

---

# Hacia la creación de un índice de riesgo para diseñar y evaluar un servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en microcuencas urbanas.

Towards a risk index to design and evaluate flood regulation ecosystem services in urban watersheds.

---

Hugo de Alba Martínez<sup>a,b,1</sup>,  
Bertha Márquez-Azúa<sup>a,2</sup>

Fecha de recepción: Abril de 2017

Fecha aprobación: Junio de 2017

**Para citar este artículo:** De Alba Martínez, H., & Márquez-Azúa, B. (2017). Hacia la creación de un índice de riesgo para diseñar y evaluar un servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en microcuencas urbanas. *Tecnogestión*, 14(1).

## Resumen

En este trabajo se plantean los elementos necesarios para construir un índice de riesgo espacialmente explícito, que sirva para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en una microcuenca urbana. Para este fin, se realizaron las siguientes acciones: (1) Revisión de los conceptos de servicios ecosistémicos, riesgo y sus componentes y los sistemas de información geográfica como instrumento para evaluación de riesgo de desastres por fenómenos naturales; (2) Discusión de los conceptos a utilizar; (3) Exploración sobre diferentes metodologías viables para la construcción de un índice de riesgo inundación apropiado para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundación.

Se ilustró en cómo las diferentes conceptualizaciones del riesgo y sus

componentes, resultan en diferentes maneras de enmarcar el problema. Se ratificó al SIG como un marco analítico idóneo para la evaluación del riesgo de inundación debido a la capacidad que tiene de evaluar espacio temporalmente el peligro y la vulnerabilidad dentro de un área en un marco de servicios ecosistémicos.

## Abstract

This paper presents the necessary elements to construct a spatially explicit risk index that serves to evaluate the flood regulation ecosystem service in urban watersheds. In order to achieve this, the following actions were carried out: (1) Review of the concepts of ecosystem services, risk and its components and, geographic information systems as an instrument for risk assessment of natural disasters; (2) Discussion of concepts to be used; (3) Exploration on different viable methodologies

---

<sup>a</sup> Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo, Universidad de Guadalajara, Tomás V. Gómez 121 Col. Ladrón de Guevara, C.P. 44100. Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, C.P. 45604, Tlaquepaque, Jalisco, México

<sup>1</sup> E-mail: [hdealba@iteso.mx](mailto:hdealba@iteso.mx)

<sup>2</sup> E-mail: [bmarquez@cencar.udg.mx](mailto:bmarquez@cencar.udg.mx)

for the construction of an appropriate risk index to evaluate flood regulating ecosystem services. It was illustrated how the different conceptualizations of the risk and its components, result in different ways of framing the problem. GIS is ratified as a suitable analytical framework for flood risk assessment due to its capacity to

## Introducción

Las inundaciones se encuentran entre los desastres por fenómenos naturales más recurrentes y devastadores, cobrando vidas humanas y causando grandes pérdidas económicas y ambientales en todo el mundo (Santillan, Marqueso, Makinano-Santillan, & Serviano, 2016). Se prevé que el riesgo por inundación aumentará en el futuro en muchas partes del mundo, debido al aumento en la intensidad y frecuencia de las inundaciones como consecuencia del cambio climático (Ouma & Tateishi, 2014), así como por el resultado de los procesos de urbanización y el aumento de asentamientos humanos en zonas potencialmente inundables.

La comprensión del fenómeno de inundación y sus riesgos asociados, incluyendo el desarrollo e implementación de medidas de adaptación, se han vuelto cada vez más importantes (Santillan et al., 2016). En este sentido, las tecnologías de la información geográficas (TIG) entre los que se cuentan la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), se han convertido en herramientas geoespaciales muy eficientes para la evaluación de las inundaciones y su riesgo. Tradicionalmente se ha visto al riesgo, únicamente como la probabilidad de que un evento peligroso suceda. Sin embargo, el análisis

assess in time and space, the hazard and vulnerability of an area within an ecosystem service framework.

