deberse a un mayor transporte (advección) de partículas sobre esos lugares.

5 El mapa de MODIS con resolución de 10 km, satélite Terra, corresponde a las 12,35 horas y las PM_{10} a las 13 horas. Los píxeles en blanco son valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

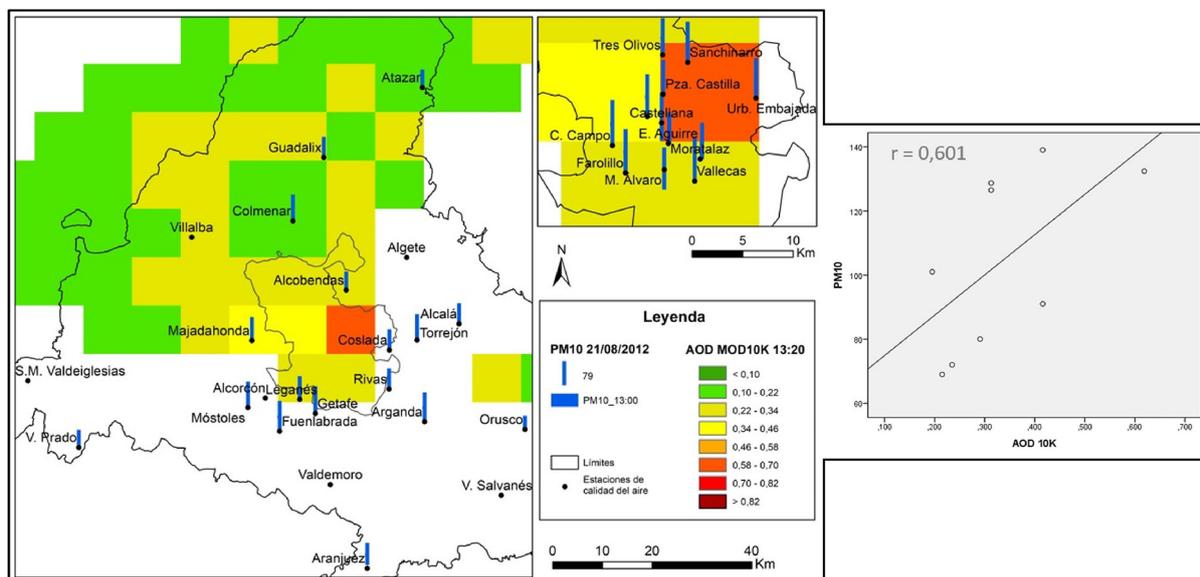
6 El mapa de MODIS con una resolución de 10 km, satélite Aqua, corresponde a las 14,45 horas y las PM_{10} a las 15 horas. Los píxeles en blanco son valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

Figura 5. Mapa de MODIS AOD y de PM₁₀ del 29 de junio de 2012 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM₁₀ de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

Figura 6. Mapa de MODIS AOD y de PM₁₀ del 21 de agosto de 2012 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM₁₀ de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

Aunque la mayor parte del territorio carezca de datos de AOD, con la información de las zonas Urbana noroeste, Sierra norte y de la ciudad de Madrid (véase mapa de la Figura 6) emerge una correlación positiva el día 21 de agosto de 2012. La relación se intensifica con los datos de PM₁₀ promediados por píxeles ($r=0,601$, pero con $n=9$, que resultaría en una menor significación), y también al incluir la corrección por humedad, aunque ahora ya no sería estadísticamente significativa. En el recuadro de la ciudad de Madrid de la Figura 6 se patentiza el claro impacto de la misma sobre el elevado valor de AOD y también se vislumbran las implicaciones notables de la geometría (y resolución) de los píxeles sobre los datos de MO-

DIS y su relación con las PM_{10} , pues muchas estaciones terrestres próximas al píxel con alto AOD tienen elevados niveles de material particulado, y sin embargo se ubican en píxeles cercanos con menor AOD⁷.

Como balance de los precedentes análisis cabe señalar, en primer lugar, la existencia de amplias zonas de la Comunidad de Madrid sin datos de AOD, lo que debilita la representatividad de las muestras. Y en segundo, que aunque en general el signo de los coeficientes r es acorde con la relación hipotética y que en ciertos días éstos serían significativos, abundan también las situaciones en las que la relación queda mal definida, estadísticamente hablando, lo que da lugar a inconsistencias empíricas.

3.3. Análisis segmentado por día y satélite para el tiempo anticiclónico de invierno (TT6)

3.3.1. Las relaciones bivariadas entre MODIS AOD y PM_{10} superficial en el TT6

El número de pares de datos disponibles para analizar es algo distinto entre los dos satélites, siendo n , en general, menor para Terra (Tabla 6). Para este tipo de tiempo invernal existe el mismo número de correlaciones positivas significativas entre AOD y PM_{10} en los dos satélites, Aqua y Terra, aunque solo coinciden en un día. Las mejores correlaciones en Terra son el 9 de febrero de 2012, con una r de 0,921 pero con sólo 5 casos, y el 21 de diciembre de 2011, con un coeficiente de 0,722. Llama algo la atención el coeficiente negativo del 3 de febrero de 2011 (-0,215), aunque no sería significativo. Las correlaciones con los datos del satélite Aqua resultan más sólidas al apoyarse en un mayor número de casos. El 14 de enero de 2011 el coeficiente llega a 0,55 con un valor de $p=0,002$. El 21 de diciembre de 2011 existe coincidencia en unas correlaciones notables con los datos de ambos satélites. En el resto de los días las correlaciones tienden a ser positivas, pero resultan bajas (véase Tabla 6).

Tabla 6. Correlaciones entre MODIS AOD y PM_{10} desagregando por día y satélite en el TT6 (anticiclónico de invierno). Nótese que concurren a veces dos pasadas (P) del satélite en un mismo día

Día	Terra AOD 10km			Aqua AOD 10km		
	r	n	Significación / p-valor	R	n	Significación / p-valor
12/01/2011	—			0,23	29	0,23
14/01/2011	Hora 12: 0,120	8	0,778	0,55	28	0,002**
	Hora 13: 0,142	8	0,737			
03/02/2011	-0,215	13	0,481	—		
04/02/2011	-0,008	6	0,989	Hora 14: 0,243	22	0,275
				Hora 15: 0,186	22	0,407
09/02/2011	P1) 0,211	10	0,559	-0,055	19	0,822
	P2) 0,921	5	0,026*			
21/12/2011	0,722	9	0,028*	0,485	17	0,048*
22/12/2011	0,566	12	0,055	P1) Hora 13: 0,240	11	0,477
				P1) Hora 14: 0,283	11	0,399
				P2) -0,651	4	0,349
23/12/2011	0,244	13	0,422	0,581	11	0,061
21/12/2015	—			0,334	15	0,224
22/12/2015	0,465	6	0,353	0,054	23	0,805

Nota: ** Sería significativo al 0,01; * Sería significativo al 0,05

Elaboración propia

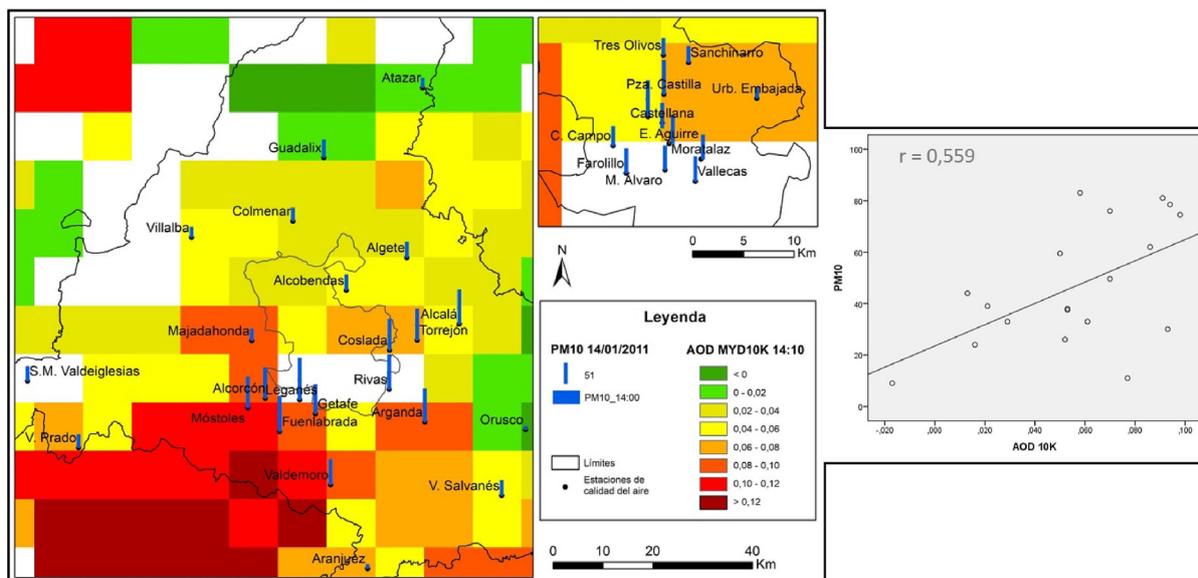
3.3.2. Examen detallado para días selectos del tiempo anticiclónico de invierno (TT6)

Para este tipo de tiempo se han escogido dos días con buena cobertura del satélite Aqua, disponiendo de mayor número de datos. En el mapa de la Figura 7 se aprecia una amplia zona de altos valores de AOD

⁷ El mapa MODIS AOD con 10 km de resolución, satélite Terra, corresponde a las 13,20 horas y las PM_{10} a las 13 horas. Los píxeles en blanco son valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

al suroeste de la región durante el día 14 de enero de 2011, que coincide con valores elevados de PM_{10} en varias estaciones terrestres allí ubicadas. Pese a que el sur de la capital carece de información de AOD la correlación es positiva y mejora, aunque levemente, usando el promedio de valores de PM_{10} por píxel ($r=0,559$; véase el gráfico de la Figura 7⁸) y la aplicación del factor humedad ($r=0,594$); ambas relaciones serían significativas. La estación de Aranjuez es la que desajusta en mayor medida la correlación (por su escasa PM_{10}), plausiblemente condicionada por factores meteorológicos locales (bajas temperaturas con inversión térmica y humedad relativa alta).

Figura 7. Mapa de MODIS AOD y de PM_{10} del 14 de enero de 2011 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM_{10} de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

En el mapa del 21 de diciembre de 2011⁹ (véase Figura 8) se aprecian valores más altos de AOD en el centro y sur-sureste de la región. El elevado nivel de material particulado en la capital parece acorde al incremento de AOD sobre el sur de la ciudad de Madrid y su periferia, aun faltando datos del grueso de la urbe. La corrección por humedad relativa y el uso de datos promediados de PM_{10} por píxel (véase el diagrama de la Figura 8) mejoran algo la correlación, sin alterar apenas la significación. Destaca (en el gráfico sobre todo) el elevado nivel de partículas en superficie registrado en la estación de Alcobendas y otras en el norte de la capital.

El 22 de diciembre de 2015¹⁰, con valores de AOD medio-altos por todo el territorio, presenta una correlación cercana a 0. Sin embargo, en el gráfico de la Figura 9 se puede observar cómo, promediando los valores de PM_{10} de las estaciones sitas dentro de un mismo píxel, la correlación se torna ligeramente positiva. Lo mismo ocurre al aplicar la corrección por humedad, aunque ninguna de estas variantes parece lograr que r sea estadísticamente significativo. Aranjuez vuelve a aparecer como la principal estación responsable del desajuste de la correlación, lo que parece abonar de nuevo la acción de factores operando localmente.

En las situaciones diarias analizadas se manifiestan mayores niveles por contaminación en la ciudad de Madrid y la zona Urbana sur; este hecho podría vincularse con la proclividad a las inversiones térmicas (y, por tanto, de estanqueidad de la polución) en el ámbito de estudio, y más frecuentes en zonas de valle,

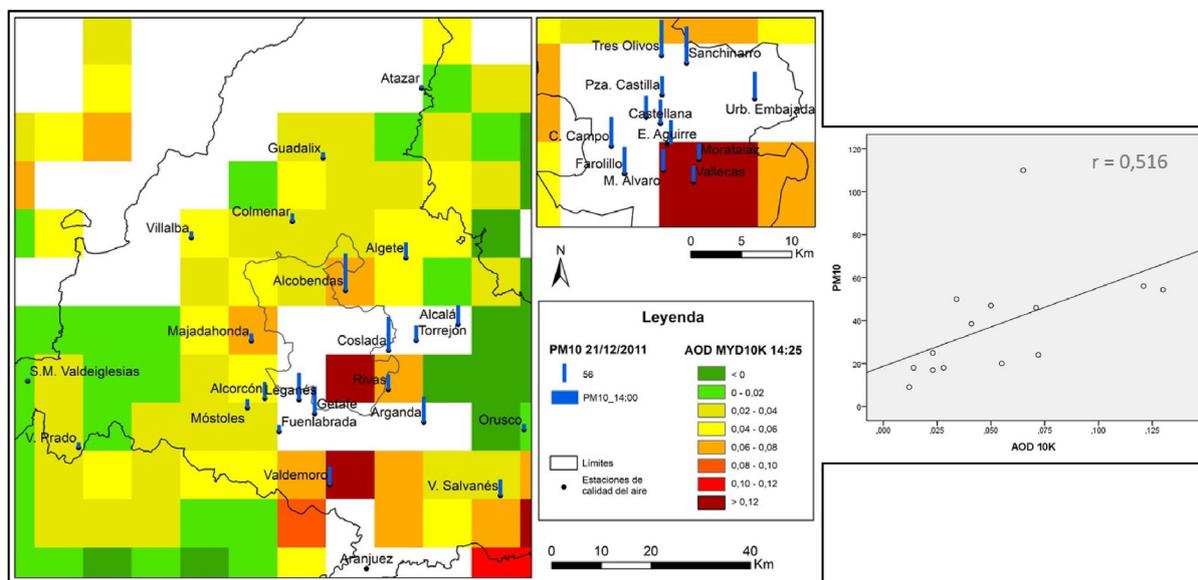
8 El mapa MODIS AOD con 10 km de resolución, satélite Aqua, corresponde a las 14:10 horas y las PM_{10} a las 14:00 horas. Los píxeles en blanco son valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

9 Mapa de MODIS AOD con 10 km de resolución, satélite Aqua, corresponde a las 14:25 horas y las PM_{10} a las 14:00 horas. Los píxeles en blanco corresponden a valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

10 El mapa de MODIS AOD con 10 km de resolución, satélite Aqua, corresponde a las 13:50 horas y las PM_{10} a las 14:00 horas. Los píxeles en blanco corresponden a valores de AOD de calidad subóptima o perdidos.

como sucede en Aranjuez, reforzadas por la específica emisión de contaminantes en cada zona —Madrid por su tráfico y la zona Urbana sur por su actividad industrial (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2014)—.

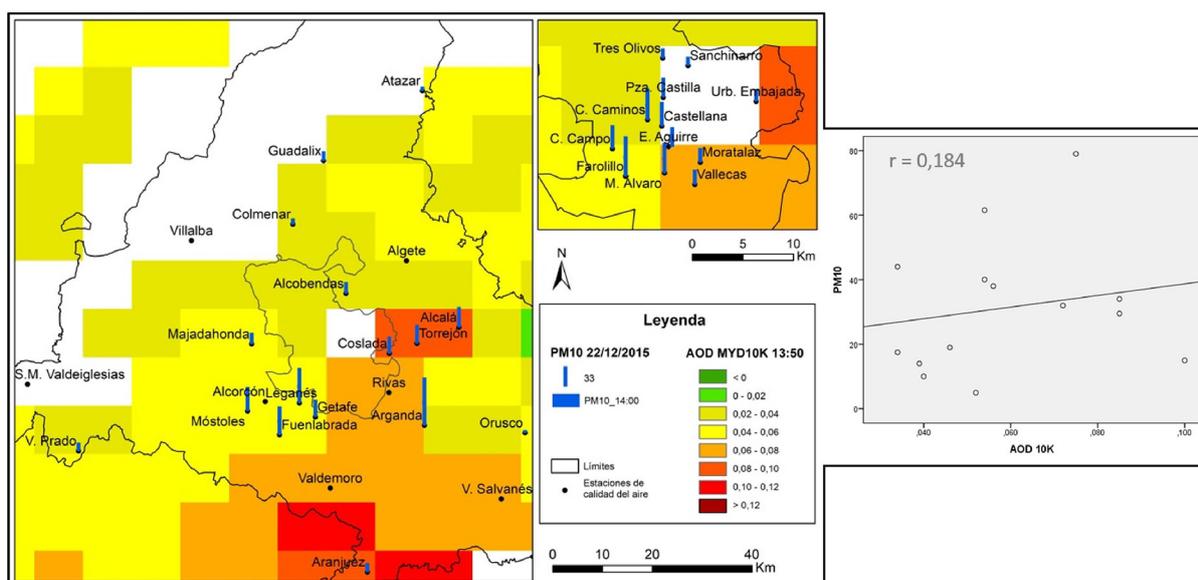
Figura 8. Mapa de MODIS AOD y de PM₁₀ del 21 de diciembre de 2011 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM₁₀ de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

En resumen, del análisis para días con TT6 se constata una cierta disparidad en la disponibilidad de datos (más abundantes en el satélite Aqua) y que también surgen unas pocas correlaciones positivas entre MODIS AOD y PM₁₀, que serían significativas y acordes con la hipótesis planteada, sin que hayan aparecido coeficientes relevantes que la contradigan.

Figura 9. Mapa de MODIS AOD y de PM₁₀ del 22 de diciembre de 2015 de la Comunidad de Madrid (izda.) y de la ciudad de Madrid (recuadro superior derecha). El gráfico de dispersión y r usan valores de AOD y promedios de PM₁₀ de las estaciones en cada píxel de AOD



Elaboración propia

4. Discusión

Mientras que la mayor parte de los estudios han tratado de establecer métodos numéricos para estimar la concentración de partículas en el aire a partir de datos satelitales mediante la inclusión de numerosos factores de complejidad diversa, en el presente artículo se acomete una extensa caracterización de los datos con objeto de escudriñar en la compleja y elusiva relación empírica entre material particulado superficial y espesor óptico de aerosoles. El examen de los estadísticos descriptivos, las relaciones bivariables y los casos singulares (según el día) han permitido desvelar y confirmar hallazgos, apuntar nuevos aspectos y circunstancias a tener en cuenta y resaltar también las limitaciones existentes. Recuérdese siempre que se trata de medidas realizadas sobre ámbitos (unidades espaciales) distintos y con técnicas diferentes, por lo que las divergencias entre ambas son forzosas.

Una de las principales limitaciones de la metodología empleada es la cambiante y a menudo escasa disponibilidad de datos MODIS, que deja sin cobertura amplias zonas del territorio y perturba seriamente la consistencia de los experimentos estadísticos. No extraña que se haya intentado paliar ese problema estimando datos faltantes con métodos de interpolación (e. g. Ma *et al.*, 2014). Otro de los factores adversos y generador de sesgo radica en la resolución de 10 km de los datos de AOD; aunque resulte apta para ámbitos suprarregionales, en estudios de escala regional o local no lo es tanto, ya que en píxeles de ese tamaño suele haber una variedad de concentraciones superficiales de PM_{10} , según las actividades y usos del suelo existentes (y su transporte). Asumir entonces solo un registro terrestre (dependiente de un microentorno específico) es plausible que, como muestra (estimador) puntual, posea una limitada representatividad respecto al dato de AOD (referido a un prisma tridimensional con 10 km de base); ello obviamente afecta a la relación estadística entre los dos indicadores usados aquí. Este hallazgo de que la correlación, en general, mejoraba cuando se usaba el promedio de los registros de PM_{10} de las estaciones del mismo píxel (como estimador estadístico de la realidad superficial) parece concordar con la lógica del muestreo espacial que las estaciones conforman (aunque en muchos píxeles hay solo una estación). Junto a una mayor densidad de estaciones terrestres (al menos experimentalmente), otra vía para avanzar en la concordancia de ambos tipos de datos sería contar con mayores resoluciones para la información remota, por ejemplo 3 km, o de 1 km, como provee el algoritmo MAIAC (*Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction*) empleado por Li, Ma, Xu y Song (2018).

Los resultados obtenidos en este trabajo al desagregar por tipos de tiempo tienen cierta concordancia con los de otros estudios que segmentan sus datos por estaciones del año. Gupta y Christopher (2009) obtienen correlaciones más altas en otoño y primavera, y más bajas en verano e invierno, al igual que Ghotbi, Sotoudeheian y Arhami (2016), aunque este último obteniendo correlaciones más bajas en verano. Ambos sostienen la existencia de diferencias bien definidas entre estaciones, remarcando el peor desempeño de las estaciones de verano e invierno. A ello se suma que en periodos de elevadas concentraciones de PM_{10} la relación con el AOD se deteriora, según Ghotbi *et al.* (2016). En este caso la correlación global entre PM_{10} y AOD (Tabla 2) se mostraba superior en el TT6 (invierno), aunque al segmentar los datos (por días y satélites) han aflorado relaciones positivas de cierta intensidad en ambos tipos de tiempo, si bien con muestras pequeñas.

Finalmente, procede recordar que la disposición de los aerosoles en la componente vertical es variable a lo largo del día, pero el parámetro AOD es una medida instantánea. Molero, Salvador, Núñez, Artñiano y Pujadas. (2001) analizaron la evolución de la capa de mezcla a lo largo de un día en el mes de febrero (invierno, situación anticiclónica) en Madrid mediante tecnología LIDAR. Se observó una estratificación en las primeras horas de la mañana, que va desapareciendo a medida que la superficie se calienta. A partir de las 12:00 h la concentración de aerosoles crece en altura y la capa de mezcla se expande, produciéndose posteriormente un máximo de concentraciones entre las 13:00 y las 14:30 h debido a procesos fotoquímicos que generan partículas secundarias. Aunque la altura de la capa de mezcla atmosférica sea dependiente de la temperatura, si se toma este último parámetro como única referencia se desemboca en una causalidad de signo opuesto, es decir, por una parte, la creciente temperatura indica la mayor actividad fotoquímica generadora de material particulado y sus precursores, mientras que por otra parte la mayor dilución de aerosoles en la ascendente capa de mezcla reduce la concentración en superficie. Todo ello testimonia la necesidad de utilizar la altura de la capa atmosférica como parámetro en esta línea de investigación, o incluir también parámetros meteorológicos habituales, pero en altura.

5. Conclusiones

La caracterización y monitoreo frecuentes, fiables y espacialmente completos de la contaminación del aire es una prioridad a cuyo logro están contribuyendo recientemente los nuevos sensores satelitales con indicadores, como el AOD, fácilmente obtenibles de los organismos de observación terrestre. Sin embargo, la confrontación de esa información con las medidas tradicionales en tierra evidencia no pocas divergencias, las cuales problematizan la valoración del ambiente superficial, suscitando las lógicas dudas interpretativas y aplicadas. Sin olvidar que ambos tipos de medidas son espacial y técnicamente distintos—hecho que justificaría *per se* muchas de esas discrepancias—, en este trabajo se ha realizado un esfuerzo sistemático por explorar cuantitativamente la también hipotética relación entre ambas y algunos de los factores y circunstancias que podrían mediar en la misma.

A tal fin se ha recurrido a una batería de conocidos instrumentos estadísticos bivariados e inferenciales, complementados con técnicas de visualización cartográfica, para mostrar algunas de las muchas caras del problema y los hallazgos que afloran.

En conjunto, los resultados pueden dar una primera impresión de cierta disparidad, que no debería desanimar, puesto que en buena parte son alentadores. Se resumen a continuación:

La hipótesis de la relación positiva entre los registros de PM_{10} en tierra y las medidas remotas de aerosoles (AOD) ha quedado, razonablemente apuntalada, aunque la intensidad de las correlaciones lineales no haya sido alta. Como se ha mostrado, en no pocos análisis ejecutados esa relación cuantitativa se difumina e incluso desaparece. Sin embargo, cuando se rebaja el nivel métrico de los datos (tratándolos como nominales u ordinales mediante su agrupación en intervalos), los coeficientes de asociación alcanzan niveles claramente más altos y, por otro lado, las pruebas de significación estadística (aunque los datos no cumplen el requisito de normalidad) avalarían la relación. Todo ello sugiere que la relación lineal bivariada entre ambos indicadores resulta una suposición demasiado simple para dar cuenta de la variabilidad que cada indicador contiene, y que proviene de muchos factores como los que seguidamente se comentan.

Las variables meteorológicas contempladas han mostrado claroscuros en su papel. La temperatura muestra una incidencia dispar; la humedad relativa no correlaciona con las variables básicas, AOD y PM_{10} , sin embargo, la aplicación de la corrección por humedad relativa de Li *et al.* (2005) tiende a incrementar ligeramente la correlación positiva. El viento superficial parece jugar de manera desigual según el tipo de tiempo (estación del año) o la ubicación de la estación medidora terrestre, por no mencionar que en altura los flujos son otros.

Los resultados comparativos de las relaciones según el tipo de tiempo y desagregación por días y satélites denotan también heterogeneidad. Aunque muchos de ellos no serían significativos, los valores de r más destacados ascienden hasta niveles medios o medio-bajos, son positivos y serían estadísticamente significativos.

Un fenómeno detectado frecuentemente es la existencia de datos anómalos (en AOD o PM_{10}) que degradan la relación, desembocando en r exigüos. Ello suele manifestarse como una fuerte heterocedasticidad, perceptible en los diagramas de dispersión bivariada.

El examen de los mapas ha puesto de manifiesto algunos hechos reseñables. En primer lugar, la abundancia de espacios en la región estudiada para los que faltan datos de AOD, lo cual debilita la consistencia de los análisis estadísticos entre días, satélites, estaciones, etc. En segundo lugar, en los mapas mostrados se constata que los niveles de AOD tienden a ser más elevados en la metrópoli central (y sus distritos meridionales), así como en el sur de la región; por el contrario, suelen ser más bajos en los ámbitos del N y NW (más rurales y naturales), lo que concuerda con la distribución de las actividades emisoras.

En clave de futuro resultan oportunas algunas consideraciones adicionales. En primer lugar que, dada la complejidad de la relación PM_{10} -AOD, parece recomendable, en estudios de escala regional o local, no solo incluir aquellos factores que físicamente modifican dicha relación (e. g. temperatura, humedad, precipitaciones, vientos, etc.), sino profundizar en el entendimiento de su interacción en un contexto espacial y temporal determinado.

En segundo, que en la comparación de los dos indicadores de partículas aquí examinados existe un problema nuclear: el distinto ámbito medido en cada caso, *i.e.* las unidades espaciales monitoreadas en ambos tipos de medidas, lugares - punto en las estaciones y prismas (píxeles) de tamaño grande, comparativamente hablando, son muy dispares. Parece obvio que los datos en tales estaciones estáticas serán

una muestra débilmente apta para representar un ámbito como la columna atmosférica registrada (y su amplia base espacial), por lo que cabe pensar en sesgos múltiples en tal muestra de puntos. Piénsese, como ejemplo, en estaciones situadas en corredores con circulación de viento continua o fuentes de contaminación presentes en las inmediaciones y poco representativas de la realidad del macro-entorno, etc. Quizá una mejor aproximación experimental se tendría con un muestreo en superficie más amplio, i.e. más medidas y definiendo un estimador apropiado (e.g. una media ponderada según los rasgos del terreno de cada píxel). Se cuenta ya con algún trabajo (costoso por demás) de obtención de abundantes medidas superficiales de partículas como el realizado por Pons *et al.* (2018), quienes elaboraron mapas de contaminación del aire con una resolución de escasos metros, al utilizar sensores portátiles con lecturas cada 10 segundos. Una confrontación experimental con datos de tal tipo podría conducir a un progreso importante en la determinación de las relaciones con el AOD.

Finalmente, cabe apuntar que, como respuesta a las importantes “lagunas” espaciales de datos de AOD, ha surgido el nuevo sensor TROPOMI del satélite precursor Sentinel-5P, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) dentro del Programa Copérnico. Sus productos están disponibles al usuario para descarga desde julio de 2018 e incluyen el parámetro *Aerosol Index*, sustituto del clásico AOD. Este índice se obtiene mediante el contraste de reflectancias en un par de longitudes de onda en el espectro ultravioleta, y dado que el cálculo de esta ratio es posible en presencia de nubes (Apituley *et al.*, 2018), ello puede solventar la frecuente pérdida de datos del sensor MODIS.

Financiación

Estudio realizado dentro del proyecto de investigación “*Polución del aire, poblaciones vulnerables y salud: análisis de injusticias ambientales basados en geotecnologías*” (Ref. CSO2014-55535-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

Referencias

- Apituley, A., Pedergrana, M., Sneep, M., Veefkind, J.P., Loyola, D. y Stein, D. (2018). *Sentinel-5 precursor/TROPOMI level 2 product user manual UV aerosol index*. Royal Netherlands Meteorological Institute, Ministry of Infrastructure and the Environment.
- Ayuntamiento de Madrid (2012). *Memoria de calidad del aire*. Madrid: Dirección General de Sostenibilidad.
- Cañada, M.R. (2017). Clasificación de tipos de tiempo y su influencia en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, material particulado (PM₁₀) y ozono en la ciudad de Madrid, España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 75, 447-470. <https://doi.org/10.21138/bage.2508>
- Cañada, M.R. y Moreno, A. (2017). Análisis y modelado de episodios de intensa contaminación por PM₁₀ en Madrid con Sistemas de Información Geográfica. *Memorias Universidad Del Azuay*, 1(XVI), 105-114. Recuperado de <http://201.159.222.81/index.php/memorias/article/view/54>
- Chu, D.A., Kaufman, Y.J., Zibordi, G., Chern, J.D., Mao, J., Li, C. y Holben, B.N. (2003). Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observation System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Journal of Geophysical Research*, 108 (D21), 4661. <https://doi.org/10.1029/2002JD003179>
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (2014). *Estrategia de calidad del aire y cambio climático de la Comunidad de Madrid 2013-2020. Plan Azul +*. Dirección General de Medio Ambiente y Sostenibilidad, 26-29.
- Ghotbi, S., Sotoudeheian, S. y Arhami, M. (2016). Estimating urban ground-level PM₁₀ using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model. *Atmospheric Environment*, 141, 333-346. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.057>
- Gupta, P. y Christopher, S.A. (2009). Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite, and meteorological products: Multiple regression approach. *Journal of Geophysical Research*, 114, D14205. <https://doi.org/10.1029/2008JD011497>
- Gupta, P., Levy, R. C., Mattoo, S., Remer, L. A., y Munchak, L. A. (2016). A surface reflectance scheme for retrieving aerosol optical depth over urban surfaces in MODIS Dark Target retrieval algorithm. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 3293-3308. <https://doi.org/10.5194/amt-9-3293-2016>

- Harbula, J. y Kopačková, V. (2011). Air pollution detection using MODIS data. *Proceedings of SPIE*, 8181, 1-15. <https://doi.org/10.1117/12.898107>
- Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Pope III, C. A., Krewski, D., Newbold, K. B., ... y Thun, M. J. (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*, 16(6), 727-736. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000181630.15826.7d>
- Kaufman, Y.J. y Fraser, R.S. (1983). Light extinction by aerosols during summer air pollution. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, 1694-1706. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<1694:LEBADS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1694:LEBADS>2.0.CO;2)
- Kaufman, Y.J., Tanré, D., Gordon, H.R., Nakajima, T., Lenoble, J., Frouin, R., ... y Teillet, P.M. (1997). Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect. *Journal of Geophysical Research*, 102, 16815-16830. <https://doi.org/10.1029/97JD01496>
- Kloog, I., Koutrakis, P., Coull, B.A., Lee, H.J. y Schwartz, J. (2011). Assessing temporally and spatially resolved PM_{2.5} exposures for epidemiological studies using satellite aerosol optical depth measurements. *Atmospheric Environment*, 45, 6267-6275. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.066>
- Levy, R.C., Mattoo, S., Munchak, L.A., Remer, L.A., Sayer, A.M., Patadia, F. y Hsu, N.C. (2013). The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 2989-3034. <https://doi.org/10.5194/amt-6-2989-2013>
- Li, R., Ma, T., Xu, Q. y Song, X. (2018). Using MAIAC AOD to verify the PM_{2.5} spatial patterns of a land use regression model. *Environmental Pollution*, 243, 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.026>
- Li, C., Mao, J., Lau, A.K.H., Yuan, Z., Wang, M. y Liu, X. (2005). Application of MODIS satellite products to the air pollution research in Beijing. *Science in China, Series D Earth Sciences*, 48(II), 209-219.
- Liu, Y., Koutrakis, P. y Kahn, R. (2007). Estimating fine particulate matter component concentrations and size distributions using satellite-retrieved fractional aerosol optical depth: Part 1— Method development. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(11), 1351-1359. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.11.1351>
- Ma, Z., Hu, X., Huang, L., Bi, J. y Liu, Y. (2014). Estimating ground-level PM_{2.5} in China using satellite remote sensing. *Environmental Science & Technology*, 48, 7436-7444. <https://doi.org/10.1021/es5009399>
- Molero, F., Salvador, P., Núñez, L., Artiñano, B. y Pujadas, M. (2001). Teledetección LIDAR de aerosoles troposféricos en la ciudad de Madrid. En J. A. Martínez y J. I. Rosell (Eds.), *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*. (pp.417-421). Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/ix/Lleida92.pdf>
- Moreno, A., Cañada, M.R. y Méndez, D. (2018). Exploración de la contaminación del aire por partículas en Madrid mediante imágenes MODIS y datos terrestres. En M. J. López, P. Carmona, J. Salom y J. M. Albertos (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica. Perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento* (pp. 180-190). Recuperado de http://www.age-geografia.es/tig/2018_Valencia/actasXVIII Congreso TIG.pdf
- Pons, J.J., Santamaría, J.M., Ariño, A., Serrano, M., Galicia, D., Elustondo, D. y Baquero, E. (2018). Cartografía de la contaminación a través de sensores portátiles. El mapa de la calidad del aire urbano de Pamplona. En M.G. López, P. Carmona, J. Salom y J.M. Albertos (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: Perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento* (pp. 414-423). Recuperado de http://www.age-geografia.es/tig/2018_Valencia/actasXVIII Congreso TIG.pdf
- Prieto-Flores, M.E., Moreno, A., Gómez-Barroso, D., Cañada, R. y Martínez, P. (2017). Contaminación del aire, mortalidad cardiovascular y grupos vulnerables en Madrid: un estudio exploratorio desde la perspectiva de la justicia ambiental. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(559). <https://doi.org/10.1344/sn2017.21.18008>
- Remer, L., Kaufman, Y., Tanré, D., Mattoo, S., Li, R.R., Martins, J.V., ... y Koren, I. (2006). *Collection 005 change summary for MODIS aerosol (04_L2) algorithms*. Retrieved from https://modis-images.gsfc.nasa.gov/C005_Changes/C005_Aerosol_5.2.pdf
- Royé, D., Zarrabeitia, M.T., Riancho, J. y Santurtún, A. (2019). A time series analysis of the relationship between apparent temperature, air pollutants and ischemic stroke in Madrid, Spain. *Environmental Research*, 173, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.065>

- Shi, Y., Ho, H.C., Xu, Y. y Ng, E. (2018). Improving satellite aerosol optical depth-PM_{2.5} correlations using land use regression with microscale geographic predictors in a high-density urban context. *Atmospheric Environment*, 190, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.021>
- Tsai, T.C., Jeng, Y.J., Chu, D.A., Chen, J.P. y Chang, S.C. (2011). Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. *Atmospheric Environment*, 45, 4777-4788. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.006>
- Viana, M., Pérez, C., Querol, X., Alastuey, A., Nickovic, S. y Baldasano, J.M. (2005). Spatial and temporal variability of PM levels and composition in a complex summer atmospheric scenario in Barcelona (NE Spain). *Atmospheric Environment*, 39, 5343-5361. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.05.039>
- Wang, J. y Christopher, S. A. (2003). Intercomparison between satellite derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass: Implications for air quality studies. *Geophysical Research Letters*, 30(21), 2095. <https://doi.org/10.1029/2003GL018174>
- World Health Organization (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP Project*. Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe.

Cita bibliográfica: Mayordomo Maya, S., & Hermosilla Pla, J. (2020). Propuesta de un método de evaluación del patrimonio cultural y su aplicación en Cortes de Pallás (Valencia). *Investigaciones Geográficas*, (73), 211-233. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MMHP>

Propuesta de un método de evaluación del patrimonio cultural y su aplicación en Cortes de Pallás (Valencia)

Proposal for a cultural heritage evaluation method and its implementation at Cortes de Pallás (Valencia)

Sandra Mayordomo Maya^{1*}
Jorge Hermosilla Pla²

Resumen

Las áreas rurales han experimentado significativas transformaciones socioeconómicas en las últimas décadas, en las cuales ha sido común la competencia de los ámbitos urbanos. Actualmente constituyen espacios multifuncionales caracterizados por el desempeño de nuevas actividades, donde el patrimonio se configura como un recurso esencial en las estrategias de desarrollo territorial (local). No obstante, el diseño de proyectos de valorización requiere la identificación del valor de cada bien. El propósito del estudio es la propuesta de un método de evaluación del patrimonio cultural, conformado por tres sistemas específicos que permiten cuantificar el interés patrimonial de los bienes inmuebles, inmateriales y los paisajes. La metodología posee una estructura jerarquizada basada en múltiples indicadores, y contempla la implementación de acciones de participación. La comprobación de la aplicabilidad del método se efectúa en una treintena de bienes emplazados en la Huerta de Cortes de Pallás, un municipio rural del interior valenciano. Entre los resultados técnicos y participativos destaca la presencia de un patrimonio valioso, y se constata la creciente consideración social hacia el medio rural y agrario. La aplicación íntegra del método confirma su validez y con ello la disponibilidad de un instrumento eficaz de gestión patrimonial que puede ser asumido por las instituciones.

Palabras clave: patrimonio cultural; método de evaluación patrimonial; Cortes de Pallás; Huerta morisca; desarrollo local; patrimonio rural; técnicas de participación; recursos turísticos.

Abstract

Rural areas have experimented with meaningful socioeconomic transformations in recent decades. These areas are multifunctional spaces characterised by new activities where heritage is an essential resource for territorial development strategies. The evaluation project design requires the identification of the value of each asset. The object of the study is the proposal for a cultural heritage evaluation method formed by three specific systems that quantify an asset's patrimonial interest in tangible, intangible, and landscape terms. The methodology is organised in a hierarchy based on multiple indicators and includes the implementation of participative actions. The verification of the viability of this method has been carried out in about 30 assets in the *Huerta* of Cortes de Pallás, a rural municipality in the interior of Valencia

1 ESTEPA. Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio. Departamento de Geografía, Universitat de València, España. sandra.mayordomo@uv.es. * Autora para correspondencia

2 ESTEPA. Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio. Departamento de Geografía, Universitat de València, España. jorge.hermosilla@uv.es

in Spain. Among the technical and participative results, a valuable heritage stands out, and a social consideration of the rural environment is demonstrated. The integral application of the method confirms its validity and viability as an effective tool for heritage management that can be carried out by organisations.

Keywords: cultural heritage; heritage evaluation method; Cortes de Pallás; Moorish *Huerta*; local development; rural heritage; participation techniques; touristic resources.

1. Introducción

El concepto de patrimonio cultural se caracteriza por su complejidad, su diversidad estructural y su carácter polisémico y poliédrico (Manero y García, 2016). Su significado ha experimentado una evolución a lo largo de la historia y ha estado condicionado por los criterios, planteamientos y valores asumidos en cada periodo y contexto. El término ha ampliado su contenido de manera progresiva y ha seguido una tendencia aglutinadora e integradora en sus tipologías (Albarrán, 2016). En este sentido, se ha evolucionado desde una perspectiva histórica y estética ligada a lo monumental, a una visión más holística y dinámica, que enfatiza la idea de construcción social (Aguilar y Amaya, 2007; García, 2012). Se trata de una propiedad colectiva, un legado que ha de ser transmitido a las generaciones futuras. Es fundamental el reconocimiento de los bienes culturales por parte de la comunidad, ya que es quien los identifica y les asigna unos valores y significados. Asimismo, los elementos no se perciben actualmente como objetos concretos y aislados, sino que se consideran además sus entornos y contextos.

Durante el siglo XX la noción de patrimonio parte desde una perspectiva vinculada a los aspectos histórico-artísticos y deriva hacia una visión integral y una inclusión territorial. En este periodo se adquiere una mayor conciencia sobre los valores patrimoniales. Actualmente el concepto de patrimonio cultural continúa su expansión y considera una amplia diversidad de tipologías y bienes, como las expresiones intangibles.

El interés por la preservación y puesta en valor del paisaje como elemento patrimonial por parte de las administraciones y la ciudadanía se ha acentuado en los últimos años (Gurrutxaga y Porcal-Gonzalo, 2019). El Convenio Europeo del Paisaje (CEP) aprobado en Florencia en el año 2000 conforma un referente en esta temática. Este documento afianza el sentido territorial del paisaje y la confluencia simultánea de los procesos naturales y culturales (Mata, 2004). El CEP contempla los vínculos que unen a los habitantes con su territorio, lo que supone un componente fundamental en la consideración del paisaje como patrimonio (Silva, 2009).

En los últimos decenios se ha puesto de manifiesto la importancia del valor patrimonial del territorio, lo que conlleva la reivindicación de un nuevo concepto, el de patrimonio territorial. Este enfoque hace referencia al conjunto de recursos heredados en un determinado ámbito geográfico, tanto naturales como culturales, que son aceptados y reconocidos socialmente (Ortega, 1998). El territorio no es únicamente un soporte físico, sino un conjunto de elementos articulados y estructurados, es decir, un sistema dinámico en el que cada recurso adquiere sentido en su conjunto (Feria, 2010).

En este contexto de valoración del patrimonio territorial y de su visión globalizadora y sistémica, se toma conciencia sobre la trascendencia del medio rural como referente patrimonial (Porcal, 2011). El territorio se caracteriza por una diversificación de actividades, con una progresiva integración del ámbito urbano y rural, por lo que la delimitación entre ambas dimensiones resulta compleja (Hermosilla e Iranzo, 2004). Tradicionalmente, los ámbitos rurales se han identificado con espacios de escasa población, en los que predomina una funcionalidad agraria, ganadera o relacionada con la explotación de los recursos naturales. Los centros urbanos se consideraban zonas de desarrollo y crecimiento, mientras que el medio rural era reconocido como un espacio periférico y con un papel subsidiario. Sin embargo, las relaciones entre las ciudades y los entornos rurales registran un cambio de paradigma a principios del siglo XXI, sustentado en un nuevo replanteamiento de las relaciones en el territorio. Se produce una progresiva superación de la dicotomía campo-ciudad, asociada a las sociedades postproductivistas, donde ambos elementos no se contemplan como una antítesis, sino como complementarios (Hernández, 2017). De este modo, en numerosos espacios rurales se produce una proliferación de usos y actividades vinculadas tradicionalmente a las ciudades, y en las áreas urbanas se observa una difusión de prácticas rurales, como los huertos urbanos.

En las últimas décadas se han producido significativas transformaciones socioeconómicas que han conllevado la asignación de nuevos significados y funciones al mundo rural (Martínez y Escribano, 2019).

Estos cambios han conformado actualmente una ruralidad distinta a la tradicional, en el que se ha avanzado desde una funcionalidad principalmente agraria hacia una diversificación de actividades. El sector primario pierde protagonismo y se produce una terciarización de la economía, donde el ámbito rural ofrece servicios de distinta tipología, tales como el ocio y turismo, el medioambiente, el paisaje, las actividades culturales, el patrimonio, etc. Como resultado de esta transformación comienza a utilizarse a finales del siglo XX el término de “nueva ruralidad”, en el que las áreas rurales se perciben como un espacio pluriactivo y multifuncional con una nueva imagen y orientación. En general, este medio ha mejorado sus condiciones y nivel de vida en las últimas décadas, pero se constata una dualidad rural (Alario, Molinero y Morales, 2018). Por un lado, se encuentran espacios rurales dinámicos próximos a centros urbanos, en áreas periurbanas o de transición, donde se observa un crecimiento económico y demográfico. Por otro, existen espacios rurales en declive y regresión, caracterizados por un elevado aislamiento, envejecimiento y despoblación.

En este escenario del medio rural los bienes y valores patrimoniales de este espacio adquieren un mayor interés y relevancia social. El patrimonio rural posee unas características singulares y propias, relacionadas con el modo de vida de los habitantes de las áreas rurales, por lo que constituye un elemento de identidad y prestigio territorial (Iranzo, 2009).

El patrimonio rural está constituido por el conjunto de bienes culturales, tanto materiales como inmateriales, generados y desarrollados en los territorios rurales. Comprende una amplia diversidad de elementos, entre los que destacan los vinculados con la identidad y la cultura tradicional de las sociedades campesinas. Las prácticas agropecuarias han generado un valioso acervo cultural. Este legado conforma el patrimonio agrario (Castillo y Martínez, 2014), de gran trascendencia y relevancia en los espacios rurales.

El reconocimiento del valor patrimonial de la cultura rural y de los paisajes agrarios no suele ser habitual. Las causas de este tradicional desinterés por la agricultura, en sus distintas manifestaciones patrimoniales, son analizadas por Silva (2008). Los factores más significativos se relacionan con la visión histórica y monumental que ha tenido el patrimonio y la exclusiva función productiva asignada normalmente a la actividad agraria. No obstante, en los últimos años se observa un creciente interés en la valoración patrimonial de los territorios rurales y agrarios, como consecuencia del reconocimiento del carácter multifuncional de la agricultura, de la propia evolución del concepto de patrimonio y de la visión totalizadora e integradora del CEP (Molinero, Baraja y Silva, 2013).

En el actual contexto de nuevas demandas y funcionalidades en los espacios rurales, el patrimonio se configura como un recurso esencial para el desarrollo local sostenible. La revalorización de este legado contribuye a la dinamización de la economía, supone la mejora sociocultural de la comunidad y refuerza el sentimiento identitario. El patrimonio del medio rural representa una oportunidad de crecimiento económico, de calidad de vida y de bienestar social para estos territorios (Rubio, 2010).

Esta relación directa entre el patrimonio y los modelos de desarrollo local no siempre ha estado presente. Las teorías y actuaciones implementadas en el ámbito rural se centraban en el aspecto sectorial y productivista de la agricultura. Sin embargo, desde la última década del siglo XX, las iniciativas de desarrollo impulsadas por la Unión Europea han asignado al patrimonio un creciente valor. Estas políticas comunitarias, a través de los programas LEADER, han consolidado al patrimonio como un elemento fundamental en las estrategias locales de desarrollo en los espacios rurales (Molina y Pascual, 2016).

El aprovechamiento turístico de los recursos del medio rural es una de las principales estrategias, en numerosas ocasiones la única, de desarrollo local sostenible. El arcaísmo de estos espacios, que ha sido denostado en el pasado, constituye en la actualidad un elemento de relevante atractivo (Hernández, 2009). El turismo rural, mediante la revalorización y puesta en valor de los bienes patrimoniales, se ha configurado como una actividad esencial para la dinamización socioeconómica. Además conlleva otros beneficios significativos desde el punto de vista social, ambiental y demográfico (Martínez, 2001), como la conservación y revalorización de los bienes patrimoniales, el fomento de las tradiciones y modos de vida, la mejora de las infraestructuras y equipamientos, la reducción del despoblamiento, la formación y cualificación de los habitantes, y la revitalización y difusión del medio.

En los últimos años han proliferado en las áreas rurales procesos de valoración patrimonial mediante figuras orientadas hacia la promoción turística de los territorios, tales como los parques patrimoniales, parques arqueológicos, territorios-museo, rutas culturales, etc.

A partir de estas reflexiones y antecedentes, el objetivo de esta investigación es proponer un método general de evaluación del patrimonio cultural y verificar su aplicabilidad y eficacia en el medio rural. La comprobación de la validez del sistema metodológico se realiza en la Huerta morisca de Cortes de Pallás, una localidad rural emplazada en el interior montañoso del territorio valenciano. Este municipio sufre procesos de éxodo rural, despoblación y envejecimiento. El espacio de la Huerta ha experimentado en los últimos años una degradación, motivada por la falta de relevo generacional y el abandono de parte de la superficie cultivada. No obstante, este paisaje cultural alberga numerosos bienes inmuebles e intangibles, y constituye un ejemplo paradigmático de los regadíos tradicionales de la montaña mediterránea.

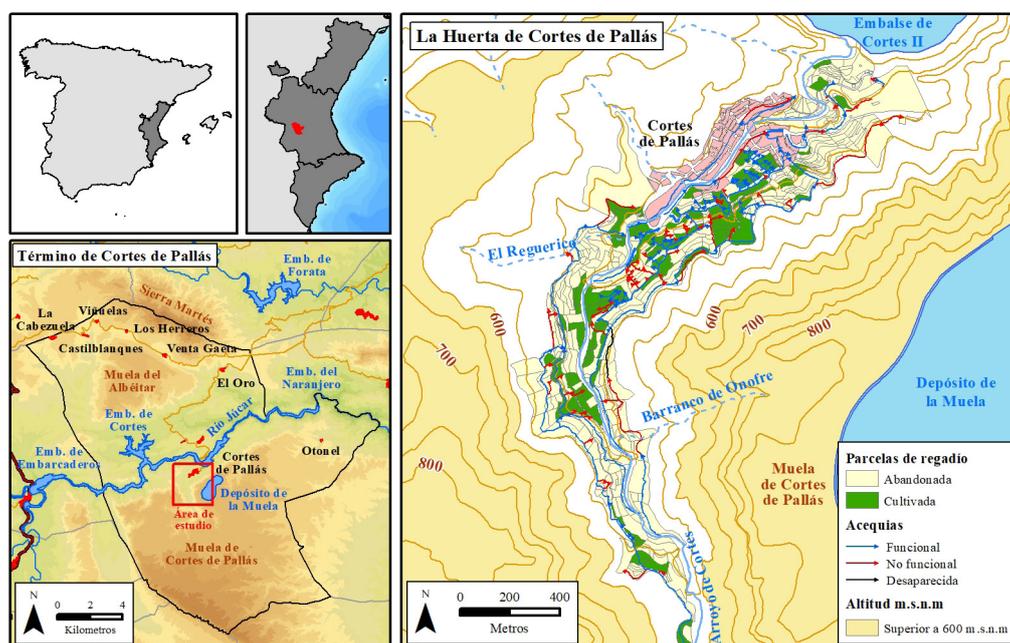
La hipótesis de este estudio se centra en que el patrimonio rural de la Huerta histórica de Cortes de Pallás posee contrastados valores patrimoniales, que son reconocidos por la sociedad local, y en particular por los agentes locales. De esta manera, la valorización de estos recursos potenciales, mediante el diseño de un producto turístico atractivo y singular, podría facilitar la dinamización socioeconómica del municipio.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El método de evaluación del patrimonio cultural propuesto se implementa en la Huerta de origen andalusí de Cortes de Pallás. Este municipio se emplaza en la comarca valenciana del Valle de Ayora-Cofrentes, en un espacio de transición entre el litoral mediterráneo y la meseta castellana. Su relieve se caracteriza por espectaculares desniveles, lo que le confiere un elevado grado de aislamiento. El río Júcar recorre el sector central del territorio formando un profundo y congosto cañón. La mitad meridional forma parte de la Reserva Nacional de Caza de la Muela de Cortes, aprobada en el año 1973. La Figura 1 muestra la localización del área de estudio.

