



Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes



Excmo. Ayuntamiento de Orihuela



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Riesgo de inundación en España:
análisis y soluciones para la generación
de territorios resilientes

Editores:

M^a Inmaculada López Ortiz
Joaquín Melgarejo Moreno

© los autores, 2020
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-091-4

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

Coordinado por:

Patricia Fernández Aracil

ÍNDICE

PRESENTACIÓN: DE LAS ROGATIVAS A LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA , <i>M^a Inmaculada López Ortiz y Joaquín Melgarejo Moreno</i>	13
PRÓLOGO: CONVIVIR CON LA INUNDACIÓN , <i>Jorge Olcina Cantos</i>	21
BLOQUE I. FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	25
EFICACIA DE LAS MEDIDAS MULTI-ESCALA PARA REDUCIR EL POTENCIAL EROSIVO Y LOS ARRASTRES DE SEDIMENTOS EN CUENCAS SEMI-ÁRIDAS , <i>Luis G. Castillo Elsitdié, Juan T. García Bermejo, Juan Manuel García-Guerrero, José María Carrillo Sánchez, Francisco Javier Pérez De La Cruz</i>	27
PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA. ANÁLISIS, SISTEMAS DE PREDICCIÓN Y PERSPECTIVAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO , <i>Jorge Tamayo Carmona, José Ángel Núñez Mora</i>	49
LIMITACIONES AL USO DEL SUELO EN ZONAS INUNDABLES: LEGISLACIÓN DE AGUAS, URBANÍSTICA Y DE PROTECCIÓN CIVIL , <i>Ángel Menéndez Rexach</i> ...	63
FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALERTA ANTE INUNDACIONES , <i>Gregorio Pascual Santamaría</i>	83
REVISIÓN DE LOS EVENTOS MÁXIMOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL DOMINIO CLIMÁTICO DE LA MARINA ALTA Y LA MARINA BAJA (ALICANTE) , <i>Javier Valdés Abellán, Mauricio Úbeda Müller</i>	109
INUNDACIONES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDITERRÁNEO , <i>María del Carmen Llasat Botija</i>	127
DANA 2019 Y ASPECTOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN Y TRATAMIENTO DEL RIESGO ASOCIADO A INUNDACIONES , <i>Luis Altarejos García, Juan T. García Bermejo, José María Carrillo Sánchez, Juan Manuel</i>	143
IMPLANTACIÓN DEL SERVICIO SMART RIVER BASINS EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA , <i>Álvaro Rogríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Xavier Llord, Simón José Pulido Leboeuf, Manuel Argamasilla Ruiz</i>	167
METEOROLOGÍA DE LAS INUNDACIONES MEDITERRÁNEAS , <i>Agustí Jansà Clar</i>	185
IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE PREDICCIÓN Y ALERTA DE INUNDACIONES EN GALICIA , <i>Jerónimo Puertas Agudo</i>	207
PLATAFORMAS DE ALERTA TEMPRANA Y DE GESTIÓN DE AVENIDAS. VISIÓN DESDE LA ADMINISTRACIÓN LOCAL , <i>Miguel Fernández Mejuto</i>	225
EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN RAMBLAS Y BARRANCOS MEDITERRÁNEOS , <i>Ana M^a Camarasa-Belmonte</i>	239
ESTADO DE IMPLANTACIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN (P.G.R.I.) EN ESPAÑA , <i>Mónica Aparicio Martín, Juan Francisco Arrazola Herreros, Francisco J. Sánchez Martínez</i>	257
INUNDABILIDAD Y PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA: HACIA EL ACLOPLAMIENTO DE LA CIUDAD A LA MATRIZ BIOFÍSICA DEL	

TERRITORIO , <i>Pedro Górgolas Martín</i>	281
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LOS AZARBES DEL BAJO SEGURA Y EL BAIX VINALOPÓ TRAS LAS INUNDACIONES DE SEPTIEMBRE DE 2019 , <i>Gema Marco Dos Santos, Ignacio Meléndez Pastor, María Belén Almendro Candel, José Navarro Pedreño, Ignacio Gómez Lucas</i>	305
DELIMITACIÓN DE ZONAS INUNDABLES: EVOLUCIÓN LEGISLATIVA Y RÉGIMEN VIGENTE , <i>Ángel Menéndez Rexach</i>	315
PARTICULARIDADES DE LA PERIURBANIZACIÓN EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO COMO CONDICIONANTE DEL RIESGO DE INUNDABILIDAD , <i>Antonio Gallegos Reina</i>	325
LA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD COMO BASE DE LOS PLANES DE EMERGENCIA: ANÁLISIS-DIAGNÓSTICO DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE DAYA VIEJA (ALICANTE) , <i>Antonio Oliva Cañizares, Alejandro Sainz-Pardo Trujillo y Esther Sánchez Almodóvar</i>	333
VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO TERRITORIAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA, PROVINCIA DEL AZUAY (ECUADOR) , <i>Johnny Mena Iza, Yessenia Alquina Herrera, Teresa Palacios Cabrera</i>	347
PREDICCIÓN DE INUNDACIONES A PARTIR DE TORMENTAS DE DISEÑO Y CAMBIOS EN EL TERRITORIO EN CINCO CUENCAS HIDROLÓGICAS (SE ESPAÑA) , <i>Antonio Jódar Abellán, Javier Valdés Abellán, Concepción Pla, Miguel Ángel Pardo Picazo, Pedro Jiménez Guerrero, Daniel Prats</i>	357
ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA EN EL TRAMO TORO-ZAMORA: POSIBLE INCIDENCIA DE LA SINUOSIDAD DEL RÍO DUERO EN LA LAMINACIÓN DE LAS PUNTAS DE CRECIDA , <i>José Fernando Muñoz Guayanay, Carolina Guardiola Albert y Andrés Díez Herrero</i>	367
EFFECTOS DE LA DANA DE SEPTIEMBRE DE 2019 SOBRE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS Y LAS AGUAS EN LA ZONA DE CARRIZALES (ELCHE-ALICANTE) , <i>José Miguel de Paz, Alberto Lamberti, Fernando Visconti</i>	377
PREVENCIÓN FRENTE A PRESENCIA DE TRIHALOMETANOS EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DURANTE INUNDACIONES , <i>Arturo Albaladejo Ruiz, María Yolanda Pérez Bragado</i>	389
ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU IMPACTO EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL EMBALSE DE GUADALEST , <i>Teresa Palacios Cabrera, Javier Valdés Abellán, Antonio Jódar Abellán, Rafael Alulema</i> .	399
RECIENTES EPISODIOS DE LLUVIAS E INUNDACIONES EN LA DEPRESIÓN PRELITORAL MURCIANA , <i>Encarnación Gil-Meseguer, Miguel Borja Bernabé-Crespo, José María Gómez-Espín</i>	409
RECIENTES EPISODIOS DE LLUVIAS E INUNDACIONES EN EL LITORAL DE LA REGIÓN DE MURCIA , <i>Miguel Borja Bernabé-Crespo, Encarnación Gil- Meseguer, José María Gómez-Espín</i>	419
SISTEMA DE ALERTA ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE MURCIA , <i>Pedro Daniel Martíenz Solano, Lorena Martínez Chenoll, Dorota Nowicz</i>	431
CONFLICTOS ENTRE DESARROLLO URBANO E INUNDABILIDAD EN LA AGLOMERACIÓN URBANA DE GRANADA , <i>Alejandro L. Grindlay Moreno, F. Emilio, Molero Melgarejo, Jorge Hernández Marín</i>	441

VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL SEGURA DURANTE 1951-2018, Amar-Halifa-Marín, Miguel Ángel Torres Vázquez, Juan Sndrés García-Valero, Antonio Jesús Castillo Cascales, Juan Esteban Palenzuela Cruz.....	451
LOS BARRANCOS DE LA SIERRA DE ORIHUELA EN LAS INUNDACIONES DEL BAJO SEGURA: EL CASO DE LA RAMBLA DE BONANZA, Estela García Botella, Antonio Prieto Cerdán, Juan Antonio Marco Molina, Pablo Giménez Font, Ascensión Padilla Blanco	465
INUNDACIÓN POR TSUNAMIS. SIMULACIONES NUMÉRICAS A MUY ALTA RESOLUCIÓN, Carlos Sánchez Linares, Alejandro González del Pino, Jorge Macías Sánchez	477
LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS ÁMBITOS URBANOS. UN ELEMENTO A TENER EN CUENTA PARA LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO, Luis Miguel García Lozano	489
BLOQUE II. MEDIDAS DE MITIGACIÓN E INFRAESTRUCTURAS	499
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: PROPUESTAS, Jorge Olcina Cantos	501
EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA: RETOS FUTUROS, Teodoro Estrela Monreal.....	517
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁREAS URBANAS: DE RIESGO A RECURSO, María Hernández Hernández, David Sauri Pujol, Álvaro-Francisco Morote Seguido	531
CRECIDAS, INUNDACIONES Y RESILIENCIA: RESTAURACIÓN FLUVIAL CONTRA LOS FALSOS MITOS, Alfredo Ollero Ojeda	549
EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS PARA AUMENTAR LA RESILIENCIA URBANA FRENTE A INUNDACIONES, M^a Elena García de Consuegra Priego	569
ESTADO DE RIESGO DE LA VEGA BAJA DEL RÍO SEGURA FRENTE A INUNDACIONES. NECESIDAD DE REALIZAR UN PLAN DE INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS, José Vicente Benadero García-Morato, Pedro Ignacio Muguruza Oxinaga, Jordi Marín Abdilla	591
INCREMENTO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO Y POSIBLE NO ESTACIONARIEDAD DE FENÓMENOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS RELATIVOS A CRECIDAS E INUNDACIONES, Francisco Cabezas Calvo-Rubio	611
EL EFECTO LAMINADOR DE LOS EMBALSES DURANTE LAS AVENIDAS, Luis Garrote de Marcos, Paola Bianucci	629
LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES DE DISTINTOS ORGANISMOS MULTILATERALES Y SU REPERCUSIÓN SOBRE EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES, Ignacio Escuder Bueno	647
LA ADAPTACIÓN COMO HERRAMIENTA CLAVE PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN, Francisco Javier Sánchez Martínez, Mónica Aparicio Martín, Juan Francisco Arrazola Herreros	659
ESTUDIO DE IMPACTO DE TSUNAMIS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS, Miguel Llorente Isidro, Marta Fernández-Hernández, Alejandro González del Pino, Julián García-Mayordomo, Juan Vicente Cantavella Nadal, Jorge Macías Sánchez, Juan-Tomás Vázquez, Carlos Sánchez Linares, Carlos Paredes Bartolomé, Ricardo León Buendía	684

ENFOQUE PROBABILÍSTICO PARA LA SEGURIDAD HIDROLÓGICA DE INFRAESTRUCTURAS, <i>Alvaro Sordo-Ward, Iván Gabriel-Martín, Luis Garrote de Marcos</i>	701
CONSIDERACIONES SOBRE LA PELIGROSIDAD EN ZONAS URBANAS FRENTE A NUNDACIONES MEDIANTE SIMULACIONES A PARTIR DE MODELOS 2D, <i>José María Carrillo Sánchez, Luis G. Castillo Elsitdié, Juan T. García Bermejo, Juan Manuel García-Guerrero, Luis Altarejos García, Francisco Javier Pérez De La Cruz</i>	723
LA GESTIÓN EXTRAORDINARIA DE GRANDES INFRAESTRUCTURAS DURANTE LA DANA DE SEPTIEMBRE DE 2019: EL AZUD DE OJÓS, <i>Carlos Marco Ayala</i>	743
NUEVOS USOS EN EL NUEVO CAUCE DEL TURIA COMPATIBLES CON SU DEFENSA DE VALENCIA FRENTE A INUNDACIONES, <i>Francisco J. Vallés-Morán, Beatriz Nacher Rodríguez</i>	759
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. TIPOS Y OBJETIVOS, <i>Héctor Fernández Rodríguez, Arturo Trapote Jaume, Miguel Fernández Mejuto</i>	773
INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN EL DISEÑO DE COLECTORES Y EN EL RIESGO DE INUNDACIÓN, <i>Arturo Trapote Jaume</i>	787
RESEARCH ON URBAN WATERLOGGING IN CHINA, <i>Yang Yang</i>	797
GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, <i>José Alberto Redondo Orts, M. Inmaculada López Ortiz</i>	805
EL PROBLEMA DE LA ESCORRENTÍA PLUVIAL EN EL NÚCLEO URBANO DE ASPE (ALICANTE), <i>Esther Sánchez Almodóvar, Javier Martí Talavera</i>	817
AS OBRAS DE PREVENÇÃO DE INUNDAÇÕES NO MARCO DA ECONOMIA CIRCULAR, <i>Felipe da Silva Claudino</i>	829
DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA HIDROLÓGICA. DESARROLLO DE UN MODELO METODOLÓGICO PARA LA GESTIÓN RESILIENTE DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS URBANAS, <i>Ramón Egea Pérez, Francisco José Navarro González</i>	841
EFFECTO SOBRE LAS INUNDACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA RAMBLA DEL ALBUJÓN, <i>Adrián López Ballesteros, Javier Senent Aparicio, Julio Pérez Sánchez, Patricia Jimeno Sáez</i>	855
METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN DE REDES DE DRENAJE MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL HIDRÁULICO, <i>Leonardo Bayas-Jiménez, F. Javier Martínez-Solano, Pedro L. Iglesias-Rey</i>	863
SOSTENIBILIDAD COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES: UNA BREVE REFLEXIÓN, <i>Francine Cansi, Paulo Márcio Cruz, Liton Lannes Pilau Sobrinho</i>	873
LA RAMBLA DE ABANILLA-BENFERRI COMO PARADIGMA PARA EL ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO TRADICIONAL RELATIVO AL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE AVENIDA, <i>Juan Antonio Marco Molina, Pablo Giménez Font, Ascensión Padilla Blanco, Estela García Botella, Antonio Prieto Cerdán</i>	881

LA RECUPERACIÓN DE COSTES Y LA FINANCIACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE DAÑOS DE INUNDACIONES, Marcos García-López, Borja Montaña, Joaquín Melgarejo	897
SISTEMA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS Y ELEMENTOS FLOTANTES PROCEDENTES DE ALIVIOS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE ALICANTE, Luis Gabino Cutillas Lozano, Miguel Rodríguez Mateos	907
SOLUCIONES A LAS INUNDACIONES DE LA CALA DE FINESTRAT, Miguel Angel Pérez Pascual, Pablo Alemany Sánchez	917
BLOQUE III. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, AMBIENTAL Y JURÍDICA	931
PLANIFICACIÓN SECTORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: AVANCES EN LA ESTRATEGIA DE INTEGRACIÓN TÉCNICO-JURÍDICA, Asensio Navarro Ortega	933
SEGURO DE INUNDACIÓN EN ESPAÑA: EL SEGURO DE RIESGOS EXTRAORDINARIOS, Francisco Espejo Gil	957
LA COMUNICACIÓN, UN PILAR FUNDAMENTAL EN LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES, Fermín Crespo Rodríguez	973
VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN A LAS INUNDACIONES EN ESPACIOS TURÍSTICOS DEL LITORAL MEDITERRÁNEO, Anna Ribas Palom	983
LA RESPONSABILIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN EN SUPUESTOS DE DAÑOS ORIGINADOS POR INUNDACIONES: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO, Jesús Conde Antequera	1001
EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE POR INUNDACIÓN, Antonio Aledo, Pablo Aznar-Crespo, Guadalupe Ortiz	1023
LA NUEVA ESTRATEGIA DEL DERECHO EN LA REGULACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIONES, José Esteve Pardo	1041
METODOLOGÍA Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE COSTE BENEFICIO PARA OBRAS ESTRUCTURALES EN LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN (P.G.R.I.), Francisco J. Sánchez Martínez, Juan Antonio Hernando Cobeña, Mónica Aparicio Martín, Silvia Cordero Rubio, Miguel Aldea Pozas, Elena Martínez Bravo	1049
ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN SOCIAL PARA LA GESTIÓN Y COMUNICACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES, Juan Antonio García Martín, María Amérigo Cuervo-Arango, José María Bodoque del Pozo, Andrés Díez-Herrero, Raquel Pérez-López, Fernando Talayero Sebastián	1069
¿ES LA NORMATIVA ESPAÑOLA UNA HERRAMIENTA ADECUADA PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES?, Jesús Garrido Manrique	1087
EL FORO FUERZA VEGA BAJA: NECESIDADES Y POSIBILIDADES DE FINANCIACIÓN, Armando Ortuño Padilla, Santiago Folgueral Moreno, Fabio Amorós Fructuoso	1107
METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES, Alberto del Villar García	1129
LA FORMACIÓN Y PERCEPCIÓN SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN. UNA EXPLORACIÓN A PARTIR DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES DEL FUTURO PROFESORADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA, Álvaro-Francisco Morote,	

