

## **Metodología para el análisis de las causas de la vulnerabilidad al riesgo de sequía a escala de Demarcación Hidrográfica**

### **Resumen**

El concepto de vulnerabilidad ha emergido en las últimas décadas como un elemento clave en las estrategias de investigación y mitigación del riesgo de sequía, en un contexto de consenso científico generalizado en relación con el hecho de que asistimos a una transición en la política de los recursos hídricos, que tiene lugar en un marco de cambios más generales que definen una nueva relación entre la sociedad y la naturaleza. De igual manera, podemos hablar de una transición en materia de política de riesgos hídricos que, de forma paralela, se desarrolla en un contexto marcado por la complejidad y la incertidumbre, así como por la implicación de distintas escalas espaciales y temporales.

La comprensión del riesgo de sequía como proceso y como fenómeno híbrido, frente a la concepción tradicional fisicalista, posibilita que emerjan nuevos modelos y alternativas de gestión que superen las inercias y políticas tradicionales de carácter más reactivo. De dicha comprensión deriva también la introducción de las evaluaciones de vulnerabilidad como herramientas que permiten comprender el funcionamiento de los sistemas, reconocer las incertidumbres asociadas y desarrollar estrategias de mitigación y reducción de riesgos.

Desde este punto de vista, la necesidad de avanzar en el conocimiento de las causas concretas que hacen a los sistemas vulnerables al descenso de las precipitaciones supone un reto fundamental para el adecuado diseño y la posterior aplicación de medidas preventivas, de preparación, mitigación y adaptación a este tipo de riesgos. En este sentido, los estudios sobre la vulnerabilidad al riesgo de sequía deben avanzar en relación al diseño de marcos operativos que sean capaces de asumir la complejidad de las distintas escalas espaciales y temporales a las que opera la gestión de los recursos y los riesgos hídricos, que integre una serie de variables capaces de introducir la realidad social e institucional asociada a este tipo de riesgos y que aproxime las escalas de la planificación hidrológica y las metodologías de evaluación para facilitar el diálogo entre investigadores y gestores.

Para ello, partiendo de la propuesta del IPCC, que define la vulnerabilidad en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación, se propone una metodología para la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad asociada al riesgo de sequía acorde con las distintas escalas temporales y territoriales establecidas en la planificación hidrológica, que se concreta en el cálculo de un Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS) así como en el uso de una serie de técnicas para la interpretación de los valores resultantes.

## 1. Introducción

El origen de los estudios de vulnerabilidad en el campo de los riesgos se puede situar en la década de los ochenta del siglo XX cuando proliferan los trabajos de la llamada *sociología del riesgo* que, sin negar que los riesgos existen en el mundo físico, atribuyen el resultado de los desastres a la interacción de éstos con los factores sociales, institucionales y políticos de las poblaciones expuestas (Beck, 1986, 1992; Hewitt, 1983; Mileti, 1999). Desde esta perspectiva, el riesgo deja de ser considerado como un producto (de la naturaleza) para ser considerado como el resultado de un proceso (de relaciones entre naturaleza y sociedad) cuyos patrones de funcionamiento son difícilmente definibles y predecibles al estar constituidos por conjuntos de elementos y subsistemas que se interrelacionan en diferentes escalas espaciales y temporales, con diferentes funciones y jerarquías. Es decir, se reconocen la complejidad y la incertidumbre como propiedades inherentes a los riesgos naturales. Bajo este prisma, la linealidad causa-efecto, propia de los mecanismos de la racionalidad científica tradicional, se muestra insuficiente para mitigar los impactos. Por otra parte, si el riesgo no es el resultado de un acto de la naturaleza, sino que depende de la forma en que una sociedad se relaciona con el medio ambiente (natural y construido), las estrategias de gestión del riesgo deben virar desde los sistemas de control del fenómeno físico hacia el análisis y la comprensión de dichas relaciones. Por esta razón, las evaluaciones de vulnerabilidad se han postulado en las últimas décadas como un elemento clave en las estrategias de mitigación del riesgo de desastre y más recientemente también en las ciencias de cambio climático (Blaike et al., 1994; Cutter, 1996; Wisner et al., 2004; Birkmann et al., 2006; IPCC, 2007, 2012, 2014). Sin embargo, y pese a los avances teóricos introducidos, todavía existen importantes limitaciones para trasladarlos a marcos metodológicos operativos (Birkmann, 2006; Cutter y Morath, 2009; Birkmann et al., 2013).

