

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
VULNERABILIDAD POBLACIONAL A LOS DESASTRES DE
LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Camila Teutsch Barros

Santiago, Chile

2006

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Metodologías para la evaluación de la
vulnerabilidad poblacional a los desastres de
la variabilidad y el cambio climático

Memoria para optar al título profesional de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Camila Teutsch Barros

Profesores Guía:	Calificaciones
Paulina Aldunce I. Ingeniero Agrónomo, Magister	6,8
Alejandro León S. Ingeniero Agrónomo, PhD	7,0
Profesores Evaluadores:	
Amelia Pérez P. Extensionista Rural, Magister	6,3
Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Magister	6,0

Santiago, Chile

2006

AGRADECIMIENTOS

Es genial estar escribiendo esto, no sólo porque tengo mucho que agradecer a los que me acompañaron incondicionalmente en la infelicidad de esta Memoria, sino porque significa que por fin terminé!!! Es cierto que a veces las palabras no son suficientes, pero vale la pena hacer el intento para decir gracias:

A mis papás, los mejores del mundo, por el amor infinito siempre, y por la paciencia y la no presión en este proceso que parecía interminable.

A mis hermanas bellas, Lala y Bambi, siempre mi mayor certeza, por ser y por estar. Como dijo Mao: niñas, ustedes son mi casa.

A mi primi, Pili, por el cariño y la preocupación permanentes, que me demostraron que hay cosas que no cambian con el tiempo.

A mis amigas, Gor, Jose y Frut, por los oasis de risas que me salvaron de morir en el intento.

A Hugo, por el apoyo a la distancia y las canciones que se quedaron conmigo. EZLN!

A Rodrigo, porque aunque la primera no resultó seguimos siendo un equipo.

A Carolina, el desafío más lindo, por recordarme lo que de verdad importa.

Al Toli, por estar para todo, siempre.

A Lukas, por creer en mí.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Materiales y Métodos	9
Materiales	9
Metodología	9
Revisión bibliográfica	9
Síntesis y discusión de metodologías	10
Resultados y Discusión	11
Variabilidad y Cambio Climático	11
Efectos esperados	12
Eventos extremos y desastres	14
Desastres potenciales en Chile	16
Desastres	17
Riesgo	18
Vulnerabilidad	19
Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad	26
Síntesis de metodologías de evaluación revisadas	27
Evaluación de la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático	33
Evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones	35
Evaluación de la vulnerabilidad a la sequía	36
Conclusiones	38
Bibliografía	39
Apéndices	47
I: Glosario	47
II: Glosario de Siglas	51
III: Índice de Vulnerabilidad Climática (a)	52
IV: Índice de Vulnerabilidad Climática (b)	55
V: Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad-Resiliencia	58
VI: Mapas de Vulnerabilidad a Estresores Múltiples	61
VII: Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones	63
VIII: Vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar (a) ..	66
IX: Vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar (b)	68
X: Índice de Vulnerabilidad Costera	70
XI: Índice de Vulnerabilidad del Sistema Hídrico	73
XII: Mapa de Vulnerabilidad Agrícola a la Sequía	76
Anexos	79
I: Impactos del Cambio Climático	79

RESUMEN

El aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos producto de la variabilidad y el cambio climático está provocando un aumento de los desastres asociados al clima, tales como sequías e inundaciones. El riesgo de desastre depende de dos factores: amenaza y vulnerabilidad; así, la disminución de cualquiera de ellos conlleva una disminución del riesgo como un todo. Dado que la vulnerabilidad es construida socialmente y que, por lo tanto, es susceptible de cambiar como resultado de las decisiones humanas, ha pasado a ser el centro de atención entre los investigadores de la evaluación del riesgo y la prevención de desastres. En este contexto, el objetivo de esta memoria fue analizar diferentes aproximaciones metodológicas para la evaluación de la vulnerabilidad poblacional a los desastres asociados a la variabilidad y el cambio climático de interés para Chile. Para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos científicos, y aquellos identificados como los más apropiados de acuerdo a los propósitos de este estudio fueron luego analizados y discutidos. El análisis consideró como amenazas las inundaciones, tanto las causadas por exceso de precipitación como por subida del nivel del mar, y las sequías. Si bien se encontraron diferencias en las formas de procesar la información de los métodos revisados, se observó que todos ellos se basan en el uso de indicadores de vulnerabilidad. La selección de estos indicadores varía según la escala de análisis y las características propias de cada lugar; por esta razón, se concluyó que las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad constituyen herramientas flexibles, que pueden y deben ser adaptadas de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada estudio en particular.

Palabras Clave: Vulnerabilidad, Desastres, Cambio climático, Variabilidad climática.

ABSTRACT

Increasing frequency and intensity of extreme climatic events due to climate variability and change is causing an increase of climate-related disasters. Disaster risk depends on two factors: hazard and vulnerability; hence, the reduction of either of them would cause a reduction of risk as a whole. Since vulnerability is known to be socially constructed and therefore susceptible to changing as a result of human decisions, it has become the center of attention amongst disaster prevention scholars. In this context, the main objective of this research was to analyze different methodological approaches for the assessment of societal vulnerability to those disasters related to climate variability and change that could happen in Chile. In order to achieve this, a comprehensive search of scientific articles was performed, and the most appropriate ones were in turn analyzed and discussed. The hazards that were included in the analysis are floods, caused by both rainfall surplus and sea-level rise, and droughts. Despite their differences, all of the methodologies were found to be based on vulnerability indicators. As indicator selection depends on place-specific characteristics, vulnerability assessment methodologies are to be considered as flexible instruments, which can and should be adapted on a case-by-case basis.