**Palabras clave:** *Servicios Ecosistémicos, Riesgo de inundación, SIG, microcuencas urbanas*

**Keywords:** *Ecosystem services, flood risk, GIS, urban watersheds*

integral de riesgo debe incorporar la interacción entre la naturaleza del evento y las características de la población o área en riesgo (Cançado et al. 2008), razón por la cual, se requiere un mejor entendimiento y conocimiento de la vulnerabilidad (Ouma & Tateishi, 2014).

El desarrollo es un proceso de construcción social y debe orientarse hacia la realización humana (García Lemus, 2004); por lo tanto, el análisis y la gestión del riesgo se reconoce como uno de los retos claves para el desarrollo. Entre los elementos claves para una exitosa gestión del riesgo, se identifica la protección de los ecosistemas que proveen servicios (UNEP, 2004).

El desconocimiento y la falta de evaluación de los servicios ecosistémicos provistos en un área, la hace susceptible de transformarse en un uso de suelo inapropiado que resulte en la pérdida o degradación de tales servicios ecosistémicos. La razón principal por la cual los servicios ecosistémicos han sido subestimados, se debe a que ni los beneficiarios (generalmente la población e infraestructura locales), ni los proveedores (zonas forestales, áreas de cultivo, áreas verdes) son fácilmente identificados.

Por esta razón, es necesario identificar, localizar y evaluar los servicios ecosistémicos de regulación de inundación dentro del contexto de la toma de decisiones territoriales, particularmente en donde

exista el conflicto entre desarrollo y conservación. Por la misma razón es crucial obtener información suficiente y precisa sobre los servicios ecosistémicos, su oferta y su demanda (Hauck et al., 2013). El servicio ecosistémico de regulación de agua se define como la influencia que los ecosistemas tienen sobre el tiempo y la magnitud de la escorrentía en términos de potencial de almacenamiento de agua del ecosistema (Maes et al., 2011).

El objetivo de este documento es plantear los elementos necesarios para construir un índice de riesgo espacialmente explícito, que sirva para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en una microcuenca urbana. Para este fin, se plantean las siguientes acciones: (1) Revisión de los conceptos de servicios ecosistémicos, riesgo y sus componentes, los sistemas de información geográfica como instrumento para evaluación de riesgo de desastres por fenómenos naturales; (2) Discusión de los conceptos a utilizar; (3) Explorar sobre las diferentes metodologías viables para la construcción de un índice de riesgo inundación apropiado para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundación.

## 1. Marco teórico conceptual

### 1.1 Servicios ecosistémicos de regulación de inundación

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en inglés), es considerada un hito en el estudio de los servicios ecosistémicos (SE). Se ha convertido en una tarea que, llevada a cabo por las Naciones Unidas, resulta útil para evaluar las consecuencias que tienen los cambios en los ecosistemas sobre el bienestar de la humanidad, así como para establecer las bases

científicas para la realización de acciones necesarias para la conservación y el uso sostenible de los recursos. El MEA definió los servicios ecosistémicos como aquellos beneficios que reciben los seres humanos de los ecosistemas. En esta evaluación se identificó una gran variedad de servicios ecosistémicos para el bienestar de la humanidad (Tisdell, 2005). Estos fueron clasificados en cuatro categorías:

1. Servicios de provisión
2. Servicios de regulación
3. Servicios culturales y
4. Servicios de apoyo

Entre los (SE) denominados como servicios provisión se encuentra la disponibilidad de agua dulce, alimentos y fibras; los servicios reguladores son, por ejemplo, el control de microclimas y plagas; los servicios culturales contemplan beneficios espirituales, paisajísticos y recreacionales; y los servicios de apoyo, son los ciclos de los nutrientes para el sustento de la vida en el planeta (MEA, 2005). Muchos de estos servicios cuando están relacionados con el agua se conocen como servicios ecosistémicos hidrológicos; algunos de estos servicios incluyen provisión de agua limpia, recarga de agua subterránea (Bergkamp & Cross, 2006), agua para riego, energía hidroeléctrica, pesca, recreación y regulación de inundaciones (Jujnovsky et al., 2012).