<i>María Hernández</i>	1143
EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO Y LA EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN , <i>Patricia Fernández Aracil</i>	1153
ECONOMIA CIRCULAR: A REUTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS NO SETOR URBANÍSTICO COMO BENEFÍCIO DO TURISMO NACIONAL , <i>Joline Picinin Cervi</i>	1163
LECCIONES DEL ETNOCONOCIMIENTO INDÍGENA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES SÚBITAS. EL CASO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA NASA (CAUCA-COLOMBIA) , <i>Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur, Sandra Ricart Casadevall</i>	1171
ENSAYO SOBRE LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA AMENAZA: INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO JUQUERI, SÃO PAULO – BRASIL , <i>Rodolfo Baesso Moura, Fernando Rocha Nogueira, Rafael Costa e Silva, Samia Nascimento Sulaiman, Lucas Rangel Eduardo Silva, João Henrique José Vieira</i>	1181
PROGRAMA DE EDUCACIÓN INFANTIL EN EL RIESGO DE INUNDACIONES ‘VENERO CLARO-AGUA’ (ÁVILA) , <i>Andrés Díez Herrero, Mario Hernández Ruiz, Pablo Díez Marcelo, Carlos Carrera Torres</i>	1191
MEJORA DE LA PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO INFANTIL SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIONES: PROGRAMA ‘VENERO CLARO-AGUA’ (ÁVILA) , <i>Mario Hernández Ruiz, Miguel García-Pozuelo Ben, Andrés Díez Herrero, Carlos Carrera Torres</i>	1201
PRIMERA APROXIMACIÓN AL REGISTRO DE AVENIDAS E INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA , <i>Andrés Díez Herrero</i>	1211
MANIFESTACIONES CULTURALES POPULARES EN TORNO A LAS AVENIDAS E INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA , <i>Andrés Díez Herrero</i>	1221
MEDIDAS Y ACCIONES PREVENTIVAS CONTRA INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL SEGURA: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICO-JURÍDICA , <i>Francisco José Abellán Contreras</i>	1231
LAS NARRATIVAS DE LOS PLANES GUBERNAMENTALES COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA IMPOSICIÓN DE UN NUEVO CICLO DE EXPLORACIÓN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA: EL CASO DE LAS HIDROELÉCTRICAS EN BRASIL , <i>Pedro Abib Hecktheuer, Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza</i>	1241
ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE DAÑOS POTENCIALES SOBRE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE POR INUNDACIONES EN EL TRAMO TORO-ZAMORA , <i>Lei Dai, Manuel Romana García, Andrés Díez Herrero</i>	1257
EL GÉNERO COMO FACTOR DE FORMULACIÓN PARA LA CREACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTALES , <i>Marcus Alexsander Dexheimer, Mably Rosalina Fernandes</i>	1267
CARTOGRAFÍA DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y PLANIFICACIÓN. PROPUESTAS PARA BRASIL DESDE LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA , <i>Andrés Molina Giménez, Ximena Cardozo Ferreira</i>	1275
EVALUACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LA DIMENSIÓN SOCIAL Y LA PARTICIPACIÓN PÚBLICA EN LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN: ¿CAMBIO O CONTINUIDAD PARADIGMÁTICA? , <i>Ángela Olcina-Sala, Guadalupe Ortiz, Pablo Aznar-Crespo</i>	1283

RESPONSABILIDAD ADMINISTRATIVA DE LOS ENTES LOCALES POR FALTA DE MANTENIMIENTO O INDADECUACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SANEAMIENTO Y ALCANTARILLADO, <i>Belén Burgos Garrido</i>	1293
DE LA ROGATIVA POR EL AGUA A LA INTERVENCIÓN PREVENTIVA POR INUNDACIÓN. LA HUELLA DEL DERECHO EN LA FACHADA MEDITERRÁNEA PENINSULAR (I), <i>M^a Magdalena Martínez Almira</i>	1305
PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS SOBRE INUNDACIONES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL: ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA <i>WEB OF SCIENCE</i>, <i>Andrés Díez Herrero, Julio Garrote Revilla</i>	1321

DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA HIDROLÓGICA. DESARROLLO DE UN MODELO METODOLÓGICO PARA LA GESTIÓN RESILIENTE DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS URBANAS

Ramón Egea Pérez

Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A., EMUASA, España

Francisco José Navarro González

Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Alicante, España

RESUMEN

La caracterización de la amenaza hidrológica y los factores que intervienen en la potenciación de sus efectos adversos requiere de un análisis holístico y relacional en un marco zonal compatible con una definición vinculada a la tipología de infraestructura crítica a analizar desde el punto de vista de la gestión de riesgos. Los parámetros críticos y los factores de amenaza hidrológica se vinculan y ponderan en base a un estudio previo de las variables meteorológicas, hidrológicas, geomorfológicas y geológicas representativas de la zona de estudio, con posible afectación potencial de la infraestructura específica. La vinculación de la amenaza hidrológica microzonal, y la tipología y caracterización (física y operativa) de la infraestructura genera un modelo de comportamiento de esta que permite obtener el nivel riesgo específico de cada infraestructura.

Se desarrolla un proceso secuencial de análisis matemático obteniendo diferentes niveles de valores, estructurados en intervalos siguiendo diferentes funciones matemáticas características, y que mediante algoritmos definen los valores de cálculo de los factores de amenaza obteniendo a través de la formulación propuesta en la metodología, la amenaza hidrológica final a nivel microzonal.

1. INTRODUCCIÓN

La definición y caracterización de la amenaza hidrológica, A_H resulta esencial para el cálculo del riesgo hidrológico, R_H caracterizado por la susceptibilidad, S_H y la capacidad de respuesta o resiliencia de la infraestructura hidráulica de análisis, en un marco integral donde las dependencias de los diferentes indicadores que definen dichas infraestructuras hidráulicas se ven influenciados en mayor o menor grado, por los factores críticos y otros factores complementarios de la amenaza hidrológica.

Dada la variabilidad climática, sobre todo en zonas semiáridas como es el Sureste de España, resulta fundamental, analizar los factores que inciden en el potencial de la amenaza hidrológica previsible, permitiendo así establecer los valores de los parámetros críticos que la definen para una zona específica. Es por ello por lo que, para la seguridad de las infraestructuras críticas y su gestión sostenible, una metodología de análisis y cálculo como la propuesta en esta investigación resulta del todo adecuada y necesaria. En esta investigación, se desarrolla el proceso metodológico que caracteriza la amenaza hidrológica, A_H , la cual se define como la intensidad esperada que puede provocar daño ante una eventual exposición, condicionada por los factores específicos de la zona. Esta potencial amenaza define zonas con distintos valores esperados de afectación, se mide en

unidades críticas [UC_H]. En general cualquier tipo de amenaza se caracteriza por un parámetro crítico, P_{ph} , definido por intervalos de valores correlacionados según magnitud, frecuencia y grado de afectación a la infraestructura específica, en este caso la hidráulica (caracterización física y operativa).

$$A_H[UC_H] = P_{ph}[UC_H] \cdot \prod_{n=1}^{N(h)} F_{phn}, \text{ cálculo} \quad (1)$$

Siendo, $AH_0[UC_k]: \Leftrightarrow P_{ph}[UC_H]$

La Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, en el ámbito del desarrollo aplicativo del modelo metodológico de gestión de las infraestructuras hidráulicas urbanas para hacer frente a las amenazas naturales específicas (A_k), en este caso las hidrológicas (A_H), así como las geológicas (A_G), está avanzando en la definición de un modelo metodológico que permite la caracterización integral de los parámetros críticos y los factores de amenaza, en este caso, la hidrológica en cada zona geográfica, vinculados a la tipología y a las características físicas y operativas de la infraestructura específica.