Key Words: Vulnerability, Disasters, Climate change, Climate variability.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, eventos extremos de precipitación, olas de calor y secuencias de extremos (sequías seguidas de lluvias intensas) han causado pérdidas de vidas humanas sin precedentes alrededor del mundo (Epstein y McCarthy, 2004). Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC¹, 2001b) y la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UN/ISDR, 2002), dichos sucesos extremos, así como los desastres asociados a ellos, seguirán aumentando a consecuencia de la variabilidad y el cambio climático.

La prevención de estos desastres guarda estrecha relación con la evaluación del riesgo, definido en la literatura especializada en función de dos factores: amenaza y vulnerabilidad (Wilches-Chaux, 1989; Blaikie *et al.*, 1996; Cardona, 2001; Lavell, 2004). La primera corresponde a un factor externo de riesgo y, por lo tanto, si bien muchas veces puede ser pronosticada, por lo general son pocos los elementos de control que existen sobre ella (Cardona, 2001). La segunda, en cambio, corresponde al factor interno de riesgo y, como tal, es construida socialmente (Lavell, s/f). Así, dado que la vulnerabilidad constituye la porción del riesgo sobre la que es posible influir efectivamente, durante la última década la atención ha estado centrada en ella.

La gran mayoría de las fuentes de información asociadas a la vulnerabilidad corresponden a publicaciones en inglés, tanto de organismos internacionales como de revistas científicas. En ellas es posible encontrar no sólo fundamentos teóricos, esenciales para la conceptualización del problema, sino también aplicaciones prácticas. Estas últimas corresponden a metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad a los desastres relacionados con la variabilidad y el cambio climático, generalmente presentadas a través de estudios de caso, cuyo principal aporte es que permiten, a través del uso de indicadores, cuantificar la vulnerabilidad y hacer comparaciones objetivas en el espacio y en el tiempo. De este modo, los métodos de evaluación pretenden ser una forma concreta de apoyo a la toma de decisiones y al desarrollo de políticas, para así contribuir a la prevención de los desastres asociados al clima.

Chile, al igual que el resto de Latinoamérica, no se encuentra ajeno a la problemática de estos desastres. Según la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Comité Asesor sobre Cambio Global, 2006), el país “cumple con la tipificación de vulnerabilidad contemplada en el artículo 4.8 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, al poseer zonas costeras bajas; zonas áridas y semiáridas; áreas susceptibles a la deforestación o erosión, a los desastres naturales, a la sequía y a la desertificación; áreas urbanas altamente contaminadas; y ecosistemas frágiles.” Es así como la generación de un documento en español que sintetice los principales avances teóricos y prácticos en el tema

¹ Esta y todas las siglas incluidas en esta memoria se encuentran en su idioma original, que generalmente corresponde al inglés. Las expresiones originales de cada sigla y su traducción al español se presentan en el Apéndice II.

de la vulnerabilidad, y la discusión acerca de la potencial aplicabilidad de los distintos métodos de evaluación, resultan de particular interés. De ello se desprenden los objetivos que se plantean a continuación.

Objetivo General

Analizar metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad de la población a los desastres relacionados con variabilidad y cambio climático para el caso de Chile.

Objetivos Específicos

1. Revisar y sintetizar, a partir de la literatura especializada, las distintas propuestas metodológicas para la evaluación de la vulnerabilidad poblacional a los desastres relacionados con la variabilidad y el cambio climático que suceden en Chile.
2. Discutir acerca de los métodos de evaluación de vulnerabilidad disponibles según los tipos de desastres asociados a la variabilidad y el cambio climático en Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Debido a las características de esta investigación exploratoria, basada esencialmente en revisión bibliográfica, no se requirieron materiales específicos para su realización.

Metodología

Revisión Bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva centrada en las principales revistas científicas y de ciencias aplicadas relacionadas al tema, del período 1995-2005. Esto con el fin de identificar, y posteriormente analizar y sintetizar, las diferentes metodologías publicadas para la evaluación de la vulnerabilidad de la población ante los desastres relacionados con la variabilidad y el cambio climático que afectan a Chile.

La búsqueda de material bibliográfico se basó en gran medida en el análisis bibliométrico realizado por Janssen *et al.* (2005), que da cuenta de 2.286 publicaciones de la base de datos ISI relativas a resiliencia, adaptación y vulnerabilidad de los últimos treinta años, en términos de relaciones de citas y co-autoría.

Los criterios de búsqueda utilizados fueron tres:

1. Palabras clave: Se realizó una búsqueda por palabras clave en la base de datos ISI y en el buscador Google Scholar. La columna de la izquierda corresponde a las palabras clave tomadas de Janssen *et al.* (2005); la de la derecha corresponde a aquellas que fueron agregadas en base al interés específico de esta memoria.

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - Vulnerability assessment | - Vulnerability and drought |
| - Vulnerability and climate change | - Vulnerability and flood |
| - Vulnerability and climatic change | - Vulnerability and flooding |
| - Social vulnerability | - Vulnerability and landslide ² |
| - Vulnerability and coastal | - Vulnerability and sea level rise |

² Si bien los deslizamientos de tierra fueron identificados como relevantes para Chile, no se encontraron publicaciones referidas específicamente a la vulnerabilidad a este desastre.

