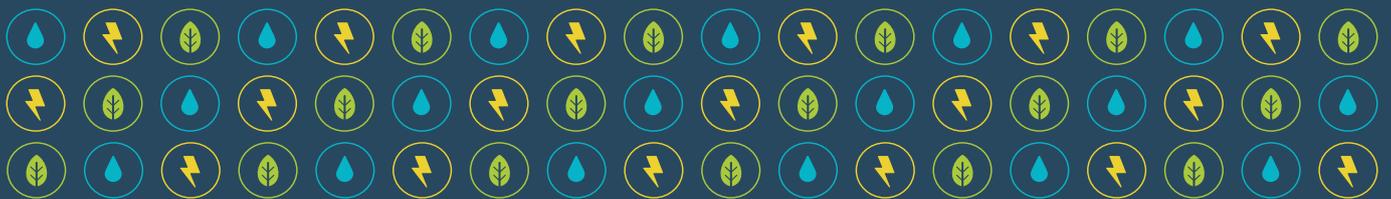


AGUA, ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE



Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil



AGUA, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

© los autores, 2022
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-184-3

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.

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, JURÍDICA Y AMBIENTAL

Integración de la energía solar fotovoltaica en los esquemas de gestión del agua Miguel Ángel Pérez	23
Análisis tendencial del cambio climático registrado en las variables hidrológicas en España Luis Garrote, Álvaro Sordo-Ward, Javier Montalvo y Alberto González	35
Agua, agricultura y efectos económicos en el campo de Cartagena Alberto del Villar García y Marcos García López	55
Energía en el regadío y posibles actuaciones para reducirla Luis Juana y Raúl Sánchez	91
Herramientas y soluciones innovadoras para la gestión del nexo Agua-Energía-Alimentos- Ecosistemas: GoNEXUS Manuel Pulido-Velázquez, Héctor Macián-Sorribes y Sergio Segura	115
Sobreexplotación de acuíferos, subsidencia y su impacto en el riesgo de inundación. El caso paradigmático del Valle del Alto Guadalentín Javier Valdés, María I. Navarro-Hernández, Roberto Tomás, Serena Tessitore, Pablo Ezquerro y Gerardo Herrera	121
Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Desalación Domingo Zarzo	139
Optimización energética en bombeo de aguas subterráneas Miguel Fernández-Mejuto y Héctor Fernández Rodríguez	153
Microgeneración y mejora de bombeos en redes de distribución de agua: un compromiso con la Sostenibilidad Camila Andrea García Rodríguez, Modesto Pérez-Sánchez, Francisco-Javier Sánchez-Romero y Petra Amparo López-Jiménez	171
Avances y limitaciones en el desarrollo de un gemelo digital del Mar Menor Javier Senent, Adrián López Ballesteros, Francisco José Segura Méndez, Anders Nielsen, Dennis Trolle, Salvador Peña-Haro y José María Cecilia	187
<i>Smart Metering</i> : las redes inteligentes al servicio del agua César Vázquez y Vicent Joan Martínez Soler	205
Proyecto NAIADES: un ecosistema para la digitalización del ciclo urbano del Agua Ignacio Casals, Manuel Ramiro, Juan Manuel Fernández Montenegro y Leonardo Alfonso	215
Solución al problema del agua y de la energía en España Francisco Javier Flores Montoya	237
Herramienta para la gestión de riesgos incorporando el impacto del cambio climático en infraestructuras críticas hidráulicas Ignacio Escuder y Adrián Morales Torres	271
Experiencias prácticas en la integración de la gestión del agua de lluvia en el paisaje urbano Sara Perales y Miguel Rico-Cortés	277
Cambio global y aguas subterráneas en un contexto de escasez y sequías David Pulido, Leticia Baena, Antonio Juan Collados, África de la Hera, Juan de Dios Gómez, José Luis García- Aróstegui, Francisco J. Alcalá y Juan Grima Olmedo	293

Posibilidades para la optimización y reducción del uso del agua y la energía en el riego de la zona mediterránea. Retos para su implementación Miguel Ángel Jiménez-Bello, Fernando Martínez-Alzamora, Juan Manuel Carricondo, Joan Carles Alonso Campos y Manuel Pulido-Velázquez	315
Instrumentos Innovadores para la Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas en un contexto de escasez creciente de recursos hídricos (Proyecto Interreg Sudoeste AQUIFER) José Luis García Aróstegui et al.	335
Nueva dimensión en la gestión patrimonial de redes Raúl González.....	349
Nuevos retos de la reutilización Amador Rancaño Pérez, M ^a del Mar Micó Reche y Aina Soler-Jofra.....	359
Evaluación de la recarga del acuífero Solana. Análisis de escenarios de cambio climático María Alejandra Feinstein, Miguel Fernández Mejuto y José Miguel Andreu Rodes	381
Cálculo de la huella de carbono como herramienta de gestión ambiental. Caso de éxito de la EDARi Helados Alacant Mercedes A. Calzada Garzón, Juan Carlos Bugallo Tena, Elena Campos Pozuelo, Domingo Zarzo Martínez y Enrique Ortiz González	393
Reducción de boro en parcela mediante ósmosis inversa y resinas de intercambio iónico. Aspectos técnicos y económicos José Francisco Maestre Valero, Alberto Imbernón Mulero, Belén Gallego Elvira, Victoriano Martínez Álvarez y Bernardo Martín Górriz	403
Derechos de agua de riego diferenciados por su prioridad a nivel de cuenca José A. Gómez-Limón, Carlos Gutiérrez-Martín y Nazaret M. Montilla-López	413
Algoritmo de sincronización entre la energía consumida en una red de riego y producida por módulos solares fotovoltaicos Francisco José Navarro-González, Miguel Ángel Pardo, Housseem Eddine Chabour y Tarek Alksaif	425
Boro en la red de azarbes de la Vega Baja del Segura y el Baix Vinalopó (Alicante) Jose Navarro Pedreño, Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Ignacio Gómez Lucas e Ignacio Meléndez Pastor	439
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en balsas de riego Ricardo Mateos Aparicio.....	451
Estimación de la movilización del suelo como efecto de la escorrentía en viñedos mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method) en el Sureste de España Antonio Jódar Abellán, Amparo Melián Navarro y Jesús Rodrigo-Comino.....	459
Estimación de la evapotranspiración real, escorrentía superficial y recarga de acuíferos mediante dos modelos hidrológicos en el Sureste de España Antonio Jódar Abellán, Ryan T. Bailey, Dámaris Núñez-Gómez, Pablo Melgarejo, Derdour Abdessamed y Pilar Legua.....	467
Cálculo de la evaporación de agua en la microcuenca agrícola del río Coñaque, Ecuador José Gerardo Becerra Carrión, Antonio Jódar Abellán y Miguel Ángel Pardo Picazo	479
Aplicación del método de precipitación rápida controlada para estudios del efecto del tratamiento electromagnético en agua de elevada dureza Sergio Martínez Moya, Nuria Boluda Botella, María Dolores Saquete Ferrándiz y Jaime García Quiles	491
Un modelo matemático para la gestión de riesgos Ramón Egea Pérez y Francisco J. Navarro González	499