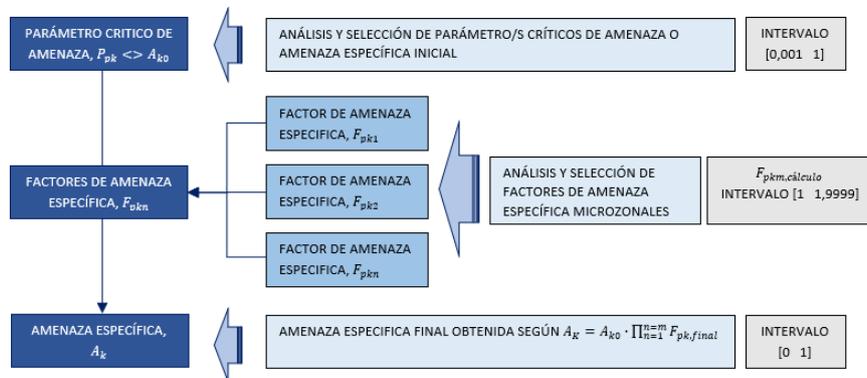


Figura 34. Diagrama de flujo del desarrollo analítico de la amenaza específica, (A_k). Aplicación a las infraestructuras hidráulicas urbanas. Fuente: elaboración propia.

La integración del modelo matemático de análisis de la amenaza hidrológica que se está desarrollando y vinculado con la metodología de análisis de riesgo de las infraestructuras hidráulicas propuesta, Egea (2018) “*Investigación sobre modelos de gestión de infraestructuras hidráulicas urbanas resilientes en relación con los riesgos hidrológicos y geológicos*”, permite definir la capacidad de respuesta (resiliencia) de la infraestructura hidráulica urbana a partir de un enfoque holístico, y en un entorno de cambio climático.

El desarrollo de la amenaza específica, A_k y su definición analítica se realiza a nivel microzonal y según las características físicas y operativas de la infraestructura específica.

El planteamiento de análisis para cualquier tipo de amenaza, k , sería el que se describe a continuación considerando los valores máximos iniciales de cada uno de los factores de amenaza, así como su valor conjunto obtenido como el producto de los valores de los factores de amenaza de cálculo considerados se ha estimado que toma valores dentro del intervalo de variación entre ≥ 1 y < 2 . A partir de estos límites aplicados a la ecuación (1), se obtiene una condición para el valor del parámetro crítico de amenaza específica P_{pk} o el valor inicial A_{k0} , representativo de dicha amenaza específica:

$$P_{pk}: \Leftrightarrow A_{k0} > 50\% A_k \quad (2)$$

Además, se establece la condición de que el valor del producto de factores de amenaza de cálculo $\prod F_{pk,n,cálculo}$ representa $< 0,50 \cdot A_{k0}$:

$$\prod F_{pk,n,cálculo,máx.} = \frac{1}{P_{pk,máx.}} < 50\% A_{k0,máx.} \quad (3)$$

Por otro lado, dado que $\prod F_{pk,n,cálculo} \leq \prod F_{pk,n,máx.cálculo} = (F_{pk,n,máx.cálculo})^3 < 2$, los valores máximos de los factores de amenaza y sus porcentajes respecto al parámetro crítico de amenaza vienen dados por:

$$F_{pk,n,máx.cálculo} \leq 1,2599 \quad (4)$$

Dado que, $\prod F_{pk,n,cálculo} = (1,2599)^3 < 2$, desarrollando la expresión de la amenaza, A_k , se obtienen los intervalos y valores máximos, como se muestra a continuación.

$$A_k = A_{k0} \cdot \prod_{n=1}^{n=m} F_{pk,cálculo} \leq 1 \quad (5)$$

Pues el intervalo de valores de la amenaza A_k es $[0 \ 1]$. El producto de factores de amenaza representativos del parámetro crítico de amenaza, P_{pk} , puede expresarse también como la suma del parámetro crítico de amenaza y un porcentaje de esta, respecto al parámetro crítico de amenaza, ΔA_{k0} , es decir,

$$A_k = A_{k0} + \Delta A_{k0} \quad (6)$$

Pasando a denominarse el parámetro crítico, P_{pk} , como A_{k0} , tal y como se ha descrito inicialmente por lo que $P_{pk} = A_{k0}$ y que deberá cumplir la condición indicada $\Delta A_{k0} < 0,50 \cdot A_{k0}$.

La implantación esta metodología en desarrollo resulta esencial, para la gestión de las infraestructuras críticas hidráulicas urbanas, adaptando las mismas a las exigencias del nuevo marco normativo, que prevé mayor protección de estas, al tiempo que persigue su adaptación al cambio climático y sus efectos anómalos, en particular, en regiones semiáridas como es el caso de la ciudad de Murcia, como se describe en Egea (2018).

2. OBJETIVOS

A continuación, se resumen los objetivos principales propuestos:

- Propuesta metodológica para el análisis y obtención de la amenaza hidrológica en infraestructuras críticas y servicios esenciales.
 - Desarrollo analítico de los parámetros críticos y de los factores de amenaza hidrológica y su aplicación al análisis de riesgos.
1. Definición, e implantación de la metodología propuesta en la caracterización de indicadores de resiliencia de las infraestructuras hidráulicas.
 2. Establecimiento de un modelo analítico para la caracterización de la amenaza hidrológica a nivel microzonal y vinculado a la caracterización física y operativa de las infraestructuras críticas, y aplicación específicas a las infraestructuras hidráulicas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Estado del arte

Existen diversas técnicas o metodologías de análisis del riesgo de inundación, que proponen indicadores para la determinación de los parámetros representativos de la amenaza hidrológica y la vulnerabilidad de las infraestructuras y del territorio. Tal es el caso de la metodología utilizada por FEMA-HAZUS (2012) para la determinación del riesgo de inundación, o PATRICOVA (2015), una metodología de prevención del Riesgo de Inundación de la Comunidad Valenciana, que incorpora los postulados de Directiva Europea de prevención del riesgo de inundación EU (Directiva 2007/60/C), incide en la evaluación de daños potenciales en la infraestructura mediante variables hidráulicas (calado y velocidad). Barbat y Cardona (2003), Cardona (2004, 2006), Cardona et al. (2004) y

Carreño (2005) plantean el análisis del riesgo mediante indicadores, aunque en la determinación de la amenaza específica no se contempla la integración de los diversos factores de amenaza en el parámetro crítico. (diferenciación microzonal).

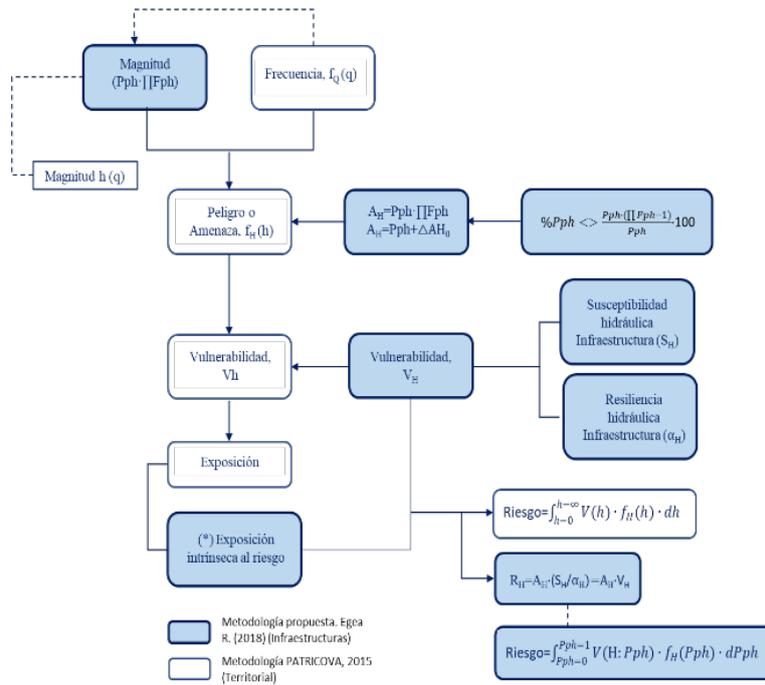


Figura 2. Análisis comparativo de la secuencia de análisis de riesgo hidrológico según la metodología de análisis PATRICOVA (2015) y la metodología propuesta Egea (2018). Fuente: elaboración propia.