El servicio ecosistémico de regulación de agua, se refiere a la influencia que los ecosistemas tienen sobre el tiempo y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones y la recarga de acuíferos, particularmente en términos de potencial de almacenamiento de agua del ecosistema (Maes et al., 2011).

## 1.2 Determinantes del riesgo

El Panel Intergubernamental de Expertos ante el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, por su siglas en inglés), coinciden en que el paradigma moderno del riesgo asociado a peligros naturales y catástrofes, comprende los conceptos peligro, vulnerabilidad y exposición (Atkinson et al., 2012). Sin embargo, es muy común encontrar que tanto la literatura como diversas instituciones y dependencias gubernamentales, utilizan distintas definiciones que comprenden distintos conceptos (por ejemplo, el término “consecuencias”). Más aún, no existiría consenso en relación con la forma en que deben combinarse sus elementos en una expresión matemática para proveer una medida escalar del riesgo (Baecher, 2009).

En consecuencia, el primer paso para poder alcanzar un adecuado manejo integral del riesgo es acordar lo que se entiende por riesgo. Para este propósito, Klijn, Kreibich, de Moel, & Penning-Rowsell, (2015) hacen una extensa revisión de la literatura sobre el concepto de riesgo y encuentran que existen muchas definiciones y diferentes nociones, y que sus componentes llegan a ser conceptualizados ambigüamente.

Con base en diversas definiciones de riesgo en la literatura reciente, FLOODsite<sup>1</sup> recomienda definir el riesgo de inundación empleando las siguientes ecuaciones (FLOODsite, 2009):

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad (de inundación)} \times \text{Consecuencias (de la inundación)} \quad (1)$$

La primera definición es extensamente aplicada entre científicos ambientales e ingenieros, quienes usualmente realizan un esfuerzo en la reducción de la probabilidad de la inundación adoptando medidas de protección de inundación, típicamente obras de infraestructura con resistencia basada en términos probabilísticos (Klijn et al., 2015).

$$\text{Riesgo} = \text{peligro (de inundación)} \times \text{vulnerabilidad (de la sociedad / área)} \quad (2)$$

En la ecuación (2), ampliamente difundida en la literatura reciente (FLOODsite, 2009), es preferida entre científicos sociales y particularmente planificadores territoriales, quienes usualmente consideran el peligro como algo dado, y como manera de mitigación o adaptación buscan influenciar en la planificación espacial y el comportamiento de la gente (Klijn et al., 2015).

Klijn et al., (2015) argumentan que la ecuación (1), al multiplicar la probabilidad de falla de la medida de defensa por sus consecuencias, se obtiene un estimado cuantitativo de riesgo de inundación en donde la vulnerabilidad del área y, la extensión y la profundidad de la inundación se combinan en una cifra que expresa consecuencias, por lo que utilizan el símbolo de multiplicación como operador indicativo. En contraste, en la ecuación (2) la extensión y profundidad de la inundación y la probabilidad de ocurrencia, están comprendidas dentro del concepto de peligro (definido como un fenómeno potencialmente dañino), entonces los daños solamente pueden ocurrir en una sociedad o área vulnerable, por lo

<sup>1</sup> El Proyecto FLOODsite es parte del sexto programa marco de la unión europea y comprende un extenso programa de investigación y desarrollo dedicado al análisis y gestión del riesgo de inundación. Cuenta con equipo de investigación de más de 200 personas, procedentes de 37 organizaciones diferentes de 13 países diferentes de la unión europea y que abordan unas 35 tareas distintas de trabajo. Ver: <http://www.floodsite.net/>

tanto, el operador indicativo recomendado, es el símbolo de superposición.