En el caso concreto de las sequías, las estrategias tradicionales de gestión se han basado en la consideración de estos fenómenos como actos de la naturaleza ante los que nada o poco se podía hacer. Desde este punto de vista, la sequía se considera como una situación excepcional y los principales instrumentos políticos utilizados han sido medidas reactivas y de emergencia de carácter excepcional, infraestructuras para aumentar la oferta de recursos y compensaciones económicas por los daños y pérdidas ocasionados. Se trata del *enfoque de la gestión de crisis* (Wilhite, 2001; UNISDR, 2005; OMM, 2014), que se ha mostrado insuficiente para paliar las pérdidas: i) al limitar las soluciones a aspectos técnicos en cuyo diseño no existe evaluación de alternativas ni participación de grupos de interés (Iglesias et al., 2007); ii) al desviar la atención sobre las causas fundamentales que hacen que un descenso en las precipitaciones genere situaciones de escasez (Kallis, 2008), atribuyendo la causalidad de la sequía al fenómeno natural sin cuestionar la forma en que se gestiona y explota el recurso; iii) al producir un proceso de despolitización que además facilita priorizar las soluciones tecnológicas (Navarez, 1996).

Posteriormente, emerge como alternativa el *enfoque de la gestión de riesgos*, de carácter proactivo y orientado a la preparación, prevención y mitigación de los impactos, que enfatiza la adaptación a la sequía (Knutson et al., 1998; Wilhite et al., 2000). Este enfoque se centra en identificar dónde están las vulnerabilidades (sectores, regiones, comunidades o grupos de población determinados) y aborda estos riesgos a través de

una implementación sistemática de medidas de mitigación y de adaptación que disminuyen el riesgo asociado a sequías futuras.

A pesar de los avances derivados del nuevo enfoque de la gestión de riesgos, la sequía sigue siendo uno de los riesgos menos entendidos (Swain y Swain, 2011), pues a la complejidad intrínseca de los fenómenos meteorológicos que rigen los patrones de aparición de periodos secos, se unen una serie de características que diferencian a la sequía de otros riesgos naturales y que plantean importantes dificultades para su gestión.

En primer lugar, los efectos de una sequía se pueden acumular durante largos períodos de tiempo y pueden persistir incluso durante años, es lo que Wilhite y Glantz denominan *creeping phenomenon* (1985, 111); estos efectos además de ser acumulativos afectan de diferente manera y a diferentes escalas temporales a los diferentes usos del agua, lo que dificulta determinar cuándo hay una sequía, cuándo empieza y cuándo acaba o hasta dónde se extienden temporal y espacialmente sus efectos (Hisdal, et al., 2004; Wilhite, 2000, WMO Y GWP, 2014). En segundo lugar, el impacto de una sequía afecta a las masas de agua pero rara vez resulta en daños estructurales por lo que la cuantificación de los impactos es mucho más difícil para las sequías que para otros peligros naturales (Wilhite, 2000; Kallis, 2008). En tercer lugar, en el caso de la sequía es fundamental la relación entre las estrategias de gestión del recurso y las estrategias de gestión del riesgo, ya que los impactos no se caracterizan por su impetuosidad sino que suponen la limitación al acceso al recurso agua, lo que en contextos de incertidumbre hace necesario incorporar el riesgo como un elemento más en la planificación y en la definición de políticas del recurso. Por último, además de las características señaladas, la severidad de una sequía es difícil de determinar, pues no depende solo de su duración, intensidad o extensión geográfica sino también de las condiciones de la sociedad que recibe los impactos que, a su vez, dependen fundamentalmente de la vulnerabilidad que presenta una determinada sociedad (Wilhite y Glantz, 1985; Kallis, 2008) y de las características de ésta para adaptarse y hacer frente al fenómeno.

## **2. La vulnerabilidad como herramienta para el cambio de paradigma**

Las evaluaciones de vulnerabilidad frente al riesgo de sequía suponen el primer paso para identificar las causas que generan los impactos y facilitar el cambio de paradigma hacia las estrategias de mitigación de las sequías (Knutson, 1998). En este sentido, en los últimos años se ha reconocido su importancia y ha habido un considerable aumento de evaluaciones de vulnerabilidad al riesgo de sequía, en las que la evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad se realiza generalmente a través de la construcción de un índice compuesto (Iglesias et al, 2007; Swain y Swain, 2011; Liu et al., 2013; Naumman et al., 2014; De Stefano et al., 2015). Este tipo de índices son el resultado de la ponderación e integración de diferentes indicadores que varían de unos estudios a otros en función del contexto, la escala y los objetivos del trabajo. Esta alta diversidad dificulta la existencia de una metodología estandarizada o de un marco operacional comúnmente aceptado.

Gonzalez Tánago et al. (2016) realizan una revisión de los estudios de vulnerabilidad a la sequía llevados a cabo en los últimos años con el objetivo de identificar las debilidades y los retos futuros: 1) mientras que es posible formular algunas recomendaciones sobre el diseño e implementación de los análisis de vulnerabilidad, el contenido concreto de la evaluación tendrá que reflejar necesidades específicas; 2) la multidimensionalidad de la

vulnerabilidad exige incrementar la exhaustividad y el uso de diferentes tipos de datos, especialmente reforzando la inclusión de datos cualitativos; y, 3) con el fin de garantizar la transparencia y la comparabilidad se recomienda incluir la validación tanto de los procesos como de los resultados obtenidos, en particular los relacionados con la construcción del modelo conceptual y los empleados en la selección de variables e indicadores.