Figura 1. Localización del área de estudio



Elaboración propia

El municipio comparte rasgos comunes con los espacios rurales del interior valenciano, caracterizados por una emigración y envejecimiento demográfico, un aislamiento geográfico, y unas limitadas actividades económicas. El sector de mayor dinamismo económico se vincula con la producción energética, merced a la construcción de complejas infraestructuras hidroeléctricas en el cauce del río Júcar: un embalse, dos centrales hidroeléctricas y un enorme depósito en La Muela.

El término cuenta con un poblamiento disperso y dispone de diversas aldeas. La población asciende a 818 habitantes, de los que la mitad —415— residen en Cortes. El callejero de este poblado tiene una

trama medieval islámica. Sus edificios más emblemáticos son la antigua Casa del Barón y la Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de los Ángeles. Los castillos moriscos de la Pileta y Ruaya, de los que se conservan algunos vestigios, flanqueaban la población por el norte y el sudoeste respectivamente. Además, la plaza es lugar de celebración de diversas manifestaciones inmateriales.

El núcleo poblacional de Cortes de Pallás se asienta en la margen izquierda del Arroyo de Cortes —también Barranco de la Barbulla o de San Vicente— tributario del Júcar por su margen derecha. La Huerta histórica, de origen islámico, se localiza junto al poblado y se extiende por el valle del mencionado cauce fluvial. Este paisaje agrario presenta un elevado grado de conservación y funcionalidad. La estructura de riego y sus elementos hidráulicos se han mantenido prácticamente inalterados durante siglos, pese al progresivo abandono de tierras. Se trata de microrregadíos de montaña adaptados a los desniveles existentes.

El paisaje abancalado mantiene su estructura original islámica, con parcelas alargadas y escalonadas adaptadas a la abrupta orografía. Este sistema abancalado está apuntalado con el almez (*Celtis australis*), un árbol singular que evita la erosión y cuya madera se utiliza para la elaboración de aperos agrícolas. En Cortes de Pallás no existe Comunidad de Regantes y el Ayuntamiento es el responsable de la gestión del riego.

La Huerta de Cortes de Pallás es una referencia de los regadíos abancalados del interior valenciano. Sin embargo, la superficie cultivada se ha reducido progresivamente en las últimas décadas, como consecuencia del abandono agrícola, la despoblación y el envejecimiento. Asimismo, los animales de la Reserva Nacional de Caza realizan frecuentes destrozos en las cosechas. Las parcelas en producción representan una cuarta parte de las existentes, con una superficie irrigada de 60 ha. Este proceso de deterioro ha derivado en una agricultura de ocio a tiempo parcial, dedicada al autoconsumo, y trabajada principalmente por pensionistas. La puesta en valor de este espacio a través de un proyecto integrado podría suponer una revitalización de la economía de la localidad.

2.2. Metodología de evaluación del patrimonio cultural

El sistema metodológico propuesto en esta investigación constituye un modelo general de evaluación del patrimonio cultural. Está conformado por tres sistemas que pueden aplicarse de manera independiente. El primero posibilita la evaluación patrimonial y caracterización de los bienes inmuebles, el segundo las expresiones inmateriales y el tercero las unidades paisajísticas³. La investigación de Mayordomo y Hermosilla (2019) expone el sistema específico de evaluación del patrimonio inmueble y testa su validez en la Huerta de Valencia.

El diseño y las estructuras de los métodos están inspirados en varios planes del Instituto del Patrimonio Cultural de España (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015a, 2015b, 2015c). Las metodologías son cuantitativas y están compuestas por múltiples indicadores. Su implementación posibilita la cuantificación del valor o interés patrimonial de cada bien o recurso, así como la evaluación de sus aspectos y características más singulares. El diseño de estrategias territoriales de valorización y gestión patrimonial requiere la identificación del valor real de cada recurso y su categorización, con el propósito de conocer sus principales rasgos.

El método general dispone de una estructura común y jerarquizada conformada por tres niveles de indicadores: categorías, criterios y variables. Las categorías de valores son comunes en los tres sistemas de evaluación y hacen referencia a “Valores intrínsecos”, “Valores patrimoniales”, y “Valores potenciales y de viabilidad”. Similares conjuntos de valores se emplean en otros métodos de evaluación patrimonial, como el de González (2007) o el de Hermosilla y Mayordomo (2017). Las tres categorías están compuestas por varios criterios y cada uno de ellos se desglosa a su vez en tres variables específicas. Se ha procurado mantener los mismos indicadores en los tres métodos, aunque se han adaptado, suprimido o ampliado en función de las particularidades existentes. Los sistemas referidos a los bienes inmuebles y paisajes cuentan con 15 criterios, mientras que para los intangibles hay 13. Las estructuras de cada metodología se observan en las Tablas 1, 2 y 3. Los métodos consideran además la realización de acciones de participación para cuantificar la evaluación participativa de los bienes por parte de la población y de especialistas locales. Estas técnicas permiten conocer la percepción de los agentes territoriales sobre su patrimonio.

³ El concepto de paisaje, en términos patrimoniales, se inscribe en la categoría de bienes inmuebles. No obstante, la metodología diseñada propone dos sistemas diferentes: uno dirigido a la evaluación de los bienes inmuebles, entendidos como elementos o edificios concretos de distinta tipología; y otro dedicado exclusivamente a los paisajes, debido a las particularidades que los caracterizan. En consecuencia y a lo largo de esta investigación, los conceptos de bien inmueble y paisaje se tratarán de manera diferenciada.

Tabla 1. Sistema de evaluación del patrimonio cultural inmueble

Categorías	Criterios	Variables	
Valores Intrínsecos	1. Representatividad	1.1.	Representatividad constructiva o tipológica
		1.2.	Representatividad por su asociación con funciones tradicionales para la comunidad
		1.3.	Representatividad por su vinculación con otros elementos anexos
	2. Autenticidad	2.1.	Morfología e imagen originaria
		2.2.	Procesos respetuosos con las características físicas y morfológicas
		2.3.	Ausencia de modificaciones del entorno o localización del bien
	3. Integridad	3.1.	Conservación óptima o satisfactoria
		3.2.	Conservación de los atributos constitutivos
		3.3.	Funcionalidad
Valores Patrimoniales	4. Histórico	4.1.	Vinculación a personajes, civilizaciones o instituciones de carácter histórico
		4.2.	Vestigios testimoniales de la historia y cultura de la comunidad
		4.3.	Testimonio de un momento o lugar histórico
	5. Social	5.1.	Expresión de un patrimonio vivo, cohesionador y dinamizador
		5.2.	Vinculación con modos y formas de habitar
		5.3.	Presencia de colectivos preocupados por la salvaguarda del patrimonio cultural
	6. Simbólico / Identitario	6.1.	Identificación y conocimiento por las comunidades locales
		6.2.	Asociación del elemento con costumbres y tradiciones populares o comunitarias
		6.3.	Sentimiento de identidad y de pertenencia al grupo o comunidad
	7. Artístico	7.1.	Autoría artística representativa del colectivo
		7.2.	Valores estéticos
		7.3.	Capacidad de expresión
	8. Técnico	8.1.	Técnica empleada en la construcción del elemento
		8.2.	Estructura técnica del bien
		8.3.	Innovaciones y mejoras tecnológicas
	9. Territorial	9.1.	Interacción del bien con los usos tradicionales del territorio
		9.2.	El bien como parte de un conjunto o sistema
		9.3.	Accesibilidad al bien
10. Paisajístico	10.1.	Entorno paisajístico de interés natural o medioambiental o con protección oficial	
	10.2.	Grado de sostenibilidad medioambiental vinculada con el bien	
	10.3.	Visibilidad del bien	
11. Educativo / Divulgativo / Científico	11.1.	Incorporación en inventarios o catálogos patrimoniales	
	11.2.	Presencia en referencias bibliográficas y obras documentales, artísticas o literarias	
	11.3.	Integración y transmisión en el ámbito educativo y formativo	
Valores Potenciales y de Viabilidad	12. Concienciación agentes sociales	12.1.	Inversiones y actuaciones de las administraciones u otros colectivos
		12.2.	Inclusión en rutas o programas culturales y turísticos sostenibles
		12.3.	Presencia de soportes divulgativos
	13. Participación e integración de las comunidades locales	13.1.	Participación en la gestión del bien cultural
		13.2.	Participación en los procesos de documentación, investigación y difusión
		13.3.	Participación como actor social del relato
	14. Rentabilidad socioeconómica	14.1.	Posibilidad de actuación integral
		14.2.	Beneficios socioeconómicos generados por el bien
		14.3.	Situación jurídica del bien y del territorio en el que se emplaza
	15. Vulnerabilidad	15.1.	Ausencia de amenazas naturales
		15.2.	Ausencia de amenazas antrópicas
		15.3.	Ausencia de vulnerabilidad intrínseca o de situación de abandono

Elaboración propia

Tabla 2. Sistema de evaluación del patrimonio cultural inmaterial

Categorías	Criterios	Variables	
Valores Intrínsecos	1. Representatividad	1.1.	Representatividad tipológica
		1.2.	Representatividad por su asociación con funciones tradicionales para la comunidad
		1.3.	Representatividad por su vinculación con otros elementos anexos tangibles
	2. Continuidad histórica	2.1.	Continuidad de la expresión inmaterial sin interrupción
		2.2.	Presencia de organización tradicional interna
		2.3.	Procesos respetuosos con los valores originales del bien
	3. Integridad	3.1.	Transmisión intergeneracional y conservación de los saberes y habilidades tradicionales
		3.2.	Integridad temporal y ritmo interno; importancia de la temporalidad
		3.3.	Conservación óptima o satisfactoria de los elementos tangibles asociados
Valores Patrimoniales	4. Histórico	4.1.	Vinculación con personajes, civilizaciones o instituciones de carácter histórico
		4.2.	Vestigio testimonial de la historia y cultura de la comunidad
		4.3.	Testimonio de un momento o lugar histórico
	5. Social	5.1.	Expresión de un patrimonio vivo, cohesionador y dinamizador
		5.2.	Vinculación con modos y formas de habitar
		5.3.	Presencia de colectivos preocupados por la salvaguarda del patrimonio cultural
	6. Simbólico / Identitario	6.1.	Identificación y conocimiento por las comunidades locales
		6.2.	Asociación de la expresión inmaterial con costumbres y tradiciones populares o comunitarias
		6.3.	Sentimientos de identidad y de pertenencia al grupo o comunidad
	7. Artístico	7.1.	Autoría artística representativa del colectivo
		7.2.	Valores estéticos
		7.3.	Capacidad de expresión
	8. Paisajístico y marco territorial	8.1.	Relación de la expresión inmaterial con el territorio
		8.2.	Grado de sostenibilidad territorial vinculado con la expresión inmaterial
		8.3.	Uso de los escenarios, itinerarios o marcos espaciales tradicionales
	9. Educativo / Divulgativo / Científico	9.1.	Incorporación en inventarios o catálogos patrimoniales
		9.2.	Presencia en referencias y obras documentales, artísticas o literarias
		9.3.	Integración y transmisión en el ámbito educativo y formativo
Valores Potenciales y de Viabilidad	10. Concienciación agentes sociales	10.1.	Inversiones y actuaciones de las administraciones u otros colectivos
		10.2.	Inclusión en programas culturales y turísticos sostenibles
		10.3.	Presencia de soportes divulgativos
	11. Participación e integración de las comunidades locales	11.1.	Participación en la gestión del bien cultural
		11.2.	Participación en los procesos de documentación, investigación y difusión
		11.3.	Participación como actor social del relato
	12. Rentabilidad socioeconómica	12.1.	Posibilidad de revitalización o revalorización de la expresión inmaterial
		12.2.	Beneficios socioeconómico generados por el bien
		12.3.	Situación jurídica de la expresión inmaterial
	13. Vulnerabilidad	13.1.	Ausencia de amenazas vinculadas con el turismo no planeado y masivo
		13.2.	Ausencia de amenazas vinculadas con la comercialización indebida del conocimiento o de los productos tradicionales
		13.3.	Ausencia de amenazas vinculadas con la falta de transmisión, desconocimiento o desinterés por algunos sectores de la comunidad

Elaboración propia

Tabla 3. Sistema de evaluación de los paisajes

Categorías	Criterios	Variables	
Valores Intrínsecos	1. Representatividad	1.1.	Representatividad tipológica
		1.2.	Representatividad por su asociación con funciones tradicionales para la comunidad
		1.3.	Representatividad por funciones similares presentes en territorios próximos
	2. Autenticidad	2.1.	Morfología e imagen fiel al paisaje asumido como propio
		2.2.	Continuidad de los procesos que estructuraron el paisaje actual
		2.3.	Presencia de medidas de gestión y recuperación paisajística
	3. Integridad ecológica	3.1.	Biodiversidad
		3.2.	Madurez de las formaciones vegetales
		3.3.	Estado de conservación medioambiental
	4. Estructura geofísica / ambiental	4.1.	Presencia de formas del terreno y orografía complejas
		4.2.	Presencia de láminas de agua
		4.3.	Cubierta de vegetación continua
	5. Visibilidad	5.1.	Diversidad y armonía de la escena
		5.2.	Trasmisión de tranquilidad
		5.3.	Amplitud de vistas o panorámicas
Valores Patrimoniales	6. Histórico	6.1.	Vinculación con personajes, acontecimientos o civilizaciones de carácter histórico
		6.2.	Vestigios testimoniales de la historia y cultura de la comunidad
		6.3.	Presencia de asentamientos humanos históricos o lugares arqueológicos
	7. Social	7.1.	Expresión de un paisaje vivo, cohesionador y dinámico
		7.2.	Vinculación con modos y formas de habitar
		7.3.	Saberes tradicionales relacionados con actividades y manifestaciones populares
	8. Simbólico / Identitario	8.1.	Presencia de representaciones folclóricas
		8.2.	Sentimiento de identidad y de pertenencia al grupo o comunidad. El paisaje está en el imaginario colectivo
		8.3.	Celebración de actos cohesionadores del grupo
	9. Artístico	9.1.	Presencia de expresiones artísticas asociadas al paisaje
		9.2.	Fuente de inspiración
		9.3.	Valores estéticos
	10. Divulgativo / Científico	10.1.	Presencia de bienes culturales inventariados, catalogados o protegidos
		10.2.	Presencia en referencias bibliográficas y obras documentales o literarias
		10.3.	Presencia de colectivos preocupados por la salvaguarda del paisaje y el patrimonio
Valores Potenciales y de Viabilidad	11. Concienciación agentes sociales	11.1.	Situación jurídica y protección de la unidad paisajística
		11.2.	Inversiones y actuaciones de las administraciones u otros colectivos
		11.3.	Estrategias y materiales de difusión y divulgación
	12. Participación e integración de las comunidades locales	12.1.	Participación en la gestión de la unidad paisajística
		12.2.	Participación en los procesos de documentación, investigación y difusión
		12.3.	Participación como actor social del relato
	13. Rentabilidad socioeconómica	13.1.	Generación de empleo o crecimiento económico
		13.2.	Presencia de actividades económicas diversas
		13.3.	Capacidad del propio paisaje para desarrollar actividades económicas sostenibles
	14. Vulnerabilidad	14.1.	Ausencia de situación de abandono
		14.2.	Ausencia de amenazas vinculadas con el turismo no planeado y masivo
		14.3.	Ausencia de amenazas vinculadas con el desconocimiento o desinterés por parte de algunos sectores de la comunidad
	15. Accesibilidad	15.1.	Presencia de miradores
		15.2.	Posibilidad de transitar el interior del paisaje
		15.3.	Accesibilidad viaria

Elaboración propia

Los “Valores intrínsecos” constituyen la primera categoría del modelo general de evaluación patrimonial. Hacen referencia a las características propias e inherentes al bien cultural. Este conjunto de valores posee tres criterios comunes en los tres sistemas: la Representatividad, la Autenticidad y la Integridad. Se trata de conceptos habituales en el ámbito del patrimonio, acreditativos del valor cultural y la distinción patrimonial. En el método de paisaje, esta categoría incluye otros dos criterios: Estructura geofísica o ambiental y Visibilidad.

La *Representatividad* considera los atributos del bien cultural y los compara con los predominantes en el resto de elementos análogos situados en el entorno. Los aspectos evaluados se refieren a la tipología del bien, a las funciones tradicionales desarrolladas y a su vinculación con otros elementos anexos representativos.

La *Autenticidad* evalúa el grado de fidelidad que posee el bien respecto a sus cualidades y valores primigenios. En los sistemas de evaluación de los elementos tangibles, las variables se centran en la conservación de los rasgos materiales y morfológicos originales. Sin embargo, en el patrimonio inmaterial, el concepto de autenticidad no es posible aplicarlo de la misma forma. Las manifestaciones intangibles son dinámicas y procesuales, y están en continua actualización. Por ello, en este método se ha sustituido el criterio de Autenticidad por el de Continuidad histórica. Este indicador valora la permanencia de la expresión sin interrupción, la preservación de sus valores, y la presencia de organizaciones propias.

La *Integridad* se refiere al grado de conservación y funcionalidad que posee el bien patrimonial y los elementos que lo estructuran. No obstante, el significado de este criterio varía en función del método de evaluación considerado. En el sistema inmaterial se valora la transmisión intergeneracional y el respeto a las pautas temporales y ritmo interno, mientras que en el paisaje se orienta hacia la integridad ecológica y la conservación medioambiental.

Los criterios de *Estructura geofísica o ambiental* y *Visibilidad* se encuentran en el sistema de evaluación de paisaje. El primero valora las cualidades de la unidad paisajística determinadas por aspectos fisiográficos, en atributos como la complejidad topográfica, la presencia de agua, y la cubierta de vegetación. El segundo hace referencia a la calidad visual del paisaje.

La segunda categoría del método general de evaluación trata los “Valores patrimoniales”. Evalúan la influencia que tiene el entorno sociocultural y ambiental en los valores y características propias del bien. Este conjunto contiene cinco criterios comunes en los tres sistemas metodológicos, aunque adaptados a las particularidades de cada tipología: Histórico, Social, Simbólico o Identitario, Artístico, y Educativo, Divulgativo o Científico. Asimismo, el método de los bienes inmuebles considera el criterio Técnico, así como el Territorial y Paisajístico, ambos contemplados de manera conjunta en el sistema inmaterial.

El criterio *Histórico* valora la capacidad de transmisión de los acontecimientos y vivencias que representan una memoria viva de la comunidad. Las variables evalúan el vínculo del elemento con personajes, civilizaciones, momentos y lugares históricos relevantes, así como la existencia de vestigios testimoniales significativos.

El valor *Social* se relaciona con el carácter cohesionador y dinámico del elemento y su vinculación con las formas tradicionales de habitar el territorio. Considera además la presencia de asociaciones y grupos organizados interesados en la conservación de los bienes.

El indicador *Simbólico o Identitario* considera los vínculos sentimentales y afectivos de la comunidad local hacia sus elementos. Las variables se relacionan con el reconocimiento del bien por los habitantes, su relación con tradiciones o costumbres, y el sentimiento identitario que genera. En el sistema de paisaje este indicador se centra en la presencia de representaciones folclóricas y en la celebración de actos cohesionadores.

El criterio *Artístico* alude a las cualidades estéticas del elemento patrimonial. Se valora su capacidad de expresión, sus cualidades artísticas y de belleza, así como la presencia de una autoría representativa del colectivo. En el método de paisaje este indicador cuenta con variables diferentes, ya que valora el territorio como fuente de inspiración, y la existencia de expresiones artísticas relacionadas con el paisaje.

El valor *Educativo, Divulgativo o Científico* se refiere a las características científicas del bien asociadas a la creación de conocimiento en cualquier área temática, así como a su divulgación educativa y formativa. Evalúa la presencia del bien en inventarios, catálogos y referencias.

El método de evaluación de los bienes inmuebles comprende los criterios *Territorial* y *Paisajístico*. El primero valora la interacción entre el bien y el territorio en el que se emplaza, mientras que el segundo hace referencia a su componente paisajística. En el sistema inmaterial ambos indicadores se evalúan en un mismo criterio.

El criterio *Técnico* se contempla únicamente en el método de evaluación de los bienes inmuebles. Hace referencia a la técnica empleada en el diseño y estructura del elemento, así como a las innovaciones tecnológicas implementadas.

La tercera categoría del modelo general de evaluación hace referencia a los “Valores potenciales y de viabilidad”. Considera las posibilidades futuras del bien relacionadas con su restitución y puesta en valor, así como la implicación de los actores territoriales. Esta categoría consta de cuatro criterios comunes en los tres sistemas: Concienciación de agentes sociales, Participación e integración de las comunidades locales, Rentabilidad socioeconómica, y Vulnerabilidad. El método de paisaje incluye además el indicador de Accesibilidad.

El criterio de *Concienciación de agentes sociales* alude a la implicación y sensibilización que poseen los diferentes actores para la preservación y revalorización del patrimonio. Evalúa las inversiones existentes, la presencia de programas y materiales de difusión, o la inclusión de los bienes en rutas o senderos.

El indicador de *Participación e integración de las comunidades locales* señala la colaboración y la intervención de los habitantes en la gestión y documentación del elemento, así como en el diseño social del relato.

La *Rentabilidad socioeconómica* contempla los beneficios e ingresos generados por el bien que contribuyen al desarrollo local sostenible. Valora además la facilidad para la restitución y revalorización del elemento y su situación jurídica. En el sistema de paisaje, este criterio se centra en la propia capacidad del territorio para generar crecimiento endógeno, así como en la diversidad de actividades económicas y funciones productivas.

La *Vulnerabilidad* valora las amenazas que pueden afectar a la preservación del bien patrimonial. En el método de evaluación de los inmuebles, las variables consideran los riesgos naturales, antrópicos y de situación de abandono. En los otros dos sistemas, los atributos propuestos se vinculan con la presencia de un turismo masivo, así como con el desconocimiento o desinterés que puede existir por algunos sectores de la comunidad.

El criterio de *Accesibilidad* se considera exclusivamente en el método de evaluación de paisaje. Hace referencia a la facilidad para acceder y transitar la unidad paisajística de manera adecuada y sostenible.

2.2.1. Sistema de puntuación. La materialización de la evaluación

La evaluación técnica de los bienes patrimoniales utiliza un sistema de puntuación binario. En este sentido, las variables que estructuran los métodos se califican para cada uno de los elementos. Si la cualidad se cumple se le otorga el valor “1”, y en caso contrario el valor “0”, sin ponderación ni jerarquización de ningún indicador sobre el resto. La calificación global de cada bien se obtiene mediante el sumatorio de las puntuaciones asignadas a las variables. El resultado se expresa en una escala de 0 a 10 puntos y se proponen 6 niveles de interés patrimonial: Muy alto (8,6-10); Alto (7,2-8,5); Medio (5,8-7,1); Bajo (4,4-5,7); Muy Bajo (3-4,3); y Sin Interés (0-2,9). Estos umbrales se utilizan en el estudio de Mayordomo, Antequera y Hermosilla (2018), en el que se desarrolla y aplica un método de evaluación del patrimonio hidráulico con óptimos resultados. Las categorías y criterios se evalúan también por separado, lo que permite conocer los valores y aspectos más significativos de cada elemento.

2.2.2. Acciones complementarias de participación

La evaluación participativa de los elementos se fundamenta en la realización de acciones complementarias por parte de la comunidad. Estas tareas comprenden dos técnicas diferenciadas: la cumplimentación de encuestas por la población y la formación de un panel de especialistas locales. Estos procedimientos están estructurados según los indicadores que componen los respectivos sistemas de evaluación, lo que posibilita la comparación de las puntuaciones participativas con las técnicas.

Las encuestas a los habitantes permiten cuantificar las valoraciones de la población local sobre su patrimonio. Se han diseñado tres cuestionarios distintos, uno para cada tipo de elemento a evaluar. Las preguntas se formulan en función de cada uno de los criterios propuestos en sus respectivos métodos. De

esta manera, los cuestionarios de los bienes inmuebles y los paisajes poseen 15 cuestiones, mientras que el relacionado con los inmateriales tiene 13. Se trata de preguntas cerradas dicotómicas, con respuestas de “sí”, “no” o “no lo sabe”. Las puntuaciones se obtienen mediante la relación entre el número de respuestas positivas y la totalidad de respuestas, sin contabilizar las señaladas como “no lo sabe”. Los resultados se expresan en una escala de 0 a 10 puntos y se utilizan los mismos niveles de interés patrimonial empleados en la evaluación técnica. Los encuestados únicamente responden el cuestionario para aquellos elementos que identifican, por lo que es posible calcular el grado de conocimiento de cada bien.

La configuración de un panel de expertos en materia patrimonial posibilita conocer la evaluación de especialistas locales sobre los elementos de su territorio. Este procedimiento consta de dos fases. En la primera, cada experto aplica los sistemas metodológicos diseñados de la misma forma que se efectúa en la evaluación técnica. Para ello, y con el objeto de facilitar su implementación, se proporciona a cada especialista un formulario con definiciones sencillas de las variables. La segunda fase consiste en una reunión donde se abordan aspectos relacionados con el patrimonio cultural de la localidad.

2.3. Fases del plan de trabajo

La metodología de trabajo está constituida por diversas fases consecutivas que permiten la implementación del método de evaluación propuesto. Estas tareas se fundamentan en otras similares desarrolladas en estudios relacionados con la aplicación de sistemas de evaluación patrimonial (Antequera, 2015; Reynard, Perret, Bussard, Grangier & Martin, 2016).

a) La primera fase está basada en la identificación de los bienes patrimoniales emplazados en la Huerta de Cortes de Pallás, tanto inmuebles como inmateriales, para su posterior evaluación. Para ello, se ha consultado el inventario de bienes patrimoniales del Plan General Estructural del Ayuntamiento de Cortes de Pallás (Lozoya, 2016). Este documento reconoce una veintena de inmuebles en el área de estudio. Se trata de los castillos moriscos de la Pileta y Ruaya —Bienes de Interés Cultural—, la Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de los Ángeles —Bien de Relevancia Local—, la Casa del Barón, un conjunto de eras, el núcleo histórico tradicional de Cortes de Pallás, y una quincena de bienes hidráulicos, la mayoría reservorios. Se ha incluido además para su evaluación el paisaje de la Huerta cortesana.

El Plan General no recoge ninguna expresión inmaterial, por lo que se ha recurrido a otros catálogos nacionales e internacionales para su identificación. Asimismo, se han realizado diversas consultas al personal del Ayuntamiento y a la ciudadanía. En este sentido se han considerado seis bienes intangibles: la técnica constructiva de la piedra en seco —Bien Inmaterial de Relevancia Local y Bien incluido en la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad de la UNESCO—, la Tradición Musical Popular Valenciana materializada por las Sociedades Musicales —Bien de Interés Cultural Inmaterial—, y cuatro celebraciones populares. En definitiva, los bienes patrimoniales seleccionados ascienden a 28, comprendidos por 20 inmuebles, 6 inmateriales y 2 paisajes.

b) La segunda fase de la metodología de trabajo comprende la búsqueda y consulta de fuentes bibliográficas relativas al patrimonio cortesano. Su análisis permite un estudio pormenorizado de los rasgos y particularidades de los bienes patrimoniales seleccionados y su correcta evaluación y asignación de puntuaciones. La mayoría de los trabajos están constituidos por publicaciones de ámbito local. Las obras más relevantes son las de Aparici (2010), García (2007), Hermsilla (1999), Pardo y Oller (1997) y Pérez (2011).

c) La siguiente etapa se fundamenta en la visita a los elementos patrimoniales. La observación y el tratamiento directo con los bienes materiales e intangibles son tareas necesarias para efectuar una evaluación adecuada y objetiva. El trabajo de campo resulta esencial para la implementación del método propuesto. De manera simultánea, en esta fase se consulta a técnicos y especialistas locales, agricultores, músicos y otros residentes en el municipio. Estos usuarios proporcionan una información que, en numerosas ocasiones, no está recogida en la documentación bibliográfica. La información recopilada a través de la revisión bibliográfica y el trabajo de campo se emplea para el cálculo de la evaluación técnica.

d) En la cuarta fase se desarrollan las acciones complementarias de participación de los actores territoriales. Estas tareas consisten en la realización de encuestas a los habitantes y en la formación de un panel de expertos locales. La aplicación de estos procedimientos se efectúa en una decena de bienes patrimoniales seleccionados entre los 28 analizados, ya que un número excesivo de elementos puede comprometer la participación de la población y los especialistas. La elección de los bienes se basa en las calificaciones técnicas más elevadas.

Las encuestas se realizaron durante el mes de abril de 2019. El universo de análisis está constituido por los residentes en el núcleo poblacional de Cortes de Pallás, que comprende 415 personas. La propues- ta de tamaño muestral es de 81 sujetos, con un error de muestreo del 10% y un nivel de confianza del 95,5% ($p=q=50\%$). Para la selección de los individuos que conforman la muestra se ha empleado la técnica denominada muestreo incidental, en el que los sujetos son elegidos por su mayor proximidad, disponibi- lidad o facilidad de acceso. Se concertaron reuniones con las asociaciones de la localidad, lo que permitió obtener un considerable número de cuestionarios. Los miembros de cada colectivo contactaron a su vez con otros vecinos entre sus conocidos. Además se realizó una conferencia en el consistorio sobre el rega- dío histórico cortesano, lo que atrajo a diversos ciudadanos participantes. En definitiva, se cumplimenta- ron 84 encuestas, 41 hombres y 43 mujeres, con una distribución regular por edades. El panel de expertos estuvo conformado por 6 especialistas locales en materia patrimonial y regadío tradicional. Esta técnica comprende además la organización de una reunión abierta a cualquier residente con el objeto de abordar cuestiones relacionadas con el patrimonio cortesano. En esta cuarta etapa se realiza el tratamiento de los datos de las encuestas y el panel de expertos, lo que permite el cálculo de las puntuaciones participativas.

e) La última etapa de la metodología de trabajo consiste en el análisis y la representación cartográfica de las estadísticas y los datos de la investigación. La información obtenida en las fases precedentes se traslada a una base de datos geográfica y se elabora la cartografía automática. Finalmente se interpretan los resultados y se redactan los informes del estudio.

3. Resultados

El resultado general más interesante e innovador de esta investigación ha sido la implementación del método general de evaluación de manera íntegra en un territorio. Los resultados técnicos y participativos de la aplicación se analizan en los siguientes epígrafes.

3.1. Evaluación técnica

La evaluación técnica realizada para cada uno de los 28 bienes considerados en el área de estudio se muestra en la Figura 2. Los elementos están distribuidos según su naturaleza patrimonial: inmueble, in- tangible y paisaje. Cada criterio tiene asignado un registro comprendido entre 0 y 3 puntos, determinado por el cumplimiento o no de las variables que lo componen. De esta manera, la matriz recoge las pun- tuaciones de cada bien y tipología patrimonial, así como de los criterios y categorías que estructuran los sistemas metodológicos. La representación cartográfica de la calificación técnica global de cada elemento se observa en la Figura 3. Algunas expresiones intangibles se sitúan en su lugar de celebración, la plaza de la localidad, mientras que las dos Sociedades Musicales de Cortes de Pallás se emplazan en sus respec- tivas sedes. Para la ubicación del arte de la piedra en seco se han localizado los inmuebles construidos mediante esta técnica, en su mayoría eras, y que han sido catalogados por el Ayuntamiento.

Los bienes inmuebles han obtenido una calificación general de 6,4 puntos, lo que supone un inte- rés medio según los niveles de valoración. La Iglesia Parroquial posee la puntuación más elevada, con 8,9 puntos. Se trata de un edificio monumental que destaca por sus cualidades históricas y artísticas. Está ubicado en la plaza de la localidad y la población le atribuye significativos valores simbólicos y emocio- nales. Su estado de conservación es óptimo merced a las recientes restauraciones efectuadas. Por su parte, el inmueble de la Casa del Barón y tres balsas de riego también han obtenido calificaciones altas. Este caserón perteneció a los barones de Cortes de Pallás y es ampliamente reconocido por los habitantes. Los inmuebles con las calificaciones más bajas, inferiores a los 5 puntos, son los molinos del Tío Carranca y del Tío Castaño, y las balsas del Escriba y del Reguero del Cura. Los dos molinos no cumplen su función primigenia y se encuentran deteriorados. Las referidas balsas son de propiedad privada y se emplazan en terrenos particulares, lo que dificulta su visibilidad y accesibilidad.

El patrimonio intangible posee una puntuación global de 6,9 puntos. La mejor calificación ha sido asignada al conjunto de las Bandas de Música, con 8,5 puntos. Cortes de Pallás cuenta con dos sociedades musicales: la Unión Musical Santa Cecilia y el Ateneo Musical. Conforman unas valiosas instituciones de- bido a su labor formativa y social entre la juventud, así como a su oferta musical. Otras expresiones inma- teriales con puntuaciones altas son el “Pan Bendito” y las “Hogueras de San Antón”. Ambas celebraciones son comunes en localidades cercanas y cuentan con una participación activa por parte de ciudadanía. La menor puntuación se ha otorgado a “Las Copletas” (4,6). Se trata de cantos de voces populares conserva- dos principalmente por la población de mayor edad, mientras que los jóvenes muestran en general cierto desinterés hacia esta manifestación.

Figura 2. Evaluación técnica de los bienes patrimoniales seleccionados

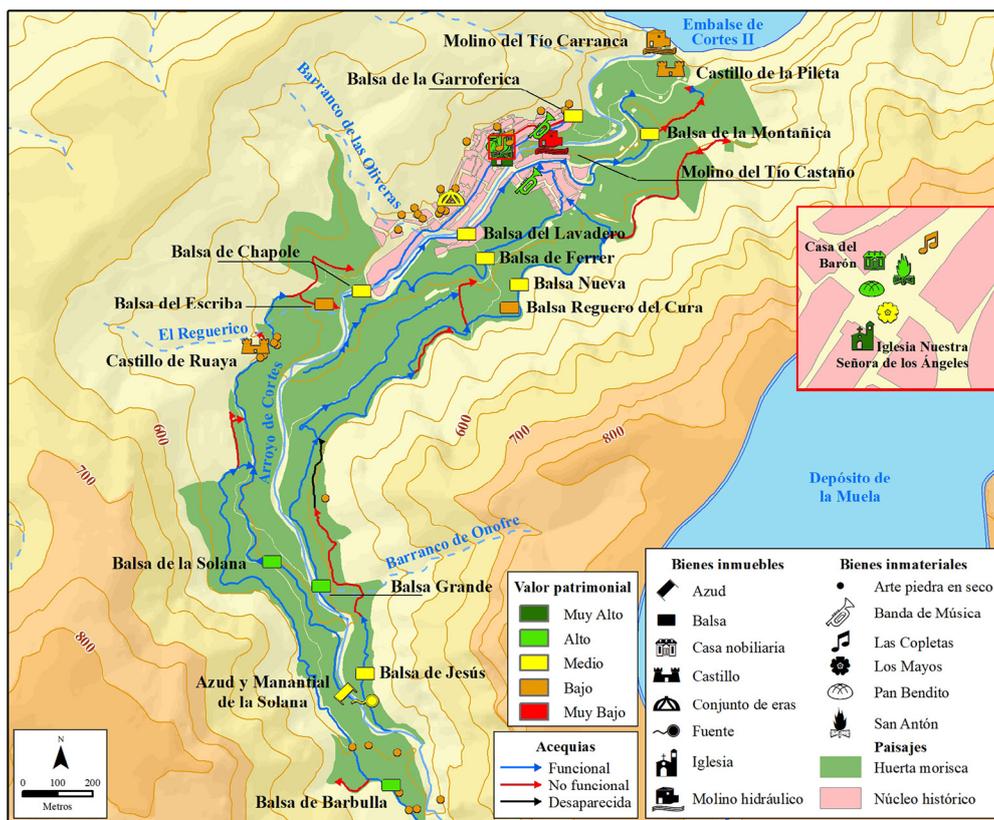
BIENES INMUEBLES																		
Denominación	VALORES INTRÍNECOS			VALORES PATRIMONIALES							VALORES POTENCIALES Y DE VIABILIDAD					Puntuación	Valoración	
	1. Represent.	2. Autent.	3. Integridad	4. Histórico	5. Social	6. Simb. / Id.	7. Artístico	8. Técnico	9. Territorial	10. Paisajist.	11. Educativo	12. Conc. Ag.	13. Particip.	14. Rent. Soc.	15. Vulner.			
Castillo de la Pileta	1	1	0	3	0	2	2	1	3	3	2	3	1	2	1	25	5,6	Baja
Castillo de Ruaya	1	1	0	3	0	2	2	1	3	3	2	2	1	2	1	24	5,3	Baja
Iglesia Ntra. Señora Ángeles	3	3	3	3	1	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	40	8,9	Muy Alta
Balsa Grande	3	3	3	2	0	1	3	3	3	3	2	2	1	3	2	34	7,6	Alta
Balsa de Chapole	2	2	3	2	0	1	3	1	3	3	2	2	1	3	2	30	6,7	Media
Balsa de Ferrer	3	2	3	2	0	0	3	1	3	3	2	2	1	3	3	31	6,9	Media
Balsa de Jesús	2	3	3	2	0	0	3	3	2	3	2	2	1	3	2	31	6,9	Media
Balsa de la Barbulla	3	3	3	2	0	0	3	3	3	3	2	2	1	3	2	33	7,3	Alta
Balsa de la Garroferica	2	2	3	2	0	0	2	1	3	2	2	1	1	3	3	27	6,0	Media
Balsa de la Montañica	2	3	3	2	0	0	3	1	3	3	2	2	1	3	3	31	6,9	Media
Balsa de la Solana	3	3	3	2	0	0	3	3	3	3	2	2	1	3	2	33	7,3	Alta
Balsa del Lavadero	3	2	3	2	0	1	3	1	3	3	2	2	1	3	3	32	7,1	Media
Balsa Nueva	2	2	3	2	0	1	2	3	3	3	2	2	1	3	3	32	7,1	Media
Balsa del Escriba	1	3	3	1	0	0	2	0	2	2	2	1	0	2	2	21	4,7	Baja
Balsa Reguero del Cura	1	3	3	1	0	0	2	0	2	2	2	1	0	2	3	22	4,9	Baja
Molino del Tío Carranca	3	1	2	2	1	0	2	2	2	2	2	0	0	1	2	22	4,9	Baja
Molino del Tío Castaño	2	1	0	2	0	0	2	2	3	2	2	1	0	1	1	19	4,2	Muy Baja
Nacimiento de la Solana	2	3	3	2	0	0	2	2	2	2	2	2	1	3	2	28	6,2	Media
Casa del Barón	3	2	2	3	1	2	3	2	2	3	2	2	2	1	3	33	7,3	Alta
Conjunto de eras	1	1	2	2	0	2	3	0	3	3	3	3	1	2	0	26	5,8	Media
TOTAL CRITERIOS	43	44	48	42	3	15	51	33	53	54	41	37	19	48	43	574		
PROMEDIO CRITERIOS	7,2	7,3	8,0	7,0	0,5	2,5	8,5	5,5	8,8	9,0	6,8	6,2	3,2	8,0	7,2	6,4		Media
PROMEDIO CATEGORÍAS		7,5					6,1						6,1					

BIENES INMATERIALES																		
Denominación	VALORES INTRÍNECOS			VALORES PATRIMONIALES							VALORES POTENCIALES Y DE VIABILIDAD					Puntuación	Valoración	
	1. Represent.	2. Cont. Hist.	3. Integridad	4. Histórico	5. Social	6. Simb. / Id.	7. Artístico	8. Paisajist.	9. Educativo	10. Conc. Ag.	11. Particip.	12. Rent. Soc.	13. Vulner.					
Los Mayos	3	2	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	27	6,9	Media		
Pan Bendito	3	3	3	1	2	3	3	3	1	2	2	2	3	31	7,9	Alta		
Hogueras de San Antón	3	3	3	1	1	3	3	3	1	3	2	2	3	31	7,9	Alta		
Las Copletas	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	3	0	2	18	4,6	Baja		
Piedra en Seco	2	1	2	1	1	0	3	3	3	1	1	1	2	21	5,4	Baja		
Bandas de Música	3	2	3	1	2	3	3	2	3	3	2	3	3	33	8,5	Alta		
TOTAL CRITERIOS	16	12	15	6	9	12	17	15	10	12	13	9	15	161				
PROMEDIO CRITERIOS	8,9	6,7	8,3	3,3	5,0	6,7	9,4	8,3	5,6	6,7	7,2	5,0	8,3	6,9				Media
PROMEDIO CATEGORÍAS		8,0					6,4					6,8						

PAISAJES																		
Denominación	VALORES INTRÍNECOS					VALORES PATRIMONIALES				VALORES POTENCIALES Y DE VIABILIDAD					Puntuación	Valoración		
	1. Represent.	2. Autent.	3. Int. ecol.	4. Estr. geof.	5. Visibilidad	6. Histórico	7. Social	8. Simb. / Id.	9. Artístico	10. Divulgat.	11. Conc. Ag.	12. Particip.	13. Rent. Soc.	14. Vulner.			15. Accesib.	
NHT Cortes de Pallás	3	3	1	0	3	3	3	3	3	2	3	0	2	2	3	34	7,6	Alta
Huerta de Cortes	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	0	1	1	3	35	7,8	Alta
TOTAL CRITERIOS	6	5	4	3	6	6	6	5	6	4	6	0	3	3	6	69		
PROMEDIO CRITERIOS	10,0	8,3	6,7	5,0	10,0	10,0	10,0	8,3	10,0	6,7	10,0	0,0	5,0	5,0	10,0	7,7		Alta
PROMEDIO CATEGORÍAS			8,0					9,0					6,0					

Elaboración propia

Figura 3. Calificación técnica de los bienes patrimoniales seleccionados



* Las calificaciones de los paisajes no se han representado en la figura

Elaboración propia

Los dos paisajes evaluados muestran puntuaciones técnicas altas. La Huerta de Cortes alcanza 7,8 puntos mientras que el núcleo histórico ha obtenido 7,6. En el primero destacan sus atributos naturales y medioambientales, como la biodiversidad de especies, su abrupta orografía o los recursos hídricos. En el núcleo poblacional resulta de interés el trazado medieval del callejero así como sus valores históricos y sociales.

El análisis de las calificaciones de los criterios y categorías que conforman los métodos de evaluación posibilita una caracterización detallada del patrimonio cortesano. En relación a los bienes inmuebles, el criterio mejor valorado es el Paisajístico (9). Las variables referidas al entorno natural o con protección oficial y a la sostenibilidad se cumplen en su totalidad. El término de Cortes de Pallás forma parte de una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y dos Lugares de Interés Comunitario (LIC). Además, los elementos se caracterizan por su visibilidad y carácter sostenible. El criterio con la menor calificación es el Social. No se tiene constancia de la existencia de colectivos locales organizados e implicados en la conservación patrimonial.

Respecto a los bienes inmateriales, los criterios con las puntuaciones más elevadas son el Artístico (9,4) y la Representatividad (8,9). En general, se trata de manifestaciones presentes en varias localidades del entorno y que destacan por sus valores multisensoriales. En el extremo opuesto se encuentra el indicador Histórico (3,3). La mayoría de bienes intangibles no se vinculan con personajes o periodos históricos significativos. Asimismo, los valores Social y de Rentabilidad socioeconómica también tienen puntuaciones bajas. En general, los elementos no generan ingresos relevantes y muestran dificultades para su revitalización.

En referencia a los paisajes, la mitad de los criterios han obtenido la máxima calificación. Se trata de los valores de Representatividad, Visibilidad, Histórico, Social, Artístico, Concienciación de los agentes sociales y Accesibilidad. En este sentido, las unidades paisajísticas se caracterizan por su excelente calidad visual y su accesibilidad, así como por la escena generada y las sensaciones que inspiran al espectador.

El criterio peor puntuado es el de Participación de las comunidades, ya que no se cumple ninguna de sus variables. Otros criterios con escasas calificaciones son Estructura geofísica, Rentabilidad socioeconómica y Vulnerabilidad, con 5 puntos. Ello es debido, entre otros factores, a las amenazas de distinta tipología a las que están sometidos estos paisajes (situación de abandono, desconocimiento por parte de algunos sectores poblacionales...).

3.2. Evaluación participativa

La evaluación participativa del patrimonio cortesano se obtiene a través del desarrollo de acciones de colaboración de los agentes sociales. Estos procedimientos se fundamentan en dos tipos de tareas: encuestas a la población residente y un panel de especialistas locales. Su implementación se realiza en 10 de los elementos culturales, elegidos a partir de sus mayores calificaciones técnicas. La inclusión de la totalidad de los bienes hubiera exigido una excesiva dedicación temporal de los participantes, lo que podría haber conllevado su desinterés, o incluso haber rehusado su colaboración en el estudio. De esta manera, se han seleccionado aquellos elementos inmuebles e inmateriales que cuentan con puntuaciones globales altas o muy altas. Asimismo, se han considerado el Bien de Interés Cultural material y el paisaje con mejores resultados. En definitiva, la decena de bienes seleccionados para el desarrollo de las acciones participativas son: la Iglesia Parroquial, la Casa del Barón, el Castillo de la Pileta, y las Balsas del Chano, la Barbulla, y la Solana como inmuebles; las Bandas de Música, las Hogueras de San Antón y el Pan Bendito como intangibles; y el paisaje de la Huerta.

3.2.1. Encuestas a la población local

La aplicación de encuestas posibilita conocer la opinión y valoración de la población sobre su patrimonio. En la Tabla 4 se observa la puntuación global otorgada a cada elemento y su grado de conocimiento, calculado mediante la relación entre los habitantes que han respondido el cuestionario —y por tanto identifican el bien patrimonial— y la totalidad de sujetos que conforman la muestra. El promedio para el conjunto de bienes se sitúa en el 91,1%. En función de la tipología patrimonial, el paisaje de la Huerta obtiene el mayor porcentaje de identificación, con el 94%, seguido de los inmuebles, con el 91,5%, y los inmateriales con el 88,3%. En este sentido, el patrimonio rural cortesano es ampliamente reconocido por sus habitantes, y el escaso desconocimiento se asocia principalmente a los residentes recién instalados en la localidad.

Tabla 4. Puntuaciones participativas de cada bien asignadas por la población local y grado de conocimiento

Inmuebles	Punt.	% Conoc.	Inmateriales	Punt.	% Conoc.
Castillo de la Pileta	6,4	91,7	Pan Bendito	9,1	88,1
Iglesia Parroquial	8,3	98,8	Hogueras de San Antón	9,0	86,9
Balsa Grande	7,1	88,1	Bandas de Música	8,8	92,9
Balsa de la Barbulla	7,2	89,3	Promedio	9,0	88,3
Balsa de la Solana	7,1	89,3			
Casa del Barón	6,7	91,7	Paisajes	Punt.	% Conoc.
Promedio	7,1	91,5	Huerta de Cortes	7,2	94

Elaboración propia

Los bienes inmuebles tienen una puntuación participativa global media, de 7,1 puntos. El elemento con la calificación más elevada es la Iglesia Parroquial, con 8,3 puntos. Este edificio religioso constituye un referente para la población cortesana, que ha considerado sus cualidades estéticas, simbólicas y su función cohesionadora. A continuación se sitúan las tres balsas, con puntuaciones en torno a los 7 puntos. Los encuestados valoran el óptimo estado de conservación de estos bienes, su asociación a sistemas de regadío sostenibles y el entorno en el que se ubican. Los inmuebles con las menores puntuaciones son la Casa del Barón y el Castillo de la Pileta, con 6,7 y 6,4 puntos respectivamente. En referencia al patrimonio inmaterial, las tres expresiones propuestas han obtenido calificaciones muy altas, con una calificación global conjunta de 9 puntos. Estas manifestaciones populares se encuentran arraigadas entre los habitantes, y generan en la comunidad una conciencia de identidad, cohesión y pertenencia. Finalmente, el

paisaje de la Huerta tiene una puntuación alta, de 7,2 puntos. Los artesanos valoran este espacio agrario y sus valiosos atributos paisajísticos, estéticos, ambientales y simbólicos. No obstante, la población es consciente de la crisis que padece actualmente el regadío tradicional, y evalúa de manera desfavorable la situación de abandono de la Huerta y sus escasos rendimientos económicos.

La Tabla 5 recoge las puntuaciones participativas asignadas por la población local a los criterios que estructuran los sistemas de evaluación. En el patrimonio inmueble, los indicadores con las calificaciones más elevadas son el Paisajístico (9,8), Simbólico (9,3) y Territorial (9,3). La comunidad mantiene vínculos afectivos y emocionales con estos bienes y valora su interacción con el territorio tradicional en el que se emplazan. Los criterios con puntuaciones inferiores a los 4 puntos son la Vulnerabilidad y Rentabilidad socioeconómica. Numerosos encuestados señalan la presencia de amenazas, relacionadas generalmente con el abandono de la actividad agraria o el deterioro del Castillo de la Pileta. En referencia al patrimonio intangible, la totalidad de los criterios, a excepción del Histórico, posee calificaciones superiores a los 7 puntos. Los aspectos de mayor consideración se asocian con la adecuada transmisión de los saberes y tradiciones así como la implicación activa de la comunidad en el desarrollo de estas expresiones. Por último, los valores del sistema paisajístico poseen calificaciones dispares. Los indicadores con puntuaciones muy altas, de 9,7 puntos, se vinculan con la amplitud visual del territorio, el valor sentimental de la Huerta y sus atributos estéticos. Las menores puntuaciones son para los criterios de Rentabilidad socioeconómica y Vulnerabilidad, de la misma manera que sucede con los bienes inmuebles.