2. Revistas: En complemento a lo anterior, se realizó una revisión detallada de tres revistas especializadas: Disaster Prevention and Management, Natural Hazards y Desastres y Sociedad. Esta última es una publicación periódica de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red), que destaca no sólo por ser la principal fuente de información en español en este tema, sino también por abordar los problemas específicos de los países de la región. Se encuentra disponible en línea en <www.desenredando.org>.
3. Citas de artículos: Por último, dentro de las publicaciones inicialmente seleccionadas, se identificaron los documentos citados que pudieran ser de interés para el desarrollo de esta memoria. Salvo algunas excepciones en las que no fue posible acceder a dichos documentos, se recurrió siempre a las fuentes originales.

Síntesis y Discusión de Metodologías

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se construyó un cuadro de síntesis de las metodologías identificadas para la evaluación de la vulnerabilidad a tres amenazas específicas asociadas a la variabilidad y el cambio climático: sequías, inundaciones y subida del nivel del mar. El cuadro incluye también las metodologías que agrupan estas amenazas como un todo, considerando al cambio climático como una amenaza en sí mismo. Se identificaron el(los) autor(es), el año de publicación, el título, la fuente en la que se encontró y una descripción general de los contenidos de cada artículo. Posteriormente, se realizó una discusión acerca de las ventajas, desventajas y aplicabilidad potencial de los distintos métodos de evaluación, agrupados según tipo de amenaza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad y Cambio Climático

El clima no es un sistema estático, muy por el contrario, se caracteriza por presentar variaciones en el tiempo y en el espacio. Estas variaciones se conocen como Variabilidad Climática, y pueden deberse a procesos naturales internos o a forzamientos externos naturales (erupciones volcánicas, variaciones solares) o antropógenos (cambios en la composición de la atmósfera, cambios en el uso de la tierra) (IPCC, 2001). Así, por ejemplo, los cambios que se observan en las condiciones climáticas medias entre una estación y otra, son productos de la variabilidad climática interestacional, en tanto que las diferencias registradas entre las precipitaciones de un año lluvioso y de uno más seco, se deben a la variabilidad climática interanual.

En el caso específico de Latinoamérica, la variabilidad climática interanual depende en gran medida de los extremos de la Oscilación Sur, cuyas fases negativa y positiva están representadas por los fenómenos de El Niño y La Niña respectivamente (IPCC, 2001). De hecho, El Niño es considerado uno de los factores más importantes que inciden sobre la ocurrencia de sequías e inundaciones en América Latina y el Caribe (Charvériat, 2000), por lo que, según el IPCC (2001), una de las características climáticas más significativas de la región es su gran sensibilidad y vulnerabilidad a este fenómeno.

Cuando las variaciones de las condiciones climáticas medias se prolongan por décadas o períodos mayores, se habla de Cambio Climático (IPCC, 2001). Las tendencias actuales del clima y de su variabilidad apuntan a que el planeta está experimentando un proceso de este tipo, tal como lo demuestran el aumento de la temperatura media global de 0,6 °C observado durante el siglo XX y las variaciones de las precipitaciones en distintas zonas de la Tierra (IPCC, 2001a; Lorente, 2002). Otras señales que dan cuenta de dicho cambio son:

- Precipitaciones intensas: Se ha observado un aumento de los sucesos de precipitación intensa. Ejemplo de ello son los más de 400 mm de lluvia caída en 24 horas en Guam, en junio de 2004, superando el antiguo récord de poco más de 80 mm, en 1962 (Epstein y McCarthy, 2004). Asimismo, en Chile, durante el temporal que afectó a la ciudad de Antofagasta el 17 y 18 de junio de 1991 se registró una acumulación de entre 14 y 42 mm en tres estaciones pluviométricas, superando con creces el promedio de precipitación anual de 4 mm (Vargas *et al.*, 2000).
- Retroceso de glaciares: En las últimas décadas se ha observado un fuerte retroceso, e incluso desaparición, de un gran número de glaciares (Williams y Ferrigno, 1998, citados por IPCC, 2001). Ejemplo de ello es la reducción generalizada de los glaciares de los Andes de Chile central, cuya principal causa parece ser el calentamiento de la troposfera media (Carrasco *et al.*, 2005).

- Disminución de hielos marinos: El estudio realizado por Gloersen *et al.* (1999) determinó que entre octubre de 1978 y diciembre de 1996 se produjo una reducción significativa de la cobertura global de hielos marinos.
- Olas de calor: Se han registrado diversos eventos de inusuales olas de calor, como la del verano europeo del año 2003 (Epstein y McCarthy, 2004).

Si bien el clima ya ha sufrido fuertes modificaciones en el pasado, el actual motivo de preocupación radica en la velocidad de los cambios más recientes (Martín-Vide, 1997). Esto se aprecia, por ejemplo, en el gráfico de variabilidad elaborado por Mann *et al.* (1998) en base a la reconstrucción de temperaturas medias en el hemisferio norte (figura 1); dicho estudio concluye que los años 1990 y 1995 muestran anomalías mayores que las de cualquier otro año desde 1400, con un nivel de 99,7% de certeza (figura 1).