Reducción del contenido en fósforo en aguas de riego mediante filtro verde construido con residuos Teresa Rodríguez Espinosa, Jose Navarro Pedreño, María Belén Almendro Candel, Ignacio Gómez Lucas, Ignacio Meléndez Pastor y Manuel Jordán Vidal	513
Casos de estudio de soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación a las inundaciones en zonas agropecuarias María José Marcos Palacios y Esther Sánchez Almodóvar	525
Análisis hidrológico-edáfico para la gestión ambiental de un Sistema Léntico Artificial de alta montaña en Colombia Breiner Dan Bastidas Osejo, Antonio Jódar Abellán y Pablo Melgarejo	539
Evaluación del efecto del cambio climático en dos cultivos de secano en la provincia de Alicante Yailin Fernández González, Javier Valdes-Abellan, Marlon Mederos Corrales y Concepción Pla	551
Perspectiva de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas en cuatro cuencas mediterráneas bajo estrés hídrico: prioridades y desafíos Roberta Boni et al.	563
Estudio de los parámetros más relevantes en el periodo de amortización de un bombeo solar en la provincia de Alicante Héctor Fernández Rodríguez y Miguel Ángel Pardo Picazo	585
El impacto de la continuidad de negocio y la gestión del riesgo en el ciclo integral del agua. Caso de Estudio: Aguas Municipalizadas de Alicante, E. M. Andrés Miguel Roca Lloret, Andrés Pina Martínez, Manuel Latorre Gijón y Joaquín Marco Terrés	597
Inundaciones compuestas: modelación computacional en zonas urbanas-costeras Daniela Córdova de Horta	611
Análisis del ciclo de vida de la red de riego de la Universidad de Alicante Daniel Elie Benalcázar Murillo y Miguel Ángel Pardo Picazo	623
Conducción Júcar - Vinalopó: binomio Agua y Energía Estefanía Blasco Casal y Vicente José Richart Díaz	635

BLOQUE II - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, JURÍDICA Y AMBIENTAL

Construcción de una <i>Biblioteca de Mensajes</i> para la comunicación del riesgo de inundación Pablo Aznar-Crespo, Guadalupe Ortiz y Antonio Aledo	647
La relación agua, territorio y urbanismo en un nuevo escenario Rosa Arce	659
El binomio agua y energía: claves jurídicas para la transición a un sistema energético autosuficiente y sostenible Asensio Navarro Ortega y Estanislao Arana García	675
Economía circular y regulación de los lodos de EDAR Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	691
Efecto de los caudales ecológicos sobre la disponibilidad de agua en la España peninsular Álvaro Sordo, Paola Bianucci, Beatriz de Lama Pedrosa y Luis Garrote	715
Costes energéticos de la desalación Jaime Lora María, Fernanda López Pérez y Carlos Carbonell Alcaina	727
Uso eficiente del agua en el diseño y control del riego de jardines y zonas verdes: una experiencia formativa práctica Fernando Echarri	745

Los ingenieros en el suministro de agua potable en España (siglo XIX) Juan Manuel Matés-Barco	759
Economía circular en el ciclo del agua Fernando Morcillo Bernaldo de Quirós y Andrés Guerra-Librero Castilla	775
La recarga artificial como técnica resiliente ante el cambio climático. Aplicación a los parques naturales y masas de agua subterránea de la provincia de Alicante (España) José Manuel Murillo Díaz y Alberto Padilla	795
Análisis agronómico, económico y ambiental de distintos escenarios de sustitución de aguas del trasvase Tajo-Segura por agua marina desalinizada Victoriano Martínez, Bernardo Martín, José Francisco Maestre, Belén Gallego y Alberto Imbernón	819
El vencimiento de las concesiones hidroeléctricas y su nueva explotación José Antonio Blanco	841
La extinción y reversión de las concesiones hidroeléctricas (a propósito del Salto Lafortunada Cinqueta) Esteban Arimany	861
Governança da água e adaptação justa Carla Gomes y Luísa Schmidt	881
Proyecto <i>Life Baetulo</i> en Badalona: gestión operativa de crisis ante eventos climáticos Monste Martínez, Ángel Villanueva y Beniamino Russo	895
La degradación ambiental y sus implicaciones socioeconómicas en cultivos leñosos bajo un escenario climático difícil de predecir: el caso del viñedo mediterráneo de la provincia de Valencia..... Jesús Rodrigo-Comino, Andrés Caballero-Calvo, José María Senciales-González, Jesús Fernández-Gálvez y Artemi Cerdà	905
La utilización de paneles solares fotovoltaicos para reducir la factura energética del trasvase Tajo-Segura Marcos García, Borja Montaña Sanz y Joaquín Melgarejo Moreno	925
Perspectivas jurídicas del trinomio Agua-Energía-Cambio Climático Jesús Conde Antequera	941
Generación y eficiencia energética en el ciclo del agua urbana. Retos desde la óptica del Derecho..... Andrés Molina Giménez	959
El papel de la desalación frente a una demografía y demanda crecientes Borja Montaña Sanz, Marcos García-López y Joaquín Melgarejo Moreno	969
Sustentabilidad y gobernanza transnacional como fundamentos para la difusión de nuevas matrices energéticas Paulo Marcio Cruz y Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza	989
La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura en comparación con sus posibles alternativas Marcos García-López, Borja Montaña Sanz y Joaquín Melgarejo Moreno	1001
Desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Ecuador. Oportunidades frente a los conflictos socioambientales Andrés Martínez-Moscoso e Israel Castro-Enríquez	1011
Enseñar las inundaciones para incrementar la resiliencia socio-territorial. El <i>PATRICOVA</i> como recurso didáctico Álvaro-Francisco Morote	1023
Sostenibilidad y eficiencia hídrica en el «agroecosistema» de la Vega Baja del Segura: estudio histórico-jurídico y ambiental Francisco José Abellán Contreras	1033