Tabla 5. Puntuaciones participativas de los criterios asignadas por la población local

Inmuebles	Punt.	Inmateriales	Punt.	Paisajes	Punt.
1. Representatividad	7,3	1. Representatividad	9,3	1. Representatividad	6,1
2. Autenticidad	7,6	2. Continuidad histórica	8,4	2. Autenticidad	8,2
3. Integridad	7,9	3. Integridad	9,9	3. Integridad ecológica	8,0
4. Histórico	6,4	4. Histórico	6,0	4. Estructura geofísica	9,4
5. Social	3,4	5. Social	9,8	5. Visibilidad	9,7
6. Simbólico	9,3	6. Simbólico	9,7	6. Histórico	8,6
7. Artístico	8,9	7. Artístico	9,6	7. Social	6,6
8. Técnico	7,2	8. Paisajístico	9,1	8. Simbólico	9,7
9. Territorial	9,3	9. Educativo	8,7	9. Artístico	9,7
10. Paisajístico	9,8	10. Concienciación	7,4	10. Divulgativo	9,1
11. Educativo	8,5	11. Participación	9,7	11. Concienciación	4,5
12. Concienciación	5,7	12. Rentabilidad	8,1	12. Participación	5,4
13. Participación	5,9	13. Vulnerabilidad	9,6	13. Rentabilidad	1,3
14. Rentabilidad	3,6			14. Vulnerabilidad	2,3
15. Vulnerabilidad	4,8			15. Accesibilidad	7,5
Promedio	7,1	Promedio	9,0	Promedio	7,2

Elaboración propia

3.2.2. Panel de especialistas locales

La implementación de un panel de expertos en materia patrimonial es un procedimiento eficaz para la obtención de relevante información cualitativa. Se seleccionaron 6 especialistas locales formados en diferentes disciplinas (Educación, Biblioteconomía, Administración y Dirección de Empresas...). La aplicación de este procedimiento se desarrolló en dos fases. En la primera, los 6 expertos aplicaron los métodos de evaluación propuestos de la misma manera que se procede en la evaluación técnica, mediante la asignación de puntuaciones binarias a las variables. En la segunda fase se organizó una reunión abierta a cualquier habitante artesano para tratar aspectos vinculados con el patrimonio del municipio. Esta técnica permite conocer una amplia diversidad de opiniones de los actores locales.

Las puntuaciones establecidas por los 6 expertos locales se observan en la Tabla 6. El patrimonio inmueble cuenta con una calificación global media de 6,7 puntos. El elemento con la puntuación más elevada es la Iglesia Parroquial, de la misma manera que sucede en la evaluación técnica y la calculada a partir de las encuestas. El resto de edificios inmuebles poseen calificaciones medias, a excepción del Castillo de la Pileta, que la tiene baja. Esta menor puntuación es consecuencia del grave estado de conservación en el que se encuentra el bien y a su elevada vulnerabilidad. En relación al patrimonio inmaterial, la totalidad de expresiones tienen calificaciones significativas. Los valores sentimentales que infunden estas tradiciones y sus cualidades estéticas conforman algunos de los aspectos más significativos para los especialistas. El paisaje de la Huerta también ha registrado una puntuación alta. Los expertos locales valoran los destacados atributos patrimoniales de este enclave.

Tabla 6. Puntuaciones participativas de cada bien asignadas por los especialistas locales

Inmuebles	Punt.	Inmateriales	Punt.
Castillo de la Pileta	5,6	Pan Bendito	7,7
Iglesia Parroquial	8,0	Hogueras de San Antón	7,4
Balsa Grande	6,8	Bandas de Música	7,5
Balsa de la Barbullá	6,8	Promedio	7,5
Balsa de la Solana	6,7		
Casa del Barón	6,3	Paisajes	Punt.
Promedio	6,7	Huerta de Cortes	7,3

Elaboración propia

Las puntuaciones participativas asignadas por los especialistas a cada criterio se recogen en la Tabla 7. Los indicadores que estructuran el sistema inmueble muestran calificaciones con diferencias relevantes. Los valores Histórico y Paisajístico alcanzan los 9 puntos. La secular presencia de los moriscos y su historia medieval en este territorio quedan testimoniadas en numerosos elementos patrimoniales, como los castillos y los sistemas de regadío, que a su vez conforman valiosos paisajes del agua. Los criterios peor puntuados son el de Concienciación de agentes sociales y Participación e integración de las comunidades locales, con calificaciones inferiores a los 4 puntos. Los expertos consideran insuficiente la implicación de los actores territoriales en la conservación y revalorización de los bienes culturales. Asimismo, señalan que es conveniente una participación poblacional más activa en las políticas de gestión y difusión patrimonial. Respecto al patrimonio inmaterial, la mayoría de indicadores tiene puntuaciones participativas altas. El valor Simbólico es el mejor puntuado, con 10 puntos, como consecuencia de los afianzados vínculos emocionales que muestran los habitantes hacia estas manifestaciones. Los criterios Educativo y Concienciación han obtenido las menores valoraciones. En el paisaje de la Huerta de Cortes de Pallás se ha asignado la máxima calificación a 4 criterios: Estructura geofísica, Visibilidad, Histórico y Accesibilidad. El territorio analizado presenta una riqueza natural y faunística de primer orden, con una compleja orografía y múltiples surgencias de agua. Finalmente, el criterio de Rentabilidad socioeconómica ha recibido la menor puntuación por parte de los especialistas locales. La agricultura se percibe como una actividad inestable y con una función testimonial.

La reunión mantenida con los principales agentes territoriales interesados en el patrimonio cultural de la localidad fue de notable utilidad e interés. Al acto asistieron una veintena de personas, principalmente agricultores y regantes, pero también técnicos locales, personal de la corporación municipal, y otros residentes cortesanos. La aplicación de esta técnica cualitativa posibilitó la obtención de diferentes visiones interpretativas y opiniones complementarias relativas a los elementos culturales.

La principal temática tratada en esta actividad participativa fue la situación de crisis actual de la Huerta de Cortes de Pallás. Este paisaje agrario constituye un soporte identitario para sus residentes, por el que muestran arraigados vínculos afectivos y sentimentales. Los habitantes valoran sus Huertas tradicionales y las reconocen como parte integrante de su patrimonio. Sin embargo, los asistentes destacaron diversas amenazas, como la falta de relevo generacional y el envejecimiento de los agricultores, la modernización del riego, la expansión del núcleo poblacional sobre espacios de Huerta, o el abandono de parcelas y cultivos, en particular del almez. La problemática más señalada fue la presencia de la Reserva Nacional de Caza debido a los destrozos que provoca la fauna en las producciones agrícolas. Los agricultores se

mostraron desanimados ya que las medidas desarrolladas hasta el momento han resultado insuficientes. Estos procesos conllevan un progresivo abandono de los campos y la práctica de una agricultura a tiempo parcial y de subsistencia, con escasos rendimientos económicos.

Tabla 7. Puntuaciones participativas de los criterios asignadas por la población local

Inmuebles	Punt.	Inmateriales	Punt.	Paisajes	Punt.
1. Representatividad	6,6	1. Representatividad	7,7	1. Representatividad	8,3
2. Autenticidad	8,2	2. Continuidad histórica	8,2	2. Autenticidad	5,0
3. Integridad	7,3	3. Integridad	8,9	3. Integridad ecológica	7,8
4. Histórico	9,0	4. Histórico	6,1	4. Estructura geofísica	10,0
5. Social	5,6	5. Social	8,5	5. Visibilidad	10,0
6. Simbólico	8,1	6. Simbólico	10,0	6. Histórico	10,0
7. Artístico	7,7	7. Artístico	8,8	7. Social	9,4
8. Técnico	6,1	8. Paisajístico	7,4	8. Simbólico	3,9
9. Territorial	8,8	9. Educativo	5,4	9. Artístico	8,3
10. Paisajístico	9,0	10. Concienciación	4,7	10. Divulgativo	7,8
11. Educativo	6,3	11. Participación	7,2	11. Concienciación	4,9
12. Concienciación	3,7	12. Rentabilidad	6,2	12. Participación	5,9
13. Participación	3,4	13. Vulnerabilidad	8,1	13. Rentabilidad	2,2
14. Rentabilidad	5,6			14. Vulnerabilidad	4,2
15. Vulnerabilidad	4,9			15. Accesibilidad	10,0
Promedio	6,7	Promedio	7,5	Promedio	7,3

Elaboración propia

Como consecuencia de estos factores, los habitantes mostraron cierta desconfianza en la aplicación de posibles soluciones, y aportaron diversas sugerencias para la preservación de este paisaje del agua y sus elementos asociados, entre las que señalaron la implantación de un banco de tierras, la adecuación de caminos y sendas, el desarrollo de tareas de sensibilización ambiental o el fomento de productos y técnicas agrarias sostenibles. Los agricultores incidieron en la necesidad de realizar algún tipo de acción que evite la presencia de la fauna de la Reserva.

4. Discusión de resultados

La implementación de la metodología propuesta ha posibilitado la evaluación patrimonial y la caracterización de diversos bienes culturales inmuebles, inmateriales y paisajísticos en el municipio de Cortes de Pallás. Las calificaciones de cada modalidad de evaluación no deben compararse entre sí de manera estricta, ya que son resultado de la aplicación y adecuación de distintos procedimientos. No obstante, su análisis resulta relevante para el conocimiento de la situación y el valor del patrimonio cultural local.

El conjunto de elementos patrimoniales ha obtenido elevadas puntuaciones globales y el grado de conocimiento por parte de la población local es significativo, situado en torno al 90%, condicionado porque los bienes evaluados por los agentes sociales se han elegido a partir de las puntuaciones técnicas más elevadas. No obstante, es conveniente tener en cuenta que la selección efectuada está conformada por elementos con características diversas en cuanto a su tipología, estado de conservación, emplazamiento o propietario. Además, en la reunión mantenida con los agentes sociales se trataron aspectos referidos a la totalidad de elementos, y no únicamente los de mayor consideración.

Si diferenciamos las calificaciones según la naturaleza de los bienes culturales se observan ciertos aspectos de interés. Los elementos materiales, tanto inmuebles como paisajísticos, poseen valores técnicos ligeramente superiores a los asignados por los actores territoriales. Estas menores puntuaciones participativas son comunes en otros estudios de evaluación patrimonial, como el de Hermosilla y Mayordomo (2016). En general, los agentes locales tienen una visión más crítica hacia su patrimonio, ya que han asistido al progresivo deterioro y abandono que han experimentado algunos de sus bienes. Los residentes

no conocen en profundidad el patrimonio cultural de otros territorios, por lo que no poseen elementos de comparación respecto a otros ámbitos degradados. Sin embargo, y a pesar de las diferencias existentes, los bienes inmuebles con mejores y peores registros coinciden para los diferentes colectivos. La Iglesia Parroquial cuenta con la calificación más elevada, mientras que el Castillo de la Pileta, debido a su deficiente estado de conservación, tiene una reducida puntuación en las tres modalidades de evaluación. Paradójicamente es un Bien de Interés Cultural con interesantes posibilidades de puesta en valor.

En referencia al patrimonio inmaterial destacan las puntuaciones otorgadas por los habitantes cortesanos, superiores a las técnicas y a las de los expertos. La población mantiene consolidados vínculos emocionales con sus manifestaciones intangibles y las considera como integrantes de su cultura. Las tradiciones populares, transmitidas de generación en generación por la comunidad, generan un intenso sentimiento de pertenencia. Diversas investigaciones ponen de manifiesto este elevado valor otorgado por los habitantes a su patrimonio intangible, que sobresale como un factor identitario y de cohesión social (Marcos, 2010; González y López-Guzmán, 2017). Por último, el paisaje cuenta con calificaciones similares en los tres colectivos, con puntuaciones por encima de los 7,2 puntos.

Las significativas calificaciones técnicas y participativas obtenidas por los bienes patrimoniales de Cortes de Pallás, así como la información cualitativa proporcionada por los agentes locales, corroboran la progresiva consideración social hacia la cultura rural. En los últimos años se ha producido un creciente reconocimiento hacia estos ámbitos, de manera que en la actualidad se configuran como espacios multifuncionales de prestigio e identidad. Los habitantes del medio rural reivindican los valores de su territorio y muestran un afianzado vínculo sentimental con sus elementos. Este hecho se constata en otros estudios participativos de valoración patrimonial. Por ejemplo, Bravo (2018) analiza la importancia de determinados bienes hidráulicos del Valle del Ricote (Murcia) y el Valle del Cachapoal (Chile) en sus respectivos paisajes y sociedades rurales. El estudio, mediante la aplicación de diversas técnicas, confirma que la comunidad local reconoce y estima estos elementos. Asimismo, Artola, Díaz, Íñigo y Rodríguez (2014) implementan estrategias de revalorización y socialización del patrimonio en un concejo rural vasco.

En la reunión organizada en Cortes de Pallás, los agentes sociales centraron sus intervenciones en los procesos de crisis de los regadíos históricos. La población cortesana es consciente del valor patrimonial de su Huerta y de las problemáticas a las que está sometida. El progresivo abandono y otras amenazas vinculadas a las áreas cultivadas han activado una significativa concienciación social. Diversas investigaciones basadas en la implementación de técnicas de participación analizan esta reciente consideración hacia los espacios agrarios. En el estudio de Mayordomo, Antequera y Hermosilla (2018), diferentes actores locales residentes en áreas rurales exponen la importancia de preservar su patrimonio hidráulico y la actividad de la agricultura. Esta preocupación social se manifiesta del mismo modo en otros arquetipos de paisajes agrarios. Así, Marqués y Segura (2015) aplican una encuesta a los habitantes de la Huerta de Valencia, donde se comprueba que dos tercios de los encuestados están interesados en el estado y conservación de este espacio.

5. Conclusiones

En la presente investigación se ha propuesto y aplicado de manera práctica un método general de evaluación del patrimonio cultural. Se trata de un modelo integral constituido por tres sistemas específicos que responden a la clasificación tradicional de tipologías, y que permiten cuantificar el valor patrimonial de los bienes inmuebles, inmateriales y los paisajes. Las metodologías expuestas poseen una estructura común, jerarquizada, basada en tres categorías de valores que se desglosan a su vez en múltiples criterios y variables. Los indicadores empleados consideran aspectos estructurales y funcionales, y contemplan tanto factores propios del patrimonio como valores exógenos. Se ha procurado mantener los mismos atributos en los tres sistemas, aunque se han adaptado en función de las singularidades de cada tipología patrimonial. Las variables son puntuadas mediante un sistema binario en función de su cumplimiento. De este modo, los parámetros utilizados son objetivos, sencillos y mesurables, por lo que se trata de procedimientos prácticos y reproducibles. El método considera además acciones participativas por parte de la población y otros actores locales. En definitiva, y como resultado de la implementación de la metodología, se obtienen dos modalidades de evaluación patrimonial: la técnica, a través del sumatorio de las puntuaciones de las variables, y la participativa, con el desarrollo de encuestas y otras estrategias de participación social.

La aplicación del método general expuesto en el municipio rural de Cortes de Pallás ha posibilitado la evaluación técnica de una treintena de bienes de distinta naturaleza patrimonial. Las calificaciones obtenidas confirman el significativo valor patrimonial de los bienes. El detalle de las puntuaciones por criterios ha permitido además precisar las características de mayor relevancia y, de esta manera, verificar la existencia de un patrimonio rural de innegables cualidades y atributos. El desarrollo de las técnicas de participación se ha efectuado en una selección de diez elementos. Los residentes artesanos y otros agentes locales han otorgado elevadas puntuaciones globales y han mostrado un destacado grado de conocimiento. Asimismo, la reunión abierta puso de manifiesto la preocupación social existente hacia la actual situación de abandono en la Huerta. En definitiva, los resultados obtenidos han constatado la presencia de un patrimonio rural valioso y valorado, que constituye un ejemplo paradigmático en el interior del territorio valenciano. Su puesta en valor a través de un producto turístico puede conllevar el desarrollo local de la localidad.

La implementación íntegra del sistema de evaluación en bienes rurales de diversa tipología, tanto materiales como inmateriales, confirma su eficacia y elevado grado de aplicabilidad. Las puntuaciones de los elementos permiten su jerarquización en función de su valor y, consecuentemente, la propuesta de acciones y medidas justificadas de gestión y valoración patrimonial. El patrimonio cultural constituye una realidad eminentemente cualitativa, por lo que el diseño de un método numérico para su evaluación y tratamiento puede generar controversias y discrepancias. No obstante, se ha optado por un enfoque cuantitativo, con el objeto de disponer de un método aplicable y objetivo, que pueda configurarse como un instrumento útil para la toma de decisiones.

Se han detectado algunas vulnerabilidades en la aplicación del método, principalmente relacionadas con las acciones de participación. Se trata de técnicas complejas que requieren elevadas inversiones temporales, económicas y de recursos humanos, aspectos que dificultan su desarrollo. No obstante, es fundamental contar con las opiniones y valoraciones de los agentes sociales. Del mismo modo, el sistema de mayor fragilidad de los tres propuestos es el del paisaje, dado los numerosos antecedentes en esta materia. Sin embargo, la referida metodología se considera válida, ya que está integrada y adaptada a la estructura jerárquica del modelo general, y su aplicación ha conseguido resultados satisfactorios.

En definitiva, el método general de evaluación del patrimonio expuesto constituye un instrumento eficaz en tareas de gestión y puesta en valor, por lo que puede ser reconocido por las administraciones. Su aplicación posibilita cuantificar el interés patrimonial de los bienes de un territorio y conocer sus principales características y singularidades. De esta manera, la metodología conforma una herramienta para el planteamiento de propuestas de valoración patrimonial que contribuya a un desarrollo local sostenible.

En función de la investigación realizada, se plantean futuras líneas de trabajo que son objeto de interés. El método de evaluación es flexible y dinámico, por lo que sería posible la supresión, incorporación y/o modificación de indicadores, así como el diseño de otras acciones de participación. Asimismo, existe la posibilidad de diseñar diferentes sistemas de evaluación integrados en este modelo general para otras tipologías del patrimonio cultural, como los bienes muebles. En relación a las estrategias participativas, estas tareas se han aplicado a los habitantes rurales del municipio de Cortes de Pallás. En este sentido, sería conveniente la realización de encuestas y reuniones con los artesanos que actualmente no residen en la localidad y que, probablemente, no mantienen un vínculo tan arraigado con el territorio. De esta manera, se podría analizar si el desarraigo territorial supone una menor estima y valoración hacia el patrimonio rural. Finalmente, sería interesante la implementación del método en distintos ámbitos territoriales y bienes de menor reconocimiento social, para comprobar su aplicabilidad en otros entornos y tipologías patrimoniales.

Financiación

Este artículo es resultado de la investigación realizada en el marco del proyecto europeo “Museums and Community: Concepts, Experiences, and Sustainability in Europe, Latin America and the Caribbean (EU-LAC-MUSEUMS)” (Museos y Comunidad: Conceptos, Experiencias y Sostenibilidad en Europa, América Latina y Caribe). Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención N° 693669.

Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento al personal del Ayuntamiento de Cortes de Pallás y a los habitantes del municipio, por su colaboración e implicación en este estudio. Asimismo, agradecemos el apoyo prestado en la realización de encuestas a Miguel Antequera Fernández (ESTEPA).

Referencias

- Aguilar, E. y Amaya, S. (2007). El patrimonio cultural como activo del desarrollo rural. En J. Sanz (Ed.), *El futuro del mundo rural* (pp. 103-124). Madrid: Síntesis.
- Alario, M., Molinero, F. y Morales, E. (2018). La persistencia de la dualidad rural y el valor de la nueva ruralidad en Castilla y León (España). *Investigaciones Geográficas*, (70), 9-30. <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2018.70.01>
- Albarrán, J. D. (2016). El concepto de Patrimonio Territorial: problemáticas de gestión y planificación turística. En M. Blàquez, M. Mir-Gual, I. Murray y G. X. Pons (Eds.), *Turismo y crisis, turismo colaborativo y ecoturismo. XV Coloquio de Geografía del Turismo, el Ocio y la Recreación de la AGE. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 23 (pp. 67-78). Societat d'Història Natural de les Balears.
- Antequera, M. (2015). *Las galerías drenantes en el sector oriental y suroriental de la Península Ibérica. Identificación, análisis y gestión patrimonial* (Tesis doctoral). Universitat de València. Valencia.
- Aparici, M. (2010). *Cortes de Pallás, un mundo aparte*. Cortes de Pallás: Ayuntamiento de Cortes de Pallás.
- Artola, T., Díaz, I., Íñigo, O. y Rodríguez, J. (2014). Utilización de recursos sociales para la puesta en valor del patrimonio de la llanada alavesa: Proyecto piloto Langarika. *Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación*, (Extra 9) (Ejemplar dedicado a: sOpA'13 I Congreso Internacional sobre Educación y Socialización del Patrimonio en el Medio Rural), 539-561. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5385960>
- Bravo, J. M. (2018). *Paisaje rural y patrimonio hidráulico, referentes señeros presentes en la cultura rural del Valle de Ricote (España) y de la zona central de Chile* (Tesis doctoral). Universidad de Murcia. Murcia.
- Castillo, J. y Martínez, C. (2014). El patrimonio agrario: definición, caracterización y representatividad en el ámbito de la UNESCO. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (66), 105-124. <https://doi.org/10.21138/bage.1782>
- Feria, J. M. (2010). Patrimonio territorial y desarrollo sostenible: un estudio comparativo en Iberoamérica y España. *Estudios Geográficos*, LXXI(268), 129-159. <http://dx.doi.org/10.3989/estgeogr.0472>
- García, J. (Coord.). (2007). *Proyecto Eflus (espacios fluviales). Recursos para el desarrollo integrado de los espacios fluviales de los municipios de Jalance, Cofrentes y Cortes de Pallás*. Valencia: Grupo de Acción Local Valle de Ayora-Cofrentes.
- García, M. P. (2012). *El patrimonio cultural. Conceptos básicos*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- González, J. J. (2007). *El Macizo Central de los Picos de Europa: geomorfología y sus implicaciones geocológicas en la alta montaña cantábrica* (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria. Santander.
- González, F. y López-Guzmán, T. (2017). El patrimonio cultural como factor de desarrollo turístico: estudio de caso en la ciudad de Córdoba. *Arbor*, 193(786). <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2017.786n4009>
- Gurrutxaga, M. y Porcal-Gonzalo, M. C. (2019). Análisis de los retos de gestión del paisaje del Bien Pirineo-Monte Perdido tras dos décadas inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial de UNESCO (1997-2018). *Investigaciones Geográficas*, (71), 75-96. <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2019.71.04>
- Hermosilla, J. (Dir.). (1999). *Bases para el Plan Estratégico del municipio de Cortes de Pallás. Evaluación compartida*. Cortes de Pallás: Ayuntamiento de Cortes de Pallás y Departament de Geografia de la Universitat de València.
- Hermosilla, J. e Iranzo, E. (2004). El patrimonio rural como factor de desarrollo endógeno. *Saitabi*, (54), 9-24. Recuperado de <https://ojs.uv.es/index.php/saitabi/article/view/6188/5945>
- Hermosilla, J. y Mayordomo, S. (2016). *Sistema metodológico de evaluación del patrimonio hidráulico*. Valencia: Tirant lo Blanch.
- Hermosilla, J. & Mayordomo, S. (2017). A methodological system for hydraulic heritage assessment: a management tool. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(3), 879-888. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2016.186>

- Hernández, M. (2009). El paisaje como seña de identidad territorial: valorización social y factor de desarrollo, ¿utopía o realidad?. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (49), 169-183. Recuperado de <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/780/703>
- Hernández, M. (2017). Reconstrucción de las relaciones ciudad-campo: agriculturas periurbanas, calidad, seguridad y democracias alimentarias. En F. Allende, R. Cañada, G. Fernández-Mayoralas, G. Gómez, N. López, A. Palacios, F. Rojo y M. J. Vidal (Eds.), *Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global. XXV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles* (pp. 1336-1351). <http://dx.doi.org/10.15366/ntc.2017>
- Iranzo, E. (2009). *El paisaje como patrimonio rural. Propuesta de una sistemática integrada para el análisis de los paisajes valencianos* (Tesis doctoral). Universitat de València. Valencia.
- Lozoya, S. (Dir.) (2016). *Plan General Estructural de Cortes de Pallás*. Recuperado de <http://olespani-cp68.webjoomla.es/cortes>
- Manero, F y García, J. L. (2016). Cultura, patrimonio y territorio. En F. Manero y J. L. García (Coords.), *Patrimonio cultural y desarrollo territorial* (pp. 17-20). Navarra: Aranzadi.
- Marcos, J. (2010). El patrimonio como representación colectiva. La intangibilidad de los bienes culturales. *Gazeta de Antropología*, 26(1). Recuperado de http://www.ugr.es/~pwlac/G26_19Javier_Marcos_Arevalo.html
- Marqués, I. y Segura, B. (2015). Valoración social de los sistemas agrarios periurbanos. Aplicación al sistema periurbano de la Huerta de Valencia. En C. Sanchis-Ibor, G. Palau-Salvador, I. Manguel-Alfárez y L. P. Martínez-Sanmartín (Eds.), *Irrigation, Society, Landscape. Tribute to Thomas F. Glick* (pp. 1013-1026). <http://dx.doi.org/10.4995/ISL2014.2014.207>
- Martínez, A. (2001). Las comunidades rurales y el turismo. Algunas consideraciones desde la perspectiva del desarrollo local. En A. Martínez (Coord.), *El desarrollo rural/local integrado y el papel de los poderes locales. Nuevas consideraciones sectoriales y sus repercusiones en el territorio valenciano* (pp. 335-370). San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Martínez, E. y Escribano, J. (2019). La complejidad de la gobernanza del patrimonio inmaterial en el medio rural: el caso de «Els Pelegrins de Les Useres». *Cuadernos Geográficos*, 58(2), 194-214. <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7545>
- Mata, R. (2004). Agricultura, paisaje y gestión del territorio. *Polígonos. Revista de geografía*, (14), 97-137. <http://dx.doi.org/10.18002/pol.v0i14.492>
- Mayordomo, S., Antequera, M., & Hermosilla, J. (2018). Application of a method to assess hydraulic heritage as regards diversion dams in the Júcar River Basin. A decision-making tool. *European Journal of Geography*, 9(3), 62-79. Recuperado de http://www.eurogeographyjournal.eu/articles/07_Entire%20manuscript_APPLICATION%20OF%20A%20METHOD%20TO%20ASSESS%20HYDRAULIC%20HERITAGE%20AS%20REGARDS%20DIVERSION%20DAMS%20IN%20THE%20J%20C%20RIVER%20BASIN.%20A%20DECISION-MAKING%20TOOL_OK.pdf
- Mayordomo, S. y Hermosilla, J. (2019). Evaluación del patrimonio cultural: la Huerta de Valencia como recurso territorial. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (82), 1-57. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2790>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015a). *Plan Nacional de Paisaje Cultural*. <http://dx.doi.org/10.4438/030-16-422-7>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015b). *Plan Nacional de Patrimonio Industrial*. <http://dx.doi.org/10.4438/030-423-2>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015c). *Plan Nacional de Salvaguarda del Patrimonio Cultural Inmaterial*. <http://dx.doi.org/10.4438/030-16-425-3>
- Molina, I. y Pascual, H. (2016). El patrimonio territorial en el marco del desarrollo local. En F. Manero y J. L. García (Coords.), *Patrimonio cultural y desarrollo territorial* (pp. 371-417). Navarra: Aranzadi.
- Molinero, F., Baraja, E. y Silva, R. (2013). La tipificación de los paisajes agrarios de España: categorías y clases. Una clasificación escalar. En F. Molinero (Coord.), *Atlas de los Paisajes Agrarios de España* (pp. 8-24). Recuperado de <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0691606.pdf>

- Ortega, J. (1998). El patrimonio territorial: el territorio como recurso cultural y económico. *Ciudades. Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, (4), 33-48. Recuperado de <http://iuu.uva.es/REVISTA/Ciudades%2004/Ciudades%2004%20033-048%20ORTEGA%20VARCARCEL.pdf>
- Pardo, F y Oller, M. T. (1997). *Los Mayos en el Campo de Requena-Utiel y otras comarcas valencianas*. Requena: Centro de Estudios Requenenses.
- Pérez, M. (2011). *A través de la ventana Cortes de Pallás*. Valencia: Ayuntamiento de Cortes de Pallás.
- Porcal, M. C. (2011). El patrimonio rural como recurso turístico. La puesta en valor turístico de infraestructuras territoriales (rutas y caminos) en las áreas de montaña del País Vasco y de Navarra. *Cuadernos de Turismo*, (27), 759-784. Recuperado de <https://revistas.um.es/turismo/article/view/140211>
- Reynard, E., Perret, A., Bussard, J., Grangier, L. & Martin, S. (2016). Integrated Approach for the Inventory and Management of Geomorphological Heritage at the Regional Scale. *Geoheritage*, 8(1), 43-60. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-015-0153-0>
- Rubio, P. (2010). El patrimonio rural. En F. Leco, A. Pérez y A. B. Mateos (Coords.), *XV Coloquio de Geografía Rural. Territorio, paisaje y patrimonio rural. Ponencias* (pp. 111-177). Cáceres: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Silva, R. (2008). Hacia una valoración patrimonial de la agricultura. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, XII(275). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-275.htm>
- Silva, R. (2009). Agricultura, paisaje y patrimonio territorial. Los paisajes de la agricultura vistos como patrimonio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (49), 309-334. Recuperado de <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/786/709>

Cita bibliográfica: López Fernández, J.A. (2020). Galerías de agua en el campo alto de Lorca (Región de Murcia). Análisis y caracterización territorial. *Investigaciones Geográficas*, (73), 235-256. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.LF>

Galerías de agua en el campo alto de Lorca (Región de Murcia). Análisis y caracterización territorial

*Water galleries in the high field of Lorca (Region of Murcia).
Analysis and territorial characterisation*

José Antonio López Fernández¹

Resumen

En este trabajo se analizan los principales sistemas tradicionales de acopio de agua localizados en el campo alto de Lorca. Ingenios de captación del tipo galería drenante o qanat, cuyos recursos se han destinado para usos locales de estas pedanías, tanto para abastecimiento de boca como regadío. Sin embargo, el caudal de algunos afloramientos permitió que, durante siglos, parte de sus aguas se destinaran a abastecer a la población de la capital, por medio de kilométricas redes de distribución. El trabajo de campo y la documentación de archivo han sido esenciales en esta investigación, donde se pone de manifiesto el esfuerzo secular de comunidades asentadas en un territorio de clima semiárido y escasos recursos superficiales. Los resultados muestran la existencia de numerosas galerías de agua, con elementos y funciones similares a otros ejemplos del Sureste de España, aunque con factores espaciales e históricos singulares. No es posible entender la configuración de este paisaje rural si no se conoce la influencia territorial que, a lo largo del tiempo, han jugado los sistemas de galerías horizontales; construcciones que, en muchos casos, siguen funcionales, conservadas y mantenidas por la población local.

Palabras clave: Galerías de agua; galerías con lumbreras; qanat; patrimonio hidráulico; medio rural; campo alto de Lorca; Región de Murcia.

Abstract

In this dissertation, the main traditional water collection systems located in the highlands of Lorca are analysed. Catchment mills of a draining gallery or qanat type were used for local drinking and irrigation supply. However, for centuries the flow of some outcrops enabled part of the waters to be used to supply the population in the capital – using kilometres of distribution networks. Fieldwork and archival documentation have been essential in this investigation, which highlights the effort of communities settled in a semi-arid territory with limited surface resources. The results show the existence of numerous water galleries, with elements and functions similar to other examples in the southeast of Spain, although with unique spatial and historical factors. It is not possible to understand the configuration of this rural landscape without considering the territorial influence played by these horizontal gallery systems. In many cases, these constructions remain functional and maintained by the local population.

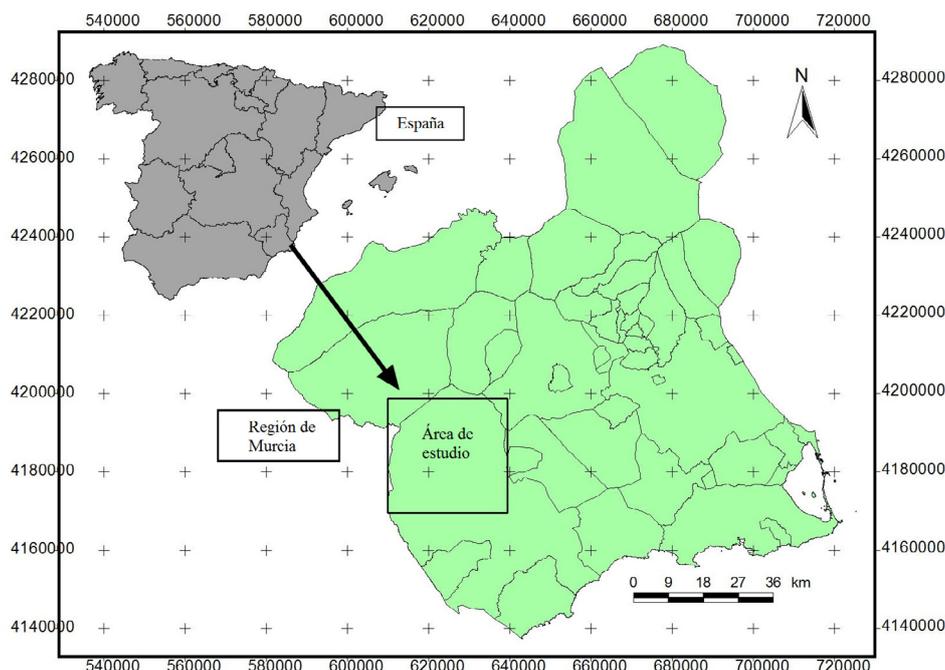
Keywords: Water galleries; galleries with louvres; qanat; hydraulic heritage; rural environment; high fields of Lorca; Murcia region.

1 Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales y Experimentales, Universidad de Córdoba, España. jalopez@uco.es

1. Introducción

En las pedanías altas de Lorca, en el interior de la Región de Murcia —al sureste de la Península Ibérica— existen numerosos ingenios tradicionales destinados a la captación de aguas subálveas; un territorio caracterizado por un clima semiárido (Figura 1). El segundo municipio más extenso de España destaca por la inexistencia de cursos fluviales de carácter permanente por lo que, históricamente, el abastecimiento de personas, de ganado y la necesidad de disponer de agua para el regadío debió realizarse a través de caudales subterráneos, lo que se tradujo en el desarrollo de galerías horizontales, cuyo aprovechamiento trasciende del ámbito local.

Figura 1. Localización del área de estudio. Campo Alto de Lorca (Región de Murcia)



Elaboración propia

Se trata de ingenios hidráulicos de carácter patrimonial (Iranzo, Antequera y Hermosilla, 2010; Gómez y Hervás, 2012; Castejón y Canales, 2016; Luna, García y Luján, 2006) que han sido vitales para el desarrollo de los pueblos aquí asentados, además de constituir elementos clave en la configuración del territorio actual. En el sureste de España, destacan los estudios realizados por Gil y Gómez (1993), que señalan el término de *galerías con lumbreras* para designar los pozos horizontales destinados a la captación tradicional de agua en la Región de Murcia. Estas construcciones, no obstante, han sido examinadas en otros territorios (Barceló, 1983; Gea, 1990; Hermosilla, 2006; Llamas, 1976; Martínez y Ruano, 1998; Palerm, 2004; Pavón, 1990; Pocklington, 1988; Roth y Schütz, 2001; Trol y Braun, 1974; Barón y Carbonero, 1987; o Vidal, 1989; entre otros). Un término, el de *galerías con lumbreras*, que puede ser sinónimo del planteado recientemente por Antequera (2015), el de *galerías drenantes*.

Podemos señalar que una galería drenante o galería con lumbreras es lo que, en otros territorios, recibe el nombre de *qanat-s*, *foggara-s*, *kettara-s*, *alcavos*, *viajes de agua* o *minados con espejuelos*, topónimo éste último utilizado históricamente en la comarca del Altiplano murciano. Grosso modo, se trata de una mina subterránea casi horizontal, con escasa pendiente, que arranca en un pozo madre, de donde se obtiene o capta el agua del subsuelo o freático próximo, en el contacto entre una capa permeable y otra subyacente impermeable. A partir de este lugar, se traza el recorrido de la mina que, a lo largo de su trayecto, va a presentar uno o varios pozos verticales —*lumbreras*—, construidos con la finalidad de extraer los acarrees en la primigenia obra o los que van a proceder de las necesarias tareas de limpieza, así como proporcionar ventilación al sistema. Sin embargo, la morfología de este tipo de sistemas puede complicarse debido a las características ambientales de cada espacio, con la presencia, por ejemplo, de galerías secundarias o transversales a la general con el fin de buscar varios puntos de captación de agua, entradas horizontales,

materiales disponibles, lucernarios para alojar velas o candiles, etc. Esta complejidad hace que, en la comunidad de especialistas, existan diferentes interpretaciones sobre la consideración de las particularidades de una galería o qanat, diferenciándolas de otro tipo de ingenios hidráulicos de parecidas características.

1.1. Hipótesis y objetivos del trabajo

La hipótesis de partida reside en la existencia de numerosos sistemas de galerías drenantes repartidos por el campo alto de Lorca, con la notoria entidad territorial e histórica para ser considerados como uno de los ingenios hidráulicos tradicionales más importantes de este término, que dan sentido al paisaje actual. Junto a ello, elementos anexos como balsas, canales de conducción, lavaderos o pilones que forman parte del legado cultural de este espacio. A través de la investigación en campo y el análisis de documentación de archivo, intentamos evidenciar la importancia de estos aprovechamientos históricos y la relevancia actual que estos sistemas tuvieron, y tienen, en el desarrollo de la población de este territorio.

Por medio de los datos obtenidos, pretendemos comprender la magnitud de estas infraestructuras para proveer de agua, no solo a los cultivos locales de las pedanías altas, sino a las huertas que se van a expandir alrededor de Lorca, en el valle del Guadalentín. Ahora bien, hay que tener en cuenta que el regadío lorquino constituye un caso paradigmático que, como en el de Alicante, va a presentar desde hace varios siglos la propiedad de las aguas separada de la tierra; ejemplo que se expandiría a gran parte de los espacios de riego deficitario del sureste peninsular (Gil, 1993). Esta situación, en un contexto geográfico de escasez hídrica, daría lugar a proyectos de gran magnitud, algunos tan inverosímiles que ponen de manifiesto la imperiosa necesidad en la búsqueda de caudales y, por lo tanto, un factor que puede explicar el desarrollo de los sistemas tradicionales de captación de aguas. De este modo, las clases más pudientes por un lado y, sobre todo, la unión de pequeños agricultores por otro, tuvieron que realizar grandes esfuerzos económicos y personales para obtener las aguas de las tierras altas del municipio, por medio de minas y galerías de captación subterráneas; en un territorio exiguo en recursos superficiales y con clima mediterráneo semiárido.

Para este estudio nos proponemos, por tanto, la consecución de varios objetivos: a) catalogar y categorizar la tipología de estos aprovechamientos, de acuerdo a la investigación actual; b) analizar los espacios configurados por los sistemas de galerías con lumbreras localizados en el territorio del campo alto de Lorca y su influencia histórica en la capital municipal; c) determinar la relación entre el aprovechamiento de los recursos hídricos y el desarrollo de la población y el poblamiento existente en las pedanías altas de Lorca.

1.2. Estado de la cuestión sobre las galerías drenantes

La capacidad del ser humano para extraer agua del subsuelo ha sido bastante limitada hasta bien entrado el siglo XX. No será hasta los años 60 y 70 cuando los sondeos verticales van a permitir acceder a grandes profundidades. Sin embargo, sí existían conocimientos que, según algunos autores, fundamentan las características mineras de estos complejos hidráulicos (Goblot, 1979), los cuales tendrán un amplio desarrollo en las tierras del Próximo Oriente, en casi todas las regiones del Sahara, en la antigua Persia, el oeste de China o centro y sur de América. Y es que, sobre el funcionamiento de estos sistemas, tuvo lugar el crecimiento de los antiguos pueblos que habitaban territorios con escasas precipitaciones (Al Karaimeh, 2019). En la actualidad, estos sistemas de captación de aguas subálveas son fundamentales en países como Irán, donde se estima la presencia de más de 37.000 galerías, que aportan el 11% de todos los recursos hídricos disponibles (Megdiche-Kharrat, Ragala y Moussa, 2019). En países balcánicos y asiáticos, los sistemas de galerías han sido esenciales para el desarrollo de diferentes civilizaciones.

Some researchers reported that the first water well of Iran was dug simultaneously with the first Qanat. There are hand dug water wells still in use today in parts of the Persian Empire which were constructed more than 3,000 years ago. (Voudouris *et al.*, 2019, p. 362)

Pérez (2005) señala la presencia de galerías y minas como un elemento esencial para aprovechar los caudales subterráneos en el ámbito mediterráneo, tanto en España como en el norte de África (Fansa, Antequera y Hermosilla, 2017); infraestructuras destinadas tanto para el abastecimiento de personas como para el regadío. Una técnica de construcción que se remonta a épocas romana y árabe, caso del qanat de Ocaña en Toledo (López-Camacho, Bustamante e Iglesias, 2005). Las galerías con lumbreras, como señala Murcia (1958) es una técnica hidráulica, desarrollada en lugares áridos y semiáridos, con una amplia presencia en el ámbito español (López-Camacho, 2001; López-Camacho *et al.* 2005).

La población de Lorca ha estado secularmente marcada por la necesidad de abastecimiento hídrico. La escasez de recursos propios determina la búsqueda histórica de agua en otros territorios alejados de la capital, como los de la fuente de Tirieza en el siglo VIII, según documentos de Al-Himyari (Roth y Shütt, 2001) y los manantiales de Ojos de Luchena y Zarzadilla de Totana (Madoz, 1850), al norte del término. Incluso también existió la intención de conducir los caudales de los ríos Castril y Guardal, así como las Fuentes del Marqués de Caravaca. En el siglo XX, el ingeniero Ángel Elul (1929-1932), al describir el territorio de las pedanías altas, identifica algunos aprovechamientos realizados por medio de galerías con lumbreras (Pelegrín, 2010). Otro investigador, en este caso el historiador y cronista lorquino Joaquín Espín Rael, recogió interesante información sobre los Ojos de Luchena; documentación no publicada, alojada en el Archivo Municipal de Lorca. Pelegrín (2006) describe cuatro obras hidráulicas de carácter histórico en Lorca, entre las que se encuentra el acueducto de Zarzadilla de Totana, construido para conducir las aguas de la galería de esta población a la capital lorquina. García y Pelegrín (2002) analizan las características y los caudales históricos del manantial de Ojos de Luchena. Nacimiento de agua que también fue evaluado ampliamente por Rodríguez (1995). Por su parte, López (2015) presta atención a la funcionalidad del sistema local de galería drenante La Mina, situado por encima de la población de Zarzadilla de Ramos.

Por el contrario, no se ha realizado un análisis geográfico general de este tipo de aprovechamientos, ni su influencia en el desarrollo de las entidades locales de carácter rural así como de la capital lorquina. A tenor de las investigaciones en campo y de otras experiencias previas, no resulta fácil realizar una clasificación de estos sistemas, así como determinar si su origen responde a técnicas mineras. Otras investigaciones también han puesto de manifiesto esta compleja tarea, debido a la amplia diversidad de sistemas de captación subterránea encontrados en el ámbito de la cuenca mediterránea (López-Camacho, 2001; Hermosilla, 2008; Antequera, Iranzo y Hermosilla, 2014). Respecto al origen de esta técnica constructiva, Hermosilla, Iranzo, Pérez, Antequera y Pascual (2004) recogen la tesis presentada por Goblot (1979), que indica que las galerías de agua responden a una construcción que requiere conocimientos mineros. Por su parte, Barceló (1986) entiende que la búsqueda del agua se puede realizar por medio de zanjas que, posteriormente, pueden ser recubiertas y, por lo tanto, no es necesario conocer técnicas mineras para su construcción. En este mismo sentido, Barceló (1986) indica que estos sistemas responden a las necesidades locales de cada espacio, por lo que los constructores van a actuar de acuerdo a sus posibilidades técnicas, con la finalidad de obtener caudales que amorticen la construcción de la obra. De acuerdo con la definición anterior, intentar clasificar las galerías con lumbreras resulta complejo por multitud de factores. Al respecto, Hermosilla refleja esta complejidad de los sistemas, que “presentan condiciones específicas dependiendo de las características geográficas de un área determinada. Estas adaptaciones se reflejan en una variedad tipológica representativa manifestada por las técnicas de construcción de las galerías y por las diferencias morfológicas de estas”. (2008, p. 22)

En un trabajo bastante interesante y poco referenciado, Murcia (1958) señala que, según convenga, pueden darse las siguientes construcciones: Trincheras colectoras, a modo de zanjas subterráneas. Galerías filtrantes, refiriéndose a minas que tienen el fin de aprovechar las aguas subálveas de valles fluviales. Galerías de captación, que es “propia del socavón” (Murcia, 1958, p. 158). Autores como Ron (1996) o Martí (1989), por su parte, advierten de las diferencias que existen entre una mina de agua y un qanat o galería, siendo esta última la que se desarrolla a partir de un pozo madre, que da agua tras su construcción y requiere la cimentación de una galería horizontal para conducir el caudal de la captación a cielo abierto. Gil y Gómez (1993), Gómez (2004a) o Gómez, Gil, Aliaga, López y Martínez (2007), diferencian estas construcciones entre sistemas de galerías filtrantes y drenantes. Las primeras, realizadas bajo depósitos de gravas en ríos-ramblas; las segundas, por su parte, construidas bajo depósitos aluviales y coluviales en áreas sedimentarias como glaciares y piedemontes. Hermosilla *et al.* (2004) diferencian entre galerías situadas en áreas de montaña, donde aparecen minas y galerías con o sin pozo madre; galerías en áreas intermedias o piedemontes, espacios donde se encuentran los qanawat (qanat en plural) propiamente dichos; galerías en cursos y terrazas fluviales, con la construcción de cimbras y zanjas, con lumbreras tanto verticales como horizontales (Hermosilla, 2008) para extraer los caudales subálveos.

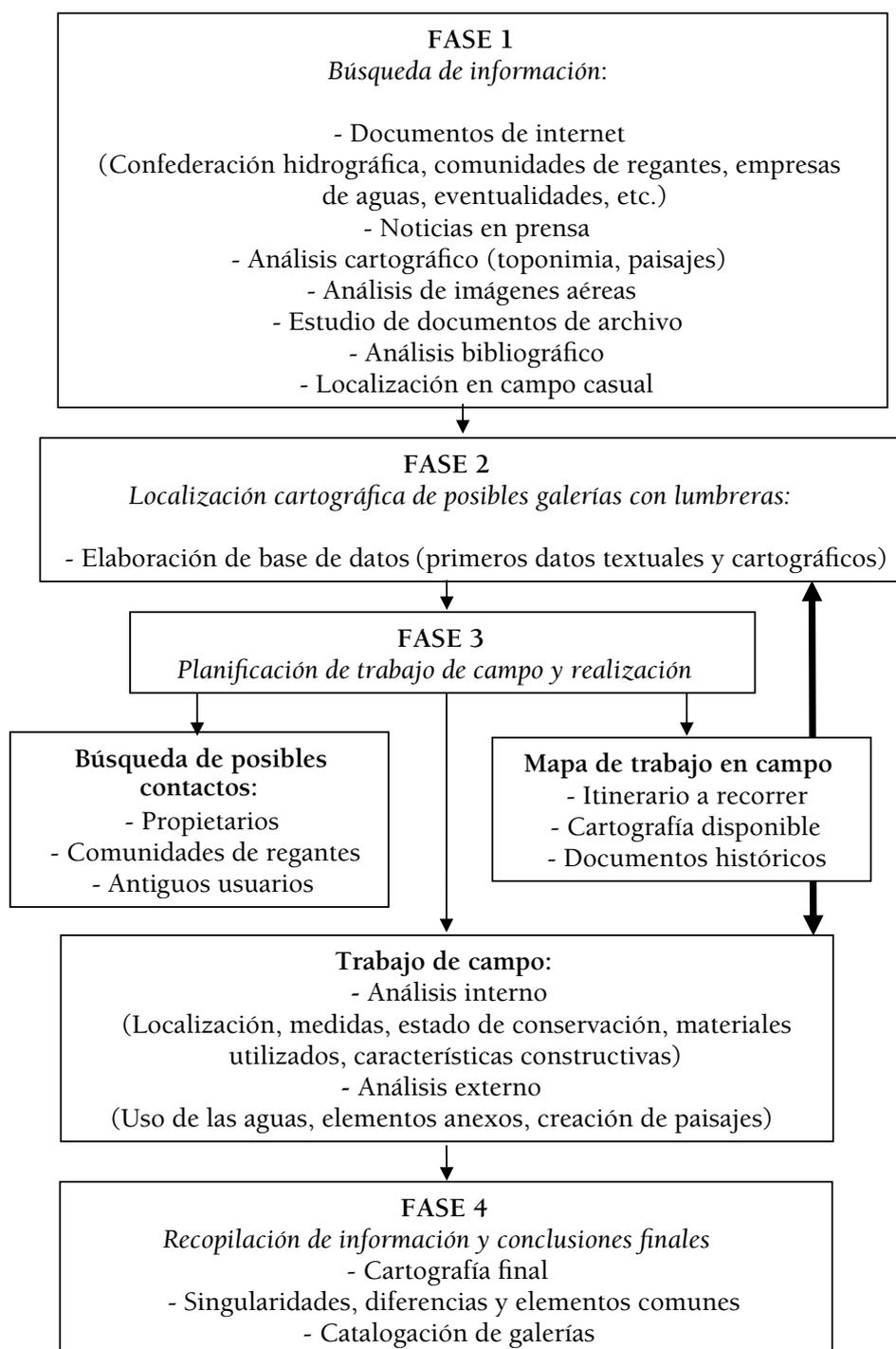
2. Metodología

2.1 Procedimientos metodológicos de la investigación

La metodología de esta investigación se articula en base a cuatro fuentes de información: el trabajo de campo, realizado durante la segunda mitad del año 2019, para analizar in situ las características

constructivas y morfológicas de las galerías, el análisis de la bibliografía relacionada con los sistemas drenantes (de ámbito local, de carácter geográfico, histórico o etnográfico, así como de síntesis), el estudio de documentación histórica existente en el Archivo Municipal de Lorca y el uso de imágenes aéreas, actuales y pasadas, tratadas a partir de fotointerpretación y sistemas de información geográfica. Paralelamente, las fases del trabajo también son cuatro, complementarias e interrelacionadas, y que se han seguido en otros estudios, aunque con algunas diferencias (Hermosilla *et al.*, 2004; 2008; Hermosilla, Antequera e Iranzo, 2012; Gil y Gómez, 2007; Gil, 2009).

Figura 2. Fases de trabajo implementadas en la investigación



Elaboración propia

De este modo, para el análisis de los sistemas hidráulicos de captación de aguas del campo alto de Lorca, hemos implementado la estructura de trabajo recogida en la Figura 2. La primera fase, articulada en base al objetivo principal del trabajo, comienza con la búsqueda de información sobre puntos de agua repartidos por el territorio objeto de estudio. Esta indagación se realiza de forma estructurada según la consulta de diferentes fuentes documentales y cartográficas, y también por medio de unas primeras jornadas de campo, con la visita in situ a fuentes y manantiales. A partir de aquí, se crea una base de datos con información georreferenciada, que servirá de punto de partida para la fase 3.