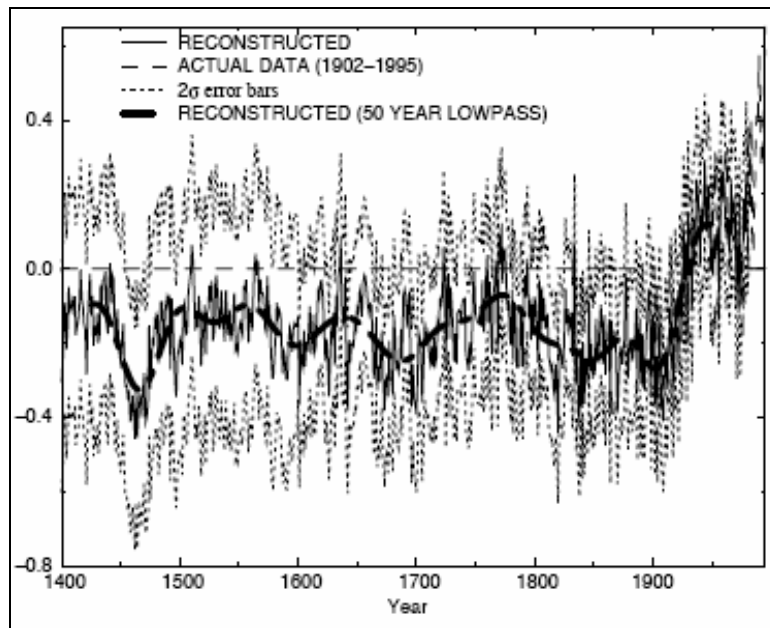


Figura 1. Variabilidad de temperaturas medias en el hemisferio norte entre 1400 y 1995, respecto al promedio de temperatura de 1902-1980 (°C).

Fuente: Mann *et al.* (1998)

Efectos esperados

De acuerdo a los escenarios planteados por el IPCC (2001a), se espera que durante los próximos cien años se produzca un aumento de la temperatura del aire de entre 1,4 y 5,8 °C, una subida del nivel del mar de 0,09 a 0,88 m, un aumento de las precipitaciones en algunas regiones y una disminución en otras, y modificaciones en la frecuencia e intensidad de algunos sucesos extremos. Estas manifestaciones del cambio climático, así como sus impactos y probabilidad, varían de una región a otra (IPCC, 2001b). En el Anexo I se

presenta una síntesis de los principales impactos esperados para cada uno de los cambios proyectados en distintas zonas del planeta. Entre los efectos esperados en América Latina cabe destacar los siguientes:

- Expansión de zonas áridas: De acuerdo al estudio realizado por Lauenroth *et al.* (2004), se espera que en Sudamérica la zona afectada por déficit hídrico anual aumente de un 28% a un 41%; esta expansión se produciría en sectores aledaños a las zonas áridas actuales, las que, además, se verían afectadas por una intensificación de sus condiciones de sequedad.
- Subida del nivel del mar: La subida del nivel del mar haría a las zonas costeras de la región más vulnerables a las inundaciones ante la ocurrencia de tormentas y huracanes (Charvériat, 2000). En países como Venezuela y Uruguay, en particular, cabría esperar pérdidas de tierra costera y biodiversidad, intrusión de agua salada y daños en infraestructura (Perdomo *et al.*, 1996, citados por IPCC, 2001). En Centroamérica, en tanto, se producirían daños en infraestructura, agricultura y recursos naturales costeros, así como un aumento de la erosión costera y salinización de acuíferos y un aumento del riesgo de inundaciones y del impacto de tormentas en la costa (Campos *et al.*, 1997, citados por IPCC, 2001). En las islas del Caribe, por su parte, aumentaría la erosión costera y la inundación costera permanente, los impactos de las tormentas tropicales se agravarían, la infraestructura costera turística, industrial, energética, de transporte y de comunicaciones se verían amenazadas, y el suministro de agua dulce podría verse afectado (GEF/World Bank, 1997). En el caso de Chile, el estudio de vulnerabilidad a la subida del nivel del mar en la costa del Golfo de Arauco concluyó que no existe información suficiente para determinar áreas de inundación, pero que, ante un incremento de un metro (escenario pesimista), los usos habitacional, agropecuario, industrial, infraestructural, turístico y recreacional presentan un cierto grado de vulnerabilidad a dicha amenaza (Aguilera *et al.*, 2006).
- Derretimiento de nieve y hielo: El calentamiento en zonas de alta montaña podría llevar a la desaparición de superficies significativas de nieve y hielo, lo que, sumado a una probable disminución de la caída de nieve producto de El Niño, tendría efectos directos sobre la disponibilidad de agua superficial y subterránea en zonas de piedmont (IPCC, 2001).
- Aumento de fenómenos extremos: Debido a la alta probabilidad de que la variabilidad interanual aumente, especialmente aquella atribuible a anomalías tales como El Niño, se prevé que diversas subregiones quedarán expuestas a una mayor frecuencia de sequías e inundaciones intensas (IPCC, 2001b; Salinger, 2005). En particular, se espera que las inundaciones afecten principalmente a la costa oeste de América Central y del Sur; esto porque en la ladera oeste de la Cordillera de los Andes las pendientes de los cauces son muy empinadas, lo que aumenta el riesgo de las inundaciones más peligrosas: las inundaciones súbitas (Charvériat, 2000).