Estimación de los sobrecostes producidos por las alternativas para paliar el déficit mediante el bombeo de agua desalinizada en la Demarcación del Segura José Alberto Redondo Orts, Joaquín Melgarejo Moreno y Patricia Fernández Aracil	1045
Nuevos métodos en marketing social para conseguir comportamientos proambientales Carla Rodríguez-Sánchez.....	1057
Aceitação social da reutilização de água para adaptação às alterações climáticas no sul europeu: uma análise de instrumentos políticos de Portugal e Espanha Marcella Conceição y Carla Gomes.....	1067
El derecho humano al agua. Alcances sobre la normativa internacional y peruana Flor Gianina Paucar Aedo.....	1079
Over-fertilising, water pollution and Climate Change: overview of the European and German regulatory framework Mariana Moreno Kuhnke y Josefina Lyda.....	1087
Eficiencia del riego por aspersión en la máquina de pivote central de la finca «El Marqués», Cuba Yoangel Jesu Miranda Agüero	1101
Evaluación de la calidad del riego para el cultivo de la patata en la cooperativa «Amistad Cubano-Búlgara», Cuba Heriberto Vargas Rodríguez, Caridad Sánchez Veranes y Fabienne Torres Menéndez	1111
Buenas prácticas medioambientales a implementar en la Unidad Empresarial de Servicios Técnicos (UEBIST) «Talleres y Desmonte Artemisa», Cuba Fabienne Torres Menéndez, Heriberto Vargas Rodríguez y Zulema Lombillo Laferte.....	1119
Educação ambiental e legislação ambiental: uma reflexão necessária na inserção dentro do ambiente escolar no ensino público Aline Hoffmann y Liton Lanes Pilau Sobrinho	1129
A regulação como mecanismo de proteção dos valores da livre iniciativa e da livre concorrência André Emiliano Uba.....	1137
El uso del instrumento de licencia por admisión y compromiso como medio para la necesaria desburocratización de la generación eléctrica en Brasil Alexandre Waltrick Rates	1149
Evaluación de la gestión y eficiencia de la actividad de riego en la UBPC Granja Arroyo, La Habana (Cuba) Daniel Acosta Rivero, Caridad Sánchez Veranes y María del Carmen Falcón Acosta.....	1157
Valoración económica de la producción agraria española en zonas inundables Adela Bellver Baca, Jesús Garrido Manrique, Margarita Navarro Pabsdorf y Eduardo Cuenca García.....	1169
Smart cities e a dignidade da pessoa humana no transtorno do espectro autista: experiências que vêm do sul do Brasil Liton Lanes Pilau Sobrinho, Vanessa Ramos Casagrande, Franco Scortegagna y Elys Marina Hack	1183
Legal issues of Chinese water rights system Yang Yang	1193
Inconstitucionalidad de la ley y del reglamento de recursos hídricos en Ecuador Luis Alfonso Castillo Vaca	1201
Regulamentação jurídica das águas subterrâneas no Brasil Denise Schmitt Siqueira Garcia y Heloise Siqueira Garcia	1213
Economía circular en el uso del agua en la Región de Murcia y en la Demarcación Hidrográfica del Segura José María Gómez Espín, José María Gómez Gil, Encarnación Gil Meseguer.....	1223

La desalinización como seguro hídrico en el Sureste Ibérico	
Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez Gil, Ramón Martínez Medina, José María Gómez Espín	1233
Energía fotovoltaica y conducción Júcar-Vinalopó	
Vicente José Richart Díaz	1241

Un modelo matemático para la gestión de riesgos

Ramón Egea Pérez

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

ramon.egea@emuasa.es

<https://orcid.org/0000-0003-0194-7290>

Francisco J. Navarro González

Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Alicante, España

francisco.navarro@ua.es

<https://orcid.org/0000-0001-8164-1931>

RESUMEN

El daño a las infraestructuras por fenómenos de diferentes tipos es un tema de máxima importancia. El análisis y la evaluación de riesgos se convierte por tanto en un punto fundamental a la hora de minimizar y reducir lo máximo posible el impacto de dichos eventos. Existen trabajos y metodologías que se utilizan en dicha tarea, aunque usualmente se centran en algún tipo concreto de amenaza (sísmica, volcánica, etc.) y no resultan fácilmente generalizables o exportables a tipos distintos. Otra de las dificultades que se encuentran en las metodologías disponibles es el grado de detalle o refinamiento geográfico y la capacidad de considerar diferentes niveles de análisis, desde un punto de vista más global a otro más local. El presente trabajo presenta un enfoque basado en un desarrollo teórico que cumplimenta y da respuesta a estas limitaciones.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia del análisis de amenazas

Los daños causados en las infraestructuras causadas por eventos de carácter natural u origen humano tienen un importante impacto en la economía. Es por ello que el análisis de riesgos tiene una gran importancia desde el punto de vista social, económico y de ingeniería. Existen trabajos que estudian y desarrollan diferentes tipos concretos de amenazas, como las sísmicas (Salgado-Gálvez, M. A., Bernal, G. A., & Cardona, O. D. (2016); Schmidt Díaz, V. (2010); Leceta Ostolaza, Ainara (2014), Martínez, C. G. L., & Rodríguez, F. V. (2013)), volcánicas (Contreras Moya, M. (2021); Martín Raya, N. (2020)) e hidrológicas (Arnell & Gosling, (2016)).

Otros trabajos se centran en amenazas de origen antropogénico como el terrorismo, los sabotajes y la ciberdelincuencia (Svitkova, K. (2014); Sarachaga, M. H., Caderot, G. R., Bouza, M. R., Bilbao, I. R., Dulcet, F. S., Monge, B. M., ..., & Menéndez, J. E. (2014); Vázquez-Herrero, J., Vizoso, Á., & López-Gcía, X., & López-García, X. (2019)).

Cuando se consideran amenazas que se ciernen sobre una extensión del territorio, un enfoque usual del tema es considerar la afectación por unidad de superficie, medida a partir de estimaciones en euros por metro cuadrado (€/m²), dependiendo del tipo de infraestructura, la población afectada y la duración del efecto del daño. Estas metodologías permiten la generación de mapas de afectación y estimación de los riesgos.

Algunas metodologías utilizan una aproximación analítica a partir del desarrollo de índices. No obstante, la dificultad de recolección y aprovechamiento de los datos necesarios para la correcta calibración de dichos modelos analíticos hacen que su utilización sea generalmente escasa y compleja.

El trabajo presentado propone una metodología para la estimación de riesgos a nivel microzonal o local, con un nivel de detalle superior al que se suele encontrar en algunas de las metodologías usualmente utilizadas. A partir de los resultados de los trabajos previos de Pérez et al., (2018), se propone una formalización desde el punto de vista matemático que fundamenta desde el punto de vista teórico los resultados allí presentados y permite su generalización para incluir diferentes tipos de factores modificadores del riesgo.

Las diferentes metodologías de análisis de riesgos existentes se pueden clasificar en dos grandes grupos. Por un lado, modelos de análisis de riesgos selectivos o parciales y, por otro lado, modelos de análisis de riesgos holísticos.

Las metodologías de análisis de riesgos y daños en las infraestructuras se basan de una parte en la caracterización de las amenazas desde un punto de vista cualitativo o cuantitativo, y de otra parte en el análisis de daños desde una perspectiva determinista o probabilística.

1.2. Modelos parciales de análisis de riesgos

Los estudios y análisis de la vulnerabilidad de las infraestructuras se originaron en mayor medida a partir del análisis de la amenaza sísmica, incorporándose posteriormente otros tipos de amenaza (metodologías multiamenaza), existiendo una extensa bibliografía referenciada que incide en este aspecto.