Uno de los marcos teóricos más utilizados para operativizar el análisis de la vulnerabilidad frente al riesgo de sequía ha sido el propuesto por el IPCC (2007) (Bhattacharya y Das, 2007; Deems, 2010, Liu et al, 2013; De Stefano et al, 2015) donde, en relación con el cambio climático, *la vulnerabilidad se define en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación* (McCarthy et al 2001; Fussel 2007; IPCC 2007; O'Brien et al 2008). Aunque el objetivo principal de las investigaciones, interpretaciones y definiciones sobre vulnerabilidad asociada al cambio climático y a los riesgos presentan algunas diferencias, la operatividad de la vulnerabilidad se hace utilizando metodologías e indicadores similares en ambos casos (Füssel y Klien, 2006; Costa y Kropp, 2013). Además, en el año 2012 el IPCC realiza un informe orientado exclusivamente a la integración de las metodologías de vulnerabilidad asociadas al cambio climático con los riesgos naturales (IPCC, 2012a). En este informe se reconoce que el clima y los eventos climáticos derivados del cambio climático, que producen eventos extraordinarios, no producen necesariamente desastres, sino que éstos ocurren cuando los eventos extremos pueden afectar a poblaciones expuestas que son potencialmente vulnerables a dichos impactos. El marco propuesto no introduce un cambio operativo significativo, pero sí supone un avance importante en relación a la necesidad de focalizar las estrategias tanto en el sistema climático (que no crea, per se, los desastres) como en los procesos de desarrollo y sus implicaciones en la vulnerabilidad para entender el riesgo de desastre (Birkmann, 2013).

De los tres componentes que el marco del IPCC propone para definir la vulnerabilidad, las variables e indicadores que más consenso encuentran en la comunidad científica son los referentes a la *exposición*, como los basados en la caracterización de la sequía meteorológica ya sea a través de índices como SPI (Lui et al., 2013), el índice de aridez (Pereira et al., 2014) o aquellos que se basan en la caracterización de las sequías históricas (Fontaine y Steinemann, 2009) y el cálculo de probabilidades (Bhattacharya y Das, 2007). En lo referente a los factores y variables seleccionados para caracterizar la *sensibilidad* se diferencian aquellos marcos que la caracterizan como la disposición de las condiciones físicas del sistema que recibe los impactos (Deems, 2010) y aquellos que lo hacen de forma holística e incluyen variables como la densidad de población, los balances hídricos o el estado de las masas de agua (De Stefano et al., 2015). Y, sin duda, donde se presentan las mayores carencias y por tanto también los mayores retos de investigación es en lo referente a las variables e indicadores de *capacidad de adaptación*, que es el componente de la vulnerabilidad más ligado a las condiciones sociales e institucionales que son habitualmente más difíciles de medir y que, hasta el momento, han dado mayor peso a las variables económicas y de acceso a recursos.

### 3. Propuesta metodología de evaluación y análisis de la vulnerabilidad al riesgo de sequía

Con el objeto de avanzar en los marcos operativos de evaluación de la vulnerabilidad frente al riesgo de sequía y su uso como herramientas de apoyo a la mitigación del riesgo, en este trabajo se propone una metodología para la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad asociada al riesgo de sequía a nivel de Demarcación Hidrográfica, que se concreta en el cálculo de un *Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS)* y el uso de una serie de técnicas para la interpretación de los resultados obtenidos que permiten profundizar en las causas específicas de la vulnerabilidad.

#### 3.1. Consideraciones previas

Debido a las distintas interpretaciones, contextos y escalas en las que se realizan los análisis de vulnerabilidad a la sequía conviene realizar algunas aclaraciones previas. En primer lugar, y debido a las distintas disciplinas que se han interesado por el estudio de la vulnerabilidad, existe una diversidad de interpretaciones que complica la existencia de un lenguaje común y derivan en diferentes enfoques metodológicos. Así, resulta conveniente explicitar la definición que se utiliza en esta propuesta. Por vulnerabilidad al riesgo de sequía se entiende el *conjunto de características, producto de las interacciones entre el sistema social y el sistema natural, que hacen a las poblaciones susceptibles de sufrir perjuicios debido a un descenso en el nivel de precipitaciones por debajo de los registros considerados normales en un área y periodo de tiempo determinados*.