Esta se estructura en torno a la planificación y realización del trabajo de campo, con la visita a los sistemas drenantes y la concertación de entrevistas con expertos y conocedores del territorio. En esta fase también se comprueban las situaciones descritas en documentos históricos y se comparan con el estado actual de las diferentes captaciones. Se analizan las características constructivas de las galerías, su estado de conservación y funcionalidad, así como su papel en la configuración de paisajes locales y su valor patrimonial, a través del estudio de otros posibles elementos anexos, que permiten diversificar el uso del agua, diferente al regadío. La fase final se corresponde con el análisis global de los sistemas encontrados y su influencia en el territorio, se catalogan en base a sus características y se elabora una cartografía final.

Todas las fases son necesarias para una correcta identificación y estudio de estos sistemas. En este caso, el trabajo de campo y análisis geográfico es fundamental en este tipo de estudios, sobre todo al considerar que cada sistema presenta sus rasgos identitarios conforme a su situación espacial y desarrollo histórico. De gran importancia es la indagación por medio de antiguas imágenes aéreas con visores informáticos y geoportales, que permiten identificar las hileras de lumbreras y espacios regados, complementados con la información de archivo, lo que facilita el posterior trabajo de campo. En nuestro caso, el estudio de documentos en el Archivo Municipal de Lorca y algunos trabajos bibliográficos, referentes a la construcción de estos sistemas y el control de los caudales aforados, permiten disponer de interesante información histórica, que complementa a los estudios geográficos actuales.

Nuestro enfoque metodológico también descansa en los postulados de la geografía cultural (Ortega, 2000); una rama de la geografía humana, que intenta analizar y explicar la relación histórica entre el ser humano y su entorno, que tiene, como resultado, una producción cultural, tanto de carácter material como inmaterial. En este sentido, se intenta realizar, no solo un análisis minucioso de cada galería drenante, sino del conjunto de elementos que componen cada sistema, desde la captación a la distribución del agua así como los diferentes usos otorgados a este escaso bien natural. Este compendio de información se analiza para intentar ofrecer una síntesis territorial, en cuanto al uso del agua, en un espacio, marcado por la relación histórica de la sociedad y el esfuerzo de esta por conseguir un recurso tan necesario como escaso. Se intenta, con esta metodología, poner de manifiesto la forma de vida de una población que ha desarrollado una cultura hídrica e hidráulica, que se ha adaptado a vivir en un territorio de características semiáridas, y que se evidencia por medio de sus paisajes (Hermosilla e Iranzo, 2014).

El paisaje resultante es, por tanto, y ante todo, el fruto de costosísimos esfuerzos del agricultor que con su trabajo y un rudimentario instrumental, ha modelado laderas y cauces hasta límites insospechados, “el campo es aquí, sobre todo, arquitectura” (Deffontaines, 1972). Una transformación, en definitiva, que implica no solo un trabajo penoso, sino lo que es más de encarecer, interminable (...). (Hernández y Morales, 2013, p. 117)

2.2. Características del espacio de estudio

El territorio de estudio se localiza en la zona norte del término municipal de Lorca, estructurado por la red hidrográfica del Turrilla. Aquí se encuentran las diputaciones de Avilés, Coy, Doña Inés, La Paca, Zarzadilla de Totana y Zarcilla de Ramos, sector centro-occidental de la Región de Murcia. Por el Norte, las sierras de Campo Coy y las alineaciones de Almirez y de la Pinosa, que se continúan por el noreste con las de Labia y Burete, separan esta zona de las tierras de Caravaca, drenadas de suroeste a noreste por el río-rambla del Quipar. Por su parte, en la zona sur, la cuenca está separada de la depresión del Guadalentín por los relieves de La Tercia y La Torrecilla, de dirección predominante SW-NE. El paso natural entre ambos espacios se produce por una falla NW-SE.

Se trata de una cuenca relativamente alta, alrededor de los 500 metros sobre el nivel del mar, que presenta una red de drenaje de carácter temporal, cuando tienen lugar intensas precipitaciones concentradas en reducidos periodos de tiempo. Esta cubeta de sedimentación tiene, a su vez, relieves interiores que siguen la estructura predominante de las Sierras Béticas, con picos que superan los 1.000 metros de

altitud. Estas unidades están formadas principalmente por materiales calizos levantados en el Terciario, suprayacentes a paquetes inferiores de carácter impermeable, mayoritariamente margosos; características que justifican la búsqueda histórica de recursos hídricos en el subsuelo de estas tierras.

Figura 3. Paisaje tradicional de las pedanías altas de Lorca. En este caso, Paraje de La Cañada, configurado por extensos valles ocupados por cultivos de secano y jalonados por elevaciones montañosas cubiertas de pinares



Fotografía del autor

El paisaje típico que ofrece este espacio es el secano mediterráneo, donde se entremezclan los cultivos de cereal, vid, almendros y olivos, regados algunos de ellos con aguas de pozos profundos (Figura 3). Estos cultivos se localizan en cañadas y planicies coluviales, lugares más apropiados para la agricultura y donde existe una mayor disponibilidad de recursos hídricos subterráneos. Junto a ello, también se pueden encontrar ejemplos de cultivo en terrazas a orillas de ramblas y fondos de valle. Alrededor de los núcleos de población, se conservan pequeñas huertas, que han servido históricamente para el abastecimiento de la población local, regadas secularmente con el agua de fuentes y manantiales, como ocurre en Coy y Doña Inés. Los relieves circundantes, por su parte, muestran grandes extensiones de eriales y pinares, estos últimos fruto de repoblaciones en épocas pasadas.

Las precipitaciones que acontecen en este sector son irregulares, intra e interanualmente, concentradas en primavera y otoño. No son frecuentes durante el invierno y rara vez se producen durante el periodo estival. Cuando aparecen lluvias, que suelen ser de tipo orográfico, estas se generan como consecuencia de la llegada de masas de aire del Mediterráneo, obligadas a un ascenso rápido determinado por el relieve. A lo largo de los años también se producen irregularidades relevantes, como en 2005 donde solamente se registraron 173,3 l/m² en la estación meteorológica de La Paca; 471 l/m² en 2006 o 235,17 en 2017. Se trata, pues, de un entorno cuya media anual apenas supera los 300 mm, donde no existen cursos continuos de agua que permitan un aprovechamiento agrícola sostenido por regadío, cuestión que se debió afrontar por medio de la búsqueda de aguas subterráneas.

En cuanto a las temperaturas, los valores muestran un verano con medias de 25 °C e inviernos que oscilan entre 10 y 12 °C, si bien este espacio, por la configuración del relieve y el relativo efecto de la continentalidad, la media anual es inferior con respecto al resto del territorio municipal. Así, el carácter interior de esta zona muestra amplitudes térmicas por encima de 17-18 °C. Como consecuencia, el déficit hídrico asciende hasta superar los 800 mm, haciendo de las escasas aguas disponibles, un recurso importantísimo para el desarrollo humano.

3. Resultados

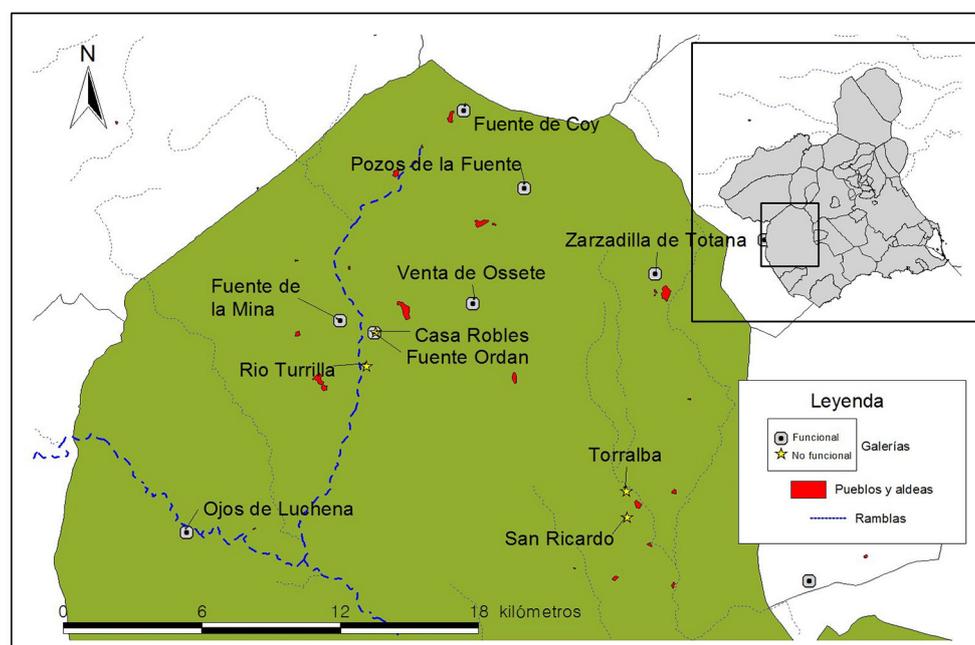
Los resultados se presentan en dos fases: por un lado, se dispone la información de forma conjunta, analizando características y singularidades de los diferentes aprovechamientos hidráulicos; por otro, se

ha procedido a realizar una distinción entre los complejos de galerías que tienen un aprovechamiento local y aquellos que, a lo largo de los últimos siglos se han acomodado para abastecer a la población de la capital lorquina, como son los sistemas de Zarzadilla de Totana y Ojos de Luchena.

Respecto a la localización espacial del conjunto de sistemas drenantes, puede comprobarse según la Figura 4 una amplia distribución en el campo alto de Lorca, relativamente cercanos a los núcleos de población y que han funcionado como fuentes de abastecimiento secular para proveer de agua a lavaderos y abrevaderos pero, sobre todo, para la toma de boca y el regadío.

En este sentido, puede entenderse que el germen del actual poblamiento está condicionado por la primitiva localización de alquerías y ventas, que se levantaron en cruces de caminos entre veredas y cañadas, a su vez determinados por la disposición de abrevaderos con origen en fuentes y manantiales naturales. Con toda probabilidad, posteriormente se acometieron obras para incrementar las aguas disponibles, según se desprende de la documentación de archivo, sobre todo en los de mayor caudal como en Ojos de Luchena. El ejemplo de esta galería va a constituir un punto de interés, no solo a nivel local, sino para el desarrollo de la capital lorquina y su huerta, al aportar durante siglos caudales continuos que permiten poner en regadío parte del valle del Guadalentín (Gil, 1993).

Figura 4. Sistemas de galerías drenantes analizados en las Pedanías Altas de Lorca



Elaboración propia

En la Tabla 1 se recogen las principales características morfológicas y funcionales de los sistemas de galerías encontrados en las pedanías altas de Lorca. Se destacan las que están operativas en la actualidad, la tipología de construcción, los materiales utilizados para su edificación y los elementos anexos que permiten el uso del agua. Además, se incluye información relacionada con la distancia de los sistemas y el aporte de caudal, aunque este último es muy variable a lo largo de los años.

En conjunto, podemos advertir que, en la actualidad, estos ingenios siguen siendo importantes, sobre todo para ayudar a conservar regadíos tradicionales, como el existente alrededor de la villa de Avilés, o por medio de la fuente de La Mina, al norte de Zarzadilla de Ramos, que ayuda al funcionamiento de una comunidad de regantes. De las once construcciones inventariadas, siete se conservan funcionales, con evidencias recientes de obras de mantenimiento en algunos sistemas como es el caso de la Finca de Ossete, donde se ha procedido a restaurar los brocales de las lumbreras (Figura 5).

En cuanto a la localización, cinco de estos sistemas se construyeron en piedemontes o glacia, cuatro aprovechando los subálveos de lechos y terrazas fluviales y dos ocuparon espacios de valle, con la finalidad de captar aguas subálveas. Respecto a la tipología de estos sistemas, seis podemos considerarlos como

ejemplos de galerías con lumbreras o galerías drenantes, otros dos son cimbras o galerías de filtración de agua, situadas bajo lechos fluviales (Pozos de la Fuente y Ojos de Luchena) y una constituye un sistema de zanjas o minados con lumbreras, fundamentalmente de conducción como es el complejo del margen izquierdo del río Turrilla. La fuente de Coy, por su parte, constituye un aprovechamiento del tipo zanja sin lumbreras, recogiendo las aguas entre dos capas geológicas.

Tabla 1. Características constructivas y morfológicas de las galerías drenantes estudiadas en el Campo Alto de Lorca

Nombre	Estado F/Nf	Ámbito geomorf.	Tipología	Elementos constructivos	Elementos anexos y usos	Distancia (m) y caudal (l/s)	
Zarzadilla de Totana	F	Piedemonte	Qanat con lumbreras	Revestida en piedra	Depósito, lavadero, balsa, acueductos	190	3
Pozos de la Fuente	F	Lecho fluvial de rambla	Cimbra con lumbreras	Revestida en piedra	Balsa para riego	415	10
Venta de Ossete	F	Valle	Qanat con lumbreras	Revestida en piedra	Balsa para riego	1500	3
Casa Robles	F	Terraza fluvial	Qanat con lumbreras (2 ram)	Horadada en tierra	Balsa para riego	140	0,5
Fuente Ordán	Nf	Terraza fluvial	Qanat con lumbreras (2 ram)	Horadada en tierra	Balsa para riego	160	–
San Ricardo	Nf	Piedemonte	Qanat con lumbreras	Revestida en piedra	Balsa para riego	900	–
Ojos de Luchena	F	Lecho fluvial de rambla	Cimbra con lumbreras	Revestida en piedra	Desagua en cauce	235	317
Torralba	Nf	Terraza fluvial	Cimbra o mina	Labrada en roca	Depósitos de decantación y balsa para riego	138	–
Río Turrilla	Nf	Terraza fluvial	Zanja con lumbreras (4 ram)	Horadada en tierra	Molinos hidráulicos y balsas para riego	3315	–
Fuente de la Mina	F	Piedemonte	Qanat con lumbreras	Horadada en tierra	Balsa para riego	60	11
Fuente de Coy	F	Piedemonte	Mina	Revestido en piedra	Piscina para baño y balsa de riego	–	8

Elaboración propia

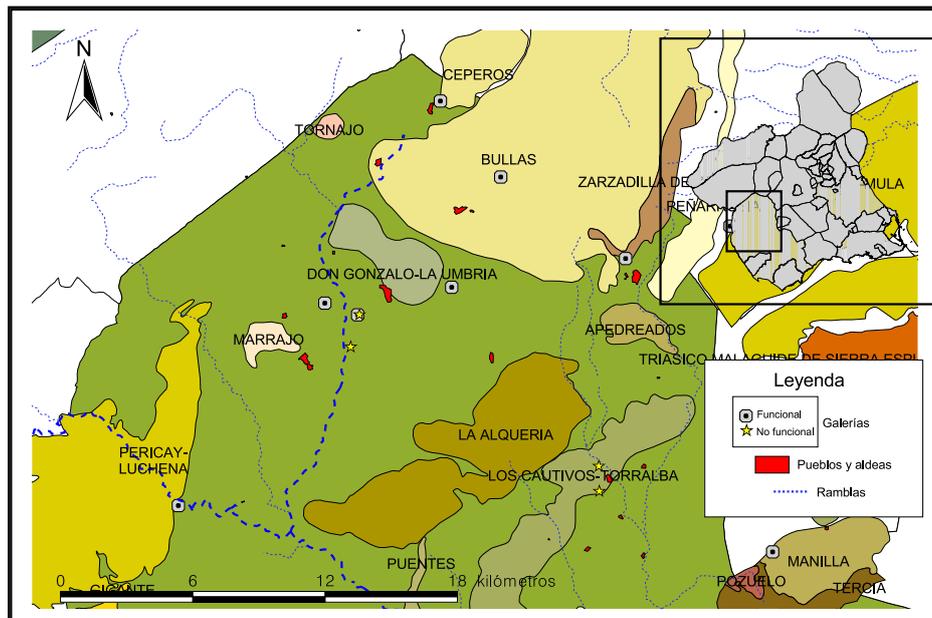
Figura 5. Brocales de las lumbreras, recientemente restauradas, en la galería de captación de la Finca de Ossete



Fotografía del autor

En función de la localización de estos sistemas y la información hidrogeológica disponible (IGME) (Figura 6), podemos comprobar que los sistemas que mayores caudales han presentado, y presentan, se han construido en zonas de contacto entre materiales permeables e impermeables. Así, Ojos de Luchena constituye la salida natural del acuífero Pericay-Luchena. Por su parte, las galerías de Zarzadilla de Totana y Avilés parecen ser los puntos de salida del acuífero de Zarzadilla; el primero en la cara sur de la sierra de Burete; el segundo, en la cara norte de este relieve bajo la rambla del Cargador. No obstante, en este último caso no estamos seguros de que se trate de un sistema de captación de las aguas del acuífero, sino más bien de filtración de las corrientes subálveas de esta pequeña red hidrográfica.

Figura 6. Principales acuíferos y sistemas de galerías drenantes en el campo alto de Lorca



Fuente: Trabajo de campo e información del IGME. Elaboración propia

También constituye un punto de surgencia la galería de San Ricardo, en este caso de una unidad más pequeña como es Los Cautivos-Torralba, aunque en la actualidad se encuentra sin uso. Esos tres sistemas, junto al de Torralba, se localizan al pie de importantes relieves calizos, lugares donde se recoge algo más de precipitación con relación al interior de la cuenca. En el caso de Ojos de Luchena y San Ricardo, aun estando en lechos fluviales, están flanqueados por montañas de cierta vigorosidad, que llegan hasta casi 1.500 metros de altitud. La fuente de La Mina, según un informe de Confederación Hidrográfica del Segura, constituye el único punto de surgencia del acuífero Mingrano-El Rincón; un acuífero relativamente pequeño, de 8,5 km² y un área de captación permeable de 4,2 km². (CHS). El resto de sistemas se dan en zonas aluviales, aprovechando igualmente las aguas subálveas de valles y terrazas fluviales o por medio de la captación de pequeños acuíferos colgados. De ahí que, históricamente, sus caudales hayan sido claramente inferiores, usados sobre todo para un consumo local.

3.1. Los sistemas drenantes de uso local

La mayor parte de los sistemas inventariados en las pedanías altas de Lorca han servido para abastecimiento local, tanto de personas como de ganado, así como para la puesta en marcha y conservación de un regadío tradicional, desarrollado en torno a los núcleos de población. No obstante, cada ingenio de galería drenante o con lumbreras presenta ciertas singularidades en cuanto a su uso y morfología.

Los ejemplos de Fuente Ordán, San Ricardo y barranco o rambla del Madroño (Torralba) no están en uso en la actualidad. La extracción de aguas subterráneas en sus inmediaciones, por medio de sondeos verticales para la puesta en cultivo de amplias extensiones de tierra durante los años 80 y 90 del siglo XX, ha ocasionado el abandono de estos complejos. En el primer caso, el sistema estaba compuesto por dos galerías de captación horadas en la tierra y varias lumbreras. Las aguas de ambas minas se recogían en una balsa para riego y, aunque no tenemos datos al respecto, no parece ser una obra anterior al siglo XX.

Por su parte, los caudales subálveos del barranco del Madroño, conocido como aprovechamiento de Torralba, han sido utilizados desde la antigüedad. En el lugar se construyó una galería excavada en roca que captaba y desviaba las aguas de este entorno, y que se conectaría presumiblemente con una villa romana. Por medio del análisis de campo y del trabajo realizado por Gris, Solís y Gris (2002) se constata la presencia de una larga conducción a cielo abierto, horadada en la roca, con varias piscinas de almacenamiento y decantación, que servían para traer las aguas del barranco. El estado de conservación de este tramo es bastante deficitario debido a su abandono, así como por diversas actuaciones realizadas para acondicionar regadíos intensivos. El inicio del sistema, sin embargo, en mejor estado de conservación, estaba configurado por un túnel con “una longitud de 138 metros, contando con un total de cuatro pozos de aireación y dos salidas en rampa, que se usarían para la limpieza y extracción de los sedimentos acumulados en la canalización” (Gris *et al.*, 2002, p. 181). Como señalan estos investigadores, la configuración de un acuífero local, denominado de Torralba, que presenta el juego de materiales margosos infrayacentes y calizas permeables, y que emergen en el barranco del Madroño, justifica que los antiguos pobladores se plantearan la construcción de una galería de captación, con el fin de aprovechar estos recursos que brotarían por su pie, para abastecer a la villa.

En el siglo XX, a escasos dos kilómetros del aprovechamiento de la rambla del Madroño, se construyó otra galería para proveer de agua al poblado que Torralba, núcleo que había crecido en tiempos de la posguerra civil. Este nuevo sistema perforó el acuífero anteriormente descrito, dando agua en la pared final de la mina horizontal, conduciendo los recursos captados a la balsa de San Ricardo o Casa de los Ángeles (Gris *et al.*, 2002), donde todavía puede leerse en su partidor de apertura una señalización de *13 de junio de 1949*. La construcción de este complejo requirió el uso de dinamita y la mina se revistió con mampostería para fijar la estructura. Sin embargo, los sondeos verticales de finales de los años 70 condicionaron el funcionamiento de este sistema hasta dejarlo en seco, encontrándose en la actualidad en estado de ruina.

Los sistemas de la rambla del Cargador, al noreste de la población de Avilés (Figura 7), y la Finca de Ossete (Figura 8) se ubican en la misma unidad geomorfológica, aunque en dos ambientes geográficos diferentes. Si el primer ejemplo se sitúa en pleno cauce que desciende de la umbría de la Sierra del Cambrón, el segundo ocupa unos kilómetros más abajo el valle configurado entre esta sierra al este y el Cerro de La Paca, al oeste. Se trata de dos conjuntos de galerías drenantes conservados para usos locales; en Avilés, para el riego tradicional de su huerta. Mientras, en la finca de Ossete, las aguas se suman a las de sondeos profundos que sirven para poner en explotación una finca con carácter intensivo destinada en la actualidad a la producción de olivar. Sendos ejemplos se conservan funcionales, y una muestra de ello son los trabajos de mantenimiento ya comentados.

Figura 7. Bocamina y primer tramo de conducción de las aguas de la galería de Avilés; ejemplo de sistema de filtración en el campo alto de Lorca



Fotografía del autor

Respecto al sistema de la finca de Ossete, su importancia ya fue destaca por Elul en 1929. Decenios más tarde, con motivo de la búsqueda de alumbramientos para mitigar las continuas sequías de las pedanías altas de Lorca, el IGME realizó una descripción interior de la misma en 1980. En este documento se reflejaban las características de la galería tradicional de la finca, que cuenta con un recorrido en dirección SW-NE de 1,5 kilómetros a lo largo del valle, destacándose un cambio de sentido SE-NW en su tramo final, hacia el cerro de La Paca; con un caudal de 12 litros por segundo a mediados de los años 70 y que se va a reducir por la sequía hasta los 0,5 litros a comienzos del año 1979. Desconocemos si los trabajos de perforación señalados en este documento se llegaron a realizar; los temores de los geólogos descansaban en la posible salinización del pequeño acuífero La Paca, por lo que acababan sus conclusiones recomendando la vigilancia del su perímetro para evitar la sobreexplotación del mismo, así como evitar el empeoramiento de la calidad de las aguas captadas de forma tradicional.

Figura 8. Balsa de almacenamiento de las aguas de la galería de la finca de Ossete



Fotografía del autor

Al inicio del valle del río Turrilla, se localizan los sistemas de la Mina (López, 2015) y Casa Robles, en uso actualmente; y Fuente Ordán y el complejo de Zarcilla de Ramos, sin funcionalidad hoy en día. Se trata de sistemas de captación tradicionales de carácter local, destinados fundamentalmente a regadío tradicional y con la característica compartida de ser sistemas horadados en tierra, sin ningún tipo de revestimiento constructivo. Por su caudal, es de destacar el sistema de La Mina, cuyo origen estaría relacionado con la necesidad de evacuar las aguas que surgían por la extracción de mineral, durante el siglo XIX. En la actualidad, los recursos de este aprovechamiento, uno 250.000 m³ por año, sirven como parte del abasto de la comunidad de regantes del Campo Alto, de 120 comuneros y 435 hectáreas.

El complejo de Zarcilla de Ramos, aunque se encuentra derruido en parte, destaca al estar compuesto por cuatro ramales de galerías, entre ellos el que se disponía en el margen derecho de la rambla de Los Abades, con profundidades que oscilan entre tres y diez metros y que sirvió, en su tiempo, para poner en funcionamiento dos molinos de cubo, el del Agua y el de la Máquina. Además, las aguas, por medio de un entramado de redes de canales a cielo abierto y varias balsas, se utilizaban en las parcelas dispuestas en el fondo del valle del Turrilla; regadío que, en su día, llegó a contar con una conducción proveniente de los Ojos de Luchena. Según los restos superficiales de las conducciones de la galería de la Mina y los de Zarcilla, así como la opinión de algunos vecinos, es probable que todos los recursos se uniesen en un mismo complejo.

Por último, como ejemplo de aprovechamiento local está la fuente de Coy. No se trata de un sistema de galería, sino de una zanja que horada el pie de un cerro calizo hasta convertirse en un pequeño minado, cuyas aguas se han utilizado históricamente para el abastecimiento de la población, disponiendo el caudal en varias fuentes, así como para el regadío. Además, recientemente se ha acondicionado una piscina para baño, que agrada a los vecinos y lugareños en las épocas de estío.

3.2. Los sistemas drenantes de uso municipal

El sistema de Ojos de Luchena se localiza en el cauce de este río, aguas abajo del embalse de Valdeinfierno. En este punto, el río ha creado un cañón que taja la sierra de Pericay de NO a SE, cuyo punto más elevado alcanza los 1.386 metros de altitud en la Morra del Cocón al SO, y 1.235 metros en la pared NE, en la cima de Pericay. Sin embargo, el concepto río puede aplicarse en la actualidad una vez llegados al manantial, ya que anteriormente el cauce permanece completamente seco (Figura 9).

Figura 9. Representación del área donde se localiza el aprovechamiento de Ojos de Luchena



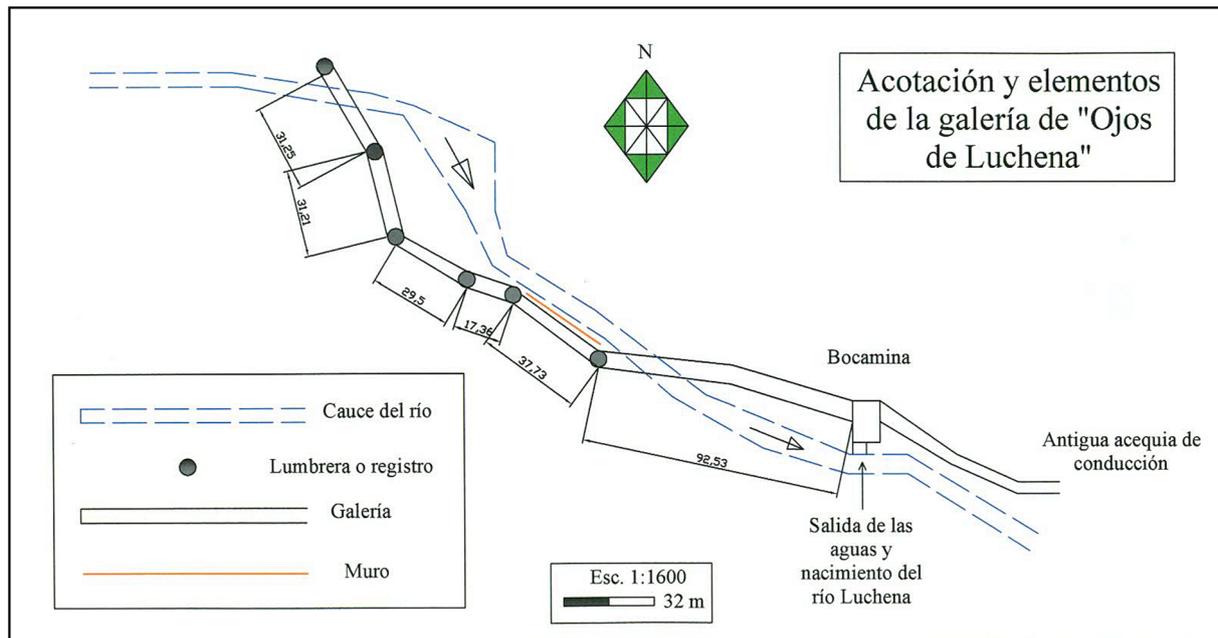
Fuente: Google Earth. Elaboración propia

Se trata de una galería funcional que evacúa las aguas de un amplio acuífero, cuyo proceso constructivo ha sido ampliamente anotado en documentos antiguos. En estos se pone de manifiesto el interés de la población lorquina por disponer de los caudales subterráneos de este territorio. En la actualidad, el sistema presenta la bocamina en el margen izquierdo del cauce, con dos puntos de salida, uno que se continúa mediante canalización por el margen del río y que antaño presentaba un ramal hacia Zarcilla de Ramos. Y otra salida, que vierte las aguas al cauce del río para llevarlas de forma natural hasta el embalse de Puentes.

La galería presenta una forma rectangular, rematada en forma de bóveda. Está revestida y consolidada con cemento enlucido, con una altura en la entrada que alcanza los 2,30 metros, por 1,50 de ancho. Estas dimensiones permiten el tránsito del personal encargado de su conservación y limpieza. El sistema se desarrolla por debajo del cauce, ya que la mina se orienta hacia el margen derecho; sin embargo, información aportada por conocedores de la galería señalan la posibilidad de que otro ramal continúe por la orilla izquierda, presentando una forma de Y, planteamiento que puede coincidir con algunas anotaciones históricas de archivo. El recorrido de la galería principal presenta 6 lumbreras, separadas con distancias que oscilan entre los 30 y 90 metros (Figura 10).

El proceso de construcción y búsqueda de agua en este punto del territorio lorquino puede comprobarse por medio de los datos recogidos por Joaquín Espín Rael, historiador y cronista de la ciudad en la primera mitad del siglo XX. Estos acontecimientos históricos se presentan en formato tabla, donde se muestran los sucesivos intentos de los regantes por aumentar los caudales desde comienzos del siglo XVII (Tabla 2).

Figura 10. Elementos constructivos que componen la galería de Ojos de Luchena



Elaboración propia

Tabla 2. Principales acontecimientos ocurridos en torno al desarrollo del sistema drenante de Ojos de Luchena durante los siglos XVII y XVIII

Año	Acontecimiento
1603	Un zahorí informó sobre la posibilidad de aumentar el caudal con excavaciones en la zona de los Ojos
1682	Otro zahorí, Fajas, promueve la ampliación de la galería, acometiendo nuevas obras. Después de un accidente, las obras las dirigiría Melchor de Luzón, que propuso realizar una zanja de 300 varas de longitud y 20 palmos de profundidad, embovedándola para impedir el acceso del río.
1686-1688	Continúan los trabajos en Ojos de Luchena, si bien los encargados de las obras Luzón, Fajas y Pelegrín, sobre todo éste último, consideran que es más apropiado realizar obras en la Fuente del Oro y no en Luchena.
1689	Se practicaron nuevos aforos solicitados por la Junta de Comercio, donde se obtuvieron 29 hilas. Los cabildos del Concejo y Colegial consideraron que los trabajos eran infructuosos ya que no se conseguía aumentar el caudal. Sin embargo, la Junta determinó que siguieran los trabajos dirigidos por Pelegrín, a lo que este se opuso, "harto de las piojerías de aquí".
1690	Varios vecinos informan del aumento de dos hilas en el manantial. La Junta manda construir un canal cubierto desde el Ojo de la Capilla, terminado el 25 de septiembre de 1691, con una longitud de 44 varas (unos 36 metros), 6 palmos de ancho y 10 de altura; obras que no registraron aumento alguno. De 1686 a 1691 se contabilizó un gasto de 99.923 reales.
1730	Solicitud de varios labradores de actuar en Luchena sin afectar a los manantiales. Obras donde se utilizaron barrenos en una pared de una peña que daba menos de una hila. En este año, eclesiásticos del municipio proponer continuar realizando labores de explotación, celebrando misas y novenarios en el Calvario y San Francisco, para concebir el éxito de las mismas. El ingeniero Pedro Coyzevox informó de la necesidad de abrir una zanja de 1.200 varas cúbicas, con un coste aproximado de 50.000 reales.
1731	Dan comienzo las obras planteadas por Coyzevox, además de terminarse los trabajos de nivelación de la acequia de conducción, realizada por Juan de Miras. Los trabajos de la galería estaban a medio construir, hasta el punto donde se suponía estaban las aguas, pero en septiembre aconteció una gran crecida que anegó y destruyó todo el conducto, dejándolo inservible.
1733	Se retoman los esfuerzos por seguir trabajando en la zona. Se intentan recuperar los datos de los aforos de 1731, sin éxito.
1737	Nuevos informes insisten en reabrir las zanjas realizadas antaño y embovedarlas, con un coste estimado de 15.000 reales. Se proponía limpiar los manantiales y continuar la zanja antigua, además de hacer otra mina en la margen contraria, así como nuevos ramales en una y otra mina; todo ello con un coste de 300.000 reales.

1756	Condicionados por una acuciante sequía, se proponen nuevos trabajos en Luchena. Chardenoux y García Campoy proponen nuevos proyectos. Un particular, Patricio Gálvez Borgoños ofreció 50.000 reales sin intereses. Muchos vecinos acudieron a trabajar al lugar, donde Espín Rael destaca los disparates y estropicios que estos hacen sobre la antigua bóveda.
1757	Nueva autorización a Patricio Gálvez, pero nuevas avenidas ciegan los manantiales y cimbras construidas hasta el momento, con lo que los trabajos se destinaron a la limpieza de las galerías.
1758	Por una Real Provisión de 8 de abril, del Real Concejo de Castilla, se creará una Junta Real de Aguas, encargada de planificar nuevas obras en Luchena. El ingeniero Juan Antonio García Serón aconsejó no realizar más obras en el lugar, y sí limpiar el manantial del Ojo Grande, que debía resguardarse con una bóveda. La Real Junta no estaba de acuerdo con lo señalado por Serón, y se realizaron nuevos aforos: 43 hilas.
1759	Los trabajos del año anterior se retomaron en marzo de 1759. Sin embargo, una nueva avenida destruyó todo lo realizado. Un año después, D. Diego Miguel García señala lo inútil de realizar más trabajos en el lugar, y recomienda limpiar la bóveda vieja y encauzar las aguas hasta Lorca. Para examinar esta propuesta se mandó a García Campoy marcar las aguas en varios puntos y se observó que el caudal era superior por encima del pantano de Puentes que a su llegada a la huerta lorquina. Además, se propuso traer las aguas de Caravaca.
1761-1762-1763	Se acometen las obras de fábrica propuestas, sobre todo la construcción de un canal para llevar las aguas a Lorca en 1759.
1766	Nuevos trabajos de mantenimiento por la rotura de la bóveda del manantial de Luchena
1768	Disolución de la Junta de Aguas, dando cuenta de otra Real Provisión del Consejo de Castilla, debido al gasto que supuso su actuación, que ascendía a 228.444 reales (comisario, maestro de obras, oficiales, barreneros, peones y pólvora).
1769	El ingeniero militar Juan Escofet proyectó nuevas obras en el río, para proteger las pérdidas de agua.
1817	Los agricultores crean la Junta de Labradores, con el fin de buscar nuevos caudales. Estos trabajos fueron realizados por el ingeniero Prat, que aconsejó no seguir con los trabajos. Los labradores recelaron de Prat por estar influido por la Real Empresa de Aguas, a quienes beneficiaba no aumentar los caudales, ya que el agua se vendía en subasta pública. La Junta fue suprimida por el Ayuntamiento en 1820.

Fuente: Registros realizados por Juan Espín Rael (AML)

La información histórica de este aprovechamiento, cuyo fondo documental se denomina “Sindicato de Riegos” en el Archivo Municipal de Lorca, también permite comprobar el aforo registrado por este manantial desde finales del siglo XVII (Tabla 3). Estos datos, difundidos por Espín Rael a principios de siglo XX y que han sido posteriormente recogidos por otros investigadores (Rodríguez, 1995; García y Pelegrín, 2002), además, ha posibilitado analizar la influencia de la presa de Valdeinfierno sobre el manantial situado aguas abajo, ya que ésta empezó a construirse en 1785 pero no funcionó hasta 1897, mucho tiempo después de estar en explotación la galería de los Ojos de Luchena que, como hemos visto, hay constancia de afloramientos a finales de la centuria del seiscientos.

Tabla 3. Aforos de Ojos de Luchena desde el siglo XVII hasta finales del XX

Fecha	Caudales (l/s)
Anterior a 1682	286
01/11/1688	396
24/03/1689	297
16/05/1689	319
22/09/1758	473
28/08/1763	594
16/08/1764	660
01/02/1866	290
23/01/1991	547,71
24/01/1992	345,29
05/11/1993	413,08

Fuente: Rodríguez (1995) y García y Pelegrín (2002)

Las continuadas labores de construcción y reconstrucción de la galería, unido a la incesante búsqueda por aumentar los caudales para el regadío de Lorca, determinan la recogida de información sobre los recursos disponibles a lo largo de los siglos XVII, XVIII y XIX. Todos los trabajos realizados contarán con cálculos y toma de datos sobre el resultado de las nuevas prospecciones, para compararlos con la situación anterior. Posteriormente, desde los años 80 del siglo XX en adelante, el aforo de los caudales es realizado por el Instituto Geológico y Minero de España, junto a la Comunidad de Regantes de Lorca.

Como puede observarse, se trata de una de las galerías drenantes de mayor caudal, no solo en el territorio de estudio, sino en todo el sureste de España. Además, los caudales de este aprovechamiento han sido comparados a través de la influencia que pudiera existir por la construcción posterior, unos 3 kilómetros aguas arriba, del embalse de Valdeinferno. Sin embargo, la galería no ha mostrado signos de haber sufrido variaciones por este motivo a lo largo de estos últimos siglos. Rodríguez (1995, p. 78) destaca que “el agua superficial almacenada en el pantano (...) y la que sale por la fuente sería aproximadamente la misma que la superficial que se infiltraba (...) entre la fuente y el pantano”. Por su parte, García y Pelegrín (2002) resaltan que “los datos históricos del caudal de Ojos de Luchena (...) comparándolos con los valores registrados hoy en el manantial, no parecen inferiores aquellos, de épocas pasadas, a los que se registran hoy en la actualidad” (p. 10).

Por su parte, el sistema de Zarzadilla de Totana, como se dijo, se encuentra a unos 500 metros por encima del núcleo de población actual, en el glacis de la elevación de Pedro Ponce, relieve que alcanza los 1.525 metros de altitud. El complejo hidráulico se compone de una captación en forma de galería con 9 lumbreras de aireación, en la actualidad protegidas en su brocal con obra de mampostería y losa de hormigón. El lugar presenta unas condiciones favorables para el acopio de aguas, situación destacada por Elul en 1929. Aunque el reconocimiento interior no es posible a día de hoy, este ingeniero reseñaba la complejidad interior de la galería ya que según describe, en cada base de las lumbreras, existe otra mina transversal que busca aumentar los recursos disponibles de todo el conjunto. De este modo, podemos interpretar que se trata de una trama de galerías ideada por los constructores para captar la mayor cantidad de agua posible (Gómez y López, 2006). Varios lugareños indican que se trata de una mina de pequeñas dimensiones, de difícil tránsito, ya que se tenía que entrar de rodillas para hacer las tareas de limpieza y mantenimiento.

El complejo hidráulico cuenta con un depósito a la salida de la bocamina, desde donde las aguas se distribuyen hacia un lavadero público y una fuente, hasta llegar a una balsa de almacenamiento donde se gestiona el regadío tradicional del pueblo, de apenas 20 hectáreas de extensión, por medio de diversas acequias y pequeños partidores. Así, el agua se utilizaba para el consumo humano, usos lavaderos y para la producción agrícola. No obstante, la bondad de esta captación y la falta de recursos en la capital lorquina despertaron el interés de estos en épocas pasadas.

Si bien las aguas de este sistema han sido bastante inferiores al sistema de Ojos de Luchena, la necesidad de abastecimiento de la capital lorquina durante el siglo XVIII hizo que los regidores y agricultores prestasen interés por disponer de estos recursos. No sin tener problemas con los vecinos de Zarzadilla, así como con el Consejo de Castilla, contrario en un primer momento a realizar obras de conducción debido al costo de la misma y la existencia de fuentes cercanas a la capital, en septiembre de 1768 se encargó un estudio para analizar la implementación de un trasvase que llevase parte del caudal de este manantial a los dominios de Lorca. Según varios informes, entre ellos el de *Aguas y Pantanos y el de Asuntos y diligencias de las aguas de los manantiales y Rollo de Zarzadilla, hecha con la oficial presencia*, existentes en el Archivo Municipal de Lorca (Leg. 300. S. II. Año 1809 y Leg. 3. 5 de octubre de 1772 respectivamente), bajo el contexto de una secular sequía, se advertía de la generosidad de las aguas de este sistema. Así, un lustro después se empezó a realizar la obra de conducción de las aguas, dirigidas por el ingeniero militar Juan Escofet (que también había participado en la búsqueda de caudales en las pedanías altas), al que posteriormente sustituiría el arquitecto Jerónimo Martínez de Lara. El aprovechamiento de las aguas se repartiría en Lorca a través de 60 fuentes públicas pero, sobre todo, servirían para el abastecimiento de los barrios de San Cristóbal, con 9.000 habitantes en 1776, y Santa Quiteria, donde se dispuso una fuente con cinco caños. Se trata de una infraestructura de 23 kilómetros de longitud, que contaba con varios tramos de acueductos, y que entró en funcionamiento en 1781 con un coste total de 1.300.000 reales. Además, un edicto del 13 de abril de 1779 emitido por el Real Concejo de la Villa, en previsión de lo cuantioso de esta agua, determinó que las sobrantes de la *Cañería de Zarzadilla* se destinasen al regadío de la huerta lorquina (Pelegrín, 2006).

El caudal, no obstante, no ha sido de grandes proporciones. Si a comienzos del siglo XX, los aforos registraban 8 litros por segundo (Elul, 1929), durante el siglo XX apenas se contabilizan 3 litros según la Comisaría de Aguas de la Cuenca del Segura. Estos recursos se distribuyen por medio del depósito situado al comienzo del sistema, donde un partidor separa un tercio para el abasto de la villa, y el resto se sigue llevando a la capital municipal. Aunque algún tramo del acueducto sigue en funcionamiento, se produce mayoritariamente por medio de tuberías. Este escaso caudal, en contrapartida con los esfuerzos realizados pone de manifiesto el gran esfuerzo realizado para captar y conducir recursos suficientes para el abasto de personas y el regadío de la huerta.

4. Discusión de los resultados

En este contexto geográfico, caracterizado por ser uno de los más secos de la Región de Murcia, la búsqueda de recursos hídricos bajo el suelo ha sido una necesidad durante siglos, al carecer de cursos de aguas superficiales que posibiliten un abastecimiento continuo; un trabajo considerable si se tienen en cuenta los conocimientos y materiales rudimentarios de los que disponía la sociedad, a diferencia de las posibilidades tecnológicas actuales. Así, se entiende el número de galerías y minas construidas a lo largo de este territorio semiárido, que siguen funcionales en la actualidad, y que corroboran la hipótesis inicial de la investigación. Esta recaía en la existencia de numerosos sistemas drenantes, que condicionan el paisaje tradicional y que han servido para abastecer, durante siglos, a la población y generar espacios regados. A este legado patrimonial se unen un conjunto de construcciones complementarias, también relacionadas con el uso del agua, como lavaderos o molinos, entre otros; un bien indispensable, no solamente para el abastecimiento y el regadío, sino también como recurso energético o salúfero.

La información obtenida a través del trabajo de campo y de archivos históricos demuestra el esfuerzo realizado por la sociedad lorquina a lo largo de los siglos para poder disponer de agua, por medio, entre otros, de sistemas de galerías drenantes. Estas construcciones presentan una serie de elementos comunes, como son un pozo madre o inicial, una mina de conducción, pozos de aireación y una bocamina por donde sale el agua a cielo abierto, o continúa a través de canales de forma subterránea hasta alcanzar alguna alberca o depósito; un sistema repetido en otros espacios de la cuenca mediterránea. En el caso de Ojos de Luchena, una vez que las aguas surgen de la bocamina, se utiliza el cauce del río para llevar el caudal hasta el embalse de Puentes, como parte actual del sistema de las infraestructuras de gestión del regadío de Lorca.

Respecto al primer objetivo de esta investigación, referente a la catalogación tipológica de los aprovechamientos, se ha procedido a categorizar las galerías con lumbreras atendiendo a las investigaciones y metodologías propuestas en otros estudios y por otros autores (Murcia; 1958; Gil y Gómez, 1993; Gómez, 2004a y 2004b; Gómez *et al.*, 2007; Hermosilla, Iranzo, Pérez, Antequera y Pascual; 2004) como se observa en la Tabla 1. Sin embargo, según nuestras evidencias, consideramos que cada sistema responde a unas particularidades geológicas, geográficas y sociohistóricas. Como ha quedado documentado para Ojos de Luchena, diversos acontecimientos (avenidas, derrumbes, intereses sociales, materiales constructivos, etc.) han intervenido hasta llegar a la situación actual que presenta este sistema; uno de los aprovechamientos por galería más importantes de España por su caudal que, aunque oscilante anualmente, presenta una media cercana a los 10 Hm³.

Los sistemas descritos se encuentran tanto en áreas de piedemontes y glaciais, así como en terrazas y cursos fluviales del tipo rambla (Murcia, 1959; Gil *et al.*, 2007; Hermosilla *et al.*, 2004). Respecto a sus características constructivas, se observan minas excavadas en roca; en tierra donde no se presenta ningún tipo de revestimiento ni protección; y otras, que muestran materiales de mampostería en paredes y techo a lo largo del pozo horizontal, así como en el brocal de las lumbreras. A tenor nuestra investigación y teniendo presente la categorización de este tipo de sistemas, es necesario considerar las singularidades de cada construcción, como reflejaron Barceló (1986), Martí (1989) o Ron (1996). De este modo, las características de cada galería van a depender de las formas del relieve de cada territorio, de la tipología de las áreas de captación (lluvias, cubierta vegetal o roquedo, entre otros), de la profundidad en la que se encuentran o buscan los caudales, de los materiales geológicos a perforar, los medios económicos y materiales con los que poder construir y proteger el sistema, de la distancia del pozo madre o nivel subterráneo de las aguas, del número y características de las lumbreras, entre otros.

Los intentos por clasificar las diferentes galerías ayudan a comprender los rasgos y elementos que dieron lugar al desarrollo de esta forma de encontrar recursos hídricos, con la presencia de elementos comunes como los señalados, pero con características históricas y espaciales concretas, que las hacen, por lo tanto, únicas y singulares. En relación con los datos obtenidos y la información consultada, no podemos asegurar tampoco que los constructores de estos ingenios tuviesen conocimientos mineros (Goblot, 1979); sino que procedían con la construcción de galerías allí donde existían fuentes superficiales, como método para incrementar los recursos disponibles, o labraban una zanja para extraer por gravedad una captación subterránea. Como ha reflejado Palerm (2004) en su revisión sobre las galerías filtrantes mexicanas, también podemos considerar que en el campo de Lorca existen numerosos ejemplos y variedades tipológicas para alumbrar aguas subterráneas; variantes del qanat, que dependen del tipo de agua, de las características de suelo y las técnicas utilizadas, pero que, en todos los casos, son adaptaciones para captar recursos profundos.

En nuestra área de estudio, el pozo madre no llega a superar los 20 metros de profundidad, por lo que no puede concebirse una sobreexplotación de acuíferos profundos. Una vez fuera, los recursos se disponían para diferentes finalidades, entre ellas, el lavado de ropas y enseres (Figura 11), el abastecimiento de animales e, incluso para la puesta en marcha de industrias tradicionales como molinos. No obstante, la necesidad del abastecimiento humano era la principal finalidad de las aguas captadas en los sistemas de galerías de las pedanías altas de Lorca. Como puso de manifiesto el Concejo de Lorca ante la posibilidad de sobrantes del acueducto de Zarzadilla, las aguas se podrían destinar al regadío, siempre que las necesidades de consumo de la población estuviesen aseguradas.

Figura 11. Pequeño lavadero a cielo abierto, dispuesto en el canal de conducción de las aguas de la galería de Avilés, ejemplo de la diversidad del patrimonio hidráulico de este territorio



Fotografía del autor

Respecto al segundo y tercer objetivo, que establece la relación entre los aprovechamientos tradicionales del campo alto de Lorca y el desarrollo del poblamiento, podemos indicar varias cuestiones. Respecto al sistema de Ojos de Luchena, este sigue funcional en la actualidad, vertiendo sus aguas al embalse de Puentes, donde se unen a los caudales recogidos en la red del río-rambla de Turrilla. Según la información que aporta la comunidad de regantes de Lorca, las aguas de Luchena presentan un caudal en 2019 de 120 l/seg., lo que equivale en la actualidad al 5% aproximadamente de los recursos disponibles para el espacio de regadío tradicional (unos 60 millones de m³ en total). Sin embargo, hasta la llegada de las aguas del trasvase Tajo-Segura y la reorganización de los aprovechamientos de la cuenca del Segura, éste constituía el sistema principal y continuo de recursos para riego.

Por su parte, las aguas de Zarzadilla de Totana llegaban a Lorca por medio de un canal para el consumo de boca, fundamentales durante el siglo XVIII y XIX, pero con un caudal mucho más reducido, que oscilaba entre los 8 y 3 l/seg. Además, parte de las aguas de este aprovechamiento se utilizaba para uso y disfrute de la población de Zarzadilla, tanto para el consumo de boca como lavar o regar; usos que han

dado lugar a un patrimonio arquitectónico de gran valor (Pelegrín, 2006 y 2010). Hoy, los recursos de este aprovechamiento solo abastecen al núcleo rural.

La singularidad de los aprovechamientos del resto de las galerías de las pedanías altas de Lorca también se observa en los ejemplos de la Mina, los Pozos de la Fuente en Avilés o Venta de Ossete, funcionales desde hace siglos con el fin de alumbrar aguas subsuperficiales, y aprovechados para abastecimiento local de la población y el regadío. De igual modo, el uso tradicional de sus aguas configura espacios regados que no se entienden si no se tiene en cuenta la funcionalidad de los sistemas de galerías drenantes.

Los aportes de los sistemas locales que están en uso se ven complementados en la actualidad por sondeos profundos y el aprovechamiento de aguas residuales. Sin embargo, los recursos subterráneos presentan alta salinidad, otorgando gran valor a la calidad del agua de las galerías, apreciadas por los agricultores locales. Además, éstas nutren pequeños espacios regados que no pertenecen a la comunidad de regantes del Campo Alto, por lo que los sistemas drenantes son los únicos caudales de los que disponen algunos regadíos, como Pozos de la Fuente.