Este tipo de estrategia se basa en modelos de análisis de vulnerabilidad que brindan un marco de actuación que se limita al análisis de vulnerabilidad basado en la medición de la capacidad estructural de los componentes del sistema y los efectos producidos, integrando colateralmente su capacidad de gestión. Este análisis se utiliza generalmente para evaluar los componentes individuales del sistema sin analizar su interacción con los otros componentes. Algunas de las metodologías indicadas, que en mayor o menor medida han sido incluidas y desarrolladas en las investigaciones realizadas, son las siguientes:

Corsanego & Petrini (1990), proponen una metodología de análisis de vulnerabilidad estableciendo una clasificación de técnicas de evaluación de vulnerabilidad sísmica. Estas técnicas propuestas pueden ser directas, indirectas, convencionales e híbridas. Las técnicas directas predicen el daño utilizando métodos tipológicos y mecánicos, mientras que las técnicas indirectas consideran las estructuras como elementos de clase, definidos por su tipo de material, técnicas y otros factores que afectan la respuesta sísmica. Las técnicas convencionales son esencialmente heurísticas e incorporan un índice de vulnerabilidad independiente de la predicción de daños. Se utilizan para comparar edificios de la misma tipología constructiva, en un área determinada y de acuerdo a ciertos factores, cuya contribución a la resistencia sísmica es calibrada por expertos. Esta técnica fue utilizada en (ATC-13, 1985); y está incluido en la metodología (FEMA-HAZUS, 2004). Las técnicas híbridas dan lugar a un tipo de metodología basada en observaciones y opiniones de expertos.

Asimismo, OPS, OPS (1998), desarrolló una metodología que define el número de fallas generadas por movimientos sísmicos en la red de agua potable, introduciendo factores físicos y de manejo de la red, tipologías de terreno y parámetros sísmicos característicos completando su caracterización.

Una herramienta de diagnóstico preliminar del riesgo sísmico en áreas urbanas es la propuesta por ID-NDR-RADIUS (1999), cuyos objetivos directos se centran en desarrollar escenarios de daños sísmicos y herramientas para la gestión del riesgo sísmico urbano. Solo proporciona una estimación preliminar de los daños por terremotos, no considerando el análisis de daños a la infraestructura crítica después del terremoto ni otros factores económicos.

ISDR-UN (2000) plantea un análisis global de riesgos de desastres naturales, proponiendo estrategias de mitigación de daños en áreas geográficas vulnerables, promoviendo políticas públicas de adaptación al cambio climático. Esta estrategia para la Reducción del Riesgo de Desastres busca promover una “cultura de prevención” basada en la experiencia adquirida durante el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-1999) iniciado por la Asamblea General en 1989.

Kircher, Reitherman, Whitman & Arnold (1997) exponen sus investigaciones en relación con la estimación de estados de pérdida y daño en edificios. Esta metodología supone un importante avance en la predicción de impactos sísmicos, ya que a diferencia de otros modelos de pérdida de edificios basados en la Intensidad de Mercalli Modificada (MMI), utiliza mediciones cuantitativas de terremotos y analiza tipologías de edificios.

Eidinger & Avila (1999) proponen formulaciones empíricas para cuantificar el número de roturas en tuberías durante eventos sísmicos. El análisis se basa en el estudio de la fragilidad y ductilidad de las tuberías y la introducción de variables sísmicas críticas, como la velocidad máxima del suelo (PGV), la aceleración máxima del suelo afectada (PGA) y la deformación máxima del suelo (PGD). De otra parte, Pineda Porras & Ordaz (2007) proponen un enfoque basado en formulaciones de fragilidad sísmica en sistemas de tubería enterrada por tramos ante movimientos diferenciales del suelo (subsistencia diferencial, DGS), pues este diferencial afecta la respuesta sísmica del suelo, aumentando la vulnerabilidad de las tuberías enterradas.

El análisis de la vulnerabilidad de las tuberías también es analizado por Ballantyne (2010), estableciendo en este caso una relación con los movimientos y deformaciones del suelo (PGD) por deslizamientos y movimientos de fallas, en base a cuatro factores característicos: rigidez, resistencia a la flexión, flexibilidad y restricción conjunta, donde el tipo de material de la tubería es un factor determinante. También establece recomendaciones de uso y priorización en la renovación de tuberías en función de la vulnerabilidad sísmica y parámetros relacionados con la gestión de activos. Al igual que, SRM-LIFE (2007) incorpora una metodología para la caracterización de la vulnerabilidad en las redes de agua potable y de alcantarillado a partir de la definición de parámetros físicos y de operación de los componentes críticos del sistema, estableciendo una estimación del nivel de daño de estos.

Rodríguez (2011) analiza y evalúa diversos parámetros físicos y operativos característicos de las redes de agua potable y alcantarillado, así como de diversas infraestructuras hidráulicas, introduciendo curvas de estado de fragilidad o estado de daño relacionadas con el riesgo sísmico. También incluye una integración de resultados y la generación de posibles escenarios en una plataforma GIS.

En relación al análisis de riesgo volcánico USGS-NVEWS (2005) plantea una metodología basada en la suma de los factores de peligro y los valores de los factores de vulnerabilidad. De la multiplicación de ambos valores se obtiene el valor del riesgo para un volcán determinado, clasificando este en 5 niveles. Para determinar las áreas de peligro, las áreas se dividen según su proximidad a los centros eruptivos en áreas proximales y distales.

Lara M. (2007), Muñoz (2013), y Naranjo & Varela (1996), basándose en la experiencia en Chile, proponen metodologías para analizar la susceptibilidad a deslizamientos en el piedemonte y zona urbana de Santiago de Chile. Estas metodologías obtienen un índice de susceptibilidad basado en la suma de los valores ponderados de diferentes condicionantes de algunos tipos de fenómenos de remoción de masa, aunque la ponderación de cada factor es diferente en cada caso.

El riesgo hidrológico es analizado en este caso según la propuesta metodológica incorporada en El Plan de Acción Territorial en Prevención del Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Valenciana (España) denominado PATRICOVA (2015) que incorpora los postulados de la Directiva Europea sobre prevención del riesgo de inundaciones UE (Directiva 2007/60/C). Se enfoca en la evaluación del daño potencial (costos y mapeo de impacto económico), según el porcentaje de daño generado a la infraestructura mediante el análisis de dos variables hidráulicas (calado y velocidad). Igualmente, se analizan ambas variables hidráulicas en las investigaciones de Russo, B.; Gómez, M.; Macchione, F., (2013) donde se establecen los criterios de peligro peatonal para áreas urbanas inundadas.