El marco metodológico de partida es el propuesto por el IPCC (2007, 2012), ya comentado, que define la vulnerabilidad en función de tres componentes: la *exposición*, definida en función de las características de la amenaza, como por ejemplo, la frecuencia, la magnitud o la duración de una perturbación (Adger, 2006; Bhattacharga y Das, 2007; Ciurean et al., 2013); la *sensibilidad*, definida por aquellas condiciones del sistema expuesto que lo hacen más propenso a experimentar daños y ser afectado adversamente por un peligro natural (Birkman et al., 2013) y la *capacidad de adaptación*, que los autores de este trabajo proponemos definir como el conjunto de características y capacidades de la sociedad que permiten hacer frente a una sequía a medida que avanza el fenómeno (respuesta en el corto plazo) y también aquellas que forman parte de un constante proceso de aprendizaje, experimentación y cambio en la manera de afrontar estos riesgos a través de la preparación, la prevención y la mitigación (respuesta en el largo plazo).

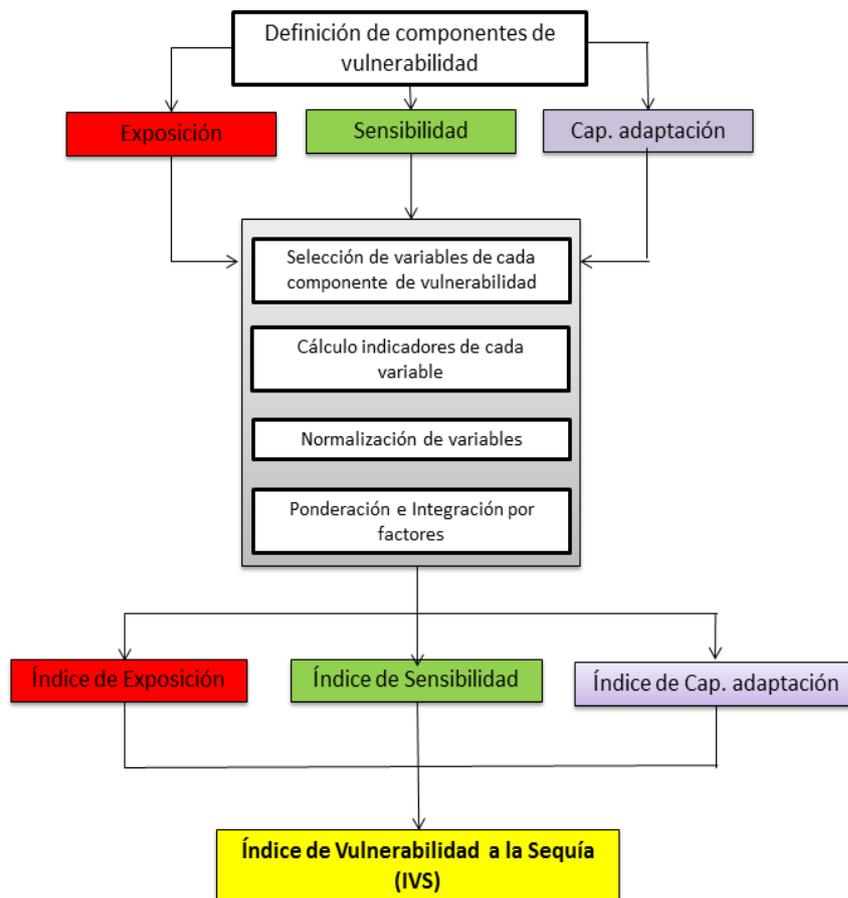
Por último, antes de entrar en la propuesta metodológica conviene precisar también que en este trabajo la escala para la que se propone el cálculo del *Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS)* es la Demarcación Hidrográfica (DH), al ser la escala utilizada por la planificación hidrológica en la Unión Europea. Además, muchas de las variables e indicadores propuestos son también aplicables para el resto de escalas utilizadas por la planificación: las Unidades de Demanda (UD) y los Subsistemas de Explotación (SE). Las escalas subnacionales favorecen la inclusión de información más detallada, enfoques participativos y técnicas cualitativas que pueden ayudar a identificar las causas de la vulnerabilidad así como las herramientas más adecuadas para la mitigación de la sequía a nivel local (Cutter et al., 2009). La decisión de utilizar la escala de la DH responde a una doble lógica. Por un lado, desde la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA) en el año 2000 y su trasposición al ordenamiento jurídico español en 2003, los documentos

de planificación hidrológica han aumentado considerablemente la cantidad y calidad de la información disponible, aunque en muchos casos esta información no está siendo incorporada al ámbito de la investigación. Por otro lado, utilizar los datos y las escalas que utiliza la planificación hidrológica, y en la que se apoyan los decisores, facilita el diálogo entre el investigador y el gestor.

**3.2. Metodología de cálculo del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS)**

La propuesta que se presenta persigue dos objetivos. En primer lugar, se ofrece una metodología para el cálculo y la evaluación de la vulnerabilidad frente al riesgo de sequía a nivel de DH (ver Figura 1), para los que se propone una batería de nuevas variables. En segundo lugar, se propone una metodología de análisis que, derivada del cálculo del IVS, permita estudiar en detalle las causas que generan vulnerabilidad, de forma que se puedan identificar y priorizar las medidas para su reducción y, por tanto, para la mitigación del riesgo.

**Figura 1. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS)**



Fuente: Elaboración propia.