Hoy, la importancia de los sistemas drenantes respecto al aporte de caudal es inferior al de antaño tanto para abastecimiento como para regadío. La toma de boca se da por medio de la Mancomunidad de Canales del Taibilla. Por su parte, las aguas de las galerías drenantes, de excelente calidad, ayudan a conservar huertas tradicionales, simbolizando parte del patrimonio cultural de este territorio. Sin embargo, los nuevos espacios regados inscritos en la comunidad de regantes del Campo Alto se abastecen, además, de algunos sondeos profundos y de los recursos regenerados de la estación depuradora de aguas residuales del río Turilla; un volumen total disponible que asciende a 459.375 m³/año para abastecer a 435 Has (CARM, 2018).

5. Conclusiones

Entre las particularidades del funcionamiento de estos sistemas históricos está su carácter sostenible, que revierte, a su vez, en el uso integral de los caudales captados. La técnica de la galería horizontal no rompe el equilibrio hídrico de los caudales subterráneos. Debido a la importancia que presentan en la actualidad estos aprovechamientos para el abastecimiento de las pedanías altas de Lorca, muchos intentos por acometer nuevas obras, sobre todo, desde los años 80 del siglo XX en adelante, han encontrado la oposición de la población local, como en Venta de Ossete o Avilés, debido a la afectación que los pozos subterráneos pueden ejercer sobre los sistemas tradicionales, dejándolos en seco y abocándolos a su deterioro.

La historia y las características espaciales del poblamiento del campo alto de Lorca están determinados, en gran medida, por la disposición y aprovechamiento de las aguas de los sistemas drenantes. En la mayor parte de los núcleos de población se encuentran galerías drenantes en sus inmediaciones, infraestructuras esenciales para el abastecimiento de personas y para otros usos como el regadío, la ganadería y la lavandería, además de ayudar a abastecer, caso de galerías de Luchena y Zarzadilla de Totana, al territorio lorquino, junto a otros complejos como las aguas turbias o subálveas de otros puntos del municipio.

El campo alto de Lorca presenta el funcionamiento histórico de una serie de sistemas de captación de aguas, construidos por una población que, secularmente, ha intentado adaptarse a las características áridas y semiáridas de este territorio, de igual modo a lo que sucede en gran parte del mediterráneo español. En el área estudiada podemos confirmar, respecto a la hipótesis de la investigación, que los aprovechamientos hídricos conformados por galerías drenantes posibilitaron fijar la población en este medio rural, sobre todo a partir del siglo XVI y XVII, con el progresivo abandono de los enfrentamientos entre los reinos musulmán y cristiano. De este modo, las surgencias de agua por medio de galerías van a permitir paliar la falta de abastecimiento de personas, de ganados y poner en regadío las huertas locales. Además, la abundancia de algunos de estos sistemas, favorecen el desarrollo de la capital lorquina, por medio de infraestructuras de conducción que sirvieron para traer las aguas alumbradas; construcciones que se suman al patrimonio hidráulico de este territorio, que requiere ser conservado y puesto en valor, ya que sin él no es posible entender la historia y evolución del municipio de Lorca.

Referencias

- Al Karameh, S. (2019). Maintaining desert cultivation: Roman, Byzantine, and Early Islamic water-strategies at Udhruh region, Jordan. *Journal of Arid Environments*, 166, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.03.007>

- Antequera, M. (2015). *Las galerías drenantes en el sector oriental y suroriental de la Península Ibérica. Identificación, análisis y gestión patrimonial* (Tesis doctoral). Universidad de Valencia. <https://doi.org/10.4995/ISL2014.2014.216>
- Antequera, M., Iranzo, E. e Hermosilla, J. (2014). Las galerías drenantes en España: cuantificación y clasificación tipológica de los sistemas horizontales de captación de aguas subterráneas. En *Irrigation, Society, Landscape. Tribute to Thomas F. Glick* (pp. 1139-1154). Recuperado de <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ISL/ISL2014/paper/view/216>
- Barceló, M. (1983). Qanat(s) a Al-Andalus. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 2, 3-22. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n2/02121573n2p3.pdf>
- Barceló, M. (1986). *Les aigües cercades: Els qanat(s) de l'illa de Mallorca*. Palma de Mallorca: Institut d'Estudis Baleàrics.
- Barón, A. y Carbonero, M^a. A. (1987). Las captaciones por gravedad, qanat(s): Situación actual y posibilidades de uso. En *IV Simposio de Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Tomo XI* (pp. 781-795). Palma de Mallorca: IGME.
- Castejón, G. y Canales, G. (2016). El patrimonio hidráulico de la Región de Murcia y la necesidad de su puesta en valor mediante un memorial sobre la cultura del agua. En R. García, F. Alonso, F. Belmonte y D. Moreno (Eds.), *XV Coloquio Ibérico de Geografía: Retos y tendencias de la Geografía Ibérica* (pp. 458-467). Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (2018). *Conexión hidráulica y bombeo solar para la redotación de la comunidad de regantes Campo Alto de Lorca con aguas regeneradas procedentes de la EDAR del río Turrilla*. Dirección General de Agua. Recuperado de [http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1618&IDTIPO=200&RASTRO=c709\\$m&vigente=1&id=8a2629246d6b328e016d6c79980d0625](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1618&IDTIPO=200&RASTRO=c709$m&vigente=1&id=8a2629246d6b328e016d6c79980d0625)
- Elul, A. (1929-32). *Informe y antecedentes sobre el servicio de abastecimiento de agua potable en Lorca*. Santomera (Murcia): Legajos s/n. Archivo de la Confederación Hidrográfica del Segura.
- Fansa, G., Antequera, M. y Hermosilla, J. (2017). Análisis comparativo de las galerías drenantes tunecinas y del sector oriental y suroriental español. Un modo de captación de aguas subterráneas en la cuenca mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 75, 279-317. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2502>
- García, F. J. y Pelegrín, M. C. (2002). Reseña histórica e hidrogeológica de la presa de Valdeinfierno y el Manantial de los Ojos de Luchena (Lorca, Murcia). En A. Fernández (Ed), *IX Simposio De Hidrogeología*, (pp. 677-688), Zaragoza: CNEGP.
- Gea, M. (1990). Sistemas de captación y distribución de aguas de probable origen árabe, en Albaterra y Crevillente. *Revista Sharc-Al-Andalus*, 7, 175-194. <https://doi.org/10.14198/ShAnd.1990.7.14>
- Gil, A. (1993). *La propiedad de las aguas perennes en el Sureste Ibérico*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Gil, E. (Coord.) (2007). *Sistemas locales de recursos propios de agua en la Región de Murcia: Minados y Galerías*. Murcia: Colección Usos del agua en el territorio. Universidad de Murcia.
- Gil, E. (Coord.) (2009). *Paisaje y patrimonio generados por galerías y minados en la Región de Murcia*. Murcia: Colección Usos del Agua en el territorio. Universidad de Murcia.
- Gil, E. y Gómez, J. M^a. (1993). Galerías con lumbreras en el Sureste de España. *Papeles de Geografía*, 19, 125-145. Recuperado de <https://revistas.um.es/geografia/article/view/44271>
- Gil, E. y Gómez, J. M^a. (Coord.) (2007). *Modelos de sostenibilidad en el uso del agua en la Región de Murcia*. Murcia: Colección Usos del agua en el territorio. Universidad de Murcia.
- Goblot, H. (1979). *Les Qanats. Une technique d'acquisition de l'eau*. Paris-La Haye-New York: Mouton Editeur.
- Gómez, J. M^a. (2004a). *Aprovechamiento integral del agua en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras-Murcia)*. Murcia: Colección Usos del agua en el territorio. Universidad de Murcia.
- Gómez, J. M^a. (2004b). Sostenibilidad de usos del agua en el territorio frontera de los antiguos reinos de Granada y Murcia. *Papeles de Geografía*, 40, 49-66. Recuperado de <https://revistas.um.es/geografia/article/view/44551>

- Gómez, J. M^a., Gil, E., Aliaga, I., López, J. A. y Martínez, R. (2007). Las galerías, construcciones para alumbrar agua de freáticos próximos en el Noroeste de la Región de Murcia: minados con espejuelos en Jumilla. *Investigaciones Geográficas*, 42, 89-107. <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.42.04>
- Gómez, J. M^a. y Hervás, R. M^a. (Coord.) (2012). *Patrimonio hidráulico y cultura del agua en el Mediterráneo*. Murcia: Fundación Séneca. Campus Mare Nostrum. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Gómez, J. M^a. y López, J. A. (2006). Galerías con lumbreras en el área central de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía*, 43, 31-59. Recuperado de <https://revistas.um.es/geografia/article/view/43551>
- Gris, L., Solís, L. y Gris, J. (2002). El acueducto romano de Torralba. Caracterización funcional, hidrológica y aspectos socioeconómicos ligados a su explotación. *Revista Alberca*, 1, 171-209. Recuperado de <http://www.amigosdelmuseoarqueologicodelorca.com/alberca/1.php>
- Hermosilla, J. (Coord.) (2006). *Las galerías drenantes del Sureste de la Península Ibérica. Uso tradicional del agua y sostenibilidad en el Mediterráneo español*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Hermosilla, J. (Dir.) (2008). *Las galerías drenantes en España. Análisis y selección de qanat(s)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Hermosilla, J., Antequera, M. e Iranzo, E. (2012). Identificación, análisis, evaluación y puesta en valor de un patrimonio hidráulico singular: las galerías de agua de Túnez. En J. M^a. Gómez y R. M^a. Hervás (Coords.), *Patrimonio hidráulico y Cultura del agua* (pp. 2015-226). Murcia: Fundación Séneca. Campus Mare Nostrum. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Hermosilla, J. e Iranzo, E. (2014). Claves geográficas para la interpretación del patrimonio hidráulico mediterráneo. A propósito de los regadíos históricos valencianos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 66, 49-66. <https://doi.org/10.21138/bage.1779>
- Hermosilla, J., Iranzo, E., Pérez, A., Antequera, M. y Pascual, J. A. (2004). Las galerías drenantes de la provincia de Almería. Análisis y clasificación tipológica. *Cuadernos de Geografía*, 76, 125-154. Recuperado de <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/14414/13189>
- Hernández, M. y Morales, A. (2013). Los aprovechamientos tradicionales de las aguas de turbias en los piedemontes del sureste de la península ibérica: estado actual en tierras alicantinas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos*, 63, 105-123. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.1608>
- Iranzo, E., Antequera, M. y Hermosilla, J. (2010). Identificación, evaluación y puesta en valor de un patrimonio hidráulico singular: Las galerías drenantes de la cuenca del Júcar. *Investigaciones Geográficas*, 53, 125-143. <https://doi.org/10.14198/INGEO2010.53.06>
- Llamas, M. R. (1976). La utilización de aguas subterráneas en Madrid. De los mayrat musulmanes a los modelos digitales. *Estudios Geológicos*, 32, 121-139.
- López, J. A. (2015). Funcionalidad actual de la Fuente La Mina. Lorca. (Región de Murcia). *Papeles de Geografía*, 61, 154-168. <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2015/208891>
- López-Camacho, B. (2001). Galerías de captación de agua en la Europa Mediterránea. *Revista de Obras Públicas*, 3414, 121-126. Recuperado de http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=18210&anio=2001&numero_revista=3414
- López-Camacho, B., Bustamante, I. e Iglesias, J. A. (2005). El viaje de agua (qanat) de la Fuente Grande de Ocaña (Toledo): Pervivencia de una reliquia hidráulica. *Revista de Obras Públicas*, 3451, 43-54. Recuperado de http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=18114&numero_revista=3451&anio=2005&anio_ini=2000&anio_fin=2009
- Luna, M., García, T. y Luján, M. (2006). Catálogo de bienes inmuebles en el municipio de Lorca. En *XVII Jornadas de Patrimonio Histórico* (pp. 273-278). Murcia: Consejería de Educación y Cultura.
- Madoz, P. (1850). *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar*. Madrid: Establecimiento literario-tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti.
- Martí, R. (1989). Oriente y occidente en las tradiciones hidráulicas medievales. En *El agua en zonas áridas: arqueología e historia (I Coloquio de Historia y Medio Físico)* (pp. 421-440). Almería: Instituto de Estudios Almerienses. Departamento de Historia.
- Martínez, J. y Ruano, P. (1998). *Aguas subterráneas. Captación y aprovechamiento*. Madrid: Progenisa.

- Megdiche-Kharrat, F., Ragala, R. & Moussa, M. (2019). Promoting a sustainable traditional technique of aquifer water acquisition common to arid lands: A case study of Ghassem Abad Qanat in Yazd Province (Iran). *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(2), 527-535. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.098>
- Ministerio de Industria y Energía (1980). *Informe del sondeo de abastecimiento a La Paca (Lorca)*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Murcia, A. (1958). *Aguas subterráneas. Prospección y alumbramiento para riegos*. SERIE I. Manuales técnicos, nº 18. Publicaciones del Ministerio de Agricultura.
- Ortega, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Palerm, J. (2004). Las galerías filtrantes o qanats en México: Introducción y tipología de técnicas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 1(2), 133-145. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722004000200003
- Pavón, B. (1990). *Agua: aljibes, puentes, qanats, acueductos, jardines, ruedas hidráulicas, baños, corachas*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (C.S.I.C.).
- Pelegrín, M. C. (2006). Obras hidráulicas históricas de Lorca. *Revista Alberca*, 4, 165-171. Recuperado de <http://www.amigosdelmuseoarqueologicodelorca.com/alberca/4.php>
- Pelegrín, M. C. (2010). El abastecimiento de agua potable a Lorca hace 80 años. *Revista Alberca*, 8, 181-188. Recuperado de <http://www.amigosdelmuseoarqueologicodelorca.com/alberca/8.php>
- Pérez, M^a. T. (2005). Sistemas hidráulicos en el mediterráneo español y el norte de África, 1840-50 / 2000. *Mediterráneo e Historia Económica*, 7, 57-79.
- Pocklington, R. (1988). Toponimia y sistemas de agua en Sharq al-Andalus. En *Agua y poblamiento musulmán* (pp. 103-114). Benissa.
- Rodríguez, T. (1995). *Evaluación de reservas y recursos hídricos y normas de explotación generales del acuífero Pericay-Luchena (Murcia)*. Murcia: Tabala S.L.
- Ron, Z. (1996). Sistema de manantiales y terrazas irrigadas en las montañas mediterráneas. En *Agricultura y regadío en Al-Andalus. (II Coloquio de Historia y Medio Físico)* (pp. 386-408). Almería: Instituto de Estudios Almerienses y Grupo de Investigación Toponimia, Historia y Arqueología del Reino de Granada.
- Roth, D y Schütt, B. (2001). Las galerías con lumbreras (qanats): obras maestras de la ingeniería rural amenazadas. *Revista Velezana*, 20, 53-64. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Dietmar_Roth/publication/288668737_Las_galerias_con_lumbreras_qanat_Obras_maestras_de_ingenieria_rural_amenazada/links/5d75696f92851cacdb2bd25b/Las-galerias-con-lumbreras-qanat-Obras-maestras-de-ingenieria-rural-amenazada.pdf
- Trol, C y Braun, C. (1974). El abastecimiento de agua de la ciudad por medio de Qanats a lo largo de la historia (Madrid). *GEOGRAPHICA*, XVI, 1-4, 235-315.
- Vidal, M. J. (1989). Viajes de agua en Madrid. Una perspectiva actual. Los paisajes del agua. *Libro jubilar al profesor Antonio López Gómez*. Universidad de Valencia-Universidad de Alicante, 265-274.
- Voudouris, K., Valipour, M., Kaiafa, A., Yun, X., Kumar, R., Zanier, K., ... & Angelakis, A. (2019). Evolution of water wells focusing on Balkan and Asian civilizations. *Water Science & Technology Water Supply*, 19(2), 347-364. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.114>

Cita bibliográfica: Nogar, A.G. (2020). Espacios rurales en transformación desde territorios de las energías en Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (73), 257-274. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.N>

Espacios rurales en transformación desde territorios de las energías en Argentina

Rural spaces in transformation from energy territories in Argentina

Ada Graciela Nogar¹

Resumen

Desde mediados del s. XX los espacios rurales latinoamericanos entendidos como resultantes de vínculos y trayectorias multiescala urbano-rurales, son territorios productivos y consumidos; condicionados por los extractivismos, por los enclaves de lo residual y sometidos a procesos de expansión inmobiliaria. En este entramado de tensiones son revisados como territorios productores de energía con valor agregado en un contexto de crisis energética y cambio climático. Como territorios en tránsito, participan de redes de diferente naturaleza, al tiempo que despliegan estrategias multiescala. ¿Cómo se transforman los espacios rurales en este escenario? El objetivo del artículo es analizar los espacios rurales en un contexto de multipolarización de poderes transnacionales y de profundización de los extractivismos para explicar a partir de investigaciones, su conversión a territorios de las energías. Es decir, revisar las hipótesis acerca de los límites biofísicos, la convivencia de los sistemas productivos/extractivos y las rupturas inducidas. Los análisis cuali-cuantitativo, mediante el análisis de dos casos en Argentina (Río Negro y Buenos Aires), posibilitaron la construcción de síntesis de las realidades estudiadas inscriptas en diferentes contextos témporo-espaciales. Se observan territorios traccionados por poderes deslocalizados en puja por los recursos naturales junto a administraciones que invisibilizan el deterioro y la conflictividad social. Mediaciones que muestran a los espacios rurales como territorios de las energías.

Palabras clave: espacios rurales; territorios de las energías; Argentina; extractivismos.

Abstract

Since the middle of the twentieth century, Latin American rural spaces understood as resulting from urban-rural multi-scale links and trajectories, have become productive territories conditioned by extractivism. They form subdued residual enclaves and are subject to real estate expansion processes. In this network of tensions, these spaces are seen as energy producing territories with added value in a context of energy crisis and climate change. As territories undergoing change, they participate in various networks, while deploying multiscale strategies. How are rural spaces transformed in this scenario? This article analyses rural spaces in a context of the multi-polarisation of transnational powers and a deepening of extractivism that explains their conversion to energy territories. We review the hypotheses about the biophysical limits, the coexistence of the productive/extractive systems, and the induced ruptures. The studies carried out in Argentina support evidence about movements, barriers, and appropriations of fossil and non-fossil energy resources. In these mediations, rural spaces are expressed as territories for the appropriation of energy resources.

Keywords: rural spaces; territories of the energies; Argentina; extractivism.

1 CIC-Universidad Nacional del Centro. CESAL. Argentina. Nogargraciela02@gmail.com

1. Introducción

Desde mediados del s. XX con marcada aceleración, los espacios rurales (ER) latinoamericanos entendidos como resultantes de vínculos y trayectorias urbano-rurales; son territorios productivos y consumidos condicionados por los extractivismos, por los enclaves de lo residual, por el poder de actores y acciones desterritorializados y sometidos a procesos de expansión inmobiliaria. Adscriptos a la globalidad “(...) son una combinatoria compleja de flujos, personas y mercancías que cristalizan iniciativas productivas/extractivas que rompen con las concepciones de simplicidad, inmovilismo y retraso que los caracterizaba” (Ferrerres y Querol, 2019, p. 129). Las transformaciones derivadas originan cambios en los ER, entre éstos y los urbanos en un escenario condicionado según los modelos de apropiación y las capacidades de resistencia. Como territorios en tránsito, construyen y/o participan de redes de diferente naturaleza, al tiempo que despliegan estrategias multiescala. Algunos alcanzan instancias de crecimiento cristalizando núcleos dinámicos y vinculaciones estratégicas de integración sistémica; mientras que otros profundizan su dependencia reproduciendo su condición de marginales. Las dificultades para definir y analizar los ER devienen, entre otros factores de los diferentes momentos de adscripción a la globalidad, las diversidades geofísicas, geo históricas, geopolíticas, los vínculos urbano rurales, sus estructuras societales y la diversidad de enfoques científicos que lo abordan. Nuevos aportes teóricos brindan herramientas explicativas para entender, por ejemplo, el cambio de los mercados internacionales respecto a la demanda.

Los ER latinoamericanos:

- eran visualizados como espacios de los agronegocios, espacios mineros/hidrocarbúricos y forestales;
- actualmente (2020) se avizora un horizonte diferente donde se los visualiza/apropia como proveedores de recursos energéticos convencionales, no convencionales y renovables en un contexto de crisis de reservas, de creciente demanda energética y de cambio climático global.

En este escenario, los mercados de las commodities se diversifican, los dispositivos de usos localizados trastocan los territorios a partir de nuevos flujos, actores, poderes, dependencias e infraestructuras; es decir, se materializan los territorios de las energías donde se expresan relaciones de poder espacializadas en forma de conflicto, de sumisión o de superación. Son territorios que se organizan para eficientizar servicios e infraestructuras para producir energía, como lo expresan de Andrés Ruiz e Iranzo García (2011) “La revolución energética ha originado una revolución paisajística en ciertas zonas rurales” (p. 9), la producción de energía se ha convertido en dinamizadora de los territorios. El territorio por tanto “es producto de una disputa social, que implica que puede haber varios tipos de territorios según los intereses y proyectos de los actores sociales, por lo que su construcción está en constante conflicto” (Calderón *et al.*, 2013, p. 6). Estos territorios de las energías expresan las acciones colectivas innovadoras como lo expone Veltz (2019) “(...) la diversidad de las trayectorias y las iniciativas locales constituyen una inmensa riqueza ya que cambia la circulación de las ideas y de las experiencias convirtiendo los aprendizajes locales en aprendizajes colectivos” (p. 8), aprendizajes que se materializan a partir de tensiones con el ambiente (agua, suelo, ecosistemas, comunidades); por ello los territorios de las energías enfrentan compromisos sociales, ambientales, políticos y geoestratégicos.

Por ello, el desafío es discutir y revisar las hipótesis acerca de los límites biofísicos, la convivencia y convivencia de los sistemas productivos/extractivos de bienes y servicios y las rupturas inducidas por los grupos societales con poderes más o menos deslocalizados que traccionan los móviles regionales (mercados, Estados, organizaciones). Todas acciones materializadas en un escenario de: a) maximización vía industrialización, b) demanda de commodity —agroalimentarios, mineros y energéticos—, c) disputa entre seguridad alimentaria/homogeneización productiva/producción de bioenergías, d) presión sobre los recursos naturales, e) re-visualización como objeto de consumo/ocio y f) proveedor de servicios ecosistémicos; ilustrativos de la complejidad y de la postulación de nuevos desafíos teóricos para comprender los ER.

En este artículo el objetivo es analizar los ER en un contexto de multipolarización de poderes transnacionales y de profundización de los extractivismos para explicar, su conversión a territorios de las energías. En la mayoría de los ensayos retomados se insiste en la tendencia evolutiva por la cual estos territorios transcurren hacia nuevas funciones, acciones y apropiaciones que incitan un replanteamiento de algunas de las categorías y perspectivas teórico-metodológicas con que se aborda su estudio. La existencia de nuevos vínculos y tensiones rural urbano exige aproximaciones analíticas complejas para com-

prender la producción de otras territorialidades; entendidas éstas “(...) como el conjunto de prácticas y expresiones materiales y simbólicas a través de las cuales los actores se apropian de un espacio” (Lobato Correa, 1994, p. 34).

La yuxtaposición de actores, lógicas y escalas de intervención resultantes han mostrado los límites de las lecturas clásicas y exigen una renovación de enfoques y de instrumentos para comprender los procesos de de-construcción territorial. ¿Cómo explicar esos territorios otrora rurales y hoy ni rurales ni urbanos?, ¿espacios de borde o rurales? ¿interfaces urbano rural?, ¿intersticios urbanos?, ¿espacios rururbanos? ¿Cómo entender que los ER son atraídos y traccionados por poderes deslocalizados? ¿Cuáles son las categorías explicativas de las rupturas en tránsito de los ER productivos a consumidos y extractivos? Estas preguntas han guiado las investigaciones que nutren el artículo, no son únicas ya que en forma continua crece la incertidumbre acerca de qué herramientas, qué categorías y qué conceptos explican las transformaciones, las articulaciones y las recomodaciones territoriales de los ER en tránsito adaptativo.

Respecto al estado actual del conocimiento sobre el tema, nuestras investigaciones se inscriben en la búsqueda de nuevas miradas para avanzar en la comprensión de los procesos de construcción territorial, entre las cuales los estudios de los ER son recuperados por diferentes científicos sociales. En este escenario, la renovación de los estudios regionales transita un camino de continuidades y rupturas, atravesada por los debates científicos y políticos en torno al rol que los ER y los urbanos han jugado en los proyectos de desarrollo territorial en particular y siguiendo a Lefebvre (1974), a partir de las contradicciones de la “*racionalidad desplegada*” por medio de estrategias fragmentadas. En forma concurrente estudios europeos plantean indicadores de cambio y monitoreo de los ER para comprender las transformaciones, visualizar los problemas y proponer lineamientos de intervención territorial ajustados a los principios de gestión sustentable de los territorios, entre otros, Woods, 2007; Raffestin, 2013; Camarero, 2017. Por otro lado, los ER latinoamericanos son analizados desde las contradicciones impulsadas por la espacialidad de la globalización neoliberal vía extractivismos (Kay, 2016; Gudynas 2016, 2018).

En Argentina las lecturas respecto a los ER difieren según políticos, analistas y científicos. Las mismas son contradictorias, ya que unas pregonan el “desarrollo” vía extractivismos (mineros, hidrocarburíferos, pesqueros, agronegocios); mientras que otras en las antípodas, se centran en los impactos de las apropiaciones extractivistas de los Sili, 2016; Reboratti, 2019; Tadeo, 2010; Schweitzer, 2011, 2014; Galafassi, 2018; Yurkievich, 2017; Svampa, 2019; Lende, 2019. Algunos en particular, centran sus investigaciones en los impactos de los agronegocios en el bioma pampa. Pengue (2010) en coincidencia con Achka (2017) cuando expresa que es un territorio en disputa, lo cual resulta en un forcejeo peligroso entre el capital, los recursos naturales y la seguridad/soberanía alimentaria. En lo referente a los estudios de caso seleccionados y según la agenda de investigación en Geografía Rural: nuevos usos, nuevas visualizaciones, nuevas redes de intercambio desde flujos energéticos; se han retomado autores como Moreno Plata, 2011; Ávila Sánchez, 2015; Furlán, 2014; Clementi, Villalba y Nogar, 2018; Fornillo, 2016, 2017.

Sin considerarlos agotados, los antecedentes junto con los aportes de las investigaciones² posibilitaron las revisiones y la elaboración de los ejes que se proponen en los próximos apartados.

2. Metodología

El trabajo reúne avances de investigaciones individuales y colectivas, con eje en las transformaciones de los ER. Se basa en un abordaje metodológico cuali-cuantitativo y un enfoque integral, que permitió dar cuenta de la manera en que se articulan los actores, recursos y dispositivos (técnicos, económicos, políticos) creando espacios y mecanismos para activar las mutaciones. Las diferentes etapas de trabajo a veces secuenciales, otras simultáneas, otras recurrentes; posibilitaron los estudios holísticos de casos (Martínez Carazo, 2006).

Todo ello, teniendo presente que,

Cada método tiene sus ventajas y sus desventajas, y lo que distingue al uno del otro no es la jerarquía en la escala de la científicidad, sino el tipo de preguntas de investigación a las que responden y la naturaleza del objeto de estudio que pretenden analizar. (Yin, 2009, p. 7)

2 “Integración productiva/energética de los territorios bonaerenses. Un desafío de hibridación entre usos productivos rurales y energías alternativas situadas” CICPBA y “Generación distribuida en Argentina. Energías para la inclusión y la transición”. PICT 2017-2960 (ANPCyT).

De este modo, para abordar las trayectorias multiescala (redes, actores, contextos) que traccionan los cambios hacia los territorios de las energías; se desarrollaron los estudios de casos en la Provincia de Buenos Aires (Carlos Tejedor) y Río Negro (Estación Fernández Oro-Cuenca Neuquina. EFO). La decisión de trabajar con estudio de casos como medios de aproximación a la realidad, refuerza la posibilidad de contrastación de datos (comparación por semejanzas y/ o por diferencias) con las experiencias analizadas en los territorios seleccionados. Si bien no hay acuerdo entre los autores si el estudio de caso, se trata de un método de investigación o de una estrategia, sí hay consenso sobre el potencial que posee para producir información sobre singularidades, particularidades, acciones y situaciones. Por su parte, los estudios de caso son adecuados para investigar fenómenos en los que se busca dar respuesta a cómo y por qué ocurren (Chetty, 1996). De este modo, los resultados —si bien no generalizables— posibilitaron la construcción de síntesis y de nuevas aproximaciones conceptuales.

Se triangularon datos de diversas fuentes secundarias —bibliografía, informes, legislación, artículos periodísticos, estadísticas y cartografía—. Este análisis incluyó estudios e informes técnicos de diferentes niveles y escalas espaciales, ejercicio que aportó tanto conocimientos teóricos, como metodológicos, acerca de las experiencias a nivel internacional, nacional y provincial. Los datos relevados en esta etapa sirvieron asimismo como base para la identificación y selección de los informantes claves, pero fundamentalmente para la preparación del trabajo en terreno, identificando los núcleos temáticos y problemáticos del relevamiento de información.

La recolección de datos primarios se realizó a partir de entrevistas semiestructuradas a informantes claves durante jornadas de trabajo en terreno donde se identificaron actores, formas de articulación, móviles y barreras asociadas a los procesos. Los estudios de caso que se exponen en este artículo, expansión hidrocarburífera en ER frutihortícolas (hidrocarburos No convencionales en la cuenca neuquina) y producción de bioenergía a partir de residuos pecuarios (Planta de biogás en Carlos Tejedor, Buenos Aires) comenzaron en 2016. El propósito de las entrevistas fue identificar aquellas evidencias que nos permitieran comprender los procesos de cambios; cómo influían las apropiaciones de recursos energéticos y por qué los actores, acciones y redes trastocaban este escenario. Se realizaron entrevistas a actores públicos, privados y colectivos. En el caso de actores públicos se entrevistó a los secretarios de producción, ambiente y finanzas de los Municipios, a referentes del Ministerio de Economía, Minería y Producción de la Provincia de Río Negro. En el núcleo de actores colectivos, las cooperativas eléctricas (EFO y Carlos Tejedor), de producción (frutihortícola) y de servicios aportaron datos explicativos. Los miembros de la sociedad de productores ganaderos de Carlos Tejedor, las asociaciones ambientalistas de EFO-Río Negro, los referentes de los pueblos originarios; visualizaron su postura y enunciaron las principales barreras a la expansión de la explotación hidrocarburífera no convencional. Los sindicatos petroleros (4) dejaron entrever sus exigencias. Los actores privados, población residente con diferentes roles, referentes de las empresas de hidrocarburos, productores ganaderos; contribuyeron a dar luz a las redes, vínculos, obstáculos e impactos, muchas veces intangibles. Esta interacción posibilitó la obtención de datos estructurados alrededor de las categorías construidas: espacios rurales en transformación, territorios de las energías, profundización de los extractivismos, puja de poderes; las cuales permitieron la enunciación de los dos ejes propuestos en este artículo: ER como territorios de la profundización de los procesos extractivistas y como territorios depositarios de los conflictos resultantes de la puja de poderes entre la acumulación/ aceleración del capital y las barreras biofísicas.

A su vez, los estudios de caso posibilitaron las aproximaciones teóricas y metodológicas. Categorización, apoyada en datos particulares considerando el avance de las fronteras hidrocarburíferas sobre ER frutihortícolas y la transformación de residuos pecuarios en bioenergía. Estructuración, a través de la cual se vincularon las categorías y se jerarquizaron los conocimientos presentes y los necesarios, es decir, los datos que posibilitaron comprender las mudanzas de los territorios y los poderes que las condicionan. Contrastación, de los resultados obtenidos con datos provenientes de otras fuentes, en particular aquellos que postulan las potencialidades de los espacios productores de energías y por último; teorización, cuando las contrastaciones sucesivas posibilitaron asociar en unidades teóricas, los conocimientos producidos, para considerar a los ER como: escenarios de confluencia sistémica, zonas de enlace político estratégico, territorios resultantes de la disociación extractivista productivista y depositarios de discontinuidades espacio/temporales.

El análisis de los datos cualitativos y/o cuantitativos posibilitaron teorizar acerca de las mudanzas hacia territorios de las energías en un contexto de profundización de los extractivismos.

3. Resultados

En el presente apartado se exponen las evidencias y aproximaciones teóricas adscriptas a los estudios de caso investigados. Se reúnen avances individuales y colectivos, con eje en las complejidades y el tránsito de los ER hacia territorios de las energías.

Parece oportuno recordar que en Argentina se manifiestan procesos de expansión y homogeneización agrícola (Achka, 2017), de avance de la forestación en regiones no aptas biogeográficamente, es decir, se produce expansión de sistemas forestales comerciales inducidos por actores públicos y privados en detrimento de los sistemas silvoagroproducidos presentes en el NE del país (Bussoni *et al.*, 2019), de explotación ictícola (Gudynas, 2018), de exploración y ejecución de proyectos mineros hidrocarbúricos y energéticos distribuidos en los territorios (Svampa, 2019).

3.1. Resumen de antecedentes

En estas reacomodaciones territoriales impuestas, las administraciones públicas de Argentina respecto a la apropiación de los recursos energéticos, pivotan entre discursos marcadamente diferentes y gestiones considerablemente semejantes. En el período 2003-2015 la política energética entró definitivamente en la agenda gubernamental; la crisis energética aceleró las acciones en términos fiscales, institucionales y geopolíticos. Por el lado fiscal, el congelamiento de las tarifas de servicios públicos, la intervención del mercado de gas natural mediante la Ley 25.561 de Emergencia Pública y Reforma del Régimen Cambiario, sumado a planes estímulo a la producción de petróleo y a la cobertura de los costos de electricidad; guiaron las acciones que implicaron subsidios equivalentes al 3% del PIB según datos oficiales de la Secretaría de Gobierno de Energía. Las institucionales se materializan con la creación de Fondos Fiduciarios (2006), el Programa Energía Total (2007), los Programas Petróleo Plus y Gas Plus (2008), la creación de Energía Argentina SA. (ENARSA) y el Ente Nacional de Regulación (ENRE) “(...) entes que no cumplieron con el objetivo de otorgarle al Estado preeminencia frente a los privados e incrementar la productividad” (Bravo, 2015, p. 43) y la federalización de los recursos naturales (Ley 26.197). Por otro lado, las políticas de congelamiento de precios al gas natural, las retenciones móviles a las exportaciones de petróleo y la disminución de la producción de gas y petróleo a partir de 2011; obstaculizaron los vínculos bilaterales con Chile ya que Argentina pasó de exportador a importador. Al final del período se estatiza parcialmente yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) (Ley 26.741) se otorgan nuevas concesiones para explotaciones no convencionales y se promulga una nueva ley de hidrocarburos adaptada a las exigencias de las multinacionales. (Solanas y Pérez, 2019). En este contexto se estimuló la entrada de inversiones para mejorar la eficiencia y la productividad, pero el oligopolio energético, fortalecido por los subsidios y las normativas, sólo invirtió en procesos extractivos desatendiendo la exploración, la infraestructura de transporte y de distribución (Mansilla, 2007; Ceppi, 2018; Barrera y Serrani, 2018). En síntesis, se observan facilidades normativas y fiscales como señuelo para la atracción de capitales transnacionales; estrategia que marca la continuidad de lineamientos de años anteriores que fueron insuficientes para revertir la balanza deficitaria y modificar la matriz energética. Con la intención de reducir la dependencia de hidrocarburos en un contexto de caos entre producción, compromisos bilaterales, crecimiento de la demanda interna; en el año 2006 se sanciona la Ley 26.190 por la cual el 8% de la oferta energética para el año 2016 debía ser de fuentes renovables; la misma fue acompañada en 2009 por el programa Generación Renovable (GENREN) impulsado por ex ENARSA hoy IEASA (Integración Energética Argentina SA.), quien asumió el compromiso de licitar y comprar 1000 MW de potencia provenientes de fuentes renovables. Por otra parte, en el año 2015 se sanciona la Ley de Energías Renovables 27.191/15, en reemplazo de la Ley 26.190; la misma declara interés nacional la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, así como la investigación asociada a su desarrollo. A su vez, se crea el Fondo Fiduciario (FODER) para el financiamiento de proyectos renovables, otorgando beneficios fiscales a los productores de energía independientes. Los grandes usuarios pueden comprar la energía al Estado a través de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA), a generadores privados o mediante autogeneración. En forma simultánea, se enuncia el Decreto 134/2015 de Emergencia del Sector Eléctrico Nacional ya que las importaciones de energía superaban a las exportaciones.

La administración pública a partir de 2015 desactiva los mecanismos de regulación estatal asociado a una quita de subsidios, elimina las retenciones a la exportación de hidrocarburos, mientras que el objeti-

vo de producir excedentes para el autoabastecimiento y para exportar (commodity); tracciona la gestión energética. Las expectativas de alineación de los precios locales desalentaron la inversión durante 2016, por ende, el pronóstico para 2017 era peor y determinaría el abandono del camino del autoabastecimiento. Asimismo, la política petrolera nacional quedaría subordinada a las imprevisibles fluctuaciones del mercado mundial en lugar de ajustarse a los costos de producción internos y a las necesidades de la economía nacional (Sabbatella y Burgos, 2018, p. 139). Para cumplir la Ley 27.191, en 2016 se lanza el programa Energías renovables Argentina (RenovAr) para reclutar fuentes renovables en la matriz energética. Hasta el momento el programa ha completado tres rondas de licitación, adjudicando 185 proyectos por una capacidad total de 4725 MW. En noviembre de 2017 se sancionó la Ley 27.424 Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Pública, la misma fijó las políticas y condiciones para la generación de energía eléctrica renovable por parte de usuarios conectados a la red de distribución. Si bien lo descrito en párrafos anteriores dista de ser exhaustivo, se ponen a disposición del lector elementos explicativos de modelos de administración de políticas públicas disímiles en cuanto al discurso, pero con continuidades vinculadas a la gestión de los territorios. De acuerdo a lo expuesto en párrafos anteriores, la continuidad y profundidad del modelo extractivista a expensas de las potencialidades naturales, sólo se diferencia con lo que sucedía durante el s. XX por los ciclos de aceleración y productividad asociados a las tecnologías que pregonan el crecimiento indefinido y por los poderes, otrora occidentales en actualidad, mayoritariamente asiáticos (China). Es decir, los ER son condicionados por administraciones públicas que no regulan ni visibilizan los conflictos y por apropiaciones que, según Pineda (2016) “(...) buscan como materia prima de valor de uso la naturaleza a través de dinámicas lineales de extracción” (p. 207). El control de las fuentes de agua, de sol, de viento, de hidrocarburos, de litio, entre otros; son un valor de uso en disputa, bajo dispositivos que materializan el control territorial (China, EEUU, Rusia, entre otros). Así las innovaciones originan rupturas con el anterior modelo; las tecnologías se convierten en núcleos centrales del ciclo de acumulación y crece el peso del capital intangible respecto al fijo antes dominante en un marco de redefinición de alianzas globales. La innovación al servicio de la economía hegemónica, produce transformaciones profundas que definen realidades territoriales por medio de redes que posibilitan la competitividad y, por lo tanto, la acumulación. En este escenario los ER son territorios en los cuales se dirimen las actividades, los actores, los poderes y las gobernanzas dispersas. Esta afirmación se sostiene en el creciente movimiento de reposición escénica de los recursos naturales y la mano de obra, el respaldo institucional (minería extractivista, revolución verde, profundización de los procesos hidrocarburíferos), el precio de los commodities, la disponibilidad de recursos escasos (agua, suelo, energía y minerales) y la concentración de dispositivos localizados de uso (infraestructuras extractivas, productivas, de distribución y de comercialización) que pregonan y gestionan un crecimiento infinito, biofísicamente imposible.

3.2. Estudio de caso 1

Como primer estudio de caso se presentan las misiones en terreno durante 2016-2018 en el área de expansión hidrocarburífera No convencional de Estación Fernández Oro perteneciente a la cuenca neuquina en la Provincia de Río Negro (Figura 1).

Esta cuenca es una de las primeras en entrar en exploración en Argentina, aunque a partir del 2010 se transformó por las apropiaciones hidrocarburíferas no convencionales que traccionan la expansión sobre sistemas de producción frutícolas. Como lo expresa, Villalba, “La cuenca neuquina está al frente de las explotaciones de shale y tight (reservas de petróleo y gas en reservorios poco permeables)” (2018, p. 3).

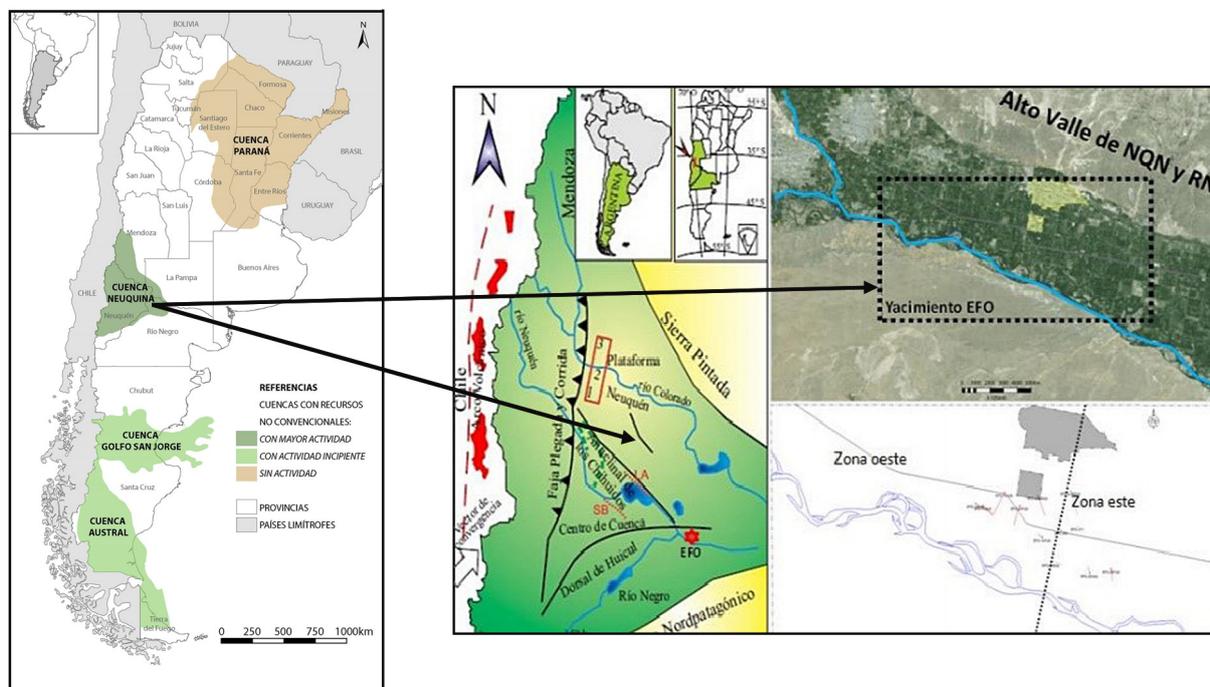
La pérdida de algunas unidades productivas frutícolas y el crecimiento de conflictos socioambientales ilustran la hibridación. Los actores asumen diferentes discursos asociados a posturas más ambientalistas, más positivistas o más pro-desarrollistas en un entorno de profundización del extractivismo junto a connivencia de las administraciones estatales. El análisis se sustentó, en datos obtenidos de la matriz socioterritorial así como los antecedentes más técnicos, más científicos, vinculados a la temática.

Dos citas explican las disputas situadas en los territorios, a saber: Silveira (2009) expone que “Las regiones encarnan especializaciones territoriales productivas (...) que obran como una fuerza contraria a la diversificación” (p. 443) mientras que el Diario Río Negro online en 2010, enuncia que

Uno de los primeros contratos con precios plus de venta del gas atrapado en arenas compactas proviene de una provincia de escasa estirpe petrolera y de una zona en la que la principal actividad

económica no es la hidrocarburífera sino la fruticultura. La empresa estadounidense Apache ya está perforando en su yacimiento Estación Fernández Oro, en medio de manzanos y perales y a metros del Río Negro, para llegar a los 3.600 metros de profundidad y poder cumplir el año que viene con el compromiso de entregarle 1.500.000 metros cúbicos diarios a la central Loma de la Lata (p. 7).

Figura 1. Cuenca hidrocarburífera neuquina. Estación Fernández Oro



Fuente: Villalba, 2019 y Cáceres, 2019 respectivamente

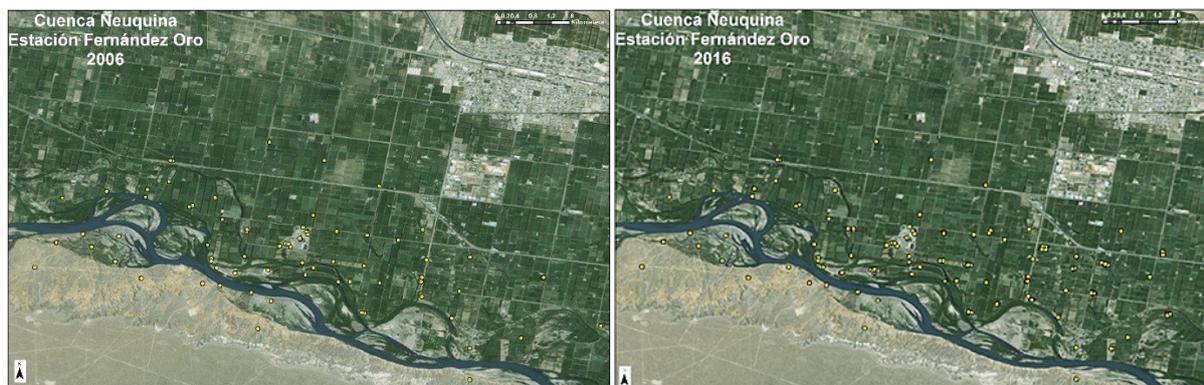
Las citas plantean las contradicciones entre redes de poder diferencial (científicas y financieras) y sus análisis consecuentes. Los que tienen poder controlan los movimientos y direccionan las transformaciones; “(...) el poder no como una capacidad que se puede tener sino como una relación de fuerzas, aunque muy desigual” (Haesbaert, 2013, p. 25). Las pujas de poder que modifican los ensamblajes socioterritoriales son demostrativos de la de-construcción creativa/destructiva. Las especializaciones territoriales que reproducen las asimetrías, como en EFO con centro de servicios en Allen; rompen con las aproximaciones teóricas que explican a los ER como territorios de interfaces posibles de ser descriptos por jerarquías, densidad de usos, redes y flujos libres de conflictos y de impactos. Por el contrario, lo que se materializan son de-construcciones permanentes, conflictos asociados y oportunismos de actores más o menos deslocalizados con administraciones estatales “(...) facilitadoras de los procesos de anclaje de las verticalidades que se manifiestan en fijaciones territoriales de los flujos y actores globales” (López Sandoval, 2018, p. 11).

En el caso de estudio se observa expansión del extractivismo hidrocarburífero como consecuencia del auge de las técnicas no convencionales asociados a las regalías que entusiasman a las administraciones públicas. La cita de la Rev. Petroquímica del Diario Río Negro (2017) ilustra la situación

La provincia de Río Negro registró el pasado mes de julio un récord en concepto por regalías hidrocarburíferas, se generó una retribución de 203.192.485 millones de pesos, un 7% más que el mes pasado y un 58% de crecimiento en relación al mismo mes del año pasado, según se informó oficialmente hoy. En el caso del gas, la Estación Fernández Oro representa el 60% de las regalías gasíferas, y allí hubo un aumento de un 13% en la producción (p. 5).

La crítica positiva respecto al extractivismo realizada por los actores situados, viabiliza aún más el proceso que promueve una construcción socioterritorial a partir de las “bondades” del modelo. En la Figura 2 se muestran, en forma comparativa 2006-2016, los cambios en los dispositivos de usos para extracción de hidrocarburos no convencionales en EFO.

Figura 2. Imágenes comparativas de la explotación hidrocarburífera en EFO. 2006-2016



Fuente: base de Cap IV declaraciones juradas del Ministerio de Energía y Minería 2017. Elaboración propia

Los territorios rurales analizados son depositarios de usos frutícolas e hidrocarburíferos que se expresan como conflictivos o complementarios según los actores. Estas de-construcciones permanentes empujan cambios transversales en un escenario donde la gobernanza no es lineal, las acciones no son transparentes y en algunos casos las jerarquías, la cooperación y la competencia se entrecruzan según las oportunidades. Lo expuesto se enmarca en entrevistas realizadas y en los antecedentes científicos que visualizan la profundización de las asimetrías, el posicionamiento de los conflictos de intereses entre actores y la materialización de procesos que invisibilizan las singularidades y las necesidades de los territorios.

Ante la expansión de la frontera hidrocarburífera y de aumento de conflictos; nos pareció oportuno exponer tres citas vinculadas a las entrevistas realizadas. Uno de los productores entrevistados de EFO-Río Negro afirmó que “Hoy las regalías del petróleo no son compatibles con la producción frutícola”, por otro lado, un actor político entrevistado justificó el avance de la frontera aduciendo que apoya este proceso ya que “Río Negro plantea una mayor diversificación que Neuquén” mientras que un referente de la empresa hidrocarburífera expuso que “Nosotros vinimos a solucionar los problemas de desempleo y de pérdida de población del lugar. Es una forma de adaptarse a los cambios y de aprovechar los recursos que tiene Río Negro”. Es oportuno indicar que las crisis de las economías regionales en general y en el área de estudio en particular, se suceden desde hace varias décadas por diferentes motivos (políticos, climáticos, de mercado). Esta situación se complejiza con la profundización hidrocarburífera traccionada por actores extraterritoriales quienes más allá de las manifestaciones ambientalistas que se multiplican, son poco cuestionados en un entorno de gobernabilidad que los cobija mientras enuncia discursos garantistas de los derechos sociales, así “Los espacios serán fragmentados de acuerdo con su rentabilidad y esto ayudará a establecer nuevas jerarquías y espacialidades” (Lefebvre, 1974, p. 340) (Figura 3).

Figura 3. Pozo petrolero no convencional en una unidad de producción frutihortícola. EFO



Fotografía de la autora, 2017

Las manifestaciones de la lógica del capital en algunos casos financieros en otros productivos, resitúan multiescalarmente los recursos naturales estratégicos y con demanda creciente. Hay corrimiento y ensambles entre usos productivos, residenciales, paisajísticos y extractivos; aunque

(...) dada la intensidad del capital utilizado en la extracción de los recursos naturales, los sectores generan relativamente poco empleo y enlaces débiles con proveedores locales, lo que ha redundado en la formación de enclaves de producción de productos básicos. (Singer, 1971, p. 67)

A la cita anterior, teniendo en cuenta las temporalidades, se podría agregar, con alta demanda de consumo energético y generación de nuevos-abundantes pasivos ambientales.