En principio los criterios para el análisis de las consecuencias económicas de las inundaciones no distinguen entre inundaciones fluviales y pluviales, siendo esta una de las metodologías más utilizadas dentro del marco normativo vigente en España en materia de riesgo de inundación para la estimación de las consecuencias en zonas urbanas, así como la incluida en el 2009 “Plan Especial de Emergencia por Inundaciones INUNCAT, (2010)”.

De manera similar, el Memorándum de Orientación Económica (EGM) elaborado por USACE, Dawson, (2003), propone una metodología para analizar el riesgo hidrológico basada en el establecimiento de curvas de calibración de daño que asignan un porcentaje de nivel de daño según el nivel de agua alcanzado por la inundación. Una vez estimado el valor económico de la propiedad o área inundada, se pueden establecer las pérdidas económicas en función del grado de destrucción causado por la inundación. A su vez, existen diversas recomendaciones en la literatura para incorporar el efecto de los sistemas de alerta en la estimación de costos económicos. Estos estudios se basan en la reducción de daños materiales por la implementación de barreras anti-inundación en viviendas y locales comerciales, Parker et al, (2005).

Estas últimas metodologías, basadas en los postulados de Kates, (1978), estiman los daños en función de la altura de la lámina de agua o calado, y la frecuencia del evento, mediante un cálculo simple, incorporando la variable velocidad del flujo, como factor agravante del daño.

1.3. Modelos holísticos de análisis de riesgos

El marco conceptual de esta estrategia propone el análisis del riesgo en base a la medición de la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta del sistema, en el que no solo las características físicas sino también los aspectos sociales son considerados individualmente por componente y área. Identifica las causas de la vulnerabilidad y las acciones a realizar para mitigar sus efectos, así como su prioridad en función de la capacidad de respuesta de los componentes del sistema. El riesgo se considera sobre la base de la identificación de términos críticos, que se definen explícitamente y se integran en un modelo conceptual detallado de riesgo. Se evalúan las interacciones entre los diferentes componentes del sistema, así como con la sociedad.

A continuación, se describen brevemente las principales metodologías que proponen este enfoque basado en indicadores:

Cardona D.O. (2001), analiza los conceptos de peligro, vulnerabilidad y riesgo, precisando que este es un requisito básico para la construcción de un marco teórico coherente, con una visión holística de los riesgos. Se discuten y critican otros enfoques, como los desarrollados en las ciencias naturales, aplicadas y sociales. También se argumenta que la fragmentación conceptual y la inconsistencia han sido dos de las razones por las cuales las estrategias de reducción de riesgos no han tenido éxito en la mayoría de los casos. La falta de una base conceptual adecuada ha impedido la implementación de estrategias de reducción de riesgos. La principal diferencia entre peligro y riesgo es que el peligro está relacionado con la probabilidad de que ocurra un evento natural o inducido, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que ocurran ciertas consecuencias, que están estrechamente relacionadas no solo con el grado de exposición, de los elementos sometidos sino también a la vulnerabilidad de dichos elementos a ser afectados por el evento.

Barbat & Cardona (2003) indican que la gestión del riesgo tiene una doble dimensión de realidad y posibilidad, cuya reconstrucción a través de indicadores puede ayudar a representar el potencial de una situación dada. Por ello, su conocimiento debe contribuir a la organización eficaz de la intervención sobre la realidad.

El enfoque de Carreño, et al. (2006) propone el uso de indicadores de riesgo urbano para la evaluación holística del riesgo. La ponderación de los diferentes indicadores se basa en su nivel de criticidad y debe calibrarse para cada sistema en particular. De esta forma se obtiene el índice de riesgo físico para cada unidad de análisis de los escenarios específicos afectados y cada peligro considerado.

La metodología de Oliveira, Roca y Goula (2006) presenta un carácter específico para las líneas de vida en su conjunto. Presenta una estructuración lógica y funcional más amplia de los diferentes aspectos involucrados en el riesgo sísmico incluyendo políticas de restauración y estrategias de mitigación. Por otro lado, no hace explícitos otros factores considerados relevantes en la definición de un sistema de infraestructura de línea de vida urbana, quizás por el amplio espectro que considera. También considera una interrelación con otros riesgos relacionados e interferencias entre líneas de vida que se presenta en un contenido general que no caracteriza suficientemente el sistema de líneas de vida urbanas. No caracteriza los demás riesgos hidrológicos y geológicos involucrados, salvo aquellos efectos colaterales con el riesgo sísmico, que caracteriza, analiza y evalúa, con el fin de obtener el índice de confiabilidad del sistema de línea de vida, y las propuestas de medidas de restauración y mitigación.

Existen otras metodologías multirriesgo que también tienen un enfoque holístico, aunque de aplicación regional, como las que se enumeran a continuación:

FEMA-HAZUS (2004): Es una metodología de análisis multirriesgo de aplicación regional que obtiene la probabilidad y el nivel de daño a la infraestructura mediante el uso de curvas de fragilidad de los componentes de un sistema definido por diferentes parámetros críticos que definen cada infraestructura, según la tipología de riesgo. Esta metodología tiene su origen en el análisis de riesgo sísmico en infraestructuras vitales, específico de los Estados Unidos de América.

El proyecto RISK-EU presentado por Mouroux, et al. (2004) desarrolla y aplica metodologías homogéneas y avanzadas para el estudio de la amenaza y la vulnerabilidad mediante el análisis de escenarios de riesgo sísmico en áreas urbanas europeas. RISK-EU también incorpora el análisis de líneas de vida similar a la metodología FEMA-HAZUS, (2004), utilizando un SIG, que posteriormente fue desarrollado en el proyecto CORDIS-SYNER-G, (2012), generando un software abierto (SYNER-G) para el análisis de vulnerabilidad sísmica y la evaluación de riesgos en Europa y en otras áreas. En el proyecto SYNER-G se han realizado análisis de riesgos en varios países del Sur de Europa (Italia, Grecia y Austria), en particular las ciudades de L'Aquila, Thessaloniki y Viena, como casos de estudio, generando modelos y mapas de riesgo, así como como funciones de fragilidad a partir de estas experiencias.

En relación a las amenazas antrópicas y en especial las que involucran las tecnologías de la información y las plataformas de comunicación, se proponen estrategias de enclaves seguros, el manejo y control de algoritmos en sistemas robustos que se adaptan de forma segura, dinámica y estratégica, permitiendo así compartir datos esenciales de forma segura, a través de diferentes fuentes. Soria-Olivas, E., Torres, J., Padial, Ó., Mateo, F., Vila Francés, J., Domínguez, M., ... & Edo, J. (2019).

La implementación de Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información es fundamental para salvaguardar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información y de la operación, así como la capacidad de detección, rechazo y protección del sistema. ISO/IEC 27001.

Diversos organismos públicos son los encargados de garantizar un entorno digital seguro, generando los elementos de prevención y recuperación de los sistemas de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y responsables de la protección frente a ciberataques a los sistemas clasificados de las administraciones públicas y empresas y organismos de interés estratégico, Fernández, A. V., & Rodríguez, J. M. C. (2017).