Eventos extremos y desastres

Según Meehl *et al.* (2000), el aumento de los fenómenos extremos producto del cambio climático puede explicarse estadísticamente por las siguientes razones: (a) cualquier cambio en la media de una variable climática dada provocará un aumento de los eventos extremos en un lado de la distribución y una disminución en el otro (figura 1); (b) un aumento de la desviación estándar provocará un aumento de los eventos extremos en ambos lados de la distribución (figura 2); y (c) cambios simultáneos en la media y la desviación estándar podrán alterar la frecuencia de eventos extremos de diversas maneras (figura 3).

Cabe destacar que la frecuencia de los eventos extremos se modifica de manera no-lineal con los cambios en la media de la distribución, de modo que un cambio leve en la media podría provocar un fuerte aumento de los eventos extremos (Mearns *et al.*, 1984, citados por Meehl *et al.*, 2000).

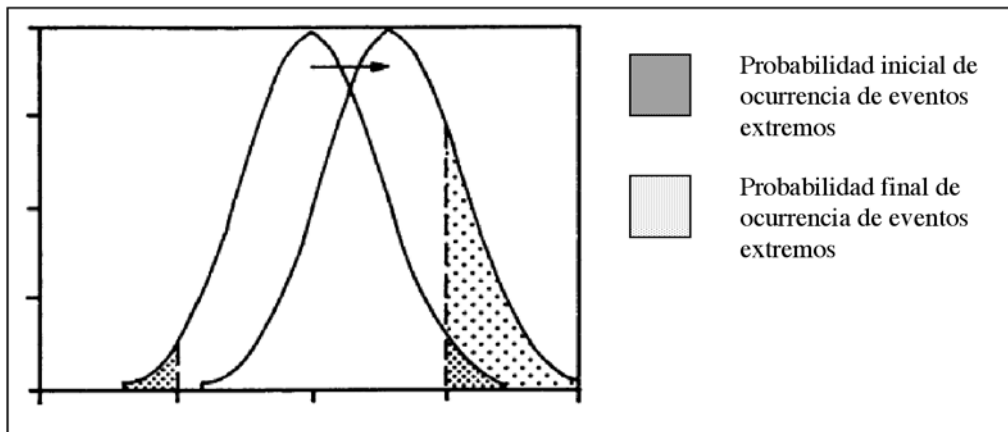


Figura 2. Cambio en la media de la distribución de una variable climática.

Fuente: Meehl *et al.* (2000)

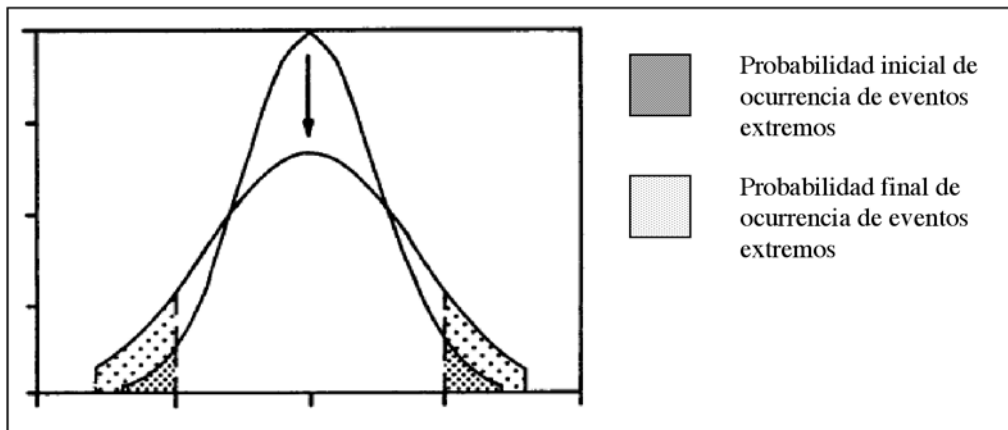


Figura 3. Cambio en la desviación estándar de la distribución de una variable climática.

Fuente: Meehl *et al.* (2000)

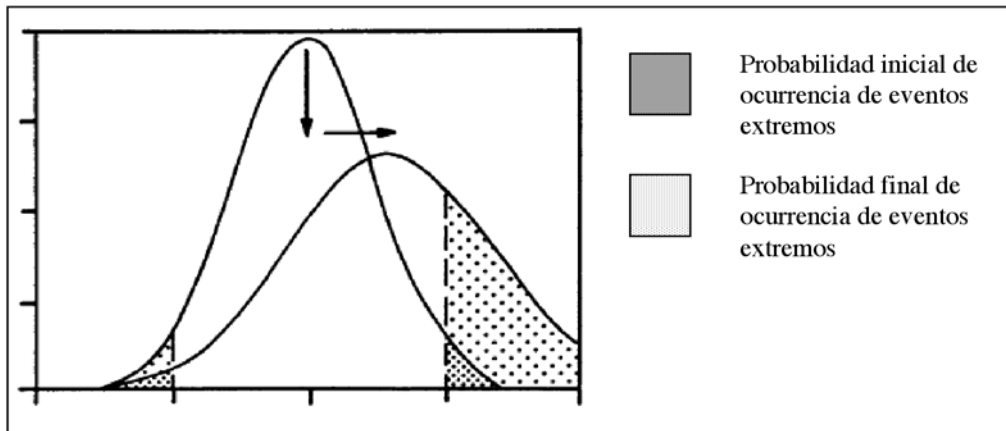


Figura 4. Cambio en la media y desviación estándar de una variable climática.