La diferencia fundamental entre estas dos definiciones residiría en dónde son incorporadas las características de la inundación (Klijn et al., 2015). Para el caso de la ecuación (1), las características de la inundación (extensión y profundidad) están incorporadas en gran parte en el término consecuencias, mientras que en la ecuación (2) éstas características, así como su

probabilidad, se encuentran directamente incluidas y de manera obvia en el término peligro. Klijn et al., (2015) sugieren la inclusión término exposición, refiriéndose a la “cuantificación de los receptores que pueden ser influenciados por una inundación” (por ejemplo, número de personas, y número y tipo de propiedades) y, al incluirlo explícitamente como un elemento por separado en los constituyentes del riesgo, ambas definiciones (ecuaciones 1 y 2) pueden ser reconciliadas (Ver Figura 1).

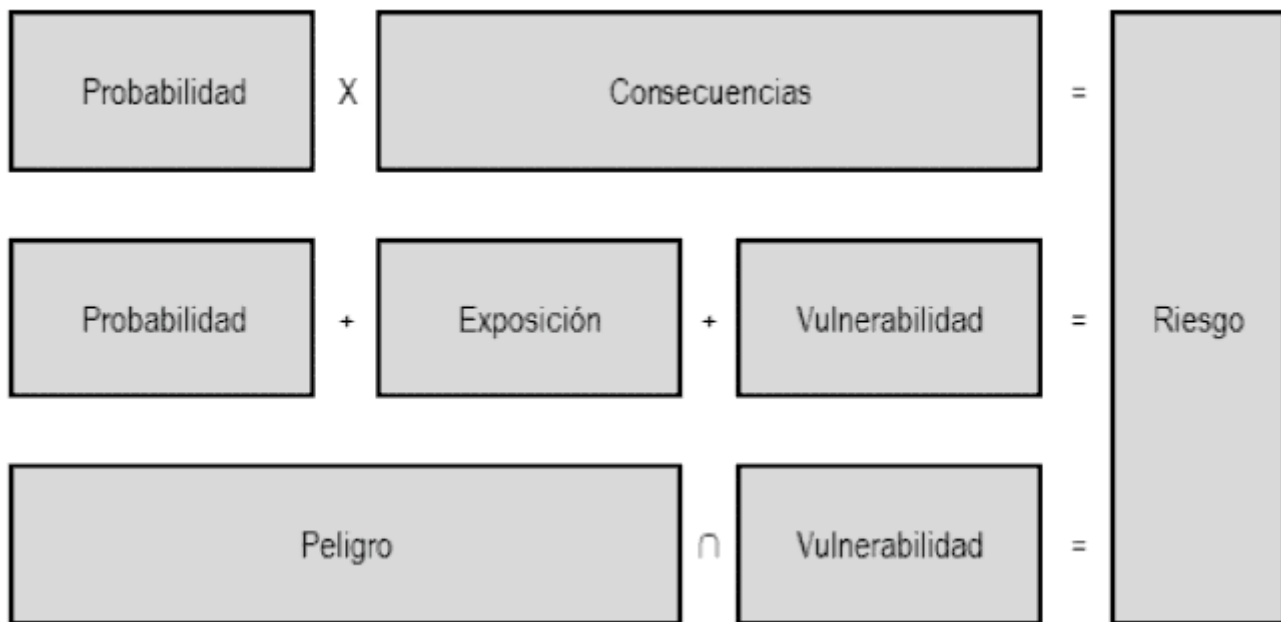


Figura 1. Reconciliación de dos definiciones importantes de riesgo incorporando el término exposición. Tomado de Klijn et al. (2015)

En concordancia con esta nueva conceptualización de riesgo, el IPCC y UNISDR también incluyen el término exposición. Sin embargo, la diferencia principal radica que en ésta ecuación, el concepto peligro se define como la posibilidad de cierto fenómeno potencialmente dañino (cf. Cardona et al., 2012).