En el caso de las infraestructuras críticas basadas en sistemas SCADA (Control for Supervision and Data Acquisition), estas se apoyan en tecnologías basadas en TI que permiten la interacción entre diversas utilidades e infraestructuras críticas, haciéndolas en este caso más vulnerables a los ciberataques. Por ello, se establecen protocolos y software específicos para gestionar su accesibilidad a las diferentes plataformas, que deben actualizarse periódicamente, como se indica en Rodofile, N. R., Radke, K., & Foo, E. (2019) o Mendoza, M.A. (2015).

Los fenómenos meteorológicos adversos (PMA) suponen una amenaza que puede analizarse a partir de series de valores agregados interanuales, obteniendo así indicadores que definen la probabilidad de ocurrencia, la intensidad y su extensión. Recientemente los indicadores de calidad de predicción estimados son el Ratio de Falsas Alarmas (FAR), la Probabilidad de Detección (PD) y el Índice de Éxito Crítico (CSI) para mejorar la predicción de estos fenómenos, aunque la precisión de estos depende del número de AMP, como se indica en Del Pino Corredera, J. D. D. (2020) o Martínez, C. G. L., & Rodríguez, F. V. (2013).

La sección 2 presenta un análisis de las metodologías de análisis de riesgo más utilizadas. La sección 3 presenta el desarrollo matemático de la metodología propuesta con la aplicación a un ejemplo concreto. Por último, la sección 4 presenta las conclusiones.

2. METODOLOGÍA MATEMÁTICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

2.1. Presentación

2.1.1. Caracterización de riesgos y amenazas

El presente método de análisis de riesgos parte de la consideración de la existencia de eventos que pueden producir consecuencias de carácter dañino o catastrófico. Dichos eventos, que serán representados por la letra E , son de forma que admiten una graduación en intensidad que se representará mediante la variable I . Así, I nos caracteriza la gravedad de los posibles eventos o realizaciones de E en diferentes instantes de tiempo.

Dado el carácter aleatorio de los fenómenos considerados, tiene sentido introducir en el análisis una función de probabilidad que nos indique la distribución de probabilidad de un valor determinado de I en un intervalo de tiempo dado T . Representaremos dicha probabilidad por la función $P(I, T)$.

Normalmente, en el contexto de una investigación, los intervalos de tiempo son conocidos o se dan por supuestos, de forma que, para simplificar la notación, eliminaremos el subíndice T de la función P . El mismo resultado se obtiene cuando la función P es independiente del valor de T considerado.

En general, cada tipo de evento bajo estudio se manifiesta a través de diferentes variables, por ejemplo, la velocidad de flujo o arrastre en el caso hidrológico o la velocidad y aceleración para eventos de tipo sísmico. Este tipo de variables permiten así mismo una graduación y tendrán un dominio de definición que en principio puede ser diferente para cada uno. A partir de ahora, estas variables recibirán el nombre de factores de magnitud y se representarán como M_i . Los correspondientes dominios se denotarán como D_i y en general supondremos que existe una relación de no decrecimiento entre los factores de magnitud y la magnitud de evento M .

2.1.2. Efecto de las características locales del terreno

La ocurrencia de un evento E impacta de forma diferente en cada punto de una región geográfica dependiendo de las características locales. Es decir, dada una la región R donde ocurre un evento E , bajo la suposición de independencia entre los valores de la variable I y las coordenadas (x, y) de los puntos concretos de R , podemos expresar la relación entre esta I y los factores de magnitud M_i a través de un conjunto de funciones $\{ \Phi^i \mid i=1, \dots, N_a \}$ definidas como:

$$\begin{aligned} \Phi^i: G \times E &\rightarrow \Omega_a^i \\ (x, y, e) &\mapsto a^i = \Phi^i(x, y, e) \end{aligned} \quad (1)$$

La siguiente hipótesis supone que el resultado de las funciones $\Phi^i(x, y, e)$ depende de las características químicas o físicas de cada punto considerado. El conjunto de características que resultarán relevantes para el estudio de un tipo de evento determinado recibirá el nombre de propiedades intrínsecas del punto (x, y) respecto del evento E y las representaremos por $z^i: G \rightarrow \Omega_z^i = [z_{min}^i, z_{max}^i]$, con $i = 1, \dots, N_z$.

La definición y significado de las propiedades intrínsecas implica que la ecuación (1) puede ser reescrita en la forma:

$$a^i(x, y, e) = \Phi^i(z^1(x, y), \dots, z^{N_z}(x, y), e) \quad (2)$$

Los dominios Ω_z^i de las propiedades intrínsecas pueden ser redefinidas y escaladas a conveniencia de forma que z_{min}^i sea 1 y $|z_{max}^i - 1| \ll 1$.

Teniendo en cuenta este reescalado, las variables z^i en la ecuación (2) pueden reescribirse como $z^i = 1 + (z^i - 1)$, de forma que, mediante una linealización o desarrollo en serie hasta primer orden, la ecuación (2) tomaría la forma:

$$a^i(x, y, e) = \Phi^i(1, \dots, 1, e) + \sum_{r=1}^{N_z} \frac{\partial \Phi^i}{\partial z^r}(1, \dots, 1, e) \cdot [z^r(x, y) - 1] \quad (3)$$

Tomando factor común $\Phi^i(1, \dots, 1, e)$ y multiplicando y dividiendo cada término r por z_{max}^r , la expresión anterior toma la forma:

$$a^i(x, y, e) = \Phi^i(1, \dots, 1, e) \cdot \left[1 + \sum_{r=1}^{N_z} \psi_r^i(e) \cdot \frac{z^r(x, y) - 1}{z_{max}^r} \right] \quad (4)$$

, donde $\psi_r^i(e) = z_{max}^r \cdot \frac{\partial \ln \Phi^i}{\partial z^r}(1, \dots, 1, e)$.

2.1.3. Efecto de la probabilidad de los eventos en la amenaza

La presencia en (4) de la variable ϵ , de carácter probabilístico, tal como se ha discutido en la sección 2.1.1 induce una distribución de probabilidad sobre los valores de ϵ en cada punto de G , que representaremos por $\pi^i(x, y): \Omega_a^i \rightarrow [0, 1]$. Estas densidades se definen como:

$$\pi^i(x, y; \alpha) = p(\epsilon) \quad (5)$$

, donde:

$$\Phi^i(z^1(x, y), \dots, z^{N_z}(x, y), \epsilon) = \alpha \quad (6)$$

Las funciones acumuladas de distribución correspondientes a $a^i(x, y, e)$, reciben el nombre de índices locales de amenaza para el evento y se representarán por $A^i(x, y, e)$:

$$A^i(x, y, e) = \int_{e_{min}}^e \pi^i(x, y; \Phi^i(z^1(x, y), \dots, z^{Nz}(x, y), \epsilon)) \frac{\partial \Phi^i}{\partial \epsilon} d\epsilon \quad (7)$$

A partir de la ecuación (2), la dependencia de A^i viene a través de las variables z^r , de forma que es posible considerar la relación entre las funciones A^i con z^r usando una expresión similar a la ecuación (4).