Fuente: Meehl *et al.* (2000)

Si bien en algunas subregiones de América Latina los eventos extremos, tales como inundaciones, sequías, olas de calor y heladas, son ya bastante frecuentes (IPCC, 2001), existe consenso en que su aumento conllevaría serios impactos en los sistemas humanos (Easterling *et al.*, 2000). Entre los impactos asociados a la ocurrencia de estos fenómenos se encuentran los siguientes:

- Aumento de riesgos para la vida y salud humana: El aumento de sucesos extremos conlleva un incremento en las tasas de mortalidad y morbilidad, especialmente por lesiones y enfermedades infecciosas (IPCC, 2001b). En Chile, esto ha quedado demostrado, por ejemplo, a través del aluvión que afectó a la ciudad de Antofagasta en 1991, dejando más de 100 personas fallecidas y cerca de 1.000 lesionados (Conferencia Sudamericana, 1996).
- Aumento de pérdidas de propiedad e infraestructura: Además de los daños directos sobre las personas, los asentamientos humanos están expuestos a sufrir daños en términos de su infraestructura física (incluidos los sistemas de distribución y transmisión de energía), edificios, servicios urbanos (por ejemplo, sistemas de transporte) e industrias (IPCC, 2001b). Ejemplo de ello son las pérdidas registradas durante los temporales que afectaron desde la III hasta la X Región del país en el año 2000, entre las que se cuentan más de 45.000 viviendas dañadas, más de 1.000 viviendas destruidas, más de 500 caminos cortados y dañados, más de 40 sistemas de agua potable rural colapsados y cerca de 450 establecimientos educacionales dañados (ONEMI, 2000).
- Aumento del riesgo de remoción en masa: Se espera que el aumento de los sucesos de precipitación fuerte provoque una mayor cantidad de aludes y derrumbamientos (IPCC, 2001b), lo que podría tener graves impactos sobre los asentamientos humanos emplazados en zonas de riesgo. Así, por ejemplo, el ya mencionado temporal de 1991 en la ciudad de Antofagasta provocó un aumento tal de los caudales en las principales

quebradas, que dio origen a un aluvión de 500.000 m³ con un 40% de material sólido (Conferencia Sudamericana, 1996).

- Disminución de la producción de alimentos: Se espera que los rendimientos de las cosechas varíen, con consecuencias menos adversas en regiones de latitudes medias y altas (Rosenzweig *et al.*, 1993). Considerando que la mayor parte de las economías latinoamericanas dependen de la producción agrícola, dichas variaciones podrían llevar a un riesgo de hambre mayor para 50 millones de personas adicionales para el año 2050 (IPCC, 2001).
- Disminución del potencial hidroeléctrico: En zonas propensas a la sequía, el descenso de los caudales de los ríos puede tener serias consecuencias para la generación de energía hidroeléctrica (IPCC, 2001b). En Chile, sin embargo, no se esperan repercusiones significativas en el suministro de energía por esta causa, ya que aunque cerca del 40% de la potencia instalada corresponde a centrales de este tipo, menos del 1% de ese total se ubica en las Regiones más secas del país (I - IV) (CNE, 2005).

Cuando la capacidad de la población de hacer frente a estos u otros impactos se ve superada por la magnitud de un evento extremo, éste se transforma en desastre (IPCC, 2001).

Desastres potenciales en Chile

Hasta la fecha, la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), organismo estatal competente en el área de prevención de desastres, no cuenta con un estudio acerca de los desastres que podrían afectar al país a raíz de los efectos del cambio climático.³ Sin embargo, según la Primera Comunicación Nacional bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CONAMA, 1999), se espera que Chile se vea afectado por la intensificación de la aridez y el avance del desierto hacia el sur, el aumento de las precipitaciones en el sur, y el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos de El Niño. Al momento de la publicación de dicha Comunicación, el estudio de vulnerabilidad de zonas costeras se encontraba aún en curso; de acuerdo a los resultados del estudio disponibles en la actualidad, la subida del nivel del mar podría tener también efectos en el país (Aguilera *et al.* 2006).

En síntesis, teniendo presentes los antecedentes antes expuestos, se considerarán como amenazas asociadas a la variabilidad y el cambio climático en Chile los eventos extremos de precipitación y la subida del nivel mar. Los desastres potenciales derivados de estas amenazas son las sequías, las inundaciones y, como consecuencia de estas últimas, los deslizamientos de tierra.

³ José Abumohor, Jefe de Sección de Análisis y Estudios, Departamento de Protección Civil, ONEMI, 2006 (comunicación personal).

Desastres

Históricamente, la mayor parte de los fenómenos que hoy conocemos como peligros naturales han sido interpretados como actos de Dios o del destino (Weichselgartner, 2001). A su vez, el término “desastre natural” se ha utilizado como sinónimo de dichos fenómenos, por lo que este concepto suele asociarse con sucesos inevitables frente a los que no hay prácticamente nada que hacer (Cardona, 2001). Esta forma de entender los desastres dio origen a una visión fisicalista y tecnocrática, según la cual la solución al problema radicaba en poder predecir los eventos extremos y así tomar las medidas pertinentes para proteger a la sociedad contra sus impactos negativos (Lavell, 2000). Del mismo modo, este paradigma no atribuía ninguna responsabilidad a las personas, sino por el contrario, asumía que “los desastres son productos de fenómenos extremos haciendo impacto sobre una sociedad neutra o inocente” (Hewitt, 1983, citado por Lavell, 1999). Fue esta visión la que predominó en América Latina durante la década del '80, lo que resultó en una aproximación a los desastres centrada casi exclusivamente en la capacitación para mejorar la respuesta humanitaria, así como en la elaboración de planes de emergencia, alerta y evacuación (Lavell, 2000).