Para caracterizar cada uno de los componentes de la vulnerabilidad, calcular los indicadores y analizar los resultados que permitan identificar las causas específicas de la vulnerabilidad y, por tanto, priorizar las medidas de actuación para la mitigación, las variables propuestas se clasifican en función de cinco dimensiones: física, económica, social, institucional y tecnológica (Tabla 1).

**Tabla 1. Variables propuestas para el cálculo del IVS.**

Componentes	Variables	Dimensiones					
		Física	Social	Institucional	Económica	Tecnológica	
<b>Exposición</b>	1 Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)	X					
	2 Índice de Evapotranspiración (EPT/ETR)	X					
<b>Sensibilidad</b>	3 Población equivalente		X				
	4 Densidad población		X				
	5 Aumento población debido a población estacional		X				
	6 Crecimiento poblacional		X				
	7 Personas sin acceso a suministro		X				
	8 Demanda de agua por sectores				X		
	9 Consumo de agua doméstico		X				
	10 Balance hídrico	X					
	11 Modernización de sistemas de riego					X	
	12 Demanda de agua de cultivos			X			
	13 Pérdidas en redes agrarias					X	
	14 Pérdidas en redes domésticas (agua no facturada)					X	
	15 Proporción de regadío			X			
	16 Estado de las masas de agua (DMA)	X					
	17 Diversidad de fuentes de agua	X					
	18 Tipo de origen de fuente (subt, sup, reut, des, tras)	X					
	19 Relevancia social del sector		X				
	20 Relevancia económica del sector				X		
	<b>Cap. Adaptación</b>	21 Participación pública			X		
		22 Adecuación del Plan a DMA			X		
23 Confianza institucional				X			
24 Plan Especial de Sequía				X			
25 Planes de Emergencia por sequía				X			
26 Mercados de agua					X		
27 Decretos de sequía						X	
28 Capacidad de embalse						X	
29 Capacidad de desalación						X	
30 Capacidad de trasvase						X	
31 Capacidad de reutilización						X	
32 Seguros agrarios					X		
33 Investigación				X			
36 Comunicación del riesgo de sequía				X			
37 Percepción riesgo de sequía				X			
38 Adaptación cambio climático				X			

Fuente: Elaboración propia.

Para cada una de estas variables se calculan indicadores<sup>1</sup>; se normalizan: los métodos de normalización más utilizados en el cálculo de índices compuestos de vulnerabilidad y que se sugieren para este trabajo son el método de normalización media-desviación estandar o, en su caso, el método min-max y; se integran. Para la integración de los factores en índices se opta por asignar pesos iguales para evitar los sesgos subjetivos

<sup>1</sup> Los indicadores asociados a estas variables no se desarrollan en esta comunicación por una cuestión de espacio. Para más detalles, contactar con los autores.

propios del investigador o de los actores sociales consultados. Además, uno de los objetivos para los que se propone la metodología es precisamente para determinar qué componentes y variables son más influyentes en el cálculo del IVS, por lo que asignar pesos previos al cálculo podría distorsionar los resultados. En los diferentes componentes de la vulnerabilidad para obtener el cálculo del IVS en función de la siguiente fórmula:

$$IVS = \frac{IE+IS-ICA}{3},$$

Donde;

*IVS = Índice de Vulnerabilidad a la Sequía*

*IE = Índice de Exposición*

*IS = Índice de Sensibilidad*

*ICA = Índice de Capacidad de Adaptación*

### 3.3. Interpretación del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS) a escala de DH

El valor del IVS ofrece para cada entidad de estudio un valor entre 0 (poco vulnerable) y 1 (muy vulnerable). Este indicador permite identificar aquellas entidades más vulnerables sobre las que deberían priorizarse las intervenciones de mitigación del riesgo. Sin embargo ofrecen poca información sobre las causas que generan los altos valores de vulnerabilidad. Para avanzar en las causas que dan lugar a los resultados obtenidos para el IVS proponemos el cálculo del peso relativo de cada uno de los componentes de la vulnerabilidad y su representación.

A partir de los valores de los índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de cada una de las entidades de estudio, se calcula el valor relativo de cada variable según la siguiente fórmula:

Donde;