### 1.3 Uso de los sistemas de información geográfica como instrumento de análisis de riesgos

La evaluación de riesgos es un proceso complejo que apunta hacia la valoración de diferentes aspectos que pueden desequilibrar un sistema, para proporcionar los medios que permitan entender las causas y consecuencias de dichos riesgos (Peggon, Bernardini, & Masera, 2008).

Un principio fundamental para la evaluación de riesgos es reconocer que éstos son dependientes de su ubicación (Peggion et al., 2008), por tanto, las técnicas de geoespaciales que proveen los SIG pueden ser de suma utilidad para la identificación, análisis, cuantificación y evaluación de los riesgos. Existen en la literatura numerosos ejemplos de casos exitosos en que los SIG se han aplicado para la evaluación de riesgos (Ebert, Kerle, & Stein, 2008; Evans, Gunn, & Williams, 2007; Fedeski & Gwilliam, 2007; Grêt-Regamey et al., 2014; Grineski, Collins, Romo Aguilar, & Aldouri, 2010; Jiang, Wang, Lung, Guo, & Li, 2012; Santini, Caccamo, Laurenti, Noce, & Valentini, 2010; Stein, Staritsky, Bouma, & Van Groenigen, 1995; Youpeng et al., 2010)

Actualmente, el SIG para el modelado de las inundaciones y su delimitación espacial está muy avanzado y existen numerosos modelos matemáticos para calcular sus características como profundidad, velocidad y extensión (Iosub, Minea, Hapciuc, & Romanescu, 2015), así como procedimientos para modelar en términos espaciales la exposición y vulnerabilidad. Una de las principales salidas del análisis en SIG son los mapas de riesgo, entendidos como la expresión geoespacial de los resultados de las evaluaciones de riesgo (Atkinson et al., 2012).

## 2. Discusión

### 2.1 Elección del concepto de riesgo y sus componentes

La ecuación (3), al utilizar el operador de superposición, conceptualiza el riesgo como la coincidencia espacial entre el peligro y la vulnerabilidad, haciendo de los SIG una herramienta idónea para su evaluación.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro (de inundación)} \cap \text{Vulnerabilidad (de la sociedad / área)} \quad (3)$$

En consecuencia, puede ser recomendable el uso de la ecuación (3) como base para la construcción de un índice de riesgo espacialmente apto para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundación en una microcuenca urbana. En los siguientes apartados se hacen propuestas para la elaboración en términos geoespaciales de ambos componentes de la Ecuación (3).

#### 2.1.1 Peligro

Los mapas de peligro de inundación constituyen las bases para el desarrollo de planes de manejo del riesgo (Krishnamurthy & Krishnamurthy, 2012; Ouma & Tateishi, 2014). Para generar mapas que sirvan al propósito de evaluar servicios ecosistémicos de regulación de inundación, es necesario que el modelo hidrológico a utilizar en la investigación sea aplicable a cuencas pequeñas con procesos predominantes de escurrimiento superficial en eventos de inundación. Igualmente, que permita estimar la influencia de la cobertura del suelo que es especialmente importante para la evaluación del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones. Adicionalmente, el modelo hidrológico debería ser capaz de simular procesos físicos de interceptación, infiltración, escorrentía y erosión en cuencas que se caracterizan generalmente por procesos de flujo superficial y arrojar como la extensión, profundidad y velocidad del agua explícitas en el espacio.

Daniel et al., (2011) realizaron una comprehensiva revisión del estado del arte en el modelado de cuencas y sus aplicaciones, así como de sus principales componentes y datos entradas. De este trabajo, se recomienda que se elija uno de entre los

modelos apropiados para el modelado de cuencas urbanizadas, y que sea capaz de cuantificar los impactos del cambio del uso y cobertura del suelo sobre el escurrimiento superficial.