El enfoque de las ciencias sociales, en tanto, pone especial énfasis en aclarar que desastre no es sinónimo de evento natural (Cardona, 2001). De hecho, según Blaikie *et al.* (1996), los sucesos extremos constituyen sólo uno de los factores causales de los desastres, y es su combinación con las características del medio natural, social, político y económico lo que finalmente determina la ocurrencia de los mismos. En el mismo sentido, Cardona (2001) plantea que los desastres debieran ser entendidos como “problemas no resueltos del desarrollo”, puesto que “no son sucesos de la naturaleza *per se*, sino más bien situaciones que resultan de la relación entre lo natural y la organización y estructura de la sociedad.”

La incorporación de la variable social en el problema de los desastres, entonces, ha llevado a cuestionar duramente los modelos de desarrollo imperantes. La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UN/ISDR, 2002), por ejemplo, señala que el aumento observado en las pérdidas humanas y materiales producto de los desastres se debe a la vulnerabilidad inducida por los patrones de desarrollo escogidos; así, plantea que la deforestación, la pérdida de biodiversidad y del conocimiento asociado, la disminución de la calidad del agua y la desertificación, entre otros, sólo contribuyen a aumentar las condiciones de riesgo existentes. Del mismo modo, Lavell (1999) destaca que, en América Latina, el desarrollo ha estado caracterizado por la construcción de ciudades sobre la base de la degradación ambiental, la construcción de infraestructuras económicas y sociales sin criterio de seguridad contra las amenazas, un proceso inadecuado de apropiación de la naturaleza, una alta vulnerabilidad de la población pobre, una gran inequidad en la distribución del ingreso y una alta centralización del control sobre el desarrollo local. Por otra parte, debido a la evidente falta de sostenibilidad reflejada en estos patrones de desarrollo, los desastres pueden ser considerados también problemas ambientales, ya que su ocurrencia e incidencia sobre las personas se deben en gran medida a desequilibrios en las relaciones entre la sociedad y el ambiente (Lavell 2004).

A partir de las consideraciones anteriores, ya durante la década del '90 los desastres dejaron de ser vistos como productos de una naturaleza castigadora, para ser entendidos como el resultado de procesos de construcción de vulnerabilidad (Lavell, 2000). Esta nueva perspectiva, que confiere a las personas una clara responsabilidad al afirmar que los impactos son siempre socialmente condicionados (Lavell, 1999), ha puesto en tela de juicio la utilización del término “desastre natural” (Charvériat, 2000). De hecho, según Weichselgartner (2001), los desastres naturales en sentido estricto no existen; lo que existe es la interacción entre los cambios en los sistemas físicos y las condiciones sociales presentes en dichos sistemas. De este modo, considerando la enorme influencia de las actividades humanas sobre los efectos desastrosos de eventos naturales, algunos expertos prefieren el concepto de “desastres socionaturales” (Gómez y Marín, 2001).

Otra perspectiva acerca de la naturaleza de los desastres es la planteada por McEntire (2001), quien, si bien tampoco concuerda con la visión de los desastres como simples productos de los peligros naturales, considera que la explicación netamente social podría restar importancia a las variables físicas. Por esta razón, prefiere entender los desastres como el resultado de agentes desencadenantes, los que pueden emanar del ambiente natural, de las actividades humanas o de una combinación de ambos.

Riesgo

La prevención de los desastres, por su parte, se encuentra íntimamente ligada a la evaluación del riesgo, entendido como el “potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, como resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad” (Cardona, 2001). De hecho, según una de las premisas básicas de La Red, “el riesgo es el concepto fundamental en el análisis del problema, y no el desastre en sí. La reducción de la incidencia de los desastres requiere un conocimiento profundo de la construcción social del riesgo” (Lavell, 2004).

El riesgo, entonces, estaría definido por dos elementos básicos: la amenaza⁴ y la vulnerabilidad. La primera, que constituye el factor externo de riesgo, está representada por “la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado” (Cardona, 2001); la segunda, en tanto, constituye el factor interno de riesgo y corresponde a “las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros” (UN/ISDR, 2004). De lo anterior se desprende que, para que exista riesgo, debe necesariamente existir una condición de amenaza frente a la cual el sujeto o sistema debe estar expuesto y ser

⁴ En la literatura de desastres escrita originalmente en español, normalmente se utiliza el término “amenaza”. En la literatura escrita originalmente en inglés, en tanto, se utiliza el término “hazard”, cuya traducción literal corresponde a “peligro”; las traducciones de estos textos al español emplean indistintamente los términos “amenaza” y “peligro”. En esta memoria, ambos términos se utilizarán como sinónimos.

vulnerable; no se puede ser vulnerable si no se está amenazado, y la amenaza no es tal si no hay un sistema vulnerable a ella (Cardona, 2001; Lavell, s/f).