3.2. Metodología propuesta

La amenaza hidrológica, y los factores de amenaza que completan con su influencia en la potenciación del parámetro crítico que define a aquella, se vinculan de manera holística generando escenarios potenciales específicos para cada área o microzona representativa donde se localiza la infraestructura a analizar.

Los factores que intervienen en la potenciación de sus efectos requieren de un análisis holístico y relacional en un marco zonal compatible con una definición vinculada a la tipología de infraestructura crítica a analizar desde el punto de vista de la gestión de riesgos. Los parámetros críticos y los factores de amenaza hidrológica se vinculan y ponderan en base a un estudio previo de las variables meteorológicas, hidrológicas, geomorfológicas y geológicas representativas de la zona de estudio, con posible afectación potencial de la infraestructura específica.

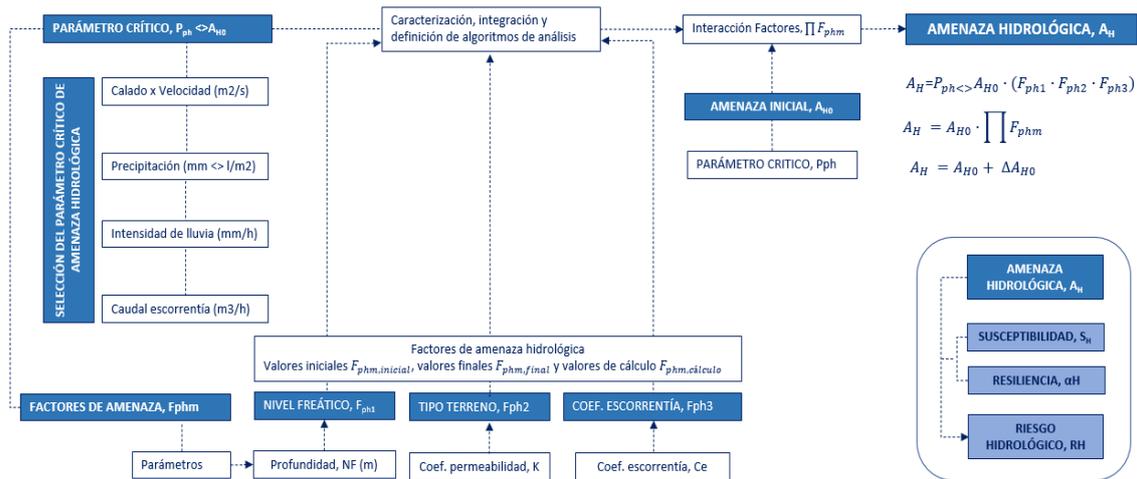


Figura 3. Esquema conceptual del desarrollo de la metodología de análisis de la amenaza hidrológica, A_H . Fuente: elaboración propia.

La infraestructura, además del parámetro crítico y los factores de amenaza seleccionados, vendrá definida por su grado de vulnerabilidad. La amenaza hidrológica (A_h), se define como la intensidad esperada que puede provocar daño ante una eventual exposición, condicionada por los factores específicos de la zona. Esta potencial amenaza define zonas con distintos valores de afectación esperados, se mide en unidades críticas [Uc_h] propias de la amenaza determinada por un parámetro crítico y factores de amenaza o peligro, como se ha introducido en la ecuación (1).

$$A_H[Uc_H] = Pp_h[Uc_H] \cdot \prod_{n=1}^{N(h)} Fp_{hn}, \text{ cálculo} = Pp_h[Uc_H] \cdot (Fp_{h1} \cdot Fp_{h2} \cdot Fp_{h3}) \quad (7)$$

La ecuación (7) presenta los factores de amenaza (Fp_{kn}), la amenaza k, y el producto de los $N(k)$ factores de amenaza (Fp_{kg}), los cuales pueden acentuar o atenuar la incidencia del parámetro crítico. La ecuación (8) representa el riesgo específico para una amenaza k y una tipología i de infraestructura.

$$R_{ki} [Daño] = A_k[Uc_k] \cdot V_{ki} [Daño \cdot Uc_k^{-1}] \quad (8)$$

Siendo, V_{ki} la vulnerabilidad de la infraestructura ante la amenaza hidrológica, y R_{ki} el riesgo hidrológico de dicha infraestructura, i. (Egea, 2018).

3.3. Desarrollo metodológico

Es a partir de la definición de la amenaza específica, en base al parámetro/s crítico/s de dicha amenaza y de los factores de amenaza microzonales o locales que se inicia el desarrollo de la metodología de análisis de amenaza hidrológica descrita.

- **Factor/es críticos de amenaza, P_{pkn}**

Seleccionado el/los factores/es críticos de amenaza, P_{pk} y en base a la conversión de los parámetros críticos de amenaza (unidades específicas de amenaza) se obtiene el índice, o valor representativo en tanto por uno, según se defina.

- **Factores de amenaza, F_{pkn}**

Los valores propuestos que caracterizan cada uno de los factores de amenaza según amenaza específica, se obtienen en base a las diversas investigaciones relacionadas y considerando un modelo de evolución, donde los valores de los intervalos dados a cada factor de amenaza siguen una evolución logarítmica según la formulación propuesta, y en base a diversas investigaciones analizadas en el área de los riesgos naturales, FEMA, (2012); RISK-UE, (2004); CARDONA, O., HURTADO, E.J.,

DUQUE, G., MORENO, A., CHARDON, A., y VELÁSQUEZ, S. (2004); otras, así como en episodios catastróficos de origen natural ocurridos.

$$F_{pkn1} = 1 + (F_{pkn0} / \sum_{n=1}^{n=m} F_{pk}) \quad (9)$$

$$F_{pkn2} = \text{Ln}(F_{pkn1} / F_{pkn,min,inicial}) \cdot (F_{pkn1} / F_{pkn,min,inicial}) \quad (10)$$

El valor de cálculo del factor de amenaza, $F_{pkn,cálculo}$ se define como $F_{pkn,cálculo} = F_{pkn2}$, y el producto de los factores de amenaza de cálculo, $\prod_{n=1}^{n=m} F_{pkn,cálculo}$ que corrigen el parámetro crítico de amenaza, P_{pkn} o amenaza inicial, A_{k0} , y se podría descomponer como:

$$F_{pk1,cálculo} \cdot F_{pk2,cálculo} \cdot F_{pk3,cálculo} \cdot \dots \dots \dots F_{pkn,cálculo} = \prod F_{pk,n,cálculo} \quad (11)$$

• **Amenaza, A_k**

Como se ha indicado, la amenaza caracterizada por el parámetro crítico de amenaza, P_{pk} corregida por los factores de amenaza microzonales o localizados es igual a:

$$A_k = A_{k0} \cdot \prod F_{pk,n,cálculo} \quad (12)$$

Los valores iniciales de los factores de amenaza variarán entre un valor mínimo de 1 y un valor máximo de 1,99, y el valor de la amenaza inicial A_{k0} , variará entre 0 y 1. El valor final resultante del producto de la amenaza inicial A_{k0} , y del producto de los factores de amenaza $\prod F_{pk,n,cálculo}$ varía entre 0,001 y 1, ya que $0 < A_{k0} \leq 1$, y para evitar indeterminaciones y minimizar el error, ϵ , se fija dicho valor mínimo umbral en 0,001 ($A_{kmin.}$). El umbral máximo del producto de los factores de amenaza de cálculo $\prod F_{pk,n,cálculo} < 2$ y el valor máximo de cada uno de los factores de cálculo de amenaza $F_{pk,n,cálculo} < 1,26$, según la ponderación inicial realizada. Siendo el valor umbral mínimo de la amenaza inicial o lo que es lo mismo, el parámetro crítico de amenaza de $A_{k0min.} : \Leftrightarrow P_{pk} > 0,50 \cdot A_k$, como se establece en la ecuación (2).