*IER = Índice de Exposición Relativo,*

*ISR = Índice de Sensibilidad Relativo,*

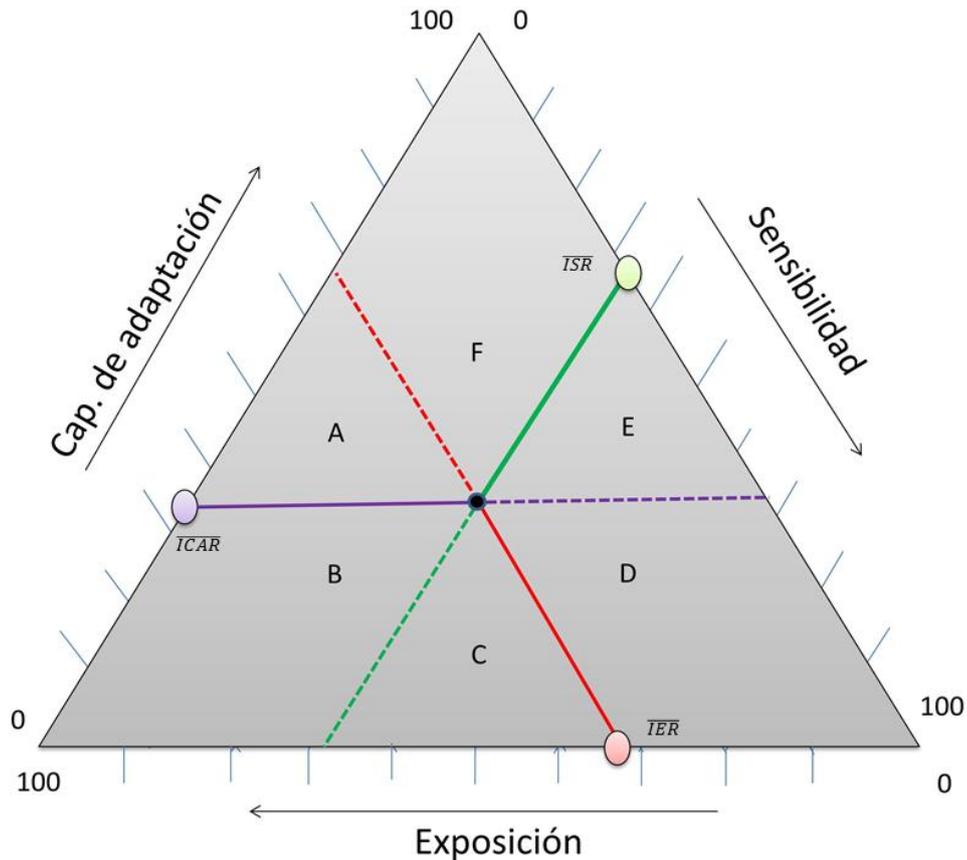
*ICAR = Índice de Capacidad de Adaptación Relativo,*

Estos valores se pueden representar mediante el *triángulo de la vulnerabilidad*<sup>2</sup> (Liu et al., 2013). Estas técnicas permiten completar la información sobre las zonas más vulnerables

<sup>2</sup> El triángulo de la vulnerabilidad es una herramienta de visualización de los pesos relativos de cada uno de los componentes de la vulnerabilidad que resulta especialmente útil para identificar las causas de la vulnerabilidad cuando se ha calculado el IVS para numerosas entidades de estudio. Sin embargo, presenta

establecidas por el IVS y generar un diagrama con los pesos relativos de cada componente de la vulnerabilidad que permite identificar cuál de ellos tiene más peso en el valor del índice (Figura 2).

**Figura 2. Diagrama triangular de la estructura del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía**



Fuente: Adaptado de Liu *et al.* (2013)

Así, no solo se conoce qué entidades de estudio son más vulnerables y cuáles menos, sino también qué componente de la vulnerabilidad determina en mayor medida la vulnerabilidad de cada entidad. Esta paso supone una información relevante a la hora de priorizar y establecer mecanismos para reducir la vulnerabilidad frente al riesgo de sequía.

una limitación importante derivada del hecho de querer representar en dos dimensiones los tres componentes de la vulnerabilidad. Hay una combinación de resultados posibles para los pesos relativos que es imposible representar: cuando todos ellos son bajos. Por esto el triángulo de la vulnerabilidad debe entenderse como una herramienta gráfica de visualización de resultados y no como una herramienta analítica. Los resultados detallados se derivan de las fórmulas para el cálculo de los pesos relativos que se presentan en este trabajo.

Tras el cálculo de los índices relativos de cada uno de los componentes, se localiza la intersección de las líneas que generan índices relativos en el diagrama triangular de la estructura del índice vulnerabilidad. En función del cuadrante en el que ha quedado localizado, se interpreta qué componente/s determina/n en mayor medida la vulnerabilidad de acuerdo a una serie de categorías (Tabla 2).

**Tabla 2. Categorías de “zonas” de vulnerabilidad basados en la estructura de diagrama triangular de los valores absolutos del índice de vulnerabilidad**

Zona	IER	ISR	ICAR	Interpretación de estructura de la vulnerabilidad
A	$\geq 33,3$	$< 33,3$	$\geq 33,3$	Exposición y capacidad de adaptación principales componentes que determinan la vulnerabilidad
B	$\geq 33,3$	$< 33,3$	$< 33,3$	Exposición principal componente que determina la vulnerabilidad
C	$\geq 33,3$	$\geq 33,3$	$< 33,3$	Exposición y sensibilidad principales componentes que determinan la vulnerabilidad
D	$< 33,3$	$\geq 33,3$	$< 33,3$	Sensibilidad principal componente que determina la vulnerabilidad
E	$< 33,3$	$\geq 33,3$	$\geq 33,3$	Sensibilidad y capacidad de adaptación determinan valor de vulnerabilidad
F	$< 33,3$	$< 33,3$	$\geq 33,3$	Capacidad de adaptación principal componente que determina la vulnerabilidad