### 2.1.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el componente más crucial del riesgo, debido a que este determina si la exposición al peligro constituye un riesgo que potencialmente puede convertirse en desastre (Ouma & Tateishi, 2014). Desde hace varias décadas, se han realizado propuestas definir las diferentes tipologías de la vulnerabilidad como por ejemplo (Anderson, 1985)-. Sin embargo, dado que el objetivo es generar un índice de riesgo capaz de reflejar la provisión del servicio ecosistémico, se recomienda utilizar únicamente aquellos tipos de vulnerabilidad competentes a dicho fin. Se recomienda utilizar únicamente vulnerabilidad social, vulnerabilidad física y vulnerabilidad material, como se describen a continuación:

- La vulnerabilidad social se refiere a las características de una persona (o grupo) que les imposibilita a soportar los peligros; ésta es inherentemente compleja (Krishnamurthy & Krishnamurthy, 2012) y puede definirse de manera diferente dependiendo la escala de análisis.
- La vulnerabilidad física se define como las propiedades de estructuras físicas que determinan su daño potencial en caso de desastre, por ejemplo tipo de material, calidad de la construcción, etc., (Ebert et al., 2008).
- La vulnerabilidad material es reducida cuando los recursos para satisfacer necesidades físicas básicas humanas son suficientes para el consumo presente y para sustentar una

comunidad durante un período no productivo que puede haber sido causado por un evento de crisis (Anderson, 1985).

La vulnerabilidad no es un fenómeno observable, por tanto, es necesario medirla a través de variables espaciales *proxies* físicas y sociales. Se recomienda el uso de datos de censos nacionales agregados a una unidad geostadística apropiada para su manejo en un SIG. Algunos ejemplos de variables *proxies* que se han utilizado exitosamente son: población debajo de la línea de pobreza, jefatura femenina del hogar, nivel educativo, edad, densidad de población, densidad de viviendas, distancia a hospitales, refugio y carreteras federales -cf. (Grineski et al., (2010), Cançado et al., (2008) y Krishnamurthy & Krishnamurthy, (2012)-. Es importante que las variables elegidas cuenten con suficientes datos para modelar diferentes escenarios y evaluar el cambio espaciotemporal del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones.

### 2.2 Construcción del índice

Actualmente, no existe consenso en cómo se deben combinar o ponderar los componentes del riesgo, ni tampoco en cómo debe hacerse la estratificación para calcular sus niveles. Diferentes autores utilizan diferentes métodos. Por ejemplo, Krishnamurthy & Krishnamurthy (2012) utilizan el criterio de expertos; Grineski et al. (2010) usan una regresión espacial; Cançado et al., (2008) utilizan análisis de componentes principales para la generación del índice y el análisis “cluster” para la estratificación de los niveles del riesgo; el uso del análisis multicriterio ha sido también muy utilizado para evaluar el riesgo de inundación (Irvem & Topaloglu, 2012;

Nandi Arpita<sup>1</sup>, Mandal, Wilson, & Smith, 2016; Rahmati, Zeinivand, & Besharat, 2016; Wang, Li, Tang, & Zeng, 2011). Las matrices de riesgo han sido muy utilizadas, principalmente por agencias federales o instituciones encargadas de protección civil, para identificar los riesgos y jerarquizar alternativas de remediación (Baecher, 2009).

### 3. Conclusiones

El trabajo realizado en este documento puede tomarse como la base para la construcción de un índice de riesgo a inundación espacialmente explícito, que sirva para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones. Aquí se ha ilustrado cómo diferentes conceptualizaciones del riesgo, resultan en diferentes maneras de enmarcar el problema y, por tanto, el documento busca contribuir a la elección de un procedimiento ajustado a las necesidades y disponibilidad de datos del analista.

El SIG se presenta como un marco analítico idóneo para la evaluación de riesgos a inundación gracias a la posibilidad que tiene de analizar la evolución espaciotemporal del peligro y de la

Los métodos multivariados son una buena opción dado que tratan múltiples variables simultáneamente (Krzanowski & Marriott, 1995). No obstante, el método a elegir debe ser aquel que permita que sea comparable entre distintos escenarios.

vulnerabilidad en un marco de servicios ecosistémicos.