Por otra parte, a partir de la condición $\prod F_{pk,n,cálculo} < 2$ y la ecuación (2) se puede demostrar que la cota superior para el incremento de amenaza inicial es $\Delta A_{k0} < 0,50 \cdot A_k$, ya que, el valor conjunto de los factores de amenaza o su porcentaje respecto al valor de la amenaza, no podrá superar el valor del parámetro crítico de amenaza, pues el parámetro crítico vendría a caracterizar a dicha amenaza, y por lo tanto debe tener un mayor peso en la definición de la amenaza, complementado dicho valor por los demás factores de amenaza.

En el caso de la amenaza hidrológica, y dada la ponderación establecida de valores de los factores de amenaza, el valor máximo del parámetro crítico de amenaza hidrológica, P_{ph} , corresponde a 0,8133 o lo que es lo mismo al 81,33% del valor de la amenaza hidrológica, A_H , siempre y cuando el valor de los factores sea máximo (0,1867), incrementándose el valor del parámetro crítico, P_{ph} con la disminución de los factores de amenaza, $F_{phn,cálculo}$ hasta alcanzar un valor 1 de la A_H , tal y como se muestra en la Figura 4.

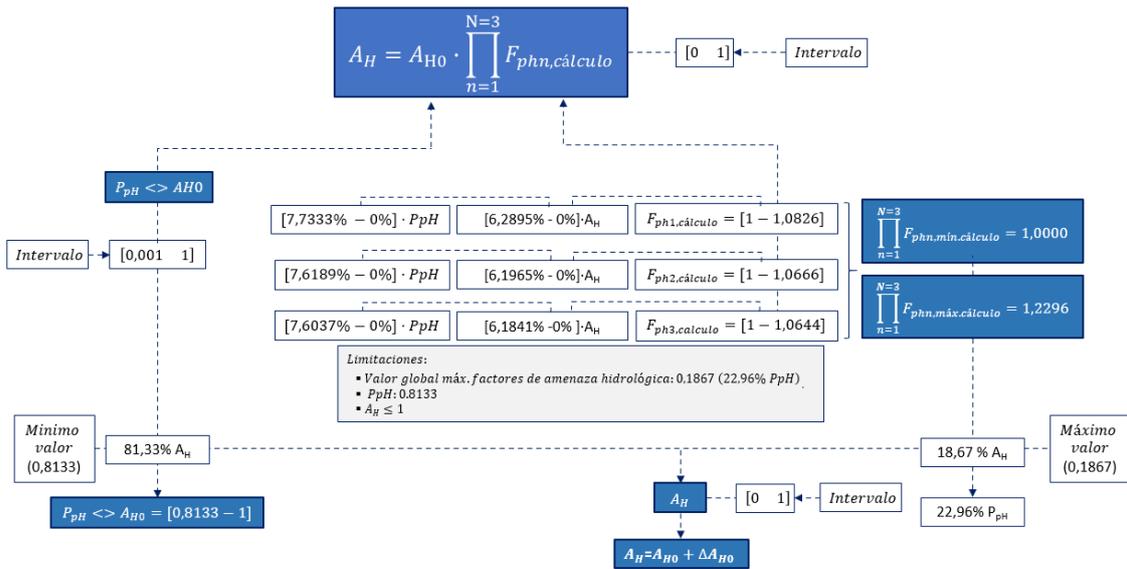


Figura 4. Modelo metodológico Amenaza hidrológica, A_H . Valores máximos y mínimos del Parámetro crítico y de los Factores de amenaza, F_{ph} . Fuente: elaboración propia.

A continuación, muestra el desarrollo analítico de los factores de amenaza hidrológica en sus diferentes estadios.

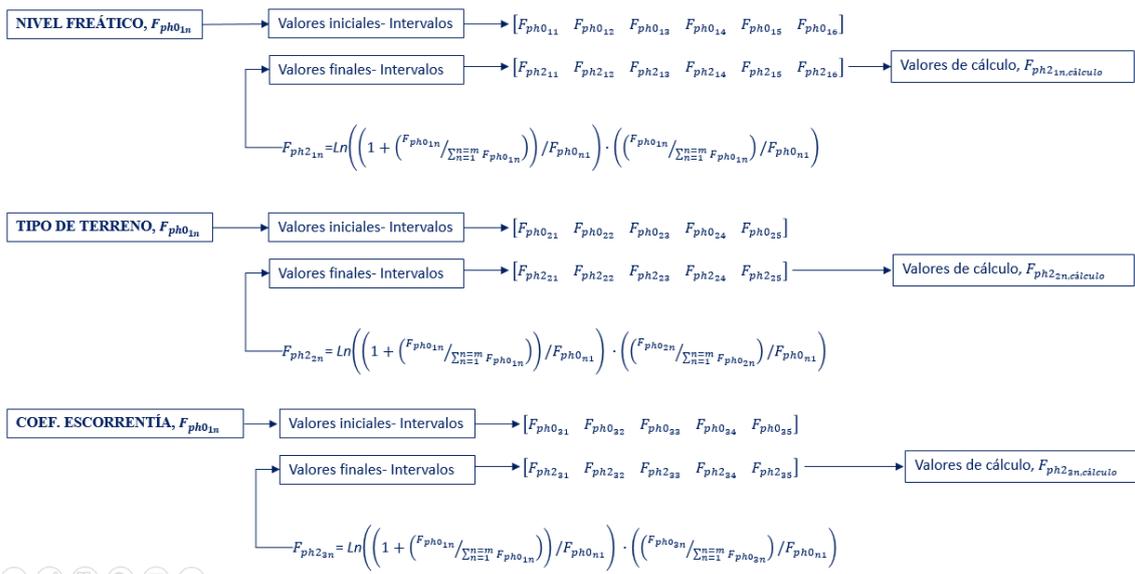


Figura 5. Desarrollo analítico de los Factores de amenaza, F_{ph} . Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se estructuran y se clasifican los diferentes valores e intervalos del factor crítico y los factores de amenaza hidrológica. Es a partir de dichos valores de los parámetros que se establecen los valores de los índices a través del análisis de la evolución del parámetro crítico de amenaza como de los factores de amenaza según las investigaciones específicas analizadas como FEMA (2012) y Cardona et al. (2004), y otras vinculadas. En el caso de los factores de amenaza se han propuesto funciones características, siguiendo una secuencia de cálculo establecida (valores iniciales, valores finales y valores de cálculo).

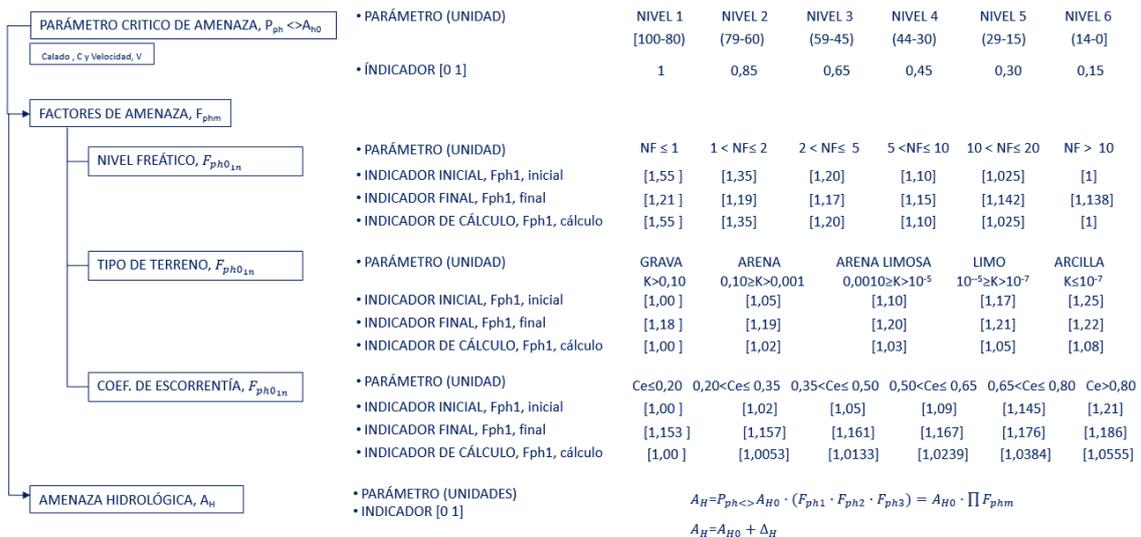


Figura 6. Esquema de análisis del parámetro crítico y de los Factores de amenaza hidrológica, P_{ph} , F_{ph} . Fuente: elaboración propia.