Para ello, denotaremos por $A_0^i(e)$ a los valores de $A^i(z(x, y), e)$ en $z^r=1$ para todo $r=1, \dots, Nz$, y lo llamaremos índice de amenaza inicial para el evento E .

Así, puede demostrarse que la ecuación similar a la (4) para $A^i(z(x, y), e)$ tiene la forma:

$$A^i(x, y, e) = A_0^i(e) \cdot [1 + \sum_{r=1}^{Nz} \Lambda_r^i(e) \cdot (z^r(x, y) - 1)], \quad (8)$$

, donde $\Lambda_r^i(e)$ toma la forma:

$$\Lambda_r^i(e) = \frac{(z^r(x, y) - 1)}{A_0^i(e)} \cdot \int_{e_{min}}^e \frac{\partial^2 \Phi^i}{\partial z^r \partial \epsilon} (1, \dots, 1, \epsilon) d\epsilon \quad (9)$$

Mediante esta definición, los índices de amenaza son una forma alternativa de parametrizar la magnitud del evento. Estos conjuntos de índices pueden agruparse de forma unitaria mediante una media ponderada de los índices (la determinación de los pesos es un problema que escapa del alcance de la presente exposición), definiéndose dos tipos de índices de amenaza (iniciales y locales) como:

$$A_0(e) = \sum_{i=1}^{Na} w_i^A \cdot A_0^i(e) \quad (10)$$

$$A(x, y, e) = \sum_{i=1}^{Na} w_i^A \cdot A^i(x, y, e) \quad (11)$$

Usando las ecuaciones (10) y (11) en la ecuación (8):

$$A(x, y, e) = A_0(e) \cdot [1 + \sum_{i=1}^{Na} w_i^Q \cdot Q^i(e)] \quad (12)$$

, donde los nuevos pesos w_i^Q se definen como:

$$w_i^Q = \frac{w_i^A \cdot A_0^i(e)}{A_0(e)} \quad (13)$$

A efectos prácticos de aplicación de la metodología, puede ser más conveniente considerar los valores esperados de estos índices respecto la variable e , denotados como:

$$A_0 = \int_{e_{min}}^{e_{max}} A_0(e) d\epsilon \quad (14)$$

$$A(x, y) = \int_{e_{min}}^{e_{max}} A(x, y, e) d\epsilon \quad (15)$$

Así, tenemos:

$$A(x, y) = A_0 \cdot \left[1 + \int_{e_{min}}^{e_{max}} \sum_{i=1}^{N_a} \frac{w_i^A \cdot A_0^i(e)}{A_0} \cdot Q^i(\epsilon) d\epsilon \right] \quad (16)$$

, de forma que existe una relación entre $A(x, y)$ y A_0 similar a la de la ecuación (8):

$$A(x, y) = A_0 \cdot \left[1 + \sum_{r=1}^{N_z} K^r \cdot (z^r(x, y) - 1) \right] \quad (17)$$

Esta expresión coincide a primer orden con la expresión en variables separadas dada por:

$$A(x, y) = A_0 \cdot \prod_{r=1}^{N_z} [1 + K^r \cdot (z^r(x, y) - 1)] \quad (18)$$

, que será, por simplicidad, la expresión utilizada en aplicaciones reales de la metodología.

2.2 Ejemplo de aplicación. Determinación microzonal de riesgos

Un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta parte de considerar una amenaza de tipo hidrológico. En una primera aproximación se pueden seguir los criterios marcados por la Directiva 2007/60/EC, sobre la evaluación y gestión de riesgos de inundación, y la metodología contemplada en el Plan de Acción Territorial sobre la Prevención de Riesgos de Inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA-Generalitat Valenciana, 2005).

Los factores considerados en PATRICOVA son los que aparecen en la siguiente tabla:

Factor	Descripción	Unidades
a_1	Altura máxima del agua	m
a_2	Velocidad máxima de flujo	m/s
a_3	Flujo máximo de arrastre	m ³ /s

Tabla 1. Factores utilizados en la metodología PATRICOVA.

Consideremos un índice de amenaza global inicial dado por $A_0=0.45$.

Supongamos que en el modelo propuesto se consideran las propiedades intrínsecas que aparecen en la Tabla 2:

Factores de magnitud		z_{max}^i	Descripción	K^i
z_1	Nivel freático	1.13	Profundidad del nivel freático, mide la capacidad de infiltración antes del anegamiento.	0.373
z_2	Tipo de suelo	1.08	La tipología del suelo incluye, entre otros factores, la impermeabilidad y la porosidad, determinando el coeficiente de escorrentía de la zona.	0.301
z_3	Pendiente del terreno	1.10	La pendiente del terreno determina la altura y la velocidad de la escorrentía.	0.325

Tabla 2. Propiedades intrínsecas propuestas.

La determinación de los índices de amenaza local se determina a través de la ecuación (21). Consideremos una región donde se selecciona un conjunto de puntos, que tienen las propiedades definidas en la Tabla 3:

Punto número	Nivel freático	Tipo de suelo	Pendiente terreno	z^1	z^2	z^3	A(x,y)
Punto 1	3	Limo	0.005	1.05	1.05	1.01	0.502
Punto 2	2,50	Arena	0.015	1.05	1.02	1.04	0.502
Punto 3	0.75	Arcilla	0.06	1.13	1.08	1.10	0.514
Punto 4	19	Grava	0.02	1.00	1.00	1.07	0.500
Punto 5	15	Arena limosa	0.0004	1.01	1.03	1.00	0.499
Punto 6	7	Arena	0.05	1.02	1.02	1.07	0.502

Tabla 3. Índices de amenazas locales para diferentes puntos de muestra.

Los valores finales correspondientes a los índices de amenazas locales se representan en la última columna de la tabla anterior.

3. CONCLUSIONES

Con la metodología propuesta se presenta una formalización de los conceptos utilizados en la gestión de riesgos y de las diferentes amenazas. Permitiendo este desarrollo formal realizar una estimación de riesgos más exacta desde el punto de vista geográfico teniendo en cuenta factores de carácter local o micro local complementando así a otras metodologías que no alcancen ese nivel de detalle.

Por otro lado, los resultados obtenidos pueden servir de base para el análisis y estimación de daños, susceptibilidades y vulnerabilidades de las infraestructuras afectadas ante posibles eventos.

A su vez, la flexibilidad de la propuesta metodológica permite su aplicación a diferentes tipos de riesgos, incluyendo factores que pueden modificar la amenaza real de forma que la reduzcan o la incrementen. El uso de diferentes fuentes de información para la determinación y uso de dichos factores puede ser automatizado para la utilización de las mismas en el desarrollo de aplicaciones GIS o mapas de amenazas a diferentes niveles de detalle de una forma unificada.