3.3. Estudio de caso 2

El segundo estudio planteado se enmarca en un escenario de crisis ambiental condicionado por la combustión fósil (gases efecto invernadero-crisis en la matriz energética) y por otro, la acumulación de residuos ganaderos (modificaciones en freática, biota, tropósfera) provenientes de la intensificación productiva vía feedlot.

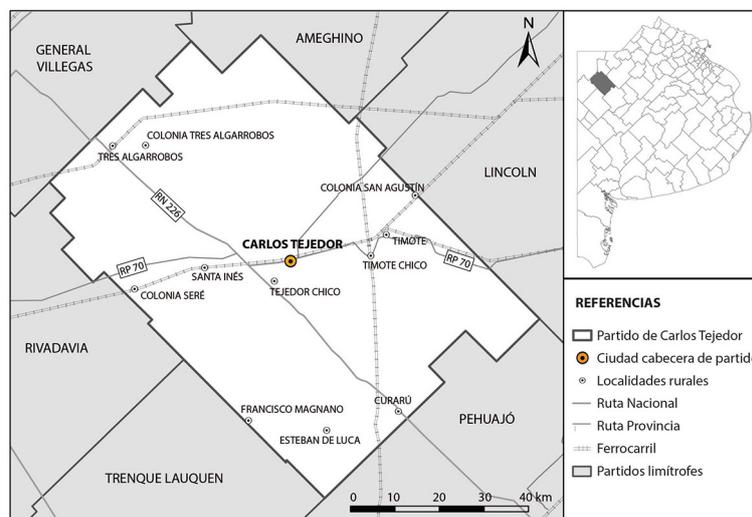
En el marco de los esfuerzos globales por el cambio climático, de incertidumbre frente al precio internacional de hidrocarburos y de evoluciones societales que priorizan elecciones más sustentables; la transición energética impulsa acciones tendientes a la generación de energía desde fuentes renovables, localizada y distribuida. La utilización y la innovación en el uso de fuentes “bajo carbono” la difusión de tecnologías menos contaminantes y la optimización en el uso de infraestructuras y servicios energéticos, se convierten en ejes claves de las políticas energéticas. Garantizar la accesibilidad, asequibilidad y seguridad energéticas en los territorios al margen de los tendidos, o donde el servicio es deficiente, o donde se aspira a sustituir fuentes fósiles; son objetivos a alcanzar, frente a la criticidad y limitaciones de los sistemas centralizados. En este contexto nuevos modelos de abastecimiento de servicios energéticos proponen soluciones adaptadas a las demandas localizadas. Se trata de experiencias que expresan diferentes formas de articulación entre actores y escalas territoriales, e iniciativas que abren oportunidades de desarrollo productivo, bienestar social y equidad territorial. En este escenario los proyectos de co-construcción de estrategias energéticas territoriales enfrentan desafíos técnicos (innovación), sociales (apropiación), financieros (sostenibilidad y rentabilidad) y políticos (gobernanza). A diferentes escalas, actores públicos y privados participan en la construcción e implementación colectiva de este tipo de iniciativas para atender situaciones diversas. En particular, las poblaciones dispersas, los territorios aislados y los grupos de bajos ingresos y vulnerables, sin acceso a los servicios energéticos por red, se convierten en prioritarios de las estrategias de energización. Ante lo enunciado, generar energía sin aumentar los gases efecto invernadero, promulga avanzar en la transición hacia un modelo descarbonizado y a pequeña escala con instrumentos técnicos, económicos y regulatorios que acompañen el proceso. La biodigestión anaerobia se encuentra entre esos instrumentos. La misma trata los residuos orgánicos (purines, excremento animal, residuos agrícolas blandos, de la agroindustria, etc.), mediante un proceso biológico complejo y degradativo (digestión anaerobia) produciendo gas combustible rico en metano, que es capturado: biogás, y un fertilizante orgánico de composición compleja y natural: biol o digestato. (RedBioLAC, 2016). La recolección de datos primarios (2018) se estructuró en dos partes: encuestas a los referentes locales vinculados directa e indirectamente al proyecto y entrevistas semiestructuradas a diferentes informantes claves. En una etapa posterior donde se contaba con información secundaria proveniente de antecedentes y diferentes fuentes además de los datos obtenidos en terreno, se trabajó en el análisis para comprender las transformaciones. Esta triangulación posibilitó identificar las estrategias de los actores claves en el proceso, visualizar las acciones individuales y colectivas, los poderes públicos y privados e interpretar los ER pampeanos no sólo como agroganaderos sino como territorios de las energías.

Para ello, se analizó la producción de bioenergía a partir del aprovechamiento de residuos pecuarios en la unidad de producción ganadera “La Micaela”, ubicada a 2,5 km de la localidad de Carlos Tejedor, Buenos Aires (Figura 4.). La misma se localiza en un área con predominio de uso ganadero en sus diferentes formas, cría, recria, ciclo completo y engorde a corral; con manejo productivo intensivo y estabulado.

El desarrollo del proyecto de bioenergía originado en la articulación público/privada, implicó tres años de negociaciones (2011-2014). La firma del convenio y la materialización de gestiones se instrumentaron con la participación del referente de la unidad productiva y la empresa Biogás como privados, Programa Provincial de Incentivos a la Generación Distribuida (PROINGED), Cooperativa y Municipio de Carlos

Tejedor como públicos. Para la compra del grupo electrógeno, la Provincia de Buenos Aires otorgó un crédito a la Cooperativa quien deberá pagarlo con el 20% de la bioenergía producida que se inyecta a la red.

Figura 4. Carlos Tejedor en la Provincia de Buenos Aires



Fuente: Nogar, Chomicki y Berdolini, 2019

Los resultados del trabajo enuncian obstáculos vinculados con:

- Las prácticas socio técnicas: contenidas en trabas burocráticas para la implementación de proyectos sin antecedentes en Argentina, junto con el desconocimiento y descreimiento respecto a la generación distribuida.
- El escenario legal: en un marco legal nacional en construcción, el Poder Ejecutivo publicó el Decreto y los Anexos correspondientes que reglamentan la Ley de Generación Renovable Distribuida sancionada en 2017, algunas provincias han avanzado en normativas en torno a la generación distribuida (GD) (Santa Fe, 2013; Mendoza, 2015; Salta, 2014).
- El escenario financiero: las experiencias de GD están condicionadas entre otros, por las dificultades para acceder al financiamiento a través de créditos y de subsidios con algunas excepciones como los proyectos ReNovar).
- El entorno político-territorial: un entramado de contradicciones público-privado-cooperativa en el cual “*nadie quería correr ningún riesgo*” (entrevistado clave). Si bien las cooperativas eléctricas suelen ser intermediarios en el servicio energético, “*la incertidumbre de lo nuevo*” jugó su rol en las decisiones. Por ello las relaciones privado-cooperativa se desarrollan desde instancias conflictivas y problemáticas. Los entrevistados enuncian problemas de comunicación: inexistente o insuficiente; de inseguridad: propia de emprendimientos innovadores y de desacople: entre los programas/subsidios.

Más allá de los obstáculos la producción de bioenergía conjuga ganadería intensiva, incorporación de ciencia e innovación y re-utilización de biomasa. La hibridación resultante según Nogar, Chomicki y Berdolini (2019) “(...) ilumina las acciones regionales, rompe con la idea de alternativas integrales tranquilas adentro, ya que se configuran nuevos modelos de gobernanza energética que involucran competencias, responsabilidades e intervenciones innovadoras en los procesos de co-construcción energética territorial” (p. 25).

Las investigaciones realizadas en ambos terrenos, brindaron elementos empíricos para elaborar y proponer los ejes teóricos explicativos de los ER que se desagregan en el siguiente apartado.

4. Discusión de resultados

En este apartado se desagregan los dos ejes propuestos para el análisis de los ER: A- como territorios de la profundización de los procesos extractivistas y B- como territorios depositarios de los conflictos resultantes de la puja de poderes entre la acumulación/aceleración del capital y las barreras biofísicas.

A- *Espacios rurales como territorios de profundización de los procesos extractivistas* (agronegocios, mineros, pesqueros, hidrocarburíferos, forestales y energéticos). Se entiende a los territorios en un contexto modificado constantemente por redes y direccionado por la multiplicación de flujos entre nodos donde se plasman las funciones que rigen la economía y la sociedad. Las mudanzas no son coyunturales sino estructurales, que derivan desde el régimen de acumulación fordista, al capitalismo globalizado y en la actualidad hacia una nueva lógica que en palabras de Fornillo (2017) se expresa como “(...) un capitalismo marcado por la ramificación de las corporaciones globales, pero también vinculado al accionar de los bloques regionales” (p. 30). En este andamiaje los actores con poder o subordinados, construyen y/o participan de redes, al tiempo que despliegan estrategias vinculadas a los recursos naturales y a las innovaciones sociotécnicas territorializadas. Las empresas petroleras recrean innovaciones para expandir sus redes de exploración, explotación y acumulación. Esta circularidad conlleva la creación de desigualdades, en particular en territorios emergentes, traccionados por administraciones públicas de accionar “contradictorio” (discurso y gestión) y por apropiaciones extractivistas que remueven volúmenes de recursos naturales que no son procesados (o que lo son limitadamente), sobre todo para la exportación; proceso que Harvey, D. 2004 denomina “acumulación por desposesión”. En el caso de EFO no sólo se observa la profundización de la desposesión sino, además, la expulsión de productores frutihortícolas que seden ante el poder de las empresas extractivistas. “El extractivismo no se limita a los minerales o al petróleo, sino que hay extractivismo agrario, forestal e inclusive pesquero” (Acosta, 2011, p. 21). Galafassi y Riffo (2018) expresan que “Megaminería, plataformas petroleras, monocultivos son la expresión clara y cabal de este “nuevo” patrón de producción que se asocia a su vez, también como novedad, subordinadamente a la globalización” (p. 235). Por su parte la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2017) asegura que “En estudios recientes incluso se advierte que la región está pasando por un proceso de desindustrialización en vista del interés por los recursos naturales que se produjo como resultado del auge de precios de las materias primas iniciado en 2003” (p. 154).

Así

En los espacios agrarios de Latinoamérica no se rompe con la consolidación de los territorios del agronegocio se profundiza su importancia y se procesa un avance del modelo extractivista. Por lo tanto, se profundiza la acumulación por desposesión y se agudiza la disputa por los territorios. (Achka, 2017, p. 95)

El paso de 27 a 36 millones de hectáreas agrícolas de Argentina, el aumento de 800.000ha. agrícolas a 1.600.000 en Uruguay o de 50 millones a 75 millones en Brasil, ilustran el escenario (CEPAL, 2017). A modo de ejemplo en Argentina, según datos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, en 2017 las exportaciones pesqueras (langostino, merluza y calamar) superaron a las exportaciones de carne bovina y dentro del ranking de exportaciones de origen animal, el 42% correspondió a la pesca y el 39% a carne bovina.

Los análisis realizados en el estudio de la producción de bioenergía a partir de residuos pecuarios, confirma la hipótesis que los ER son revisados como territorios productores de energía y como enclaves de reutilización de residuos, pero además como lo expresara uno de los entrevistados “Soy integrante de una familia que por generaciones ha producido carne, pero hoy me presento como productor de bioenergía” esta afirmación ilustra las transformaciones en una región de expansión del monocultivo de oleaginosas.

B- *Eje los espacios rurales como territorios depositarios de los conflictos resultantes de la puja de poderes entre la acumulación/aceleración del capital y las barreras biofísicas*. El análisis se estructura desde la complejidad del sistema, la intensificación de la degradación y la aceleración del agotamiento de los recursos. Para Pineda (2016)

Se manifiesta cuando los capitales superan las barreras de la demanda de recursos creando tecnologías para explorar recursos antes inalcanzables y tratan de monopolizar recursos donde la barrera natural y espacial es rebasada momentáneamente explorando nuevas áreas, yacimientos, hectáreas, recursos. (p. 201)

La cita expuesta acompaña el eje propuesto como explicativo de los ER en el contexto actual. El aumento de la población mundial junto al crecimiento del consumo material, son factores que

conducen a la intensificación en la demanda de recursos naturales, en particular los relacionados a los agro alimentos y a las fuentes energéticas. Los ER se muestran ante este desafío como territorios invisibilizados por los poderes locales pero detectados por actores extraterritoriales, conocedores de las consecuencias del cambio ambiental global, que aspiran conquistar territorios a futuro ya sea a partir de alianzas regionales (alianza del Pacífico) o de gestiones localizadas (inversiones en fuentes energéticas renovables como es el caso de China en Argentina, Brasil y Uruguay, entre otros). Como lo expresa Galafassi (2014) “Todo el tercer mundo se convierte una vez más en casi nada más que oferente de espacios y territorios rurales para la extracción de hidrocarburos, minerales, biodiversidad y alimentos bajo la clásica fórmula de división internacional del trabajo” (p. 62) enmarcado en el discurso explícito de sustentabilidad y un futuro implícito de marginalidad y conflictividad socioambiental. La apropiación acelerada, exige territorios depositarios de los conflictos por la desconexión progresiva respecto al entorno natural y a la puesta en marcha de sistemas globales de innovación, exploración, producción y distribución (Camarero, 2017); como lo expresa Haesbaert (2013) “Los territorios están vinculados con los poderes y el control del mismo está fuera del alcance local” (p. 13). El poder de las cadenas globales (agroindustrialización, extractivismo minero, explotaciones hidrocarburíferas convencionales y no convencionales, expansión de la forestación y de los extractivismos pesqueros) diseña la re-construcción asimétrica de los ER en la búsqueda de la acumulación ilimitada. En estos contextos desregulados los territorios constituyen escenarios en los cuáles se dirimen las luchas de poderes políticos, económicos y ambientales en puja por la maximización, poniendo en peligro la seguridad alimentaria y la renovabilidad de los recursos; aunque los discursos pregonen la sustentabilidad.

En este entramado, las cadenas de valor globalizadas condicionan las neorealidades rurales de acumulación territorial, como resultado de transformaciones direccionadas por actores, acciones y redes adscriptos a un contexto multiescalar. En el caso de la producción de bioenergía, las reconstrucciones se observan en el paso de un territorio ganadero a uno productor de energía en un entorno de regulaciones en desarrollo. Neorealidades, consideradas como un neologismo sostenido en los procesos de reconstrucción actual de los territorios

(...) El trastorno actual de la concepción espacio/tiempo es debido al proceso de innovación que provoca la aceleración de cambios, no sólo de productos, procesos, modos de trabajo y estilos de vida, sino también espaciales; una “destrucción creadora” que desintegra formas territoriales para crear otras nuevas, provocando una radical reorganización del espacio de relación. (Harvey, 2004, p. 34)

Lo que plantea el autor se observa en el área de expansión hidrocarburífera, hay una “destrucción creadora” por la cual se desintegran algunas unidades frutihortícolas y se crean áreas de exploración, explotación y transporte de petróleo y gas.

Ahora bien, si se está de acuerdo con estos ejes (no únicos), para explicar las transformaciones actuales, se asiente que se transita un proceso de acelerado deterioro, marginalidad y desposesión de los ER, en particular aquellos con menor volumen de población y con mayores asimetrías rural-urbana, como en Latinoamérica. En estas interrelaciones asimétricas entre necesidad (del capital) y disponibilidades (no potencialidades) de los espacios rurales se materializan las fragilidades; éstas han sido denunciadas por los informantes clave de las asociaciones ambientalistas y de los pueblos originarios, pero no visualizadas por los actores públicos que deben gestionar las apropiaciones de los territorios. Lo cual demuestra que el poder no está en los recursos naturales, aunque sean escasos, sino en la capacidad reproductiva del capital en busca de la ganancia inmediata sin el reconocimiento de los límites regenerativos;

(...) la hegemonía mundial se dirime entorno al dominio o control de cinco monopolios: de los flujos financieros, del control de los medios de comunicación, de la investigación y desarrollo, de las armas y del control y acceso a los recursos naturales fundamentalmente mineros, energéticos y acuíferos. (Amir, 2003, p. 23)

Schweitzer, (2011) agrega que en este escenario “(...) son los recursos naturales los únicos que se pueden desplazar por extracción o apropiación” (p. 65).

Se visualizan de esta manera las contradicciones de las apropiaciones, ya que pareciera que éstas no tienen límites, superando las barreras impuestas por los ciclos naturales, como en EFO, más tecnología para explorar y explotar. Altvater (2006) manifiesta “Es físicamente imposible transformar la materia y

la energía sin producir desperdicios y por lo tanto externalidades negativas” (p. 353). En este escenario los ER de países emergentes son detectados como territorios poseedores de los recursos necesarios para la expansión (del capital), para la seguridad (alimentaria y energética) y para la sobrevivencia (saturación de los espacios urbanos).

Por lo expuesto, pareciera que los análisis monofuncionales quedan trancos para explicar los ER en transformación, no aportan elementos para comprender las articulaciones intangibles que expanden las fronteras hidrocarburíferas y que los actores (políticos y empresariales) consideran como “la solución al desempleo y la precariedad laboral”. Son territorios que experimentan posibilidades y desafíos, expresan complejidades resultantes del entrecruzamiento de redes de poder regionales situadas y otras deslocalizadas. Ensayar nuevas categorías para develar las hibridaciones nacientes e interfaces resultantes es un compromiso. Estos territorios más allá que sean rurales o menos rurales, son matrices que muestran la hibridación, son ensambles territoriales, son “artefactos de la globalización” de Mattos (2018).

5. Conclusiones

A modo de síntesis y en consonancia con la idea motor que rige este documento, se entiende que los ER mutan desde convergencias y contradicciones. Son espacios donde los actores munidos de poder diferencial se disputan el control de los recursos. Si bien estos mecanismos siempre han traccionado los cambios, los contextos multiescalares imprimen las diferencias.

Se observa en ambos terrenos de estudio, que los actores se encuentran adscriptos a lógicas regionales y/o globales. Como se manifiesta en otros ER argentinos, son frecuentes las estrategias de diversificación para atenuar riesgos asociados a las crisis microeconómicas continuas por las que transitan las administraciones públicas en los últimos 20 años. En particular, los estudios ilustran adaptaciones asociadas a la crisis energética de abastecimiento y al consumo de fuentes fósiles con impacto ambiental directo; enuncian las mudanzas hacia territorios de las energías en un contexto de administraciones públicas con normativas discontinuas, cambiantes y confusas. Los analizados son territorios proveedores de fuentes de energía que no producen beneficios ni económicos, ni de accesibilidad, ni en la continuidad del servicio a la población localizada en su entorno; con lo cual la estrategia de GD sigue siendo centralizada y excluyente. La cita de uno de los entrevistados (población residente) de Carlos Tejedor ilustra la afirmación “No tengo ni idea que haya un biodigestor en el pueblo, yo sigo pagando muy cara la luz, con cortes frecuentes y con conexiones onerosas”. De todas maneras, el proyecto de bionergía (caso 2), más allá de la centralidad en la distribución, estimula las alianzas que expresan diferentes formas de articulación y producción situadas. Según los resultados empíricos de ambos estudios de caso, los desarrollos teóricos consultados y los ejes propuestos para el análisis de los ER (*los espacios rurales como territorios de la profundización de los procesos extractivistas y los espacios rurales como territorios depositarios de los conflictos resultantes de la puja de poderes entre la acumulación/aceleración del capital y las barreras biofísicas*) es posible esbozar ciertas ideas síntesis en consonancia con lo planteado por Pérez Martínez (2016, p. 107) donde los ER son:

- *Escenarios de confluencia sistémica*: áreas de cooperación que se expresan a partir de las relaciones entre los actores políticos y los privados: empresas hidrocarburíferas y administraciones públicas, Cooperativa eléctrica de Carlos Tejedor y productor. Estas cooperaciones originan territorios de negociaciones que se materializan y se pronuncian desde tramas ecogeopolíticas que se expanden a partir de redes de infraestructura (soporte), redes de servicios (bancarias, de distribución) y redes de comando que optimizan el uso de la infraestructura (teleinformática)³, conexas a poderes que compiten por los recursos. En el caso 2, la reconstrucción de un actor ganadero a productor de bioenergía se materializa por redes de cooperación y como resultante de trayectorias en un contexto condicionado por alianzas y negociaciones permanentes.
- *Zonas de enlace político estratégico*: como en el caso de Río Negro, donde los enlaces se han intensificado en la última década. La conversión de la empresa Apache en YSUR-YPF ha profundizado el extractivismo desde los no convencionales, la expansión de dispositivos de uso y determinación de zonas residuales, otrora inexistentes. Acción demostrativa por la cual la empresa no se desloca-

3 O la obstaculizan como el corte masivo de energía eléctrica el día 16 de junio de 2019.

liza, más bien se relocaliza, tomando al territorio “(...) como un espacio relacional dotado de una estructura compleja” (Haesbeart, 2013, p. 15).

- *Territorios resultantes de la disociación extractivista productivista*: a partir de apropiaciones de los recursos se movilizan factores que producen riqueza además de crear redes socioterritoriales asociadas a conflictos socioambientales. Es disociativo porque como lo expresa Linck, “La commoditización de un recurso, cereales, oleaginosas, minerales, entre otros, es un proceso disociativo, cambia de ser un recurso natural por convertir a un recurso por intercambiar” (2010, p. 17). Esto se observa en el área de expansión de los hidrocarburos no convencionales con demanda creciente de los inputs externos (tecnologías, transporte, importación de insumos, capital transnacional) con lo cual el recurso obtenido aumenta a expensas de la incorporación de energías, modelo que Honty, llama “mochila energética” (2018). En Carlos Tejedor, el productor ganadero mantiene un proceso extractivista desde los agronegocios, pero lo complementa con la transformación del residuo en bioenergía. De todas maneras, este nuevo uso es de riesgo en un escenario institucional que fluctúa entre el acompañamiento y el abandono de los proyectos.
- *Depositario de discontinuidades espacio/temporales*: los ER sustentan la coexistencia de lógicas, actores y procesos,—al mismo tiempo convergentes y contradictorios—, concurrentes en la de-construcción permanente. Se entiende que “(...) el espacio ‘material’ no existe en sí mismo, sino que se encuentra siempre en relación con la manera en que él es descrito, apropiado y vivido” (Glessener y Kmec, 2010, p. 34). Conflictos de usos en EFO son constantes y crecientes resultantes de regulaciones debilitadas asociadas a terciarización global de manufacturas concentradas en zonas de bajo costo. Las interacciones que se producen originan áreas de borde; así este territorio más agrícola/productivo o más extractivista se re-construye. Según un productor de la Cámara frutícola “La mayoría de las chacras están abandonadas o invadidas por las petroleras. Las jugueras están cerrando por los altos costos de mano de obra, el mayor problema es la comercialización no la demanda”. Por otro lado, el caso de producción de bioenergía, se expresa a priori como una solución al tratamiento de los residuos del feedlot en un entorno en el cual la demanda de fuentes energéticas no fósiles está en crecimiento, pero la gestión sigue siendo centralizada.

Las síntesis enunciadas visualizan el actual entramado territorial traccionado por redes de poder deslocalizadas en puja por los recursos naturales. Los ER son depósitos de nuevos conflictos por la espacialidad expansiva de los extractivismos mientras se “muestran” re-valorizaciones (Vaca Muerta), localización de medios sociotécnicos (Puerto de Punta Alta-Bahía Blanca), arraigo de formas extractivas de apropiación de recursos (no convencionales en EFO), aprovechamiento de residuos para bioenergía con intensificación pecuaria (Carlos Tejedor).

En el caso 1 se invisibiliza el agotamiento/deterioro ecosistémico y la conflictividad social, mientras que en el caso 2 se estimulan las alianzas entre la naturaleza y la sociedad, se propicia un futuro más descarbonizado, al tiempo que le imprime a los ER una identidad más allá de los procesos extractivistas y de acumulación.

Un entorno de commoditización condicionado por los medios técnicos y cadenas de valor globalizadas, condiciona los espacios rurales latinoamericanos. Los poderes actúan bajo un paraguas normativo que legitima y hace lícitas las apropiaciones territoriales. Así, el medio técnico no es neutro, es un dispositivo de apropiación respaldado por los marcos institucionales “El poder no es solo un conjunto de prácticas materiales, sino que tiene un carácter simbólico que se manifiesta en la construcción de consenso” (Haesbeart, 2013, p. 26). Es decir, consenso para producir bioenergía e inyectarla a la red central, consenso para transformar una unidad de producción frutícola en un área petrolera, consenso, en definitiva, para mudar hacia territorios de las energías más allá de las capacidades de los mismos.

Los procesos promovidos por la localización de proyectos de aprovechamiento energético, activan complementariedades entre territorios singulares. La ciencia y la innovación acompañan este proceso creando herramientas para explorar nuevas oportunidades y de esta forma sustituir fuentes fósiles en pos de la transición energética (caso 2). En tiempos de economía circular, la reciprocidad de intercambios de bienes y servicios comunes, pone de relieve la necesaria articulación entre actores gubernamentales, con otros —privados, asociativos, cooperativos, colectivos—, y replantea las tradicionales formas de gestión de los ER. La reciprocidad requiere “(...) la inclusión de la acción pública en una acción colectiva más global (...) de una sociedad fundada en la circulación, los flujos, las redes, las transacciones” (Vanier, 2017, p. 109). Una reciprocidad necesaria para paliar los desequilibrios, pero debilitada ante la multipolariza-

ción de los poderes. En Argentina las administraciones públicas distan mucho de entender este escenario, de ser responsables con la apropiación de los recursos, de visualizar los límites biofísicos y de reconocer que la producción de commodities beneficia a las transnacionales y a los gobernantes de turno; trastocando en forma simultánea la matriz territorial e induciendo marginalidad, despojo y deslocalización. Los discursos enuncian las bondades de las fuentes descarbonizadas, el camino hacia la transición energética, la importancia de los recursos energéticos situados y la GD para la gestión de territorios sustentables; ante estos augurios considero que si la gestión está deslocalizada y consumidores/beneficiarios, alejados de los territorios de las energías; la búsqueda de transición con inclusión energética profundizará los territorios de los extractivismos, incrementará la población sin acceso a las redes y aumentará los pasivos ambientales en los territorios poseedores de los recursos.

La revisión propuesta muestra que los ER son reconocidos como territorios poseedores de recursos y como enclaves de localización de lo residual. Hacer visibles las transformaciones que se originan convierte en relevante los supuestos que instalan el tema de las otras funciones junto a aquellos que reclaman los límites al crecimiento indefinido. Entender las tensiones situadas en relación a las transformaciones globales parece uno de los desafíos de este nuevo orden pluripolar en tránsito hacia una re-distribución del poder en el planeta.

Como cierre se pone a consideración una idea y una pregunta: con la inversión de situaciones y de contradicciones situadas quizá, como lo expresa Lefebvre “Los espacios dominados tienden a invertir la situación y convertirse en dominantes sobre todo cuando detectan fuentes de energía” (1974, p. 220). Es visible que los ER están transitando mudanzas y reacomodamientos, la incertidumbre es ¿si las estrategias de los actores convergen hacia la distribución y la descentralización o hacia la profundización de las asimetrías adscriptas al poder de la ciencia, el capital y la gestión centralizada y deslocalizada?, de las respuestas dependerá el tránsito hacia la diversidad, la multifuncionalidad o hacia la profundización de la homogeneización.

Financiación

Proyecto “Integración productiva/energética de los territorios bonaerenses. Un desafío de hibridación entre usos productivos rurales y energías alternativas situadas” CICPBA y “Generación distribuida en Argentina. Energías para la inclusión y la transición”. (PICT 2017-2960 ANPCyT).

Referencias

- Achka, M. (2017). El bioma pampa: un territorio en disputa. *PARTE 1 Políticas públicas e demandas de conservação Políticas de conservação no pampa brasileiro*, 10, 120-143.
- Acosta, A. (2011). Extractivismo y neo extractivismo. Dos caras de la misma maldición. En *Más allá del desarrollo* (pp. 83-118). Grupo Permanente de trabajo sobre alternativas del desarrollo. Quito: Fundación Rosa Luxemburgo. Ed. ABYA AYALA.
- Altwater, E. (2006). ¿Existe un marxismo ecológico?. En *Teoría Marxista Hoy, Comps. Borón, Amadeo y González* (pp. 341-363). CLACSO.
- Amir, S. (2003) *Más allá del capitalismo social. Por un Siglo XXI no norteamericano*. Buenos Aires: Paidós.
- Aparici, A., Querol, V., & Ginés, X. (2018). Despoblament al Caroig. Propostes d'actuació per a un món rural viu i repoblat. *Caroig*, 9, 3-6.
- Ávila Sánchez, H. (2015). Tendencias recientes en los estudios de Geografía rural. Desarrollos teóricos y líneas de investigación en países de América Latina. *Investigaciones geográficas*, (88), 75-90. <http://dx.doi.org/10.14350/rig.44603>
- Barrera, M., & Serrani, E. (2018). Energía y restricción externa en la Argentina reciente. *Realidad Económica*, 315, 9-45.
- Biogás Argentinal (2017). *Informe de inversiones en producción de bioenergía* [en línea]. Recuperado de <http://biogas-argentina.com>
- Bravo, V. (2015). *Análisis de la Ley 27007, llamada de hidrocarburos, y de la política hidrocarbúrfera del período 2003 a 2014*. Documento de Trabajo. Bariloche: Fundación Bariloche-CONICET.

- Bussoni, A., Esquivel, J., Egolf, P., Colcombet, L., & Boscana, M. (2019). Perspectivas de los sistemas silvopastoriles en la zona centro de la cuenca del Río de la Plata. *Xº Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles "Por una producción sostenible"*. Paraguay. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12123/6317.www.cipav.org.co/pdf/X_Congreso_Internacional_Silvopastoril.pdf
- Cáceres, J. (2019). *Caracterización estratigráfica del Grupo Neuquén en el Sector Oeste del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO): definición de los principales niveles sellos a través de datos de subsuelo*. Recuperado de <https://rid.unrn.edu.ar/jspui/handle/20.500.12049/3400>
- Calderón, M., Díaz, R., Morales, C., Mühle, A., Rodríguez, M., Rojas, & Villaseca, J. (2013). Territorios rurales y neoliberalismo en Chile. Conflictos económicos y sus expresiones políticas en zonas de vitivinícolas, forestales e industrias salmoneras. *Cuadernos de antropología social*, (38), 153-176.
- Camarero, L. (2017). Territorios encadenados, tránsitos migratorios y ruralidades adaptativas. *Mundo agrario*, 18 (37), 1-18. <https://doi.org/10.24215/15155994e044>
- Ceppi, N. (2018). Política energética argentina: un balance del período 2003-2015. *Problemas del desarrollo*, 49(192), 37-60. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.192.58745>
- Clementi, L., Villalba, S., & Nogar, G. (2018). La nueva función energética de los espacios rurales argentinos: entre cigüeñas, mosquitos y elefantes blancos. En actas de XXXI Jornadas de Investigación y XIII Encuentro Regional Si+ (des)naturalizar & (re)construir.
- Chetty, S. (1996). The case study method for research in small- and médium - sized firms. *International small Business Journal*, 15(1), 73-85. <https://doi.org/10.1177/0266242696151005>
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2017). *Estudio económico de América Latina y el Caribe*. Documento on line. Recuperado de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/42001-estudio-economico-america-latina-caribe-2017-la-dinamica-ciclo-economico-actual>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (2017). *Informe de licitaciones en Energía Renovables on line*. Recuperado de <https://portalweb.cammesa.com>
- de Andrés Ruiz, C., & Iranzo García, E. (2011). Desarrollo de las energías renovables y cambios paisajísticos: propuesta de tipología y localización geográfica de los paisajes energéticos de España. En V. Gozávez Pérez y J.A. Marco Molina (Eds.), *Energía y Territorio: dinámicas y procesos* (pp. 97-107). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/47252>
- de Mattos, C. (2018). *Encrucijada ante los impactos críticos de un crecimiento urbano financiarizado*. Documento de trabajo IEUT N° 4.
- Ferreres, J., & Querol, V. (2019). La multifuncionalidad del espacio rural: la potencialidad de los recursos vinícolas para el desarrollo local en el interior norte valenciano. *TERRA. Revista de Desarrollo Local*, 5, 126-147.
- Fornillo, B. (2016). Sudamérica Futuro: China global, transición energética y posdesarrollo. *Crítica y Resistencias. Revista de conflictos sociales latinoamericanos*, (8), 155-161.
- Fornillo, B. (2017). Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo. En *Prácticas de Oficio*, N° 20, IDES, Argentina. Recuperado de <http://ides.org.ar/publicaciones/practicadefoficio>
- Furlán, A. (2014). Geografía de la circulación de la energía. *Revista Transporte y Territorio*, (11), 1-4.
- Galafassi, G. (2014). Territorios cercados y mega minería: un renovado proceso de acumulación por desposesión en la Patagonia Argentina. *Párrafos Geográficos*, 10(1), 24-36. <http://igeopat.org/parrafosgeograficos>
- Galafassi, G., & Riffo, L. (2018). Una lectura crítica sobre el concepto de "extractivismo" en el marco de los procesos de acumulación. *Trama. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades.*, 7(2), 108-117. <https://doi.org/10.18845/tramarsh.v7i2.3939>
- Glessener, J., & Kmec, S. (2010). Urbain-rural : dichotomie ou dialectique ?. *Journal of Urban Research*, (3). <https://doi.org/10.4000/articulo.1521>
- Gudynas, E. (2016). *Derechos de la naturaleza: ética biocéntrica y políticas ambientales*. Buenos Aires: Editorial Tinta Limón.

- Gudynas, E. (2018). Extractivismos: el concepto, sus expresiones y sus múltiples violencias. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 143, 61-70.
- Haesbaert, R. (2013) Del mito de la desterritorialización a la multiterritorialidad. *Rev. Cultura y representaciones sociales*, 8(15), 9-42.
- Harvey, D. (2004). *El nuevo imperialismo*. Madrid: Ediciones Akal.
- Honty, G. (2018). Nuevo extractivismo energético en América Latina. *Rev. Ecuador Debate*, 105, 47-67. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10469/15261>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2017). Recuperado de <http://www.inti.gov.ar>
- Kay, C. (2016). La transformación neoliberal del mundo rural: procesos de concentración de la tierra y del capital y la intensificación de la precariedad del trabajo. *Revista Latinoamericana de estudios rurales*, 1(1), 1-26.
- Lefebvre, H. (1974). La producción del espacio. *Papers: revista de sociología*, (3), 219-229. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v3n0.880>
- Lende, S. (2019). ¿Del extractivismo neoliberal al (neo) extractivismo progresista? El caso de la pesca marítima Argentina (1989-2015). *ACTA GEOGRÁFICA*, 12(30), 172-194. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v12i30.4963>
- Linck, T. (2010). Los Siales entre Apropiación y Despojo Territorial: Hay que Darle Rumbo al Enfoque. *PAMPA*, 1(6), 9-25. <https://doi.org/10.14409/pampa.v1i6.3174>
- Lobato Correa, R. (1994). Territorialidade e Corporação: un exemplo. En M. Santos, M.A. de Souza, M.L. Silveira (Eds), *Territorio, globalização e fragmentação*. San Pablo: HUCITEC.
- López Sandoval, M. (2018). Geografía, conocimiento y territorios rurales en América Latina. Dossier. *Rev. Eutopía*, 14, 7-22. <https://doi.org/10.17141/eutopia.14.2018.3771>
- Mansilla, D. (2007). *Hidrocarburos y política energética: de la importancia estratégica al valor económico: Desregulación y privatización de los hidrocarburos en Argentina*. Ediciones del CCC Centro Cultural de la Cooperación Floreal.
- Martínez Carrazo, P. (2006). *El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento & Gestión* [en línea]. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64602005>
- Moreno Plata, M. (2011). Las funciones energéticas rurales para sustentar las zonas urbanas. *Rev Espacios Públicos*, 14(32), 223-247.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019). Recuperado de <http://www.agroindustria.gob.ar>
- Ministerio de Energía y Minería (2018). Recuperado de <http://www.minen.gob.ar/www/833/25897/proyectos adjudicados-del-programa-renovar>
- Nogar, A., Chomicki, C., & Berdolini, J. (2019). Bioenergía a partir de residuos ganaderos. Estado de situación en Provincia de Buenos Aires. *Mundo Agrario*, 20(43), e110. <https://doi.org/10.24215/15155994e110>
- Pengue, W. A. (2010). Suelo virtual, biopolítica del territorio y comercio internacional. *Fronteras*, 10, 1-20.
- Pengue, W. A. (2017). El vaciamiento de las Pampas. La exportación de nutrientes y el final del granero del mundo. *Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll Stiftung*.
- Pérez-Martínez, M. (2016). Las territorialidades urbano rurales contemporáneas: Un debate epistémico y metodológico para su abordaje. *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2), 103-112. <http://dx.doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.56216>
- Pineda, C. (2016) El despliegue del capital sobre la naturaleza. *Rev. Pléyade*, 18. Recuperado de <http://www.revistapleyade.cl/wp-content/uploads/ple%CC%81yade-18.pdf>
- Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida (2017). Recuperado de <http://proinged.com.ar>
- Raffestin, C. (2013). *Por una geografía del poder*. Zamora: El Colegio de Michoacán.
- Reboratti, C. (2019). Tensiones geográficas: controversias y conflictos ambientales en Argentina. *Rev. Investigaciones Geográficas*, 100. <https://doi.org/10.14350/rig.60015>

- Rojas, E. (4 de octubre de 2010). Las contradicciones de la expansión. *Diario Río Negro*. On line. Recuperado de <https://www.rionegro.com.ar/>
- Sabbatella, I., & Burgos, M. (2018). *La política energética de Cambiemos: del tarifazo de gas al retorno a las reglas de los noventa*. Recuperado de https://www.academia.edu/download/56229582/Libro_Heller_Sabbatella-Burgos.pdf
- Schweitzer, A. (2011). Fronteras internacionales, recursos naturales e intervención regional en el Cono Sur de América Latina. *ParaOnde*, 5(2), 122-141. <https://doi.org/10.22456/1982-0003.24464>
- Schweitzer, A. (2014). Patagonia, naturaleza y territorios. *Geograficando*, 10. Recuperado de <http://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/article>
- Secretaría de Gobierno de Energía. Ministerio de Hacienda. Balance de Gestión en Energía (2016-2019). Recuperado de http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/sintesis_balance/2019-12-09_Balance_de_Gestion_en_Energia_2016-2019_final_y_anexo_pub_.pdf
- Sili, M. (2016). Un modelo para comprender la dinámica de los territorios rurales. El caso de la Argentina. *Mundo agrario*, 17(34).
- Silveira, M. (2009). Región y división territorial del trabajo. *Investigación & Desarrollo*, 17(2).
- Singer, H. W. (1975). The distribution of gains revisited. In *The strategy of international development* (pp 58-66). London: Palgrave Macmillan.
- Solanas, F., & Pérez, P. (2019). Del Estado Postneoliberal al Estado neoliberal híbrido pragmático en Argentina en perspectiva histórica: Definiciones y herramientas para analizar el Estado en América Latina. *Revista Argentina de Ciencia Política*, 1(22).
- Subsecretaría de pesca y acuicultura de la República Argentina (2018). *Informe 2018*. Recuperado de <http://www.argentina.gob.ar/agroindustria/agricultura-ganaderia-y-pesca/subsecretaria-de-pesca-y-acuicultura>
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. <https://doi.org/10.14361/9783839445266>
- Tadeo, N. (2010). Los espacios rurales en la Argentina actual. Nuevos enfoques y perspectivas de análisis desde la Geografía Rural. *Mundo agrario*, 10(20).
- Vanier, M. (2015). *Demain les territoires. Capitalisme reticulaire et espace politique*. Paris, Francia: Hermann.
- Villalba, M. (2019). Hidrocarburos no convencionales en la Argentina: exploraciones en lo profundo, transformaciones en los territorios. *Territorios*, (39), 225-243. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.5524>
- Veltz, P. (2019). *France des territoires, défis et promesses*. Editorial de l'Aube.
- Woods, M. (2007). Engaging the global countryside: globalization, hybridity and the reconstitution of rural place. *Progress in Human Geography*, 31(4), 485-507. <https://doi.org/10.1177/0309132507079503>
- World Alliance for Decentralized Energy (2017). Recuperado de <http://www.localpower.org>
- Yin, R. (2009). *Case study research: Design and methods fourth edition*. Los Angeles and London: SAGE.
- Yurkievich, G. (2017). La pampa argentina: ventajas comparativas y renta diferencial como elementos estructurantes de un país desarticulado. *PARTE I Políticas públicas e demandas de conservação. Políticas de conservação no pampa brasileiro*, 10, 101.

Cita bibliográfica: Olcina Cantos, J., Biener Camacho, S. y Martí Talavera, J. (2020). Aspectos atmosféricos y climáticos en la expansión de la pandemia (COVID-19) en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, (73), 275-297. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.OCBCMT>

Aspectos atmosféricos y climáticos en la expansión de la pandemia (COVID-19) en la provincia de Alicante

*Atmospheric and climatic aspects in the expansion
of the pandemic (COVID-19) in the province of Alicante*

Jorge Olcina Cantos¹
Samuel Biener Camacho²
Javier Martí Talavera^{3*}

Resumen

La pandemia de la COVID-19 se ha convertido en uno de los mayores desafíos recientes que se ha encontrado la ciencia. Multitud de estudios pretenden dar respuesta a la propagación de este coronavirus, hasta ahora desconocido, ante unas condiciones atmosféricas y climáticas determinadas. El estudio de parámetros como la temperatura, la humedad y la radiación en los meses de febrero y marzo de 2020, así como un análisis correlativo con otras variables de distinta temática, pretende ponderar el peso que pudieron haber tenido estas variables en la expansión de este patógeno en la provincia de Alicante. Los resultados obtenidos apuntan, de forma preliminar, como la única variable que guarda relación con la tasa de contagio y la tasa de defunción son las temperaturas máximas. Este hecho podría estar relacionado con el nicho climático del coronavirus, el cual podría ser determinante en su expansión a nivel mundial. La carencia de información sobre las anteriores tasas a nivel municipal, así como la inexistencia de datos de movilidad a tan baja escala, impide establecer unas conclusiones definitivas.

Palabras clave: geografía de la salud; SARS-CoV-2; COVID-19; contaminación; temperaturas.

Abstract

The COVID-19 pandemic has become one of the biggest recent challenges that science has encountered. A multitude of studies aim to respond to the spread of this coronavirus, hitherto unknown, under certain atmospheric and climatic conditions. The study of parameters such as temperature, humidity, and radiation in the months of February and March 2020, as well as a correlative analysis with various other variables, aims to weigh the weight that these variables could have in the expansion of this pathogen in the province of Alicante. The results indicate, in a preliminary manner, that the only variable that is related to the contagion and death rates are the maximum temperatures. This fact could be related to the climatic niche of the coronavirus and could be decisive in its expansion worldwide. The lack of information on the above rates at municipal level, as well as the absence of mobility data on such a small scale, prevents the drawing of definitive conclusions.

Keywords: health geography; SARS-CoV-2; COVID-19; pollution; temperatures.

1 Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Alicante, España. jorge.olcina@ua.es

2 Instituto Interuniversitario de Geografía, Laboratorio de Climatología, Universidad de Alicante. España. samubc_alicante@hotmail.com

3 Instituto Interuniversitario de Geografía, Laboratorio de Climatología, Universidad de Alicante. España. jmt25@alu.ua.es. * Autor para correspondencia.

1. Introducción

Los estudios científicos realizados en los primeros meses de 2020 sobre la relación entre aspectos atmosféricos y climáticos y propagación y contagio del SARS-CoV-2 no resultan concluyentes y, en la mayoría de los casos, se trata de resultados preliminares. Por lo tanto, no se pueden extraer unas conclusiones determinantes sobre esta relación. La Tabla 1 resume las ideas aportadas por los trabajos consultados en la presente investigación, en relación con las condiciones atmosféricas que favorecerían o frenarían la expansión de los contagios de la COVID-19. En este sentido Gutiérrez-Hernández y García (2020) realizan una revisión bibliográfica de las contribuciones científicas que relacionan unas condiciones atmosféricas determinadas con la propagación de este patógeno. Wang *et al.* (2020b) han realizado un estudio donde analizan ambas variables tomando como referencia 429 ciudades, atribuyendo que una baja temperatura favorecería la transmisión del coronavirus. Bukhari y Jameel (2020) describen como desde el 22 de enero al 21 de marzo de 2020 la mayor parte de los casos se han desarrollado en regiones con una temperatura media de entre 4-17 °C y unos 3-9 g/m³ de humedad absoluta. El aumento de esta última variable hasta valores por encima de este umbral podría favorecer a una ralentización de la propagación. Ficetola y Rubolini (2020), determinan que las mayores tasas de crecimiento de la pandemia en el hemisferio norte se produjeron con una temperatura de 5 °C y una humedad específica de 4-6 g/m³. Wang, Tang, Feng y Lv (2020a) han elaborado un modelo de predicción de transmisión de la epidemia a partir de la temperatura y humedad relativa, según el cual el aumento de 1 °C o 1% de humedad, contribuyen a reducir el número de reproducción efectiva de los casos, un 0,023 y un 0,0078, respectivamente, en los estudios realizados en China. Sajadi *et al.* (2020) destacan que hasta principios de marzo las áreas del mundo con un mayor número de contagios tenían unos rasgos climáticos similares. Había casos en lugares tan distantes de China como Irán, Italia y España, pero, sin embargo, en áreas geográficamente más cercanas como el Sudeste Asiático y Rusia, apenas se informaba de la existencia de contagios. A partir de esta investigación, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio crearía un visor donde se puede consultar la temperatura y la humedad específica de los próximos meses a partir del promedio de las anteriores variables durante los últimos 20 años (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [ECWMF], 2020b). Araújo y Naimi (2020) extraen unas conclusiones similares al dirimir que la propagación tiene una mayor agregación en el espacio climático que en el geográfico. Este estudio también determina el rango medio e intercuartiles de las condiciones atmosféricas asociadas con casos positivos, siendo las temperaturas 5,81 °C (media) y -3,44 °C a 12,55 °C (95% rango) y para valores de radiación son 112,78 W/m² (media) y 61,07 W/m² y 170,96 W/m² (rango del 95%). Caspi *et al.* (2020), establecen que tanto la tasa de replicación como la tasa de propagación del coronavirus fue menor en los países de clima cálido, en comparación, con los de clima frío. Además, determinan que existe una correlación negativa moderada entre la temperatura y la temperatura del punto de rocío con las anteriores tasas. Sin embargo, Luo *et al.* (2020) afirman, tras estudiar la humedad absoluta en las distintas regiones de China durante más de dos semanas, que un aumento de la temperatura y humedad relativa en los meses de primavera y verano no conducirá necesariamente a una reducción de los casos de contagio.

Tabla 1. Condiciones de propagación o reducción de la pandemia de SARS-CoV-2 según las condiciones atmosféricas a partir de la bibliografía expuesta

Referencia Bibliográfica	Condiciones atmosféricas
Araújo & Naimi (2020)	Condiciones de propagación de 5,81 °C (media) y -3,44 °C a 12,55 °C (95% rango) en el caso de las temperaturas y para valores de radiación son 112,78 W/m ² (media) y 61,07 W/m ² y 170,96 W/m ² (rango del 95%)
Bukhari & Jameel (2020)	Reducción de los casos a partir de 17 °C de media y 9 g/m ³ de humedad absoluta
Ficetola & Rubolini (2020)	Mayor propagación en áreas con una temperatura media de 5 °C y una humedad específica de 4-6 g/m ³
Sajadi <i>et al.</i> (2020)	Propagación con temperaturas medias de entre 5-11 °C, humedad específica entre 3 y 6 g/kg y humedad absoluta bajo un rango de 4 y 7 g/m ³
Wang <i>et al.</i> (2020b)	Propagación hasta los 8,72 °C, una vez alcanzado este umbral, disminuye el número de casos lentamente

Fuente: Araújo & Naimi (2020), Bukhari & Jameel (2020), Ficetola & Rubolini (2020), Sajadi *et al.* (2020) y Wang *et al.* (2020b).
Elaboración propia

Por comparación con los estudios sobre la transmisión de este patógeno, es necesaria la consulta de investigaciones sobre otros coronavirus similares, como el SARS-CoV-1 y el MERS-CoV, e incluso sobre el virus *Influenza*, provocador de la gripe. En el caso del primero, Chan *et al.* (2011) afirma que el virus seco en superficies lisas retuvo su viabilidad durante más de 5 días a temperaturas de 22-25 °C y humedad relativa del 40-50%. Sin embargo, a mayor valor de estas variables su viabilidad se perdía rápidamente. En esta línea Lin, Fong, Zhu y Karlberg (2005) estiman que en días con una temperatura del aire más baja, durante la epidemia en Hong Kong, el riesgo de aumento de la incidencia diaria era 18,18 veces mayor que en días con una temperatura más alta. Van Doremalen, Bushmaker y Munster (2013) expusieron el virus MERS-CoV ante tres escenarios de temperatura y humedad relativa (20 °C-40%, 30 °C-30% y 30 °C-80%), permaneciendo con una mayor estabilidad cuanto más bajas eran estas variables. Lowen, Mubareka, Steel y Palese (2007) establecen que condiciones atmosféricas frías y secas favorecen la transmisión del virus *Influenza*.

En España los estudios elaborados en los últimos años que relacionan epidemias y condiciones atmosféricas o climáticas han estado ligados, casi exclusivamente, con la gripe. León-Gómez *et al.* (2015) detalla como el invierno 2011-2012, que fue uno de los más fríos de los últimos años, hubo una mayor incidencia de la gripe, con una tasa de defunción para personas con edades por encima de los 64 años de 169,31 por cada 100.000 habitantes. Fernández de Arróyabe (2004) concluye que la variabilidad espacial de la temperatura mínima y la humedad relativa se encuentra relacionada con la variabilidad espacial de la tasa de gripe en las diferentes regiones españolas en los años en los que la actividad gripal es elevada. No obstante, no hay que olvidar que la última pandemia asociada a una gripe (la conocida como gripe A o gripe porcina, que ocurrió entre 2009-2010) se inició precisamente en verano, sin embargo, no sería hasta la llegada del otoño cuando tendría una mayor influencia sobre la población. Castilla *et al.* (2011) recogen algunos estudios que apuntan a que el sol, el calor y la baja humedad ambiental durante el verano pueden ser obstáculos para la supervivencia de este virus en el medio y para su propagación. Además, a temperaturas ambientales superiores a 30 °C la transmisión del virus quedaría bloqueada para los aerosoles, limitando la transmisión únicamente al contacto.