4. APLICACIÓN METODOLÓGICA

Inicialmente, se procede a seleccionar el parámetro crítico o factor de amenaza que en mayor medida (>50% A_H) define a esta en la zona de estudio, y basada dicha elección en las investigaciones existentes sobre análisis de la amenaza hidrológica, y el conocimiento de eventos de inundación acaecidos durante los últimos años. Para ello, se consideran entre otras características la hidrología, la climatología imperante en la zona de estudio y otros factores físicos relativos a la geomorfología, y la geología microzonal.

En el caso de seleccionar como parámetros críticos el calado y la velocidad del flujo de escorrentía, se sigue la metodología incluida en el Plan de Acción Territorial de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA, 2015) y la metodología de la Agencia Catalana del Agua, ACA (2004), adaptadas a la presente investigación.

Denominación	Nombre del factor	Descripción
P_{pH1}	Calado o altura de la lámina agua (C)	Altura que alcanza el flujo de agua generado por la escorrentía superficial, midiéndose en metros (m).
P_{pH2}	Velocidad de flujo (V)	La velocidad que genera el flujo de la escorrentía en la superficie de la cuenca hidrográfica (m/s).
P_{pH3}	Caudal máximo escorrentía (Q _{máx.})	Máximo caudal de escurrimiento que fluye por la cuenca hidrográfica o zona de estudio (m ³ /s).
P_{pH4}	Intensidad precipitación I(mm/h)	La intensidad de precipitación puede incrementar el peso específico del terreno susceptible a deslizamiento.

Tabla 1. Parámetros críticos de amenaza hidrológica. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7, se indican los niveles de peligrosidad hidrológica (Inundación) en base a los parámetros de velocidad (v), calado (c) y el producto (c·v).

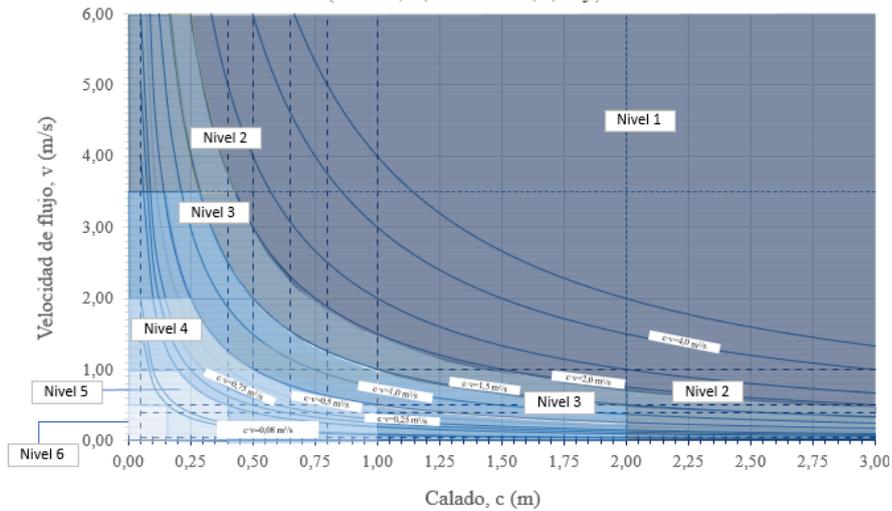


Figura 7. Niveles de peligrosidad hidrológica y valores de los parámetros críticos de amenaza hidrológica (P_{phm}). Fuente: elaboración propia.

Como se ha indicado a partir de la selección del parámetro crítico hidrológico, en ese caso el calado y la velocidad máxima del flujo, se analizan los parámetros de amenaza hidrológica propuestos en base al análisis de la información recopilada y el potencial de afectación según la localización.

Denominación	Nombre del factor	Descripción
Fp_{H1}	Nivel freático, N.F.	Profundidad napa subterránea, mide la capacidad de infiltración.
Fp_{H2}	Tipología de terreno, K	Tipología del terreno, naturaleza o composición, impermeabilidad, porosidad, y coeficiente de escorrentía
Fp_{H3}	Pendiente topográfica terreno, I	Pendiente terreno determina altura y velocidad del escurrimiento.
Fp_{RH4}	Coficiente de escorrentía Ce	La cobertura vegetal del terreno (infiltración del terreno, velocidad deslizamiento, la velocidad desagüe, y otras magnitudes

Tabla 2. Definición y descripción de factores de amenaza hidrológica. Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología propuesta, se aplica a cualquier tipo de infraestructura específica, aunque en este caso se propone su aplicación específica en una planta tipo de tratamiento de agua potable como uno de los elementos más críticos de la infraestructura de abastecimiento de agua potable. Es la amenaza hidrológica una de las más representativas que caracteriza el riesgo en el Sureste de España, por lo que se propone esta zona para implementar el análisis de amenaza desarrollado en esta investigación, fijando el parámetro crítico tras una selección previa de los parámetros críticos más representativos de la amenaza hidrológica en base a las diversas investigaciones analizadas como, PATRICOVA, (2015), que incorpora los postulados de la Directiva Europea de prevención del riesgo de inundación EU (Directiva 2007/60/C), incidiendo en la evaluación de daños potenciales en la infraestructura territorial, mediante variables hidráulicas (calado y velocidad, intensidad de lluvia, caudal de escorrentía), así como los factores de amenaza hidrológica con mayor incidencia local y con mayor influencia en la localización de la infraestructura de estudio.

A partir de los parámetros críticos y factores de amenaza definidos se seleccionan aquellos que en base a un análisis preliminar de la amenaza hidráulica zonal y las investigaciones referenciadas se consideren, recomendando un máximo de 3 factores de amenaza hidrológica.

Los parámetros críticos de amenaza hidrológica que en este caso se analizan y que se consideran en el análisis preliminar, son los siguientes:

- Calado o altura de la lámina de agua (C), en metros.
- Velocidad de flujo de escorrentía (V), en m/s.
- Caudal máximo de escorrentía ($Q_{\text{máx.}}$), en m³/s.

De otra parte, los factores de amenaza hidrológica evaluados y que pueden incidir en la magnitud de la amenaza son:

- Nivel freático, N.F., $F_{ph0_{1n}}$.
- Tipología de terreno, K , $F_{ph0_{2n}}$.
- Coeficiente de escorrentía, C_e , $F_{ph0_{3n}}$.
- Intensidad de Precipitación I_{24} (mm), $F_{ph0_{4n}}$.
- Pendiente topográfica, I (%), $F_{ph0_{5n}}$.

En este caso de análisis, se seleccionan los siguientes parámetros críticos y factores de amenaza hidráulica:

- Parámetro crítico: Calado y velocidad de flujo de escorrentía (m²/s).
- Factores de amenaza hidrológica:
 - Nivel freático (m).
 - Tipología de terreno, permeabilidad (K).
 - Coeficiente de escorrentía, C_e .