REFERENCIAS

- Arnell, N. W., & Gosling, S. N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134(3), 387-401.
- Applied Technology Council, ATC-13. (1985). *Earthquake Damage Evaluation Data for California*. Applied Technology Council.
- Ballantyne, D. (2010). Seismic vulnerability assessment and design of pipelines. *Journal American Water Works Association*, 88-97.
- Barbat A. H., & 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. (2001). *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Carreño M. L. (2006). *Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Contreras Moya, M. (2021). *Metodología para integrar a la gestión de riesgo de infraestructura vial la vulnerabilidad social y la dependencia a infraestructura crítica ante eventos naturales. Aplicación práctica al Volcán Villarrica (Chile)*.

- CORDIS-SYNER-G. (2012). *SYNER-G: Systemic seismic vulnerability and risk assessment of complex urban, utility, lifeline systems and critical facilities: Methodology and applications*.
- Corsanego, A., & Petrini, V. (1990). *Seismic vulnerability of buildings*. Proceedings of the SEISMED 3.
- Dawson, W. R. (2003). *Economic Guidance Memorandum 04-01, Generic Depth-Damage Relationships for Residential Structures with Basements*. Memorandum. U.S. Army Corps of Engineers.
- Del Pino Corredera, J. D. D. (2020). Análisis del uso operativo de los indicadores de verificación basados en tablas de contingencia en el pronóstico de fenómenos meteorológicos adversos. En: *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, 34.
- Eidinger, J. M., & Ávila, E. A. (1999). *Guidelines for the seismic evaluation and upgrade of water transmission facilities (Vol. 15)*. ASCE Publications.
- FEMA-HAZUS (2004). HAZUS-MH MR2 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency.
- Fernández, A. V., & Rodríguez, J. M. C. (2017). Análisis de las ciberamenazas. *Cuadernos de estrategia*, 185, 97-138.
- Generalitat Valenciana (2015). *PATRICOVA: Plan de Acción Territorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana*.
- Generalitat de Catalunya, GC. (2010). *Plan de emergencia especial por inundaciones (INUNCAT)*. Generalitat de Catalunya.
- IDNDR-RADIUS. (1999). *Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects. International Decade for Natural Disaster Reduction*.
- ISDR-ONU. (2000). *Disaster Prevention, Education and Youth. The specific case of wildfires*.
- Kates, R. W. (1978). *Risk assessment of environmental hazard*.
- Kircher, C. A., Reitherman, R. K., Whitman, R. V., & Arnold, C. (1997). *Estimation of Earthquake Losses to Buildings*.
- Lara, M. (2007). *Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana*. Universidad de Chile.
- Leceta Ostolaza, A. (2014). Consideraciones y recomendaciones para el diseño de estructuras bajo amenaza de tsunamis. [Trabajo Fin de Máster, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, UPM].
- Martín Raya, N. (2020). *Análisis del trazado de las coladas de lava a través de simulaciones en Cumbre Vieja, La Palma*.
- Martínez, C. G. L., & Rodríguez, F. V. (2013). *Fenómenos meteorológicos adversos en España*. AMV Ediciones.
- Mendoza, M. A. (2015). *¿Ciberseguridad o seguridad de la información? Aclarando la diferencia*. We Live Security. <http://www.welivesecurity.com/laes/2015/06/16/ciberseguridad-seguridad-informacion-diferencia/>
- Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S., & Masure, P. (2004). The european

Risk-UE project: an advanced approach to Earthquake risk scenarios. En: *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada.

- Muñoz E. (2013). Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del mar, V región. [Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile].
- Naranjo, J. A., & Varela, J. (1996). *Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993*. Servicio Nacional de Geología de Santiago de Chile.
- Oliveira, C., Roca, A., & Goula, X. (2006). *Assessing and Managing Earthquake Risk: Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: developments, tools, techniques*. Springer.
- Parker, L. D. (2005). Social and environmental accountability research: A view from the commentary box. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*.
- PAHO, OPS. (1998). *Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario - Guías para el análisis de vulnerabilidad*. Pan American Health Organization (PAHO) / Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Pérez, R. E. (2018). Investigación sobre modelos de gestión de infraestructuras hidráulicas urbanas resilientes en relación con los riesgos hidrológicos y geológicos. [Tesis doctoral, Universitat d'Alacant].
- Pineda Porras, O., & Ordaz, M. (2007). A new seismic intensity parameter to estimate damage in buried pipelines due to seismic wave propagation is proposed. *Journal of Earthquake Engineering*.
- Rodofile, N. R., Radke, K., & Foo, E. (2019). Extending the cyber-attack landscape for SCADA-based critical infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 25, 14-35.
- Rodríguez, A. H. (2011). *Análisis y evaluación de riesgo sísmico en líneas vitales. Caso de estudio Bogotá D.C.* Universidad Nacional de Colombia.
- Russo, B., Gómez, M., & Macchione, F. (2013). Criterios de peligro peatonal para áreas urbanas inundadas. *Peligros naturales*, 69(1), 251-265.
- SRM-LIFE. (2007). *Development of a global methodology for the vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures, and critical facilities. Application to the metropolitan area of Thessaloniki*. Research Project, General Secretariat for Research and Technology.
- Salgado-Gálvez, M. A., Bernal, G. A., & Cardona, O. D. (2016). Evaluación probabilista de la amenaza sísmica de Colombia con fines de actualización de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 32(4), 230-239.
- Sarachaga, M. H., Caderot, G. R., Bouza, M. R., Bilbao, I. R., Dulcet, F. S., Monge, B. M., ... & Menéndez, J. E. (2014). Estudio de las tormentas geomagnéticas y evaluación de su impacto en el ámbito de las tecnologías e infraestructuras en España y Portugal. *Riesgos naturales seguridad y medio ambiente*, 133.
- Schmidt Díaz, V. (2010). *Avances para estudios del riesgo sísmico a escala regional y local: aplicación a América Central ya la Bahía de Cádiz (Sur de España)*.
- Soria-Olivas, E., Torres, J., Padial, Ó., Mateo, F., Vila Francés, J., Domínguez, M., ... & Edo, J.

(2019). *Ciberseguridad: el reto del siglo XXI*.

- Svitkova, K. (2014). Seguridad contemporánea desde el enfoque urbano: ciudades ante riesgos y amenazas estratégicas para España. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 3(3).
- USGS-NVEWS. (2005). *National Volcano Early Warning System*. U. S Geological Survey.
- Vázquez-Herrero, J., Vizoso, Á., & López-García, X. (2019). Innovación tecnológica y comunicativa para combatir la desinformación: 135 experiencias para un cambio de rumbo. *El profesional de la información* (EPI), 28(3).