A pesar de que el servicio ecosistémico incide principalmente en el peligro, es muy importante el análisis de vulnerabilidad, dado que se debe identificar los elementos que están sujetos al riesgo y analizar las causas por las cuales estos elementos se encuentran en tal riesgo.

En este documento no se discutieron aspectos importantes como los datos de entrada, el impacto de su incertidumbre, las herramientas de geoproceso idóneas para la combinación de las diferentes capas espaciales o los métodos de agregación, entre otras variables. Se recomienda ampliamente tomarlas en cuenta cuando se elabore un índice de riesgo a inundación.



## Referencias bibliográficas

- Anderson, M. B. (1985). A reconceptualization of the linkages between disasters and development. *Disasters*, 9 *Suppl 1*, 46–51.
- Atkinson, P., Clark, M. J., G. Lewis, H., Bevington, J., Murdock, A., & Branson, J. (2012). *State-of-the-art in Risk Mapping*.
- Baecher, G. B. (2009). Quantifying flood risk.
- Bergkamp, G., & Cross, K. (2006). Groundwater and ecosystem services: towards their sustainable use. *International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS)*, 177–193. Retrieved from <http://aguas.igme.es/igme/isgwas/Ponencias ISGWAS/13-Bergkamp.pdf>
- Cançado, V., Brasil, L., Nascimento, N., & Guerra, A. (2008). Flood risk assessment in an urban area : Measuring hazard and vulnerability, (Equation 1), 1–10.
- Cardona, O. D., van Aalst, M. ., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., ... Sinh, B. T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, ... P. M. Midgley (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. (pp. 65–108). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Daniel, E. B., Camp, J. V., LeBoeuf, E. J., Penrod, J. R., Dobbins, J. P., & Abkowitz, M. D. (2011). Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. *The Open Hydrology Journal*, 5(1), 26–50. <http://doi.org/10.2174/1874378101105010026>
- Ebert, A., Kerle, N., & Stein, A. (2008). Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air- and spaceborne imagery and GIS data. *NATURAL HAZARDS*, 48(2), 275–294.
- Evans, S., Gunn, N., & Williams, D. (2007). Use of GIS in Flood Risk Mapping. ... *Seminar GIS* ( ... , 1–12.
- Fedeski, M., & Gwilliam, J. (2007). Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology. *Landscape and Urban Planning*, 83(1), 50–61. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.012>
- FLOODsite. (2009). *Language of risk. Project definitions. 2nd Ed. Report T32-0401*.
- García Lemus, V. M. (2004). Rompiendo paradigmas en desastres y desarrollo. *Vivir Con El Reiso, Informe Mundial Sobre Iniciativas Para La Reducción de Desastres, Un Desafío Para El Desarrollo*, 1–7.
- Grêt-Regamey, A., Weibel, B., Bagstad, K. J., Ferrari, M., Geneletti, D., Klug, H., ... Tappeiner, U. (2014). On the effects of scale for ecosystem services mapping. *PloS One*, 9(12), e112601. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0112601>