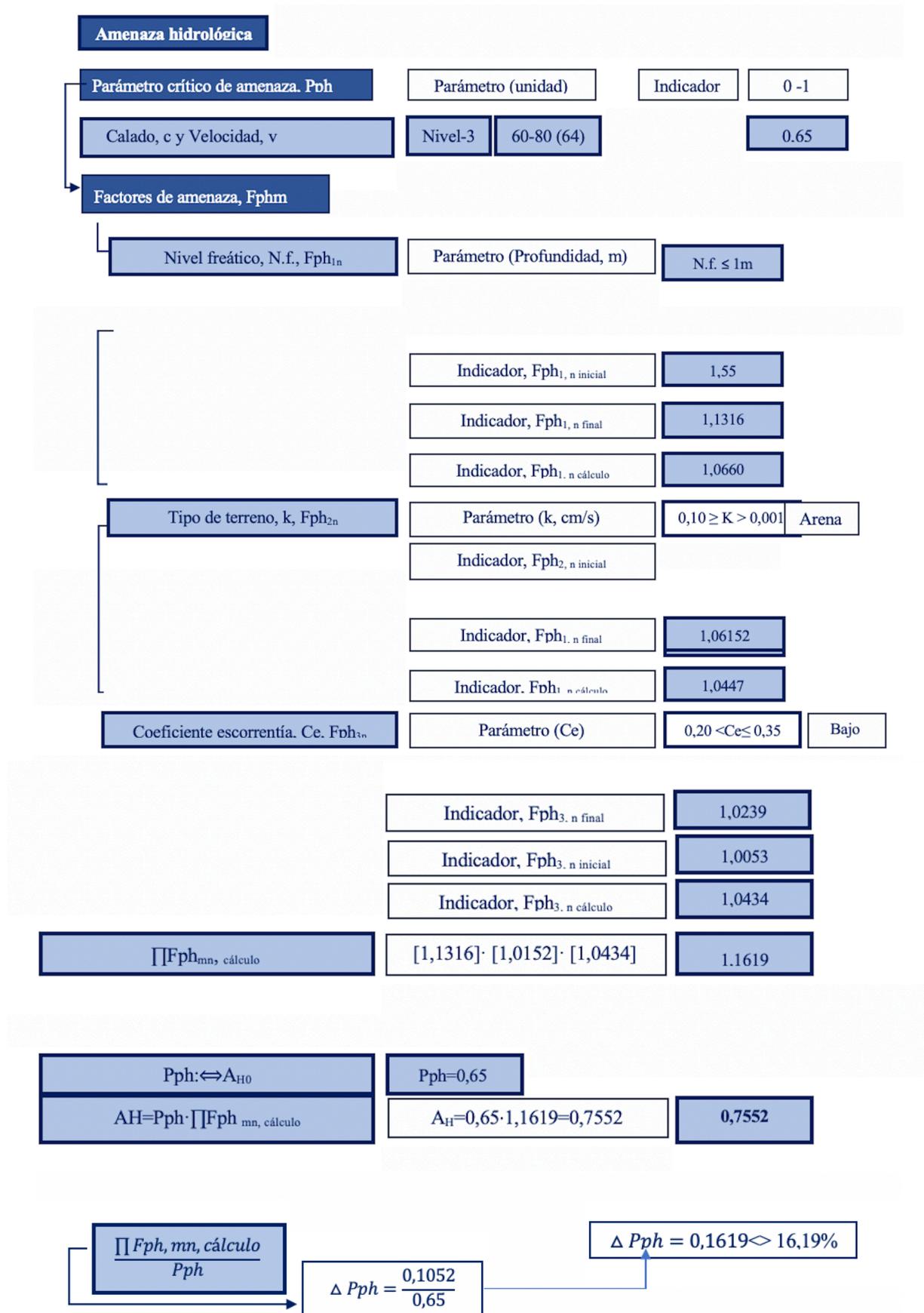


Figura 8. Metodología de análisis amenaza hidrológica. ETAP Fuente: elaboración propia.

Es decir, la amenaza hidrológica microzonal con afectación a la infraestructura hidráulica de ejemplo (Estación de tratamiento de agua potable, ETAP) tiene un valor total definido por el parámetro crítico representativo de la amenaza hidrológica, $P_{ph}=0,65$ y los factores de amenaza hidrológica más representativos de la zona, F_{ph} , en este caso la profundidad del nivel freático somero, la tipología y permeabilidad del terreno (arena y permeabilidad media), y coeficiente de escorrentía, C_e ($0,20 < C_e \leq 0,35$, bajo), obteniendo un valor de $A_H=0,7552$. A continuación, se representan los resultados en la Figura 9:

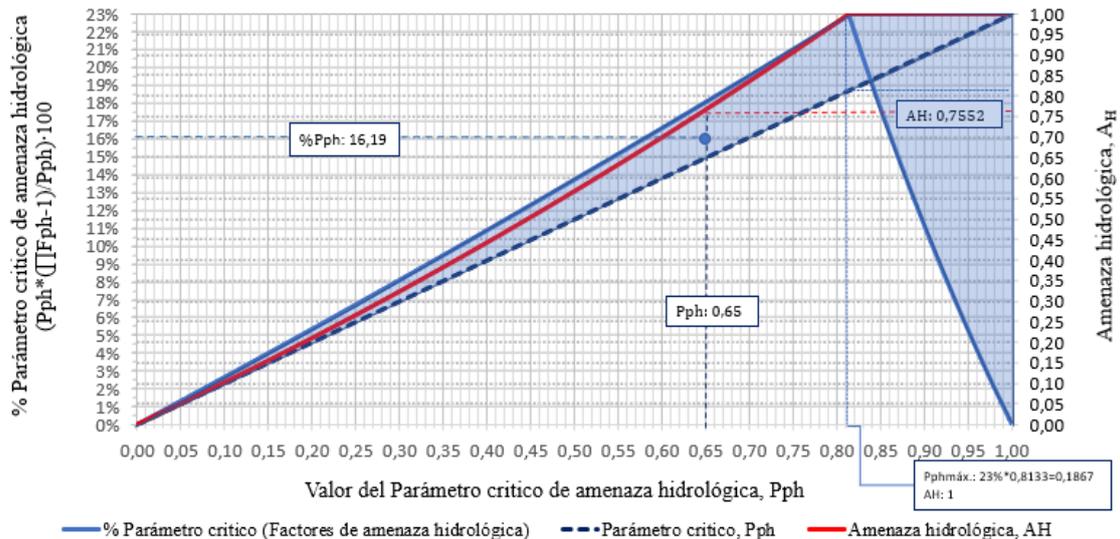


Figura 9. Evolución de la amenaza hidrológica, parámetro crítico y factores de amenaza, caso de ejemplo ETAP. Fuente: elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

La definición de la amenaza hidrológica basada en la selección del parámetro crítico más representativo de la zona de implantación de la infraestructura específica, así como la integración en este de los factores de amenaza adicionales confiere una gran robustez al análisis, pues es través de funciones de características que definen la evolución de estos factores de amenaza como se obtiene una mejor definición y evolución de la amenaza. La mejor definición de la amenaza se traduce en un análisis del riesgo más preciso.

Además de la precisa caracterización de la amenaza hidrológica, el proceso de caracterización de la infraestructura implica la integración de todas las variables y parámetros que definen a la misma, aplicando una estructuración lógica de parámetros, indicadores e índices.

El desarrollo de esta metodología holística que integra aquellas variables representativas permite una mejor gestión del riesgo, estableciendo escenarios potenciales y la mejora de protocolos de actuación, así como la planificación de inversiones que permitan incrementar la fiabilidad y la mejora del grado de sostenibilidad de las infraestructuras críticas.

REFERENCIAS

- Agencia Catalana del Agua (2004). *Guía técnica. Recomendaciones técnicas para el diseño de infraestructuras que interfieren con el espacio fluvial*, ACA, enero, 2004.
- Barbat, A.H. y Cardona, O. D. (2003). *Vulnerability and disaster risk indices from engineering perspective and holistic approach to consider hard and soft variables at urban level*.

- Cardona, O.D. (2004). *The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management*. In: *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London (UK).
- Cardona, O. (2006). A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas. In: *Measuring Vulnerability to Hazards of Natural Origin: Towards Disaster Resilient Societies*. J. Birkmann, United Nations University Press, Tokyo, Japón.
- Cardona, O., Hurtado, E. J., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A. y Velásquez, S. (2004). *Dimensionamiento relativo del riesgo y de la gestión: Metodología utilizando indicadores a nivel nacional*. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>
- Carreño, M. O. (2007). A disaster risk management performance index. *Journal of Natural Hazards*, 41(1), 1-20.
- Egea, Ramón (2018). *Investigación sobre modelos de gestión de infraestructuras hidráulicas urbanas resilientes en relación con los riesgos hidrológicos y geológicos*. Universidad de Alicante (España) y Universidad de Chile, Santiago (Chile). Tesis doctoral.
- FEMA (2012). *Multi-hazard loss estimation methodology-Flood. Model-Hazus-MH. Technical Manual*. FEMA.
- Gracia, A., Godé, L., Crego, E., Arrabal, M. A., Guirado, V., García, G., Lobera, C., González, S. y Martínez, E. (2014). *Riesgos y cuantificación de daños por inundación*.
- IDEA. (2005). *Indicadores para la Gestión de Riesgos, Operación BID ATN/JF-7907-RG*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>. Manizales
- Generalitat Valenciana (2015). *PATRICOVA: Plan de Acción Territorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana*.
- RISK-UE. (2004). *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP4: Vulnerability of current buildings*.