Es necesario destacar el estudio realizado entre la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), que compara el número de contagios por cada 100.000 habitantes durante dos semanas y la temperatura media, estableciendo, al igual que en las anteriores investigaciones expuestas, una mayor incidencia en las CCAA con menor temperatura (AEMET, 2020b). No obstante, es necesario destacar que este estudio no analiza la transmisión del SARS-CoV-2 en los meses de febrero y marzo puesto que su período de estudio comienza a partir del confinamiento —mediados de marzo—, con la dificultad que ello supone a la hora de establecer conclusiones sobre aspectos atmosféricos en el inicio de esta crisis sanitaria.

Este trabajo tiene como propósito, conocer la influencia que ha podido tener la climatología, el tiempo atmosférico y la contaminación en la propagación de la COVID-19, tomando como referencia la provincia de Alicante. Para ello se ha tenido en cuenta la bibliografía comentada anteriormente, donde se apunta, de forma preliminar, a esa relación entre dichas variables con el patógeno en cuestión.

2. Metodología

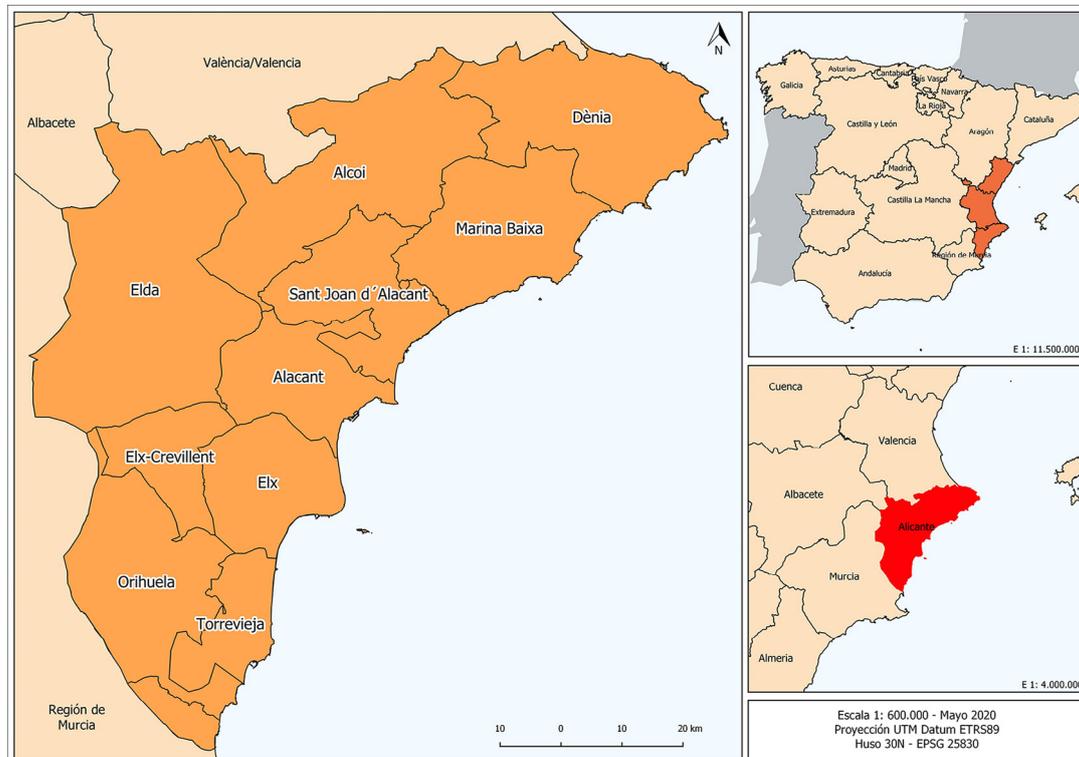
2.1. Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo es la provincia de Alicante, en el sureste de la península Ibérica. A la hora de realizar el análisis de correlaciones y ante la falta de información a nivel municipal, se han utilizado las tasas de contagio y de defunción de los departamentos sanitarios. No obstante, es necesario aclarar que existen varias ciudades, como Alicante, Elche y Orihuela, que están divididas en dos departamentos distintos. Ante esta cuestión, y al no existir datos demográficos o de otra índole, a esta escala administrativa, que permitan realizar una correlación de forma correcta, se ha procedido a incluir toda la ciudad bajo un mismo departamento, tal y como muestra la Figura 1. Los departamentos sanitarios con su número de habitantes son:

- Torrevieja (186.025 habitantes)
- Orihuela (168.148 habitantes)
- Elx-Crevillent (156.506 habitantes)
- Elx (169.314 habitantes)
- Elda (189.600 habitantes)

- Alcoi (137.051 habitantes)
- Sant Joan d'Alacant (222.767 habitantes)
- Alacant Hospital General (278.095 habitantes)
- Marina Baixa (185.316 habitantes)
- Dènia (171.741 habitantes)

Figura 1. Localización del área de estudio. Departamentos sanitarios de la provincia de Alicante



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN) e Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Elaboración propia

2.1. Método y fuentes de trabajo

La metodología de este trabajo incluye tres etapas. La primera supone la recopilación de información a partir de los estudios, investigaciones y noticias publicadas, en la cual se han encontrado varios inconvenientes. Por un lado, la afección de este nuevo virus a nivel planetario ha generado grandes volúmenes de información, tanto a nivel académico/científico y de administraciones públicas, como a nivel periodístico, en continua actualización, por lo que la validez de un estudio o una noticia puede que solo sea de unas horas. Además, no siempre las conclusiones desarrolladas pasan por tener una fuente y una metodología fiable, por lo que es necesario filtrar la información para evitar conclusiones erróneas. Es necesario indicar que gran parte de los artículos científicos analizados en este trabajo, son “pre-prints”, es decir, estudios que han sido publicados de manera temporal, y en su mayoría no revisados por pares, que podrían ser modificados posteriormente. De ahí la necesidad de prudencia en la extracción de conclusiones tras su lectura.

En una segunda fase, se ha reunido la información de variables atmosféricas necesaria para el estudio. Esta información ha sido obtenida a través de varias fuentes, como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), la Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET), la Asociación Meteorológica del Sureste (AMETSE), Weather Underground (Wunderground) y el propio Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante. En la Tabla 2 aparecen listados todos los observatorios meteorológicos cuyas series han sido utilizadas. Cabe destacar que la información de todas ellas es pública y puede ser consultada. Se ha optado por una muestra heterogénea en cuanto al ámbito geográfico para que se manifieste la variedad climática de la provincia de Alicante. Los datos demográficos han sido obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, más concretamente del Cen-

so de Población y Viviendas del año 2011, de la Encuesta Nacional de Inmigrantes de 2019 y del Padrón de Población de 2019. Las tasas de contagio y de defunción han sido proporcionadas por la Conselleria de Sanitat Universal y Salut Pública, habiendo datos únicamente de este límite administrativo a fecha de envío de este trabajo, aunque posteriormente se han publicado los datos a escala municipal. Por último, los datos de residencias para personas de la tercera edad han sido obtenidos de Envejecimiento en red (2015).

Tabla 2. Observatorios meteorológicos analizados en el presente estudio

Estación	Organismo
Dénia-Joan Chabás	AVAMET
Benidorm-Centre	AVAMET
Mutxamel-Aeródromo	AVAMET
Alcoi-Pas del Benissaido	AVAMET
Sant Vicent del Raspeig-IIG UA	Laboratorio de Climatología
Crevillent-El Realengo	AVAMET
Elda-Centre	AVAMET
Elx-Sector V	AVAMET
Orihuela-Centro	AMETSE
Torreveja-Centro	AVAMET
Bussot-Llano de los Pastores	Wunderground
Muró d'Alcoi-Avda. Ferrocarril	Wunderground
Alicante-ALICA3	Wunderground
La Algueña	Wunderground
Santa Pola-Don Pueblo II	Wunderground
Torreveja-La Isla	Wunderground
Almoradí-Les Gomares	AMETSE
Alicante-Ciudad Jardín	AEMET

Fuente: AMETSE, AVAMET, IVIA, AEMET y Wunderground. Elaboración propia

Para el análisis climático de los meses de febrero y marzo se han utilizado los datos del Programa de la Observación de la Tierra Copernicus, impulsado por la Unión Europea. Concretamente, se han analizado las series y la cartografía del Copernicus Climate Change Service (C3S), que se basa en la investigación climática realizada dentro del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP) y responde a los requisitos definidos por el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC). C3S está desarrollado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF) en nombre de la Comisión Europea. ECMWF es una organización intergubernamental independiente que presta servicios a sus Estados miembros y cooperantes y a la sociedad en general, y cuenta un modelo meteorológico global del mundo de alta fiabilidad, el IFS-HRES, que es el utilizado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para el análisis de datos climáticos. Por otra parte, para el análisis de la situación de febrero y marzo a nivel estatal, regional y provincial se han usado los datos de los avances e informes de AEMET, en los que se tienen en cuenta los datos registrados por los observatorios oficiales, que son los que cuentan con una serie climática más larga, por lo que resulta más adecuado a la hora de valorar una situación tan excepcional en lo que respecta a la meteorología, como la que se produjo en el período analizado. Para el estudio de la calidad del aire en el mismo período se han tenido en cuenta los datos ofrecidos por las estaciones de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica, adscrita a la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural de la Generalitat Valenciana (Tabla 3). Se han utilizado los contaminantes que tienen una mayor incidencia en la salud de las personas y que podrían complicar los efectos de la neumonía provocada por la COVID-19, y en concreto son el dióxido de nitrógeno y las partículas PM 2,5. En lo que respecta a los umbrales, se han tenido en cuenta los establecidos por los organismos oficiales y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 3. Estaciones de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica usadas para el análisis de la calidad del aire en los meses de febrero y marzo

Estación	Comarca
Alicante-Florida/Babel	l'Alacantí
Alicante-El Pla	l'Alacantí
Alicante-Rabasa	l'Alacantí
Alcoi-Verge dels Liris	l'Alcoià
Benidorm	Marina Baixa
Elche-Parque de Bomberos	Bajo Vinalopó
Elda-Lacy	Medio Vinalopó
Torreveja	Vega Baja

Fuente: Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. Elaboración propia

Por último, la tercera etapa del estudio ha consistido en establecer una correlación entre los aspectos demográficos y climáticos con las tasas de contagio y mortalidad de los distintos departamentos sanitarios de la provincia. Se ha optado por una correlación de Pearson, que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Otras metodologías de naturaleza similar ya han sido utilizadas, por ejemplo por Ahmadi, Sharifi, Dorosti, Ghoushchi y Ghanbari (2020) para conocer el rol que habían tenido multitud de factores en la tasa de propagación del SARS-CoV-2 en las regiones de Irán. Concluyendo que la densidad de población y el movimiento intraprovincial estaban directamente relacionados con la transmisión, mientras que las áreas con bajos niveles de humedad, viento y radiación solar eran las que mayor tasa de contagio registraban. Bashir *et al.* (2020b), destacan, tras establecer los coeficientes de correlación de Kendall y Spearman con distintas variables atmosféricas registradas en la ciudad de Nueva York, que la temperatura media, la temperatura mínima y la calidad del aire están relacionadas con la pandemia. A partir de este mismo método de correlación Bashir *et al.* (2020a), establece la relación entre los casos de COVID-19 y numerosos contaminantes ambientales, detallando una significativa relación de esta enfermedad con concentraciones de PM 10, PM 2,5, SO₂, NO₂ y CO.

3. Resultados

3.1. Relación entre las altas temperaturas de febrero y primera quincena de marzo con la expansión del coronavirus COVID-19 en la provincia de Alicante

Durante el mes de febrero y en los primeros días de marzo se registraron temperaturas mucho más altas respecto a los valores promedio de esas fechas en el conjunto de Europa y también en España. La persistencia de los vientos cálidos del oeste o del sureste, asociados a masas de aire subtropical o tropical de procedencia atlántica fue determinante. Como señala el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF), durante el mes de febrero de 2020 la temperatura estuvo 3,9 °C por encima del valor promedio del período 1981-2010 en el continente europeo, lo que le convierte en el segundo mes de febrero más cálido, por detrás del de 1990 (ECMWF, 2020a).

Para el mes de marzo se observa algo similar en el conjunto del continente, aunque como se verá más adelante, en España fue un mes muy extremo si se comparan las dos quincenas. Durante la primera siguió predominando la entrada de aire subtropical o tropical de procedencia atlántica, dejando temperaturas muy suaves en todo el continente, mientras que a partir del día 14 las altas presiones se fortalecieron en el entorno de Escandinavia e islas británicas, lo que favoreció la llegada de descuelgues y bajas al sur de Europa. No obstante, las temperaturas en Europa estuvieron hasta casi 0,9 °C por encima del promedio. Resulta muy reseñable y preocupante el predominio de las anomalías positivas de temperaturas de los últimos años en invierno en Europa, uno de los muchos reflejos del proceso actual de calentamiento global.

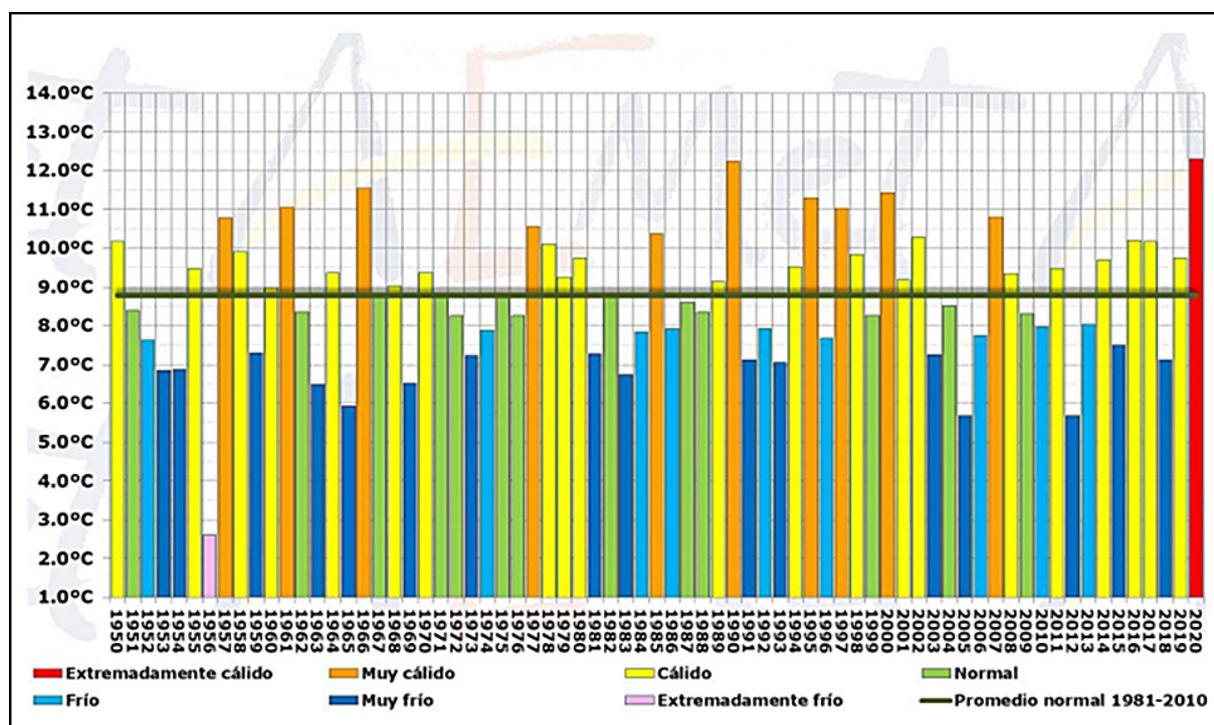
En lo que respecta a la situación en España, febrero fue extremadamente cálido, con una temperatura 3 °C más elevada respecto al promedio. En puntos del interior peninsular las anomalías positivas superaron los 5 °C, aunque a pesar de esto en muchos observatorios de la Meseta y del norte todavía quedarían dentro del rango en el que según los estudios la COVID se propagaría mejor. En el sur y en los archipiélagos, donde las temperaturas medias son ya de por sí suaves, también tuvieron anomalías significativas,

con valores más propios de abril o mayo, entrando en unos registros en los que el virus se haría propagado peor, según los estudios referenciados anteriormente.

En cambio, el mes de marzo tuvo un comportamiento muy peculiar, y el valor medio registrado en el conjunto del país enmascara esta realidad. Durante las dos primeras semanas la situación fue similar a la del mes anterior, con predominio del viento del suroeste asociado a masas de aire de carácter subtropical o tropical procedentes del Atlántico. Pero en la segunda quincena el viento de levante fue el predominante en el litoral mediterráneo, con abundante nubosidad y precipitaciones copiosas.

En el territorio valenciano en su conjunto y, asimismo, en la provincia de Alicante, el mes de febrero fue el más cálido en el conjunto de la región desde 1937 (Figura 2). La temperatura media de febrero de 2020 fue de 12,3 °C, 3,5 °C por encima de la media (1980-2010) de referencia (Figura 3). Se trata de un valor más propio de plena primavera. Si se compara con la media de marzo (11,2 °C) en la serie climática de la Comunidad Valenciana hay muy pocos meses de marzo con una temperatura media superior a la de febrero de 2020. La alta insolación y la persistencia de los vientos del oeste y del suroeste propiciaron esta anomalía positiva tan significativa de las temperaturas.

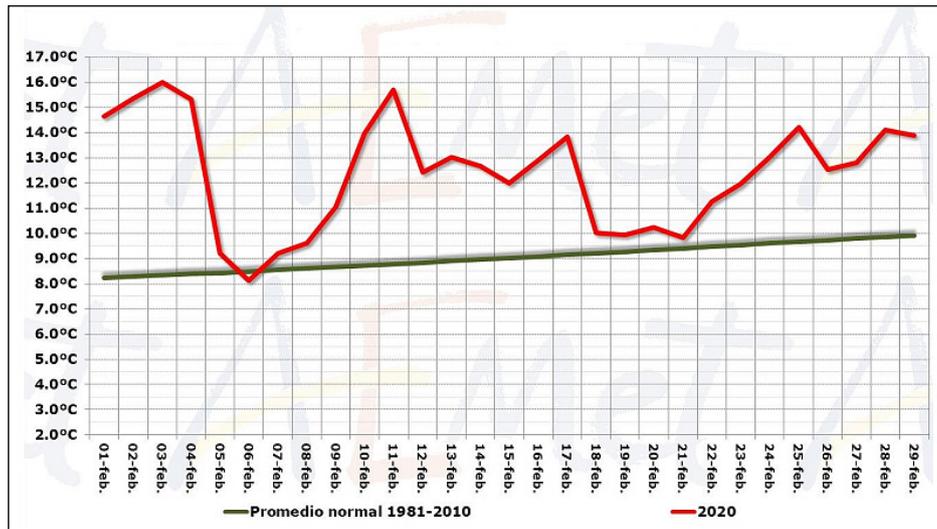
Figura 2. Temperatura media y carácter del mes de febrero (1950-2020) para el conjunto de la Comunidad Valenciana



Fuente: AEMET, 2020a

La temperatura media en febrero en la provincia de Alicante oscila entre 10 °C y 12,5 °C en el litoral (en el límite del rango en la que la propagación de la COVID-19 sería mayor), mientras que en el interior ronda los 5-10 °C, en el umbral donde teóricamente el virus se extiende más fácilmente. De ahí en insistir en las anomalías tan destacables del mes de febrero, que oscilaron entre 2,5 °C y 6 °C, según localidades, en el conjunto de la provincia de Alicante; y esto pudo haber influido en la desigual propagación del virus en este territorio. De hecho, la mayor tasa de contagiados por cada 100.000 habitantes se encuentra en el Medio/Alto Vinalopó y en l'Alcoià y el Comtat, donde por otro lado se concentra la población más envejecida del conjunto de la provincia, aspecto principal para entender la propagación. La tasa es elevada, asimismo, en la Marina Baixa, aunque la gran mayoría de los casos los aglutina Benidorm, y aquí la explicación podría estar en la alta movilidad en este municipio turístico, ya que en el resto de municipios la incidencia resultó muchísimo más baja. Por tanto, se puede señalar que las altas temperaturas del mes de febrero, especialmente en las áreas costeras y en la mitad sur de la provincia, pueden explicar que la expansión inicial del virus no fuera tan destacada en dichos territorios, respecto a los de interior con temperaturas menores.

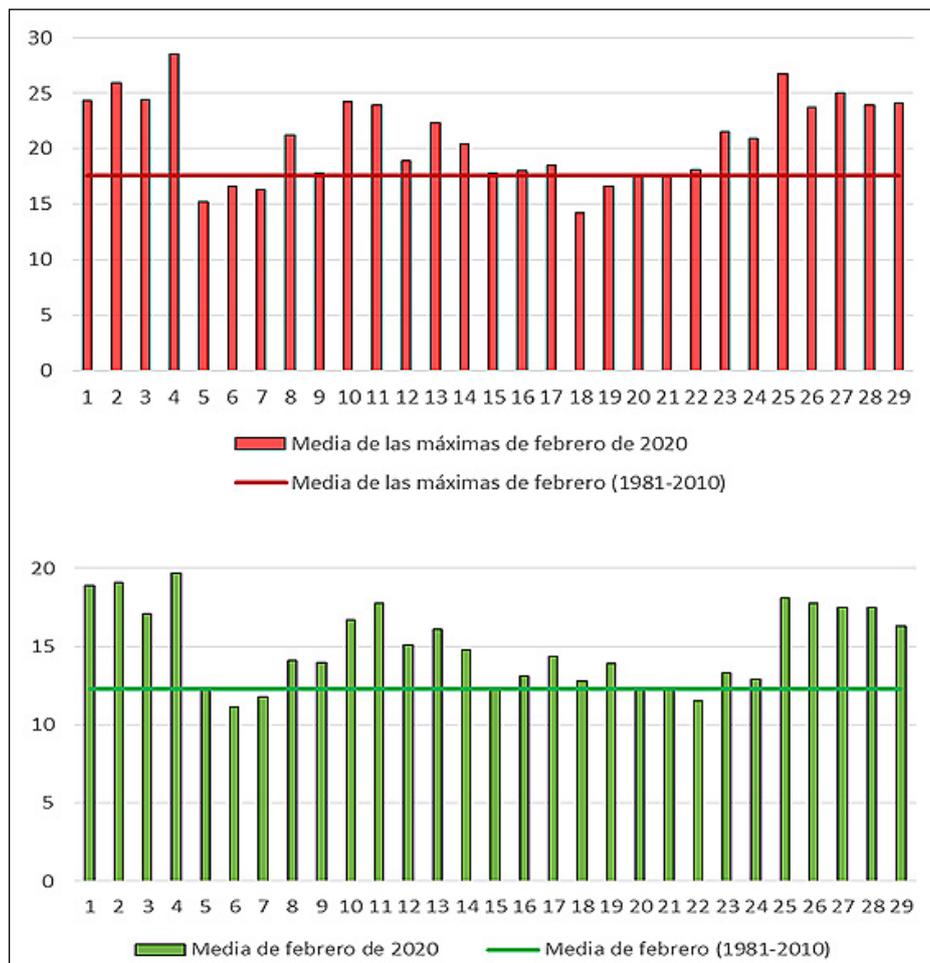
Figura 3. Temperatura media registrada en febrero de 2020 respecto al promedio del periodo de referencia (1981-2010) en la Comunidad Valenciana



Los datos están calculados con técnicas geoestadísticas y se refieren a la media de temperaturas mínimas y máximas diarias en el promedio de la superficie del territorio

Fuente: AEMET, 2020a

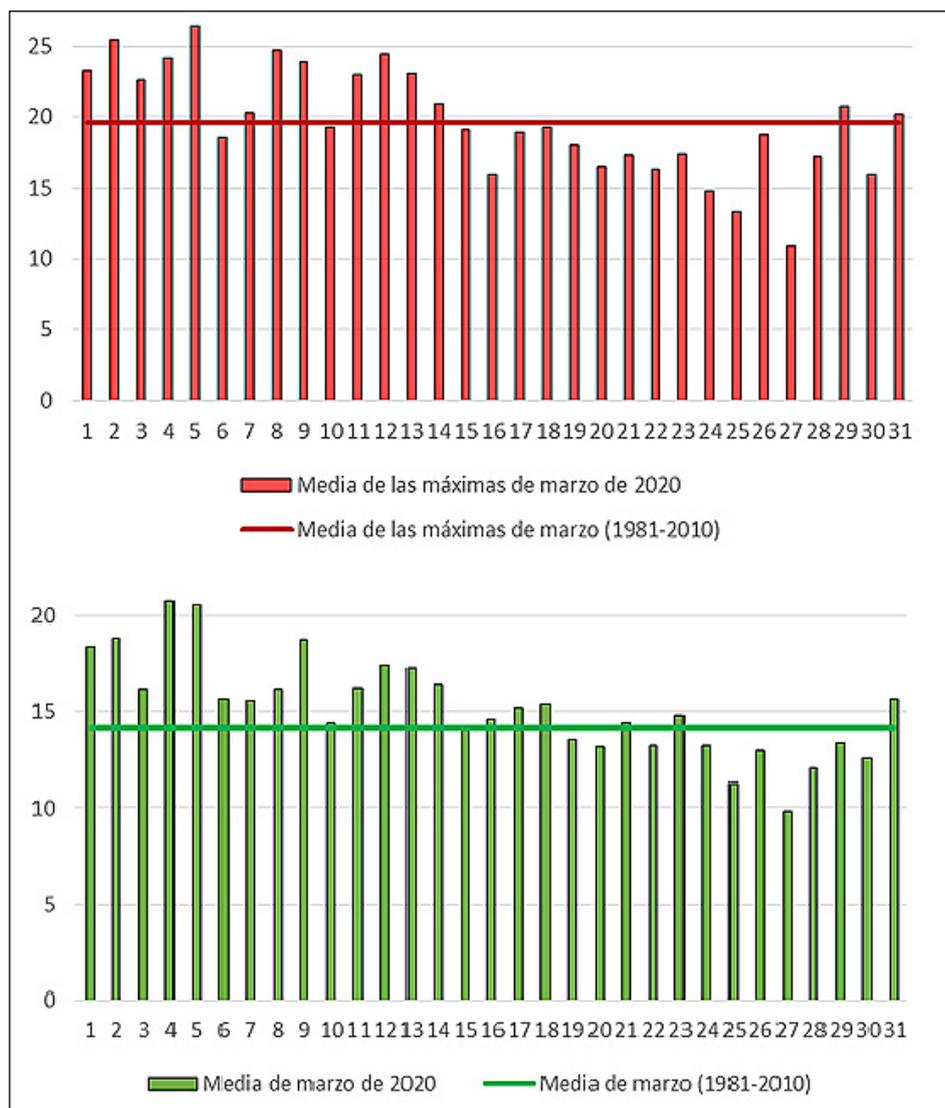
Figura 4. Evolución de las temperaturas máximas y medias en el mes de febrero de 2020 en Alicante-Ciudad Jardín



Fuente: AEMET Open Data. Elaboración propia

En el observatorio de Alicante-Ciudad Jardín, que cuenta con una serie de datos que se remonta hasta mediados del siglo XIX, se batió el récord de la temperatura media de las máximas en un mes de febrero, que fue de 20,8 °C, superando en 0,1 °C el anterior récord de febrero de 1990. Se trata de un valor muy elevado y más propio del mes de abril, aunque hay que tener en cuenta el menor número de horas de sol en febrero, lo que da una idea de la excepcionalidad y magnitud de la situación. Gracias al enfriamiento nocturno y a las pocas horas de luz de este mes, no fue el mes de febrero más cálido en relación a su temperatura media (Figura 4), pero fue uno de los más cálidos de la serie de datos, que abarca desde 1938 a la actualidad (AEMET, 2020a).

Figura 5. Evolución de las temperaturas máximas y medias en el mes de marzo de 2020 en Alicante-Ciudad Jardín



Fuente: AEMET Open Data. Elaboración propia

Por su parte, el mes de marzo de 2020 tuvo un comportamiento muy singular. En la Comunidad Valenciana y en la provincia de Alicante, la primera quincena siguió con una tendencia cálida muy similar a la del mes de febrero, con predominio del viento del suroeste y elevada insolación, tal y como se aprecia en la Figura 5. En el conjunto de la región, fue el segundo período quincenal de un mes de marzo más cálido en el período 1951-2020. En algunos observatorios de la mitad sur de la Comunidad Valenciana se superaron los 30 °C en los primeros días. Sin embargo, a partir del día 14, coincidiendo con el inicio de la declaración del “Estado de alarma”, la situación sinóptica y el ambiente meteorológico cambiaron drásticamente. Con el refuerzo de las altas presiones en Escandinavia-Islas Británicas (bloqueo en capas

altas), el viento predominante fue el de levante, más fresco y provocando a su vez un aumento de la nubosidad. Además, la continua formación de pequeñas gotas frías o DANAs que transitaban por el entorno del Estrecho se tradujo en un importante descenso de las temperaturas en esa segunda quincena de marzo, con desarrollo, incluso, de nevadas en las principales cumbres de los relieves alicantinos. Por tanto, en la segunda quincena de marzo el tiempo atmosférico registrado fue más propio del centro del invierno que de finales de dicha estación y comienzos de la primavera; una temporada invernal 2019-2020, cuya única excepción por lo que respecta a tiempo típicamente invernal fue el temporal “Gloria”, en el mes de enero. Este descenso acusado de las temperaturas en la segunda quincena de marzo originó que en el conjunto de la Comunidad Valenciana la media térmica fuera la cuarta más fría desde 1951 para dicho intervalo temporal. Es importante señalar que hasta antes del confinamiento las temperaturas fueron excepcionalmente elevadas para la época, lo que pudo haber influido en la menor expansión del virus en este territorio respecto a otras regiones con una menor población. Un dato relevante es que las temperaturas altas de febrero y de la primera quincena de marzo propiciaron la vida al aire libre con una actividad mayor de lo normal para la época del año. En ese período se vieron imágenes con playas repletas de gente tomando el sol o bañándose; de manera que, al no haber tanta afluencia de gente en espacios cerrados, pudo haber ayudado a que la COVID-19 no se hubiera extendido tan rápidamente en el conjunto de la provincia en relación con otras áreas del territorio peninsular. De hecho, Qian *et al.* (2020) señalan el ínfimo porcentaje de personas que se han contagiado en China al aire libre.

Respecto a los valores medios del mes de marzo, en el interior de la provincia oscilan entre los 7,5-12,5 °C, mientras que en el litoral estos valores suben hasta los 12,5-15 °C. No obstante, aunque desde el punto de vista térmico el conjunto de marzo fue “normal” en la provincia de Alicante, las anomalías de la primera quincena dejaron la temperatura media hasta 1 °C por encima del promedio en el litoral y prelitoral por la persistencia del viento de poniente, mientras que en el interior se registraron anomalías ligeramente negativas. Hay que insistir, no obstante, en el hecho de que, en la segunda quincena de marzo, cuando repuntó el frío, la población ya estaba confinada.

En definitiva, el mes de febrero y la primera quincena de marzo fueron excepcionalmente en casi todo el continente, incluyendo la provincia de Alicante, donde los registros fueron más propios del educador de la primavera que de invierno. A pesar de las anomalías tan significativas, sí que se aprecia cierta correlación entre la temperatura registrada en este período con las tasas de contagios por cada 100.000 habitantes, que ha sido en general mayor en el interior, donde la temperatura media se movió en el rango en el que algunos estudios señalan que la COVID-19 se propaga mejor. No obstante, el factor atmosférico debe complementarse con otros factores ambientales y sociales a la hora de explicar los efectos de la pandemia en la provincia.

3.2. Escasa contaminación atmosférica en la provincia de Alicante en los meses de febrero y marzo. Un dato a favor del posible menor efecto de la enfermedad

Algunos estudios realizados en Europa, China y USA señalan que se ha detectado una tasa de mortalidad mayor por la COVID-19 en aquellas regiones que presentan un mayor índice de contaminación del aire. Zhu, Xie, Huang y Cao (2020) observan asociaciones significativamente positivas de PM 2,5, PM 10, NO₂ y O₃ con casos confirmados por coronavirus. Wu, Nethery, Sabath, Braun y Dominici (2020) indican que un aumento de solo 1 µg/m³ en PM 2,5 se asocia con un aumento del 8% en la tasa de mortalidad de COVID-19. Este hecho se ha observado también en Italia, donde la mayor parte de los fallecidos se han registrado en la Lombardía, la región industrial por excelencia. Conticini, Fedriani y Caro (2020), en este sentido concluye que los altos niveles de contaminación en el Norte de Italia deben considerarse como un factor a tener en cuenta en la alta letalidad del coronavirus en esta región. En Francia las tasas han sido mayores en París y en los departamentos de la mitad septentrional o cercanos a la frontera con Alemania. Ogen (2020) en un estudio realizado en estos países concluye que la exposición a largo plazo a NO₂ puede ser uno de los contribuyentes más importantes a la mortalidad causada por el virus COVID-19 en estas regiones. Portugal puede ser otro buen ejemplo de lo señalado, ya que a pesar de que el mayor número de infectados se han producido en la zona de Lisboa, el número de fallecimientos ha sido más elevado en la región norte, en los alrededores de Oporto, un área que se caracteriza por su mala calidad del aire. Por tanto, los primeros indicios apuntan a que en mayor o menor grado existe una relación entre zonas de climas más fríos (en estos tres países las zonas con mayor mortalidad están situadas en el norte), elevada contaminación y tasa de mortalidad de la COVID-19.

En España la situación es más compleja, ya que entran los siguientes factores en juego. Las mayores cifras de mortalidad se han registrado en las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona, cuyos problemas de contaminación atmosférica son bien conocidos desde hace años, principalmente en la capital española, y sobre todo durante situaciones de calmas de invierno, en las que el aire se estanca. En el conjunto del territorio español hay otros polos industriales y ciudades o áreas urbanas de un tamaño considerable, aunque los niveles de contaminación no suelen ser excesivamente altos más allá de unos días aislados, preferentemente en invierno, cuando las altas presiones se pueden prolongar durante varias semanas, favoreciendo el estancamiento del aire y que las partículas contaminantes se vayan acumulando en zonas propias como valles u hoyas.

La provincia de Alicante, a pesar de ser una de las pobladas del país y con una densidad de población muy por encima de la media española (más de 316 habitantes/km² frente a poco más de 90 habitantes/km²), no se caracteriza por tener una elevada contaminación atmosférica. Además de su estructura económica, volcada en el sector servicios, resulta de vital importancia especialmente en la franja litoral, donde es poco habitual que el viento esté en calma durante varios días consecutivos. Por otra parte, cuando el aire se muestra menos movido suele ser en invierno y en los valles del interior, que es la zona menos habitada, sin olvidar el carácter policéntrico de la provincia con importantes núcleos urbanos en el interior, por lo que la dicotomía interior/litoral no es tan acusada como en otras provincias de la Comunidad Valenciana. Como se ha señalado, no es muy frecuente observar muchos días consecutivos sin viento. Cuando el viento del oeste (“ponientes”) no sopla, funciona el sistema de brisas, con influencia mayor en el litoral. A lo largo del año, el poniente o las brisas son el ciclo de vientos principal en la provincia, aunque entre el final del otoño y principios de primavera el poniente o las calmas adquieren mayor protagonismo, mientras que en verano las brisas suelen ser dominantes. Con la presencia casi constante de viento, el ambiente se renueva dispersando los contaminantes o partículas. Para analizar la contaminación atmosférica existente en la provincia de Alicante, se ha realizado una recopilación de datos obtenidos de los meses de febrero y marzo de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica de la Generalitat Valenciana, que cuenta con varias estaciones de control repartidas por la provincia objeto de estudio.

El primer contaminante analizado ha sido el dióxido de nitrógeno (NO₂). Se trata de un gas de tonalidad rojiza, de fuerte olor, no inflamable, muy corrosivo y tóxico, que interviene en la formación de la lluvia ácida y de la niebla fotoquímica. Tiene importantes repercusiones en la salud humana, y sus fuentes de emisión suelen ser el tráfico rodado y la producción de energía. Para valorar su presencia en el aire, se han manejado los umbrales de calidad del aire establecidos por la Generalitat Valenciana, basados en la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

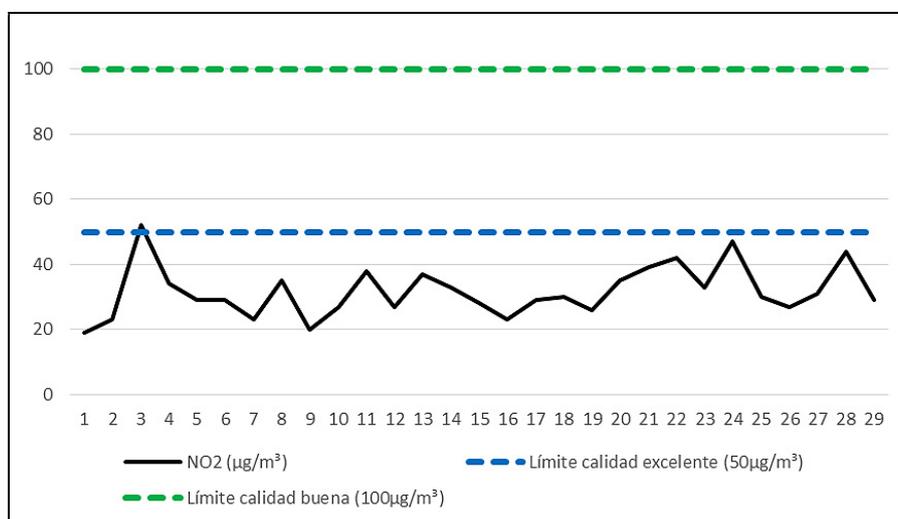
En las estaciones analizadas la calidad del aire fue excelente en lo que respecta a los niveles de NO₂ durante los meses de febrero y marzo. Sólo en la estación de El Pla (Figura 6), en la capital, se superó a principios de febrero el umbral de los 50µg/m³, que marcan el límite de una excelente calidad del aire. También se observan algunos picos bastante pronunciados en el observatorio de Elda (Figura 7). No obstante, lo significativo es que, atendiendo a este contaminante, la calidad del aire fue excelente y el índice de contaminación muy bajo. Resulta destacable el pico que se observa en mayor o en menor grado en todos los observatorios durante el inicio del estado de alarma, que puede corresponderse con un aumento del tráfico por desplazamientos a otras residencias o para el abastecimiento. La persistencia del viento de poniente pudo ayudar en gran medida a que los índices de contaminación fueran muy bajos en los principales núcleos de población de Alicante, ya que durante todo el mes de febrero y en las dos primeras semanas de marzo la disposición de los centros de acción permitía que esta situación se mantuviera durante varias semanas.

Por otra parte, se ha estudiado, también, otro indicador para medir la calidad del aire, las partículas en suspensión de menos de 2,5 micras (PM 2,5). Aunque en la mayoría de las ciudades desarrolladas se sigue registrando principalmente el indicador PM 10, según la OMS, las PM 2,5 es un mejor indicador de la contaminación urbana debido a su origen claramente antropogénico, derivado, básicamente, de las emisiones de los vehículos de combustión. Por otro lado, tiene importantes efectos en la salud humana por su gran capacidad de penetración en las vías respiratorias. Las partículas de mayor tamaño pueden tener un importante componente de tipo natural, como puede suceder en intrusiones de polvo sahariano procedentes del norte de África, muy frecuentes en la provincia de Alicante.

Las partículas PM 2,5, por su tamaño, acaban fácilmente en el interior, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Además, estas partículas están formadas por metales pesados y compuestos orgánicos. Todo ello hace que la evidencia científica esté revelando que estas partículas PM 2,5 tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes (PM 10). Por su menor peso y tamaño facilita su transporte por el viento a grandes distancias. Por este motivo, aquellas personas constantemente expuestas a estas partículas podrían desarrollar neumonías más graves en el caso de resultar infectadas por la COVID-19, por lo que la tasa de mortalidad podría ser mayor en aquellas regiones en las que la presencia de las PM 2,5 sea mayor.

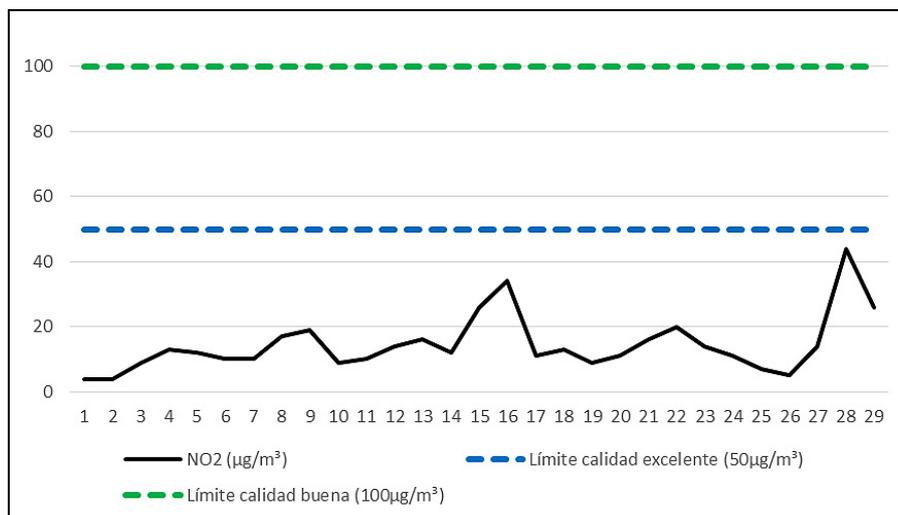
Según la Guía de protección para la salud de la OMS (2006), para valores medios anuales, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sería el nivel más bajo a partir del cual se ha detectado asociación entre efectos cardiopulmonares y mortalidad por cáncer de pulmón debido a la exposición prolongada a PM 2,5. Para niveles de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ este riesgo aumenta un 15%; mientras que para niveles de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la mortalidad prematura disminuye en un 6% (2-11%) con respecto al valor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$; y, del mismo modo, para valores de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ este riesgo disminuye en otro 6% (2-11%) respecto a los niveles de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para valores medios en 24 horas el valor guía de la OMS está situado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 6. Concentración media de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación de Alicante-El Pla. Febrero 2020



Fuente: Datos de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. Elaboración propia

Figura 7. Concentración media de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación de Elda. Febrero 2020

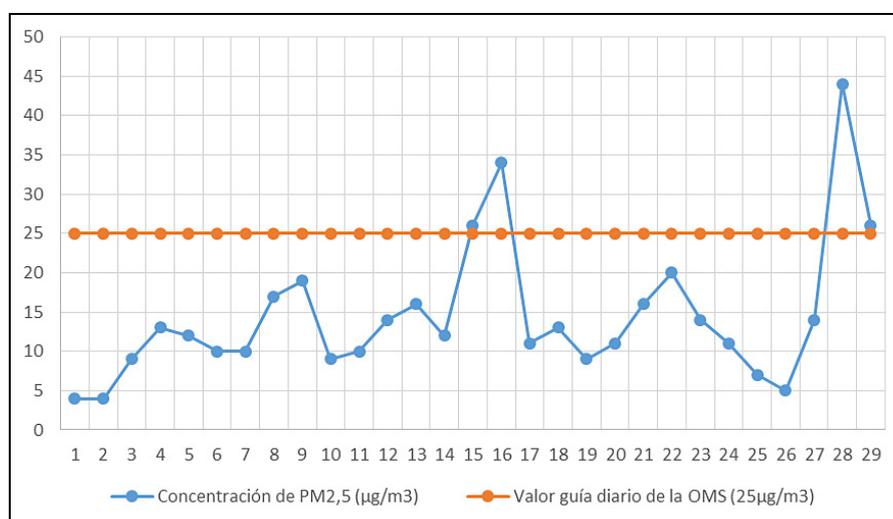


Fuente: Datos de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. Elaboración propia

Muy pocas estaciones de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica ofrecen datos de las PM 2,5, a pesar de la importancia que tienen para la salud humana, máxime si se confirman las hipótesis que afirman que una mayor contaminación se traduce en una mayor mortalidad por la COVID-19. No debería de descuidarse este aspecto, ya que cuando esta crisis sanitaria se supere, la contaminación seguirá matando prematuramente a 10.000 personas cada año en España (Instituto de Salud Carlos III, 2019), por lo que es necesario reforzar las mediciones de las PM 2,5.

De las pocas mediciones diarias disponibles de las partículas PM 2,5 en la provincia de Alicante, Torrevieja presenta los mejores índices en el mes de febrero, sin superar las medias diarias los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que señala la OMS como muy perjudiciales. Sin embargo, en la estación de la Florida, en la capital, sí que se superó ese umbral, especialmente hacia finales de mes, aunque fueron días puntuales. No obstante, lo más llamativo en este sentido son los datos que registró Elda, con un par de picos muy significativos hacia el 15 y el 28 de febrero, con concentraciones de PM 2,5 similares o incluso superiores a las de la capital, a pesar de la importante diferencia de habitantes y de vehículos entre el área metropolitana de Alicante y la conurbanización de Elda-Petrer (Figura 8).

Figura 8. Concentración de partículas PM 2,5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación de Elda en el mes de febrero



Fuente: Datos de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. Elaboración propia

En el caso de marzo, las concentraciones de PM 2,5 fueron muy bajas en Torrevieja, donde se observa un pequeño pico entorno al inicio del Estado de alarma, coincidiendo con lo observado en el análisis de con los valores de NO_2 en dicho mes. En lo que respecta a la segunda quincena, las concentraciones de las partículas PM 2,5 incluso fueron ligeramente superiores respecto a los primeros días del mes. En la estación de Alicante-La Florida/Babel, se aprecia un pico muy pronunciado hacia el día 2 de marzo, cuando se rozaron los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante las dos primeras semanas no se superaron los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero se aprecia un descenso significativo de las concentraciones a partir de la declaración del estado de alarma, muy probablemente debido a la disminución del tráfico. En Elda se aprecia de nuevo una tendencia bastante curiosa, ya que, aunque en marzo no se superaron los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se observa que los valores aumentaron durante el confinamiento.

Aunque se han analizado EMAs (Estaciones Meteorológicas Automáticas) próximas a las estaciones de calidad del aire, no se ha observado una relación muy clara entre la fuerza del viento y la concentración de contaminantes, muy probablemente porque en muy pocos casos los anemómetros cumplen los requisitos de instalación recomendados por la Organización Meteorológica Mundial. La persistencia de los ponientes en febrero y en los primeros días de marzo pudieron tener una importancia vital en mantener una muy buena calidad del aire en los observatorios analizados. Resultan llamativas en relación a su población las concentraciones registradas en Elda, que se encuentra en el fondo del valle del Vinalopó, por lo que allí el aire tiene una mayor capacidad de estancarse. En cuanto al ascenso observado de las partículas PM 2,5 en esta localidad y en Torrevieja, es posible que el origen de las emisiones fueran en su mayoría los hogares, coincidiendo además con el cambio de tiempo que se analizó en el anterior apartado.

3.3. Análisis correlativo entre factores climáticos y factores demográficos

Por encima de los aspectos atmosféricos y climáticos que pueden favorecer la supervivencia del coronavirus en el ambiente, es necesaria la presencia del vector biológico principal que transporte y transmita este patógeno, el ser humano. En la expansión del SARS-CoV-2, tanto en España, como en la provincia de Alicante, se pueden distinguir dos fases: la primera, que incluiría el período de la importación del coronavirus, esto es, la localización de las primeras afecciones de personas infectadas tenía relación con focos de contagio locales que ya habían aparecido, por ejemplo, en el Norte de Italia e Irán. Precisamente, los primeros casos confirmados de contagio en Alicante tuvieron su origen en el país europeo. En esta fase, la transmisión del virus y la tasa de contagio es baja, ya que se trata de casos puntuales que se localizan en distintas localizaciones y que puede ser, relativamente, más fácil de controlar. Sin embargo, el principal problema de este coronavirus es el hecho de que no todas las personas contagiadas generan síntomas, pero sí pueden transmitirlo. A pesar de que no hay estudios globales donde se demuestre la proporción de personas asintomáticas contagiadas por coronavirus, puesto que para ello habría que testar a toda la población, a nivel local se han realizado pruebas que han determinado que más de un tercio de las personas infectadas son asintomáticas (Lavezzo *et al.*, 2020; Gudbjartsson *et al.*, 2020). La segunda fase comprendería la aparición de un foco local de gran intensidad. A pesar de que en un primer momento se localizaron numerosos focos de contagio local, como pudo ser Haro (La Rioja) o Igualada (Barcelona), el principal núcleo de infección se localizaría en Madrid, debido, precisamente, a su densidad de población y a unas altas tasas de movilidad, que contribuirían a su rápida expansión.

Estas dos fases configuran un ciclo que puede repetirse con distintos protagonistas. En este caso la capital de España es el foco irradiador del coronavirus, tanto por personas contagiadas que viajan a otros puntos del país, como por personas que transitan hacia Madrid y vuelven a sus lugares de residencia (Mazzoli, Mateo, Hernando, Meloni y Ramasco, 2020). El Estudio Piloto de Movilidad Interprovincial, realizado por el Observatorio del Transporte y la Logística en España en 2018 (Ministerio de Fomento, Movilidad y Agenda Urbana, 2018), refleja como el número de viajeros, para una semana del mes de octubre, que viaja desde Madrid hacia otras provincias, al comienzo del fin de semana (viernes), es de 390.000 personas. De ese número a la provincia de Alicante llegan más de 9.500 personas, lo que supone cerca de 45.000 viajeros por semana. Precisamente, las provincias con un mayor tráfico de viajeros con Madrid son las que tienen unas mayores tasas de defunción y contagio, por ejemplo, Segovia. Esta nueva importación, con más intensidad que la anterior, debido a ese mayor flujo de viajeros con el foco principal, generaría núcleos de contagios locales, sobre todo, en hospitales y residencias de ancianos.

En este estudio, al tratarse de un análisis muy local, no se dispone de información de movilidad o procedencia de turistas, que serían muy útiles para obtener resultados más concluyentes. No obstante, se debe hacer referencia a datos provinciales que ayudan a una mejor interpretación del análisis realizado. La delimitación administrativa utilizada serán los departamentos sanitarios, ya que no existen —o no se ofrecen de forma sistemática— datos sobre tasa de contagio y tasa de defunciones a nivel municipal.

La tasa de contagio (número de contagios por cada 100.000 habitantes) y de defunción (número de fallecidos por cada 100.000 habitantes) obtenidas a fecha de 10 de mayo (Tabla 4), revela que las mayores tasas de contagio se han producido en la Marina Baixa, Alcoi y Elda. A priori, se podría establecer una hipótesis, apuntando al turismo como causa que explique esa tasa en el primer caso, y la climatología en el segundo. En el caso de la tasa de defunción, la relación se debe achacar a los fallecimientos producidos en las residencias de mayores. Tan solo en uno de estos centros, en la ciudad de Alcoi han fallecido más de 70 residentes, debido a esta enfermedad que tiene una alta tasa de defunción en personas de más de 65 años.