- Grineski, S. E., Collins, T. W., Romo Aguilar, M. de L., & Aldouri, R. (2010). No Safe Place: Environmental Hazards & Injustice along Mexico's Northern Border. *Social Forces*, (5), 2241.
- Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Maes, J., Wittmer, H., & Jax, K. (2013). "Maps have an air of authority": Potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 4. <http://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.11.003>
- Iosub, M., Minea, I., Hapciuc, O., & Romanescu, G. H. (2015). The Use of HEC-RAS Modelling in Flood Risk Analysis. *Air & Water Components of the Environment / Aerul Si Apa Componente Ale Mediului*, 315–322.
- Irvem, A., & Topaloglu, F. (2012). Identification of flood risk area in the Orontes river basin, Turkey, using multi-criteria decision analyses. *JOURNAL OF FOOD AGRICULTURE & ENVIRONMENT*, 10(3–4), 895–899.
- Jiang, J., Wang, P., Lung, W. seng, Guo, L., & Li, M. (2012). A GIS-based generic real-time risk assessment framework and decision tools for chemical spills in the river basin. *Journal of Hazardous Materials*, 227–228, 280–291. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.051>
- Jujnovsky, J., González-Martínez, T. M., Cantoral-Uriza, E. A., & Almeida-Lenero, L. (2012). Assessment of water supply as an ecosystem service in a rural-urban watershed in southwestern Mexico city. *Environmental Management*, 49(3), 690–702. <http://doi.org/10.1007/s00267-011-9804-3>
- Klijn, F., Kreibich, H., de Moel, H., & Penning-Rowsell, E. (2015). Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualisation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), 845–864. <http://doi.org/10.1007/s11027-015-9638-z>
- Krishnamurthy, P. K., & Krishnamurthy, L. (2012). Social Vulnerability Assessment through GIS Techniques: A Case Study of Flood Risk Mapping in Mexico. In J. K. Thakur, S. K. Singh, A. L. Ramanathan, M. B. K. Prasad, & W. Gossel (Eds.), *Geospatial Techniques for Managing Environmental Resources* (pp. 276–291). Dordrecht: Springer Netherlands. [http://doi.org/10.1007/978-94-007-1858-6\\_17](http://doi.org/10.1007/978-94-007-1858-6_17)
- Krzanowski, W. J., & Marriott, F. H. C. (1995). *Multivariate Analysis: distributions, ordination and inference. part 2. classification, covariance Structure and repeated measurements*. Edward Arnold.
- Maes, J., Hauck, J., Paracchini, M. L., Ratamáki, O., Termansen, M., Perez-soba, M., ... Bidoglio, G. (2011). A spatial assessment of ecosystem services in Europe : Methods , case studies and policy analysis - Synthesis report. Italy: European Commission, Joint Research Centre The. <http://doi.org/10.2788/41831>
- M E A . ( 2 0 0 5 ) . *E c o s y s t e m s a n d h u m a n w e l l - b e i n g* . Retrieved from <http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf>
- Nandi Arpita1, nandi@etsu. ed., Mandal, A., Wilson, M., & Smith, D. (2016). Flood hazard mapping in Jamaica using principal component analysis and logistic regression. *Environmental Earth Sciences*, 75(6), 1–16.
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *WATER*, 6(6), 1515–1545.
- Peggion, M., Bernardini, A., & Masera, M. (2008). *Geographic Information Systems and Risk Assessment*. Luxembourg:

- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards & Risk*, 7(3), 1000–1017.
- Santillan, J. R., Marqueso, J. T., Makinano-Santillan, M., & Serviano, J. L. (2016). BEYOND FLOOD HAZARD MAPS: DETAILED FLOOD CHARACTERIZATION WITH REMOTE SENSING, GIS AND 2D MODELLING. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-4/W1*, 315–323. <http://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W1-315-2016>
- Santini, M., Caccamo, G., Laurenti, A., Noce, S., & Valentini, R. (2010). A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index. *Applied Geography*, 30(3), 394–415. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.11.003>
- Stein, A., Staritsky, I., Bouma, J., & Van Groenigen, J. W. (1995). Interactive GIS for environmental risk assessment. *International Journal of Geographical Information Systems*. <http://doi.org/10.1080/02693799508902053>
- Tisdell, C. D. (2005). Managing ecosystems services for human benefit: economic and environmental policy challenges, 7(4).
- UNEP. (2004). *La reducción de riesgos de desastres: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.
- Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25(13), 3465–3484.
- Youpeng, X., Jintao, X., Jinjia, D., Ying, C., Yixing, Y., & Xingqi, Z. (2010). Impacts of urbanization on hydrology in the Yangtze River. <http://doi.org/10.2166/wst.2010.391>