Fuente: Adaptado de Liu *et al.* (2013)

Una vez identificado el componente o los componentes de la vulnerabilidad responsables de los altos valores de ésta en las distintas unidades de análisis, y utilizando la clasificación de las variables de vulnerabilidad de la Tabla 1, se puede analizar qué dimensión es en mayor medida responsable de esos altos valores. Al conocer qué variables componen cada una de las dimensiones se identifica qué medidas de reducción y mitigación del riesgo de sequía deben priorizarse. De esta manera no solo se obtiene un conocimiento detallado sobre qué áreas son más vulnerables sino también de las causas concretas que generan la vulnerabilidad frente al riesgo de sequía, generando una valiosa información para la toma de decisiones sobre las estrategias a seguir para mitigar el riesgo de sequía.

## 4. Discusión

Pese al reconocimiento de la importancia de las evaluaciones de vulnerabilidad como herramienta fundamental para lograr el cambio de paradigma desde las estrategias de gestión de crisis hacia las estrategias de gestión de riesgos por los principales organismos nacionales e internacionales encargados de dirigir las estrategias de reducción del riesgo de desastre y a los importantes avances teóricos realizados, estos todavía no se han traducido en marcos metodológicos operativos. Así, la investigación y el desarrollo de nuevas metodologías de evaluación y análisis de vulnerabilidad continúan siendo uno de las principales retos en la agendas de investigación futuras.

En el caso concreto de la sequía, como consecuencia del reconocimiento de la importancia de los factores sociales e institucionales en la producción del riesgo y de la necesidad de avanzar en el conocimiento de las causas que provocan que dichos riesgos puedan derivar en desastres, las evaluaciones de vulnerabilidad suponen el elemento central para que se produzca el cambio de paradigma desde la gestión de crisis a la gestión de riesgos, al identificar las causas que hacen a los sistemas vulnerables y que deben servir de base para orientar las estrategias de mitigación y reducción del riesgo.

Entre los análisis de vulnerabilidad frente al riesgo de sequía se observa un importante número de estudios que, desde diferentes contextos, objetivos e interpretaciones, han desarrollado metodologías e índices para el cálculo y la evaluación de la vulnerabilidad. La mayor parte de estos análisis han centrado su interés en los componentes climáticos del riesgo y el interés por los aspectos sociales e institucionales que determinan la sensibilidad y sobre todo la capacidad de adaptación frente a este tipo de riesgos ha sido muy residual. De hecho, este trabajo incorpora una definición propia del concepto de capacidad de adaptación, necesaria para situar el debate en los términos adecuados.

La propuesta metodológica que se presenta en este trabajo ofrece importantes avances en la incorporación de los aspectos sociales e institucionales de la sequía al proponer una batería de variables para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS) a escala de Demarcación Hidrográfica. Partiendo de la base de que la vulnerabilidad no puede medirse, sino deducirse, el IVS no ofrece una medida absoluta de la vulnerabilidad. La metodología presentada para el cálculo del IVS incorpora un batería de variables sociales e institucionales que, junto a las variables de tipo físico e hidrológico de uso más extendido en el cálculo de este tipo de índices, permite realizar una caracterización de la vulnerabilidad mucho más completa. Estas variables introducen en el cálculo del IVS aspectos relativos a la gestión de los riesgos que se han identificado en la literatura especializada como fundamentales para el logro del cambio de paradigma (participación pública, comunicación del riesgo, percepción del riesgo, cambio climático, investigación, etc.) pero que, debido a la dificultad que supone su medición, hasta ahora o se han incorporado de manera más débil o directamente no se han tenido en cuenta en las evaluaciones de vulnerabilidad frente al riesgo de sequía.

Por otro lado, la propuesta de trabajar a escala de Demarcación Hidrográfica, que todavía no ha sido incorporada a las evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía, permite aprovechar en gran medida la información generada en la redacción de los distintos planes de demarcación y facilitar el diálogo entre el investigador y los gestores, aproximando así los ámbitos de la ciencia y la política.

Además, esta propuesta metodológica incorpora una serie de técnicas novedosas para la identificación y el análisis de las causas concretas de la vulnerabilidad, que también suponen un avance respecto a las evaluaciones de vulnerabilidad frente al riesgo de sequía realizadas hasta ahora. En primer lugar, el cálculo de los pesos relativos de cada uno de los componentes de la vulnerabilidad y el uso del triángulo de la vulnerabilidad permiten hacer una primera aproximación a sus causas, al identificar el componente o los componentes responsables del valor del IVS. En segundo lugar, las variables asociadas a cada uno de los componentes se clasifican en función de su dimensión: física, social, institucional, económica y tecnológica. Mediante esta clasificación se puede analizar qué dimensión es en mayor medida responsable de los altos valores de la vulnerabilidad, así como identificar una serie de variables sobre las que se deben priorizar las acciones encaminadas a reducir el riesgo de sequía.