Para el análisis de la variable poblacional en este estudio se han tenido en cuenta 3 datos básicos: la densidad de población, el porcentaje de población extranjera de cada departamento y el porcentaje de población mayor de 65 años de cada una de estas áreas (Tabla 5). Como es de esperar, las mayores densidades se dan en las dos principales ciudades de la provincia, mientras que la más baja se produce en Alcoi, que abarca áreas muy poco pobladas del interior. La población extranjera se concentra sobre todo en los departamentos litorales, principalmente en Torreveija y Dènia. Estas mismas áreas sanitarias son también protagonistas en la proporción de población mayor de 65 años, indicando, que el mayor porcentaje se da en esta última, mientras que el más bajo se encuentra en Orihuela. Con todos estos datos se pueden trazar varias hipótesis, como que a pesar de su baja densidad Alcoi es el departamento más afectado, lo que apunta a un foco muy localizado, aspecto que ya se señalaba anteriormente. Por otro lado, se reflejan dos perfiles de turistas extranjeros distintos, los jóvenes y de mediana edad se localizan en el

sur de la provincia, mientras que los jubilados prefieren la Marina Alta, de ahí ese porcentaje tan alto de población de la tercera edad. Sin embargo, no se aprecia una especial afectación del coronavirus en este departamento sanitario.

Tabla 4. Tasa de defunción y tasa de contagio por cada 100.000 habitantes de cada departamento sanitario

	Tasa de defunción	Tasa de contagio
Marina Baixa	57,2	382,6
Alcoi	82,5	359,7
Elda	28	321,2
Sant Joan d'Alacant	16,2	294,9
Alacant	20,5	292,3
Torreveija	26,9	233,3
Elx	6,5	251
Dènia	11,1	129,8
Elx-Crevillent	5,1	131
Orihuela	10,7	108,8

Fuente: Conselleria de Sanitat Universal i Salut Pública. Elaboración propia

Tabla 5. Variables demográficas utilizadas para el análisis multivariable

	Densidad	%Población Extranjera	%Población +65 Años (2011)
Marina Baixa	339,45	29,96	14,6
Alcoi	86,39	8,00	26,1
Elda	181,27	8,32	11
Sant Joan d'Alacant	468,58	33,10	13,1
Alacant	819,45	11,80	16,1
Torreveija	562,26	49,61	8
Elx	632,19	16,81	13
Dènia	224,14	38,22	62,3
Elx-Crevillent	177,51	26,92	15,5
Orihuela	535,64	24,60	13

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. Elaboración propia

En el apartado climático se han manejado cuatro variables, en las cuales se han calculado los valores medios de los meses de febrero y de marzo: temperatura media, temperatura máxima, humedad relativa y radiación solar (Tabla 6). Las temperaturas siguen los criterios habituales, los valores más altos se localizan en el sur y en la costa, mientras que las temperaturas más bajas se registran en el interior. Se distingue también, como ya se ha comentado con anterioridad, esa anomalía positiva con respecto a la media que hubo principalmente en el mes de febrero. Los valores de humedad se mueven todos en el rango de un 65-70%, a excepción de Alcoi, debido a una mayor continentalidad. Por último, estaría la radiación, que no sigue un patrón específico, debido, posiblemente, a la dificultad para la medición de esta variable.

A parte de las variables demográficas y climáticas, se ha optado también por la introducción de dos factores más que pueden ayudar a una mejor correlación de los resultados. A falta de la existencia de datos de movilidad que permitieran conocer el flujo de viajeros en los días anteriores al confinamiento, se ha seleccionado la utilización de porcentaje de segundas residencias, aunque solo se tienen datos de los municipios de más de 2.000 habitantes. Esta variable resulta importante, ya que según los datos del informe CaixaBank sobre el Sector Inmobiliario en el primer semestre de 2020 (CaixaBank Research, 2020), la provincia de Alicante agrupa al 8,9% de segundas residencias de todo el país. Gran parte de esas viviendas son habitadas de forma temporal por madrileños, ya que, según dicho informe, el 22% de

estas residencias tienen como propietarios a habitantes de esta comunidad. Este hecho podría explicar porque hay una mayor tasa de contagio en las zonas litorales, que es donde se concentran la mayoría de estos domicilios, como se aprecia en la Tabla 7. También se ha considerado la introducción del número de plazas de residencias para la tercera edad, porque, como ya se ha comentado, son proclives a generar focos de contagio y de mortandad locales. Los datos han sido obtenidos a partir de la base de datos de Envejecimiento en red, actualizada a septiembre de 2015 (Envejecimiento en red, 2015). Reflejan como el departamento sanitario que más plazas oferta es Alicante, mientras que Elx-Crevillent es el que menos, puesto que solo agrupa 4 municipios.

Tabla 6. Variables climáticas utilizadas para el análisis multivariable

	Temperatura Media (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación (W/m ²)
Marina Baixa	15,6	19,1	70,0	680,2
Alcoi	12,2	17,7	54,2	509,0
Elda	13,0	18,6	66,6	780,1
Sant Joan d'Alacant	14,5	18,5	68,2	572,9
Alacant	15,0	19,8	67,3	656,8
Torreveija	16,1	19,6	71,2	720,6
Elx	15,6	20,8	66,5	723,3
Denia	15,8	19,6	67,9	660,1
Elx-Crevillent	14,6	21,2	70,7	567,0
Orihuela	15,2	21,5	67,3	659,9

Fuente: AMETSE, AVAMET y Wunderground. Elaboración propia

Tabla 7. Porcentaje de segundas residencias y plazas en residencias de la tercera edad utilizadas en el análisis multivariable

	% 2° Residencias	Plazas Residencias 3° Edad
Marina Baixa	28,36	973
Alcoi	16,73	826
Elda	18,86	729
Sant Joan d'Alacant	23,18	973
Alacant	21,06	1663
Torreveija	37,70	681
Elx	38,56	759
Denia	31,71	670
Elx-Crevillent	19,60	88
Orihuela	11,91	533

Fuente: INE y Centro Superior de Investigaciones Científicas. Elaboración propia

Con estos datos, climáticos y socio-económicos, se ha podido establecer una relación a partir del coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 8). Los datos obtenidos se situarán siempre entre 1 y -1, cuanto más cerca sea a valor de estos, mayor relación implica. La relación puede ser directa si dos variables tienen una correlación positiva, o inversa, cuando una variable es positiva y la otra negativa. En la tabla se han señalado en verde, para una mejor interpretación, las relaciones que han tenido un valor de probabilidad por debajo de 0,05, es decir, aquellas correlaciones que son estadísticamente significativas. Se aprecia una relación directa entre ambas tasas, como era de esperar, pero también una relación inversa con la media de las temperaturas máximas, es decir, a mayor temperatura, menor tasa de contagio y de mortandad y, al contrario, menor temperatura implicaría unas mayores tasas. Lo que corroboraría una de las hipótesis vertidas anteriormente, acerca de que la temperatura influiría en la transmisión. La temperatura media

también guarda una relación directa con la humedad relativa, y a su vez, con la población extranjera. El mayor coeficiente resulta de la relación entre las residencias para la tercera edad y la población total de cada departamento sanitario. Por tanto, y a partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la temperatura tiene una relación con la propagación de la COVID-19.

Tabla 8. Resultados obtenidos a partir de la correlación de Pearson (en verde las relaciones con un p-valor por debajo de 0,05)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1											
B	0,7350335	1										
C	-0,544765	-0,429991	1									
D	-0,727231	-0,775743	0,5761608	1								
E	-0,673988	-0,381322	0,7613519	0,5206949	1							
F	-0,185915	0,0426674	0,6400107	0,0406322	0,3715749	1						
G	-0,417265	-0,053155	0,5787455	0,3800438	0,3652783	0,281591	1					
H	-0,325055	0,0105726	0,3958204	0,1848143	0,4856994	0,4306074	0,3283373	1				
I	-0,292074	-0,393392	0,7168583	0,1868786	0,6291123	0,5259496	0,1021618	0,0770842	1			
J	-0,014882	-0,322466	0,0867315	-0,114164	-0,185461	0,1291334	-0,373569	-0,195526	0,168685	1		
K	0,2465865	0,5823093	0,0157455	-0,40993	-0,150893	0,045567	0,5728169	0,098048	-0,286166	-0,061539	1	
L	-0,252402	0,2314826	0,229281	-0,084317	0,3410631	0,0072477	0,6951276	0,2069812	-0,05134	-0,208082	0,800672	1

Tasa de defunción por cada 100.000 habitantes, (B) Tasa de contagio por casa 100.000 habitantes, (C) Temperatura media de febrero y marzo, (D) Temperatura máxima de febrero y marzo, (E) Humedad Relativa, (F) Porcentaje de segundas residencias, (G) Densidad de Población, (H) Radiación Solar, (I) Población extranjera, (J) Porcentaje de población mayor de 65 años, (K) Plazas de residencias y (L) Población de cara área sanitaria.

Elaboración propia

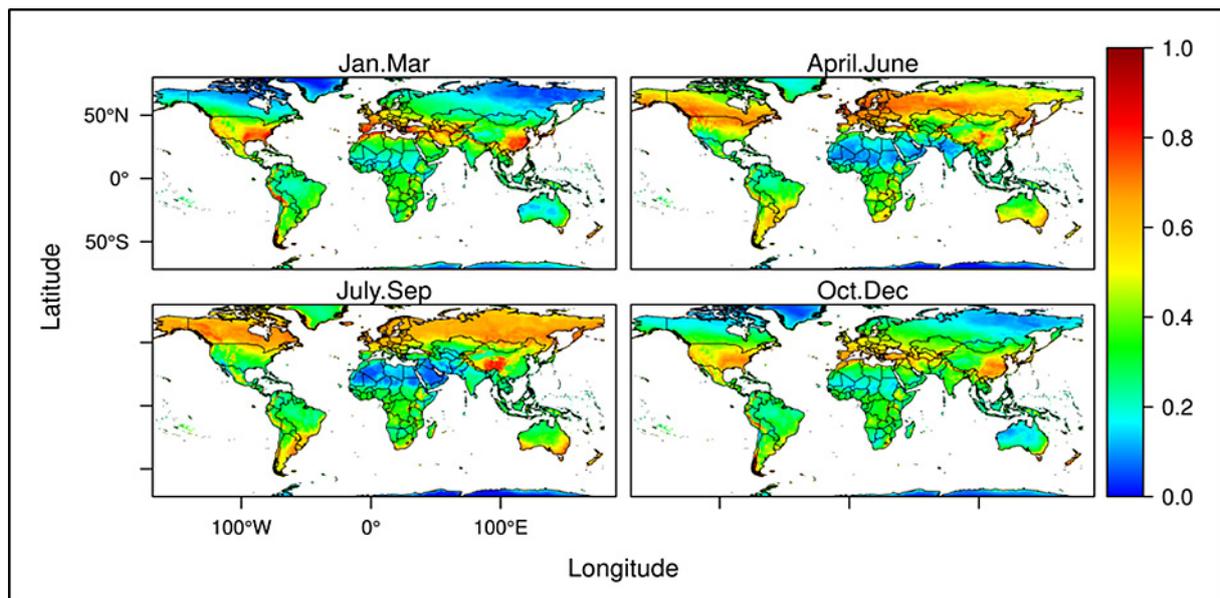
4. Discusión

Como se ha señalado, no existe aún una evidencia científica clara que relacione la transmisión del coronavirus a unas condiciones meteorológicas o unos aspectos climáticos específicos. Se cree que puede tener un comportamiento similar a otros virus de la misma naturaleza y que ante unas condiciones de alta temperatura y humedad, principalmente, podría disminuir su actividad y, por tanto, su capacidad de contagio. A ello, también contribuiría un sistema inmune más debilitado en los meses invernales, en comparación con la época estival (Foxman *et al.*, 2015).

El inicio de la pandemia tendría su origen en la provincia china de Hubei, más concretamente en su capital Wuhan, cuyo clima, según la clasificación climática de Köppen, es Subtropical húmedo o sin estación seca, de verano cálido (Cfa). El verano es la estación más lluviosa, mientras que el invierno es la más seca, con una temperatura media de 5 °C. A priori, podrían ser unas condiciones óptimas para la actividad vírica. No obstante, es necesario añadir que también en esta área geográfica hubo una ligera anomalía positiva en las temperaturas en los meses de diciembre (2019) y enero (2020). Una idea asumida por la investigación científica de esta pandemia es que el virus se originó e inició su propagación bajo unos patrones climáticos favorables en el foco inicial y en las primeras regiones afectadas. Este aspecto es importante, ya que explicaría por qué áreas más cercanas se han visto menos perjudicadas, en cuanto a contagios, que áreas tan distantes como Irán o Italia. Si la explicación a este hecho se reduce exclusivamente a criterios de movilidad global, el virus se podría haber transmitido e iniciado su propagación en cualquier parte del mundo, sobre todo en aquellas áreas donde hay un mayor tráfico de viajeros con China como, el Sudeste Asiático (el primer caso de COVID-19 fuera de China se localizó en Tailandia y la primera muerte se produjo en Filipinas, países donde la afectación del virus está siendo muy baja). La similitud climática entre Wuhan y Teherán, Madrid o Milán es notable por lo que respecta a las temperaturas de invierno, con registros de temperatura media de las mínimas muy cercanas a 0 °C (en el caso de Teherán la media es incluso negativa), mientras que la media de las máximas no sobrepasa los 10 °C. En las observaciones pluviométricas hay, sin embargo, mayor diferencia en los registros medios invernales; Milán es la ciudad que tiene una media más alta, con bastante diferencia con respecto al resto, siendo el invierno su estación más seca (al igual que Wuhan, como ya se había comentado anteriormente). En la capital iraní, al contrario, la época invernal es la más lluviosa, pero, aun así, sus registros son los más bajos de todos los ejemplos expuestos. Uno de los primeros países en sufrir los efectos del coronavirus, Corea del Sur, con mayor cercanía con el principal foco emisor, registra temperaturas y precipitaciones aún más bajas que en los anteriores casos, si bien la extensión de los contagios ha sido muy baja debido a una gestión más eficaz de la crisis sanitaria.

A pesar de que a 1 de marzo ya había casos confirmados de fallecidos y de contagio por coronavirus en Europa Occidental, Escandinavia, Rusia, Norte de África, América del Norte, Sudeste Asiático, Australia y Brasil, la velocidad de transmisión no fue la misma en todas estas áreas en las semanas posteriores de marzo y abril. Hubo áreas muy localizadas donde la influencia fue mayor, dando lugar al desarrollo de focos locales, mientras que en otras se trataban de casos importados que no tuvieron relevancia. Sin embargo, desde finales de abril y primeros días de mayo este escenario cambió completamente con un importante repunte de contagiados en áreas como Reino Unido, Rusia y Brasil. En este sentido, Araújo y Naimi (2020) señalan como precisamente estas zonas serían las más perjudicadas en los meses primaverales debido a una mayor idoneidad climática para la transmisión del virus (Figura 9).

Figura 9. Modelo de expansión del SARS-CoV-2 según la idoneidad climática calculada a partir de la temperatura media y la evapotranspiración real



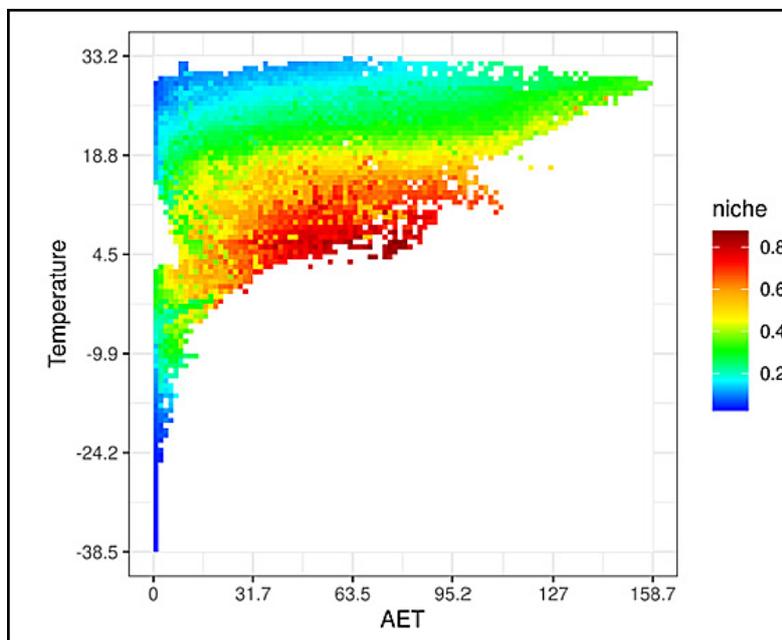
Fuente:Araújo y Naimi (2020)

A nivel local, en países como Francia, Italia y Portugal, también se aprecian estos comportamientos, con mayor incidencia en áreas septentrionales que en zonas meridionales. Probablemente, el mejor ejemplo sea Italia, donde la influencia del SARS-CoV-2 ha sido muy reducida en el sur, con condiciones climáticas más cálidas. Obviamente, no solo se debe argumentar la componente climática como única y principal causa de este hecho, ya que, también hay que tener en cuenta otros factores tan importantes como la movilidad, el tráfico de viajeros y la generación de focos locales. En la España peninsular, las provincias menos afectadas se localizan por lo general en el sur, con alguna excepción, siendo Almería la provincia con un menor número de casos.

Aunque no existe un consenso científico y los resultados son muy preliminares, parece que la actividad y presencia del virus disminuye a mayor temperatura media y humedad relativa. No obstante, según el “nicho climático” definido por Araújo y Naimi (2020) a partir de las temperaturas medias y de la evapotranspiración real, el coronavirus tiene una mayor resistencia en condiciones ambientales de calor, que en un contexto de temperaturas más bajas (Figura 10). La incertidumbre es menor en el caso de la radiación solar, ya que la presencia de la radiación ultravioleta puede ayudar a limitar la transmisión del coronavirus. Bäcker (2020) destaca la poca radiación que hubo en Wuhan en el mes de enero, y sugiere zonas con unos valores elevados de esta variable para conseguir evadir la transmisión. La radiación ultravioleta que llega al planeta lo hace en forma de rayos UV-A, UV-B y UV-C. Esta última, es la que se utiliza para la desinfección y esterilización de material quirúrgico, aunque se emite mediante lámparas, ya que esta radiación es absorbida por la capa de ozono estratosférica y no llega a la superficie terrestre. Los rayos UV-B también pueden dañar a los virus, pero son menos eficaces. Además, la cantidad de radiación que finalmente llega a la superficie es muy escasa. Por último, están los rayos UV-A que, aunque no sirven para dañar la estructura genética de los virus, sí que contribuye a que el organismo genere Vitamina D, la cual

tiene un papel muy relevante en el fortalecimiento del sistema inmune. El “Informe sobre transmisión del SARS-CoV-2 en playas y piscinas” (Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2020) resalta el importante papel que pueden tener la combinación de la temperatura de la arena, la radiación UV-B y la sal del agua del mar para desactivar el coronavirus.

Figura 10. Nicho climático del SARS-CoV-2



Fuente: Araújo y Naimi, 2020

En el caso de la provincia de Alicante, el pasado mes de febrero fue uno de los más cálidos desde que existen registros, con valores más propios de primavera. En proporción a la población, las tasas de contagio y de mortalidad han sido más elevadas en las comarcas del interior de la provincia, cuyas temperaturas entraron dentro del rango en el que el virus parece propagarse mejor (Sajadi *et al.*, 2020).

5. Conclusiones

Sigue siendo alta la incertidumbre sobre la relación entre tiempo, clima y la expansión territorial de la COVID-19. No obstante, si se tiene en cuenta lo que sucede con otros virus de afección anual (gripe), cabe esperar una menor expansión con temperaturas muy elevadas; una alta humedad en el aire también parece reducir su propagación. En los últimos meses se ha observado que en España la mayor propagación del nuevo coronavirus se ha producido en aquellas regiones cuyas temperaturas medias son más bajas en los meses de febrero y marzo, que vienen a ser principalmente zonas del interior y del norte del país, mientras que, en el sur, litoral norte y en los archipiélagos la incidencia ha sido menor. Parece probable que en mayor o menor grado las temperaturas excepcionalmente altas del período estudiado tuvieron cierta repercusión en la desigual expansión del virus. No obstante, estas temperaturas tan anómalas provocaron que la población hiciera más vida al aire libre de lo habitual para esas fechas. Este menor número de personas en espacios cerrados, donde el virus se trasmite con mayor facilidad, pudo haber influido en su evolución de los contagios en los territorios del sureste y sur peninsular, así como en ambos archipiélagos. Si bien, en ámbitos locales singulares por su actividad económica y componente demográfico, como Benidorm, tuvo más peso la movilidad y los casos importados en el resultado final de afectados. Es cierto que la movilidad por sí misma no puede explicar la menor incidencia del virus en la provincia de Alicante en relación a su elevada población y sus estrechas conexiones con Madrid y Barcelona, principales focos de la COVID-19 en España. De manera que los aspectos atmosféricos y climáticos parecen haber tenido una influencia destacada, junto a los aspectos demográficos y la movilidad en la explicación de la expansión de la pandemia en esta parte del territorio peninsular (Tabla 9). Así ha quedado de manifiesto en el informe realizado por AEMET y el Instituto de Salud Carlos III (AEMET, 2020b).

Tabla 9. Síntesis de relaciones entre aspectos atmosféricos y climáticos y contención de la afección por la COVID-19 en la provincia de Alicante

FASE	FACTOR ATMOSFÉRICO	EFFECTO PARA LA CONTENCIÓN DE LA ENFERMEDAD
PREVIA (invierno)	Temperaturas anormalmente altas de febrero y primeros días de marzo	POSITIVO. Favorece la vida al aire libre frente a los actos en lugares cerrados que tienen una mayor probabilidad de contagios
	Alta frecuencia en el soplo de vientos de poniente	POSITIVO. Movimiento del aire y limpieza atmosférica
	Bajos niveles de contaminación atmosférica	POSITIVO. Transparencia atmosférica y calidad del aire restan efectividad a los efectos del virus
	Temperaturas más frescas en las tierras del interior	NEGATIVO. Favorece la expansión del virus
CONFINAMIENTO (primavera)	Tiempos atmosféricos lluviosos y frescos	POSITIVO. Ambiente propicio para la estancia en los domicilios
DESCONFINAMIENTO (verano)	Temperatura media por encima de 25 °C (julio y agosto)	POSITIVO. Menor actividad vírica
	Soplo frecuente del sistema de brisas	POSITIVO. Movimiento del aire y limpieza atmosférica
	Frecuencia mayor de noches tropicales (>20 °C)	POSITIVO. Menor actividad vírica
	Valores mayores de radiación ultravioleta (B y C)	POSITIVO. Menor actividad vírica

Elaboración propia

Un aspecto fundamental en esta crisis sanitaria han sido los niveles de contaminación registrados; se ha detectado que en las regiones con peor calidad del aire la mortalidad de la COVID-19 es mayor, algo que ya apuntan diversos estudios realizados principalmente en Europa y en USA. La provincia de Alicante no se caracteriza por tener unos altos niveles de contaminación gracias a que el viento suele soplar a lo largo del año, dispersando las partículas contaminantes, especialmente en aquellas zonas más expuestas al sistema de brisas. Según los datos obtenidos de mediciones de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica, gracias a la persistencia del viento de poniente durante el mes de febrero y primeros días de marzo, en todos los observatorios analizados la calidad del aire fue excelente, incluso en la capital. Sin embargo, en las estaciones del interior de Alicante sí que se han observado valores similares o superiores a los del litoral, a pesar de su menor población. A partir del inicio del estado de alarma, en algunos observatorios los contaminantes cayeron a mínimos históricos. Si en un futuro se confirma esta relación entre contaminación y mortalidad de la COVID-19, es posible que los escasos niveles de contaminación del aire de la provincia condicionaran la evolución del virus y sus menores complicaciones a priori. No obstante, debe enfatizarse que el cumplimiento de las medidas personales higiénico-sanitarias y del mantenimiento de las distancias de seguridad resultan esenciales, por encima de los factores ambientales, en el control de los contagios en la vuelta a la normalidad de la vida socio-económica, especialmente en áreas urbanas y turísticas. De manera que la confianza ciega en unos valores térmicos, de humedad, de viento o de radiación solar propicios para la menor expansión de los contagios en la fase de desconfinamiento (verano) puede resultar contraproducente si no se mantiene la responsabilidad social en el cumplimiento de las medidas profilácticas, mientras no exista un remedio definitivo para erradicar la enfermedad.

El análisis correlativo entre factores climáticos y demográficos para la provincia de Alicante ha confirmado la hipótesis inicial de la influencia de las temperaturas máximas sobre el coronavirus. No obstante, es necesario destacar que, debido a la escala utilizada, a partir de departamentos sanitarios, no se ha podido obtener información sobre movilidad, aunque si se ha comprobado la estrecha relación que tiene la provincia con otros lugares que han generado focos locales muy importantes. La necesidad de disponer de datos con las tasas de contagio y de defunción por municipio habrían ayudado a obtener unos resultados más concluyentes. En este sentido, se espera seguir trabajando sobre esta línea de investigación en futuros estudios, conforme se vaya avanzando en el conocimiento de este patógeno, y se puedan detallar territorialmente más los resultados.

Agradecimientos

Este trabajo está dedicado a todos los profesionales sanitarios de la provincia de Alicante por su abnegada, constante e impagable labor durante la situación de pandemia vivida. E igualmente a los trabajadores de los servicios públicos esenciales que mantuvieron su necesaria labor en todo este período. Y a todos los profesionales de los diferentes sectores económicos que han permitido mantener el pulso vital de la sociedad alicantina en un momento, sin duda, histórico.

Referencias

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2020a). *Avance Climatológico de Febrero de 2020 en la Comunidad Valenciana*. Recuperado de http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/cca/comunitat-valenciana/avance_climat_val_feb_2020.pdf
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2020b). *Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación de la enfermedad COVID-19 y del virus SARS-CoV-2 en España* [Comunicado de prensa]. Recuperado de http://www.aemet.es/es/noticias/2020/04/Covid_variablesmeteorologicas_abril2020
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (s.d.). *AEMET OpenData*. Recuperado de <https://opendata.aemet.es/>
- Araújo, M. B., & Naimi, B. (2020). Spread of SARS-CoV-2 Coronavirus likely to be constrained by climate. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>
- Asociación Meteorológica del Sureste (AMETSE). (s.d.). *RedMeteoSE*. Recuperado de <http://redmeteo.ametse.es/>
- Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET). (s.d.). *MeteoXarxa*. Recuperado de <https://www.avamet.org/mx-meteorarxa.php>
- Ahmadi, M., Sharifi, A., Dorosti, S., Ghouschi, S. J., & Ghanbari, N. (2020). Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran. *Science of The Total Environment*, 729, 138705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138705>
- Bäcker, A. (2020). Follow the Sun: Slower COVID-19 Morbidity and Mortality Growth at Higher Irradiances. *SSRN*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3567587>
- Bashir, M. F., Ma, B. J., Bilal, Komal, B., Bashir, M. A., Farooq, T. H., ..., & Bashir, M. (2020a). Correlation between environmental pollution indicators and COVID-19 pandemic: A brief study in Californian context. *Environmental research*, 187, 109652, in press. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109652>
- Bashir, M. F., Ma, B., Bilal, Komal, B., Bashir, M. A., Tan, D., & Bashir, M. (2020b). Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *The Science of the total environment*, 728, 138835, in press. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
- Bukhari, Q., & Jameel, Y. (2020). Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer?. *SSRN*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3556998>
- Caspi, G., Shalit, U., Kristensen, S.L., Aronson, D., Caspi, L., Rossenberg, O., ..., & Caspi, O. (2020). Climate effect on COVID-19 spread rate: an online surveillance tool. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.26.20044727>
- Castilla, J., Guevara, M., García Cenoz, M., Reina, G., Martínez Artola, V., Zamora, ..., & Salcedo, E. (2011). Diferencias entre las ondas gripales de verano y de otoño durante la pandemia de gripe (H1N1) 2009 en Navarra. *Revista Española de Salud Pública*, 85, 47-56. Recuperado de <https://www.scielosp.org/article/resp/2011.v85n1/47-56/>
- CaixaBank Research (2020). *Las segundas residencias en España: ¿mar o montaña? Informe sectorial inmobiliario. Primer semestre 2020*. Recuperado de <https://www.caixabankresearch.com/sites/default/files/documents/informesectorial-inmobiliario-1s2020-esp.pdf>
- Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2020). *Informe sobre la transmisión del SARS-CoV-2 en playas y piscinas*. Recuperado de https://www.csic.es/sites/default/files/informe_playasy piscinas_csic.pdf

- Chan, K., Peiris, J., Lam, S., Poon, L., Yuen, K., & Seto, W. (2011). The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Advances in virology*, 11(1), 734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>
- Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*, 261, 114465. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>
- Envejecimiento en red. (2015). *Residencias en Alicante/Alacant. Datos actualizados en septiembre de 2015*. Recuperado de <http://envejecimiento.csic.es/documentos/recursos/residencias/alicante.xlsx>
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECWMF). (2020a). Surface air temperature for February 2020. Recuperado de <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-february-2020>
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECWMF). (2020b). *Climate Data Store - Monthly climate explorer for COVID-19*. Recuperado de <https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-c3s-monthly-climate-covid-19-explorer>
- Fernández de Arróyabe Hernández, P. (2004). La variación temporal y espacial de la tasa de gripe en España y su relación con diferentes parámetros atmosféricos durante el período 1997-2002. En J.C. García Codron, C. Diego Liaño, P. Fernández de Arróyabe Hernández, C. Garmendia Pedraja y D. Rasilla Álvarez (Eds.), *El clima entre el mar y la montaña* (pp. 629-639). Santander: Asociación Española de Climatología. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9069>
- Ficetola, G.F., & Rubolini, D. (2020). Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
- Foxman, E. F., Storer, J. A., Fitzgerald, M. E., Wasik, B. R., Hou, L., Zhao, H., ..., & Iwasaki, A. (2015). Temperature-dependent innate defense against the common cold virus limits viral replication at warm temperature in mouse airway cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(3), 827-832. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411030112>
- Gudbjartsson, D. E., Helgason, A., Jonsson, H., Magnusson, O. T., Melsted, P., Norddahl, G. L., ..., & Stefansson, K. (2020). Spread of SARS-CoV-2 in the Icelandic Population. *New England Journal of Medicine*, 1-14. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2006100>
- Gutiérrez-Hernández, O., & García, L.V. (2020). ¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Investigaciones Geográficas*, in press. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GHVG>
- Instituto de Salud Carlos III. (2019). *La contaminación del aire, protagonista del Día Mundial del Medio Ambiente: muertes prematuras evitables* [Comunicado de prensa]. Recuperado de https://repisalud.isciii.es/bitstream/20.500.12105/7937/1/2019_06_04_LaContaminaci%c3%b3nDelAire.pdf
- Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). (s.d.). *RiegosIVIA*. Recuperado de <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>
- Lavezzo, E., Franchin, E., Ciavarella, C., Cuomo-Dannenburg, G., Barzon, L., Sciero, M., ..., & Alessandra, R. (2020). Suppression of COVID-19 outbreak in the municipality of Vo, Italy. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.17.20053157>
- León-Gómez, I., Delgado-Sanz, C., Jiménez-Jorge, S., Flores, V., Simón, F., Gómez-Barroso, D., ..., & de Mateo Ontañón, S. (2015). Exceso de mortalidad relacionado con la gripe en España en el invierno de 2012. *Gaceta Sanitaria*, 29(4), 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2015.01.011>
- Lin, K., Fong, D. Y. T., Zhu, B., & Karlberg, J. (2005). Environmental factors on the SARS epidemic: air temperature, passage of time and multiplicative effect of hospital infection. *Epidemiology & Infection*, 134(2), 223-230. <https://doi.org/10.1017/S0950268805005054>
- Lowen, A. C., Mubareka, S. Steel, J., & Palese, P. (2007). Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog*, 3(10), e151. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030151>
- Luo, W., Majumder, M., Liu, D. Poirier, C., Mandl, K.D., Lipsitch, M., & Santillana, M. (2020). The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467>

- Mazzoli, M., Mateo, D., Hernando, A., Meloni, S., & Ramasco, J.J. (2020). Effects of mobility and multi-seeding on the propagation of the COVID-19 in Spain. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.05.09.20096339>
- Ministerio de Fomento, Movilidad y Agenda Urbana. (2018). *Observatorio de Transporte y la Logística de España. Estudio Piloto de Movilidad Interprovincial*. Recuperado de <https://observatoriotransporte.mitma.es/estudio-experimental>
- Ogen, Y. (2020). Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Science of the Total Environment*, 726, 138605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen evaluación de riesgos*. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=695A37D2DD8EC724346349C3E72D5416?sequence=1
- Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2020). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053058>
- Sajadi, M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., & Amoroso, A. (2020). Temperature, Humidity and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3550308>
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., & Munster, V. J. (2013). Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Eurosurveillance*, 18(38), 20590. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., & Lv, W. (2020a). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
- Wang, M., Jiang, A., Gong, L., Luo, L., Guo, W., Li, C., ..., & Li, H. (2020b). Temperature significant change COVID-19 Transmission in 429 cities. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.22.20025791>
- Wu, X., Nethery, R.C., Sabath, B.M., Braun, D. & Dominici, F. (2020). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>
- Weather Underground (Wunderground). (s.d.) *WunderMap*. Recuperado de <https://www.wunderground.com/wundermap>
- Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *The Science of the total environment*, 727, 138704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>

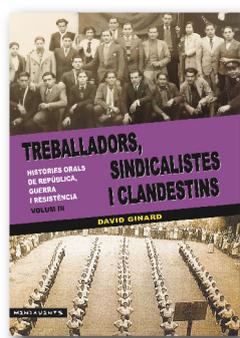
RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

Cita bibliográfica: Roig-Munar, F.X. (2020). Reseña de *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals de República, guerra i resistència. Volum III*. *Investigaciones Geográficas*, (73), 301-303. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.RM1>

Reseña de *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals de República, guerra i resistència. Volum III*

Review of *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals de República, guerra i resistència. Volum III*

Francesc Xavier Roig-Munar¹



Autor: Ginard i Féron, D.

Título: *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals de República, guerra i resistència. Volum III*

Año: 2018

Ciudad: Palma de Mallorca, Islas Baleares

Editorial: Edicions Documenta Balear

Páginas: 424 pp.

ISBN: 978-84-17113-33-9

La últimas obras del historiador David Ginard, *Treballadors, sindicalistes i clandestins* (Ginard, 2012, 2014), y la que presentamos en esta reseña, presentan el testimonio oral transcrito literalmente de antiguos activistas de izquierdas que vivieron el período histórico de 1930-1950 en las Islas Baleares, previo al proceso de turistificación del archipiélago. La bibliografía balear sobre temática obrera era bastante limitada, sobre todo la relativa a los períodos 1931-36 y 1939-48, con lagunas sobre los mecanismos represivos complementarios y sobre el activismo izquierdista balear en la zona republicana, en la clandestinidad anti franquista y en el exilio posterior a 1939. Por lo que hacía necesario el uso de fuentes orales para substituir las escasas fuentes de archivo, ya que mientras el período franquista hacia su discutible transición democrática tuvo lugar un masivo expurgo de documentación generada por el movimiento obrero y los organismos represivos de la dictadura. Por otra parte un gran volumen de los fondos salvados de su destrucción estaban pendientes de ordenación y catalogación. La situación de la prensa, durante los años de la República, Guerra y posguerra, era ligeramente mejor como fuente, pero en el caso de

Mallorca el valor informativo era poco relevante más allá de 1936. De aquí que el autor optase por la fórmula de otorgar preferencia a las entrevistas que fueron por el enmarcadas en una investigación sobre el mundo trabajador en el archipiélago balear con combinación de fuentes bibliográficas, archivísticas, hemerográficas y orales. Estas entrevistas incluyen un amplio abanico temático referido a la Segunda República, la Guerra Civil, el exilio y la resistencia, la educación en el período republicano, la conflictividad social del 1936, el desembarco republicano en Mallorca, los batallones de trabajadores y los campos de concentración. También se trata el activismo político y cultural de la posguerra, la vida cotidiana de las familias de los vencidos, que refleja la economía del momento. Finalmente, se extraen unas conclusiones sobre una quincena de cuestiones clave respecto a la categorización de la historia social y política del obrerismo balear en el período objeto de estudio. Dada la amplitud del material recogido, la edición de las entrevistas, de las que 15 son a mujeres, se planteó finalmente en tres volúmenes, los dos primeros ya publicados en 2012 y 2014.

1 Dr. en Geografía y Dr. en Geología, consultor ambiental, investigador independiente. xiscoroig@gmail.com

Su primer volumen (Ginard, 2012) reunió un conjunto de 40 entrevistas con activistas políticos y sociales que vivieron el proceso histórico comprendido entre la proclamación de la Segunda República y los primeros años de la dictadura franquista. De las conversaciones, grabadas entre 1989 y 1992 bajo el prisma de la experiencia vivencial, sale a la luz múltiples informaciones inéditas, en torno a cuestiones como la articulación de las diferentes culturas militantes del movimiento obrero balear, las condiciones de vida de los trabajadores, la violencia política durante la Segunda República, las actuaciones ante el golpe de Estado de 1936, la vida cotidiana en las cárceles y campos de concentración, y la resistencia antifranquista de posguerra. En el segundo volumen (Ginard, 2014) trabajo sobre testimonios orales sobre la Segunda República, la Guerra Civil y el primer período del franquismo, con 36 entrevistas registradas entre mediados de los años ochenta y principios de los noventa. En las conversaciones se abordan numerosas cuestiones a menudo escondidas de la historia obrera y republicana del periodo 1930-1950, como fue la vida en los campos de concentración de las Baleares, la participación de isleños en los frentes de combate, el movimiento libertario, los refugiados en la zona republicana, la emigración política y económica, la represión contra las mujeres y las redes y lugares de contrabando de la posguerra y su permisividad por parte de algunos sectores del poder militar.

En la tercera entrega Ginard (2018) transcribe 44 entrevistas de antiguos militantes y simpatizantes de las organizaciones obreras de las que actuaron en torno al período histórico 1930-1950. De estos últimos entrevistados la práctica totalidad eran antiguos militantes de base, a pesar que se contactó con activistas de izquierdas que habían ejercido posiciones de liderazgo político y sindical durante la República y la Guerra civil, hecho que contribuyó a reforzar el enfoque de historia social desde los miembros de su organización, alejándose de la historia política partiendo de la fuente del militante de base, y muchas veces no participativo en las decisiones, ya que se permite tener una visión de base de las decisiones tomadas. Las cuestiones tratadas incluyen un amplio abanico alusivo al período de República, a la guerra, al exilio y a la resistencia pasiva y activa, mencionando a modo de ejemplo los avances de la educación en el periodo republicano, la conflictividad social durante la primavera de 1936, el desembarco republicano en el puerto de Portocristo (costa Este de Mallorca), los bombardeos gubernamentales y franquistas, la represión contra los masones y los esperantistas, los batallones de trabajadores y los campos de con-

centración o prisioneros en acuartelamientos militares, la actuación de las juventudes socialistas y libertarias en la Menorca republicana, el exilio de la población hacia Francia, Argentina, Venezuela y Argelia, el activismo político y cultural y sindical de la posguerra (Aroca, 2018), y la vida cotidiana de las familias de los vencidos.

Aunque el marco geográfico preferente en las entrevistas publicadas en los tres volúmenes son las Islas Baleares, algunos entrevistados permiten incorporar materiales referidos a la actuación política en la Península o en el extranjero de personajes históricos vinculados puntualmente al archipiélago. También hay espacio para la transcripción de los recuerdos de algún testigo que aporta información sobre la represión política contra el movimiento obrero desde la óptica del bando vencedor. De todas las entrevistas realizadas y tratadas el autor establece unas conclusiones globales donde se plantean cuestiones que se consideran claves respecto a la categorización de la historia social y política del obrerismo balear en el período estudiado. Entre las de su tercera obra, que sintetizan las dos restantes, destaca entre los entrevistados un cierto predominio conservador, las motivaciones de adhesión al movimiento obrero, la valoración de la experiencia republicana, los recuerdos del golpe de estado de julio de 1936, la represión y el exilio. Mediante esta historia oral se puede reconstruir una geografía de la izquierda en las Islas Baleares, asociado a pueblos de las cuatro islas y algunos barrios de la capital, que aun hoy siguen esta tendencia de izquierdas, a pesar de la fuerte inmigración que sufre Baleares. Destaca de las fuentes de encuestas empleadas la presencia de colectivos de trabajadores peninsulares, profesionales liberales, maestros y trabajadores cualificados, a menudo catalanes y valencianos, hecho que reforzaba el uso del catalán como lengua vehicular, pero también aparece el fenómeno inverso, la vuelta de los emigrantes que aportaron ideas políticas y sociales avanzadas.

El libro supone una aportación en el campo del conocimiento geográfico regional, como es la Geografía social e incluso la Geografía de la población. El libro también evidencia las diferencias sociales pero en la cuestión nacional se detecta un contraste entre una baja politización del hecho diferencial y una hegemonía del catalán como lengua comúnmente utilizada. Destaca en las narraciones la represión, el miedo y la muerte que provocó el levantamiento de julio de 1936, donde las autoridades de la "España imperial" imponían penas terribles, donde se narran casos de crueldad hacia el ciudadano y casos de sacrificio y altruismo hacia

los demás. Ante toda esta información recopilada en los tres volúmenes no cabe el juicio, ya que se trata de fuentes orales poco contrastables con la información, que fue destruida, pero sí puede ser valorada una época oscura que sirve para volver a refrescar los hechos de un reciente pasado, con presencia de testimonios vivos aún, donde el 18 de julio de 1936 supuso un importante retroceso en todos los ámbitos.

Referencias

- Aroca, M. (2018). *Sindicatos y turismo de masas en las Baleares. Del franquismo a la democracia*. Palma de Mallorca: Edicions Documenta Balear.
- Ginard, D. (2012). *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals del moviment obrer a les balears (1930-1950)*. Palma de Mallorca: Edicions Documenta Balear.
- Ginard, D. (2014). *Treballadors, sindicalistes i clandestins. Històries orals del moviment obrer (1930-1950)*. Palma de Mallorca: Edicions Documenta Balear Documenta Balear.

Cita bibliográfica: Roig-Munar, FX. (2020). Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino: homenaxe a Augusto Pérez Alberti. *Investigaciones Geográficas*, (73), 305-306. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.RM2>

Reseña de *Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino: homenaxe a Augusto Pérez Alberti*

Review of *Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino: homenaxe a Augusto Pérez Alberti*

Francesc Xavier Roig-Munar¹



Editores: Blanco Chao, R., Castillo Rodríguez, F., Costa Cascais, M., Horacio García, J. y Valcárcel Díaz, M.

Título: *Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino: homenaxe a Augusto Pérez Alberti*

Año: 2018

Ciudad: Santiago de Compostela

Editorial: Universidade de Santiago de Compostela. Servizo de Publicacións e Intercambio Científico

Páginas: 570 pp.

ISBN: 978-84-16954-96-4

Al final de la trayectoria académica son muchos que pasan desapercibidos, y son muchos los que dejan un escaso legado, tanto científico como divulgativo. No es el caso del Dr. Augusto Pérez Alberti, catedrático de Geografía de la Universidade de Santiago de Compostela, al que tuve la oportunidad de conocer en las I Jornadas de Geomorfología litoral celebradas en 2000 en Cádiz, organizadas por la Sociedad Española de Geomorfología y de la Sociedad Geológica de España, así como tenerlo de tribunal en mis tesis doctorales, y seguir en constante contacto con él. Augusto ha sido, y aun es, como le gusta decir, investigador activo. Es un científico reconocido, versátil, observador, crítico, meticuloso e impulsor del análisis crítico del paisaje gallego. Durante sus más de 40 años dedicados a la geomorfología, en todos sus aspectos, se ha convertido en un referente estatal en temas de geomorfología litoral, especialmente en costas rocosas. Fruto de su jubilación como profesor, y no como investigador, el Dr. Ramón Chao, profesor de la Univ. De Santiago, ha reunido a más de cincuenta colegas para crear el libro *Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas, catro décadas de investigación e ensino homenaxe a Augusto Pérez Alberti*, que recoge las principales disciplinas y líneas de investi-

gación a través de las cuales, a lo largo de su larga y dilatada carrera, Augusto ha trabajado. Como son la geomorfología, con especial atención a la geomorfología costera, la geomorfología glaciar y periglacial, la hidrología, el estudio del paisaje, el paleoambiente y la planificación territorial, sin menospreciar su gran actividad como divulgador.

El libro incorpora las aportaciones de artículos, estudios, proyectos e iniciativas llevadas a cabo dentro de la línea y trayectoria investigadora tratada por Augusto, donde se recopilan 25 artículos relacionados. Estos han sido realizados por autores estatales y extranjeros, todos ellos expertos y con vinculación directa con el homenajeado, aunque seguramente, y debido a su dilatada trayectoria no están todos los que deberían estar. Las lenguas utilizadas en los trabajos son el gallego, el portugués, el castellano y el inglés.

En el libro podemos encontrar diferentes temáticas, todas ellas con un eje común, la geografía física y el paisaje, así como las aportaciones de Augusto a la geomorfología. Como grandes bloques en el libro podemos leer diferentes trabajos sobre medios litorales arenosos, como es el análisis de la progradación de un sistema playa-duna en la costa gallega, y un trabajo sobre depósitos litora-

1 Dr. en Geografía y Dr. en Geología, consultor ambiental, investigador independiente. xiscoroig@gmail.com

les cuaternarios en el litoral gallego. Podemos leer también un trabajo sobre modificaciones ambientales estuarias en la costa asturiana. Se presenta un trabajo sobre la interacción de costas arenosas con acantilados excavados en rocas blandas en el litoral gaditano. A nivel más genérico podemos leer una interesante reflexión sobre la importancia de las morfologías dunares en la estabilización costera, aportando varios ejemplos estatales. Destaca el trabajo realizado sobre el medio litoral de las islas Cíes, analizando la dinámica del nitrógeno y la aportación de este relacionado con los excrementos en los suelos ocupados por una colonia de gaviotas patiamarillas. La costa rocosa también queda representada en el trabajo de Alan Trenhaile, gran colaborador de Augusto, con un trabajo de evaluación crítica de del estado actual y dirección futura en los estudios de costa rocosa. Así mismo destacamos el trabajo sobre la costa rocosa de Cerdeña, analizando acantilados en la costa E de la isla.

Los trabajos de paisaje tienen su importante papel en el libro, como es el trabajo sobre la evolución del paisaje en la sierra de Ancares, o el interesante trabajo sobre el valor de los bocetos en el proceso de transformación paisajística, en el caso del Ebro a su paso por Zaragoza.

El libro acoge buenos ejemplos de trabajos sobre periglaciario, en referencia a la dilatada experiencia del homenajeado sobre este tema. Encontramos trabajos de retroceso glaciar en el Antártida, y una revisión y síntesis de las aportaciones del clima frío en diversos territorios del estado. Dentro del campo fluvial podemos leer ejemplos de trabajos sobre conos aluviales en Argentina o una detallada radiografía geomorfológica de dos ríos de Galicia. Dentro de esta misma línea podemos consultar el trabajo sobre cartografía subterránea en Porto (Portugal), y un inédito trabajo sobre las paleoalteraciones en depósitos torrenciales en Galicia. Dentro del campo del periglaciario destaca el trabajo sobre la revisión y síntesis de las aportaciones sobre procesos de clima frío extremo NE peninsular de la cordillera Bética, donde los autores hacen referencia a las morfologías de Aitana, que llamaron la atención al autor homenajeado. Destacamos el trabajo sobre legado de la glaciación en la serra do Xistral, NW de Iberia, realizado por Valcarcel y Sampedro-Guimerey, donde se habla de los trabajos pioneros de Pérez-Alberti que permitieron mostrar la relevancia de las huellas glaciares en el relieve, y siguiendo su trayectoria iniciada en una etapa de su carrera académica centrada en el periglaciario.

Cabe destacar de los trabajos del libro aquellos que hacen referencia específica al estudio, aporte

y/o reflexiones realizadas por Augusto, y donde los autores recogen tanto sus experiencias compartidas como su aportación académica. El trabajo *O Norte de Portugal revisitado*, publica, 20 años después, y actualizado, las reflexiones realizadas por la autora del trabajo con las aportaciones que realizó Augusto en la década de los 90 en un viaje a la denominada "Galizia do Sul". El trabajo *Diálogos sobre el paisaje y reflexiones para la ordenación litoral* recoge una entrevista realizada por Borobio y Castillo a Pérez-Alberti, con las reflexiones asociadas a las preguntas realizadas, ordenadas y de forma sistemática, donde la geografía física, la ordenación territorial y el paisaje son los grandes ejes, especialmente la relación de la geografía física aplicada a través de su obra científica y divulgativa. El trabajo-entrevista concluye en uno de los hechos olvidados actualmente en la planificación y gestión territorial; el alcance global de las acciones dentro del sistema debido a la complejidad que lo sustenta como territorio, con su base gravitacional en la geografía física y la importancia de su gestión. Los autores recogen como síntesis un decálogo de 10 principios sobre ordenación territorial, fruto de la entrevista, entre los que destaca la construcción y difusión del conocimiento, tan despreciado actualmente entre los investigadores debido a unos criterios de evaluación que penalizan su relación con la sociedad y promocionan la publicación de sus investigaciones en grandes revistas que no llegan a la población. La geografía física y la ordenación del territorio en la obra del profesor Pérez Alberti son tratados por Pérez-Chacón, donde se reflexiona sobre las aportaciones a la geografía física en la ordenación del territorio, considerando sus estudios territoriales en el ámbito territorial de Galicia, haciendo hincapié en el análisis de la pasión demostrada por del paisaje gallego, con una visión física como base del paisaje.

La publicación incorpora numerosas aportaciones bibliográficas, documentales y gráficas directas e indirectas de Pérez-Alberti, así como un relato de su dilatada aportación científica y divulgativa, en las que ha participado y ha tenido un papel destacado. El libro constituye en parte una obra del homenajeado para comprender el papel jugado en los temas tratados y especialmente el papel de la geografía física en la transformación territorial y paisajística, así como sus potencialidades para el futuro. Es de agradecer la labor de los coordinadores del libro, ya que han sabido recopilar 25 trabajos directamente relacionados con Pérez-Alberti, que contribuyen a recoger parte de los trabajos asociados a su amplia obra y tratados por los autores que han participado en el libro.

Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. 03690 - San Vicente del Raspeig - Alicante (España)

Tel.: (34) 965903400 Ext. 3380 - Fax: (34) 965909485

Correo electrónico: investigacionesgeograficas@ua.es

Sitio web: www.investigacionesgeograficas.com