## Bibliografía

Adger, W. N. (2006): "Vulnerability", *Global Environmental Change*, 16, 3, 268–281.

Bhattacharga, S. y Das, A. (2007): "Vulnerability to Drought, Cyclones and Floods in India". European Commission BASIC Proj. Paper, 9.

Beck, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Suhrkamp; 1. Aufl., Erstausg edition.

Beck, U. (1992): *Risk Society. Towards a new modernity*. Sage Publications

Birkmann, J. (2006): "Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions", en Birkmann (ed.): *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. Hong Kong, UNU Press, 2006, 9-54.

Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, a. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Welle, T. (2013): "Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework", *Natural Hazards*, 67, 2, 193–211.

Blaikie P.; Cannon, T.; Wisner, B. (1994): *At Risk, Nat. Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, Routledge, London.

Ciurean, R., Schröter, D., y Glade, T. (2013): "Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction", en Tiefenbacher, J. (ed): *Approaches to Disaster Management - Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters*-In tech, 3-32.

Cutter, S. (1996): "Vulnerability to environmental hazards", *Progress in Human Geogtraphy*, 20, 4, 529-539.

Cutter, S.; Emrich, C.; Webb, J. y Morath, D. (2009): *Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature*. University of South Carolina, Hazards and Vulnerability Research Institute, Department of Geography, Columbia, SC.

Deems, H. (2010): "Vulnerability of rural communities in the Mediterranean region to climate change and water scarcity: The case of Cyprus". Master tesis, Universidad de Barcelona.

De Stefano, L.; González Tánago, I; Ballesteros, M. y Urquijo, J. (2015): *Methodological approach considering different factors influencing vulnerability-pan-European scale*. DROUGHTR&SPI Technical Rep. No 26.

González Tánago, I., Urquijo, J., Blauhut, V., Villarroya, F., De Stefano, L. (2016): "Learning from Experience: A Systematic Review of Assessments of Vulnerability to Drought", *Natural Hazards*, 80, 2, 951-973.

Hewitt (ed) (1983): *Interpretations of calamity. From the Viewpoint of Human Ecology*. Unwin Hyman.

Hisdal, L., Tallaksen, B. Clausen, E. y Peters, A. (2004): "Hydrological Drought Characteristics", en *Developments in Water Science*, Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands, 48, Chapter 5, 139-198.

Iglesias, A., Moneo, M. y Quiroga, S. (2007): "Methods for evaluating social vulnerability to drought". *OPTIONS Méditerranéennes. Série B: Etudes et Recherches (CIHEAM)*.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate change) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate change) (2012): "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation". Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.) Available from Cambridge University Press.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate change) (2014): "Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*". Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press.

Kallis, G. (2008): "Droughts", *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 85-118.

Knutson, C.; Hayes, M., Phillips, T. (1998): "How to Reduce Drought Risk", Western Drought Coordination Council Preparedness and Mitigation Group.

Liu, X.; Wang, Y.; Peng, J.; Braimoh, A.; Yin, H. (2013): "Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: a case study in middle Inner Mongolia of China", *Chinese Geographical Science*, 23, 1, 13-25.

Mileti, D. (1999): *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, D.C., Joseph Henry Press.

Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A., y Vogt, J. (2014): "Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems", *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 1591-1604.

Navarez, L. (1996): "Just wait until there's a drought: mediating environmental crises for urban growth", *Antipode* 28, 246-72

Swain, M. y Swain, M. (2011): "Vulnerability to Agricultural Drought in Western Orissa: A Case Study of Representative Blocks", *Agricultural Economics Research Review*, 24, 1.

UNISDR (2005): Drought. Living with risk: an integrated approach to reduce societal vulnerability to drought. ISDR Ha Doc Discussion group on drought.

Wilhite, D. (2000): *Drought: A Global Assessment*, Vols. 1 and 2. Routledge, New York, Routledge, New York, 129–448.

Wilhite, D., Svoboda, M., Hayes, M. (2007): “Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness”, *Water resources management*, 21, 5, 763-774.

Wisner, B., Blaike, P., Cannon, D., y David, I.(2003): *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Second edition.

WMO y GWP (World Meteorological Organization and Global Water Partnership (2014): National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action (D.A. Wilhite). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.

## **Agradecimientos**

Proyecto de Investigación del Plan Estatal I+D+i, Convocatoria 2015. Ministerio de Economía y Competitividad. *Evaluación de la vulnerabilidad socio-institucional a las sequías: propuesta metodológica, estudio de caso y elaboración de una Guía (EVALSOC)*. CSO2015-64026-P. (2016-2018).