Respecto a la amenaza, actualmente se hace especial hincapié en la distinción de dos tipos de ésta que, si bien se manifiestan de la misma forma, tienen orígenes claramente diferentes. Existen, por un lado, las amenazas naturales, las cuales responden enteramente a procesos geológicos, geomorfológicos, climáticos y oceanográficos (Lavell, s/f), y existen también las amenazas socionaturales que, aunque toman la forma de amenazas naturales, tienen su origen en la intervención humana de los ecosistemas y ambientes naturales. Entre dichas intervenciones, Lavell (1999) destaca la destrucción de cuencas y la deforestación, que provocan un aumento en la frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías, y el corte de manglares en las costas, que provocan erosión costera y un aumento del impacto de tormentas y huracanes. De este modo, el concepto de amenaza socionatural hace que, una vez más, resulte difícil sustraer al hombre de su responsabilidad en la construcción del riesgo.

Hasta principios de la década del '90, la visión fisicalista predominante hizo que la atención se centrara sobre la amenaza. Así, los modelos típicamente utilizados para la evaluación del riesgo eran los llamados modelos de riesgo-amenaza (RH), que trabajan desde la amenaza hacia los impactos (Turner *et al.* 2003), analizando el impacto en función de la exposición a la amenaza y de la sensibilidad del sistema expuesto (Kates, 1985, citado por Turner *et al.* 2003). Una de las principales limitaciones de este tipo de modelo es que no considera las formas en que los sistemas amplifican o atenúan los impactos de una amenaza ni el rol de las estructuras sociales en la configuración de la exposición (Turner *et al.* 2003). Por otro lado, dado que en gran parte de las situaciones de riesgo no es mucho lo que se puede hacer para evitar la amenaza, durante la última década la atención se ha desviado hacia el estudio de la vulnerabilidad (Cardona, 2001).

Vulnerabilidad

Al igual que los desastres, la vulnerabilidad ha sido estudiada desde diversos enfoques. Uno de los más importantes es el de la llamada “escuela de vulnerabilidad social”, que se caracteriza por tener un alto nivel de crítica hacia el capitalismo, así como por la convicción de que la reducción de los desastres pasa por un cambio en las estructuras de poder y en las ideologías políticas y económicas (Wisner *et al.*, 2004, citado por McEntire, 2005). Según Hewitt (1983, citado por McEntire, 2005), la política internacional, las prácticas económicas de las corporaciones multinacionales y las políticas económicas de organizaciones como el Banco Mundial, han creado riesgo involuntario en los países en desarrollo. En el mismo sentido, Yamin *et al.* (2005) plantean que, además de riqueza, estos procesos y actores generan vulnerabilidades estructurales a nivel social y económico, las que deben ser enfrentadas por un sinnúmero de instituciones nacionales, regionales e internacionales con muy pocas atribuciones legales para lograr resultados.

Respecto a las causas de la vulnerabilidad, Cardona (2001), señala que la asignación de recursos y la distribución del poder, determinadas por procesos económicos, demográficos y políticos, tienen un rol preponderante en la configuración de la misma. De igual modo, la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UN/ISDR, 2002) afirma que las dimensiones social, política y económica de la vulnerabilidad guardan estrecha relación con las inequidades, usualmente asociadas a relaciones de género, patrones económicos y divisiones étnicas o raciales. Paton y Johnston (2001), en cambio, señalan que, si bien los grupos vulnerables han sido típicamente definidos a partir de características demográficas y ambientales, el hecho de pertenecer, por ejemplo, a una minoría étnica o tener recursos económicos limitados no aumentan necesariamente la vulnerabilidad.

Chardon (1997), en tanto, profundiza sobre los llamados factores socioculturales que intervienen sobre la vulnerabilidad, y que ella divide en tres categorías: (1) de conocimiento, (2) de percepción y (3) de comportamiento. La primera tiene que ver con el funcionamiento de los sistemas de información y la comunicación en casos de exposición a peligros naturales. La segunda categoría se refiere a la percepción del riesgo, que varía de un individuo a otro dependiendo de sus valores, personalidad, experiencias pasadas, grado de exposición al peligro, y nivel social, económico y cultural. Finalmente, la categoría de comportamiento hace referencia a la actitud para tomar medidas concretas en caso de exposición a peligros naturales, y se analiza en tres etapas clave: antes (prevención técnica y preparación de las poblaciones), durante (comportamiento de la población y las instituciones en el período de emergencia) y después (comportamiento en el período de post-emergencia).

McEntire (2004), por su parte, identifica dos grandes teorías que, a su juicio, debieran integrarse: por un lado, la teoría conservadora, liderada por Mileti (1999, citado por McEntire, 2004), responsabiliza a los elementos de la cultura, y sostiene que para disminuir los efectos de los desastres se necesita modificar algunas creencias y comportamientos, así como mejorar las instituciones vinculadas al tema; por otro lado, la teoría radical, liderada por Hewitt (1983, citado por McEntire, 2004), afirma que la vulnerabilidad de la población está determinada por la pobreza, por lo que la reducción de los desastres sólo se logrará a través de una reestructuración de las relaciones sociales, políticas y económicas. Respecto a esta última teoría, Yamin *et al.* (2005) presentan una visión opuesta, afirmando que es la pobreza la que se encuentra determinada por la vulnerabilidad y no al contrario. Según estos autores, “la pobreza de hoy es la vulnerabilidad no abordada de ayer”; por lo mismo, sugieren que la atención está todavía mal enfocada en la reducción de la pobreza, especialmente cuando ésta es considerada exclusivamente en términos monetarios.

Si bien los distintos autores consultados concuerdan respecto a la importancia de los elementos sociales en la construcción de la vulnerabilidad, actualmente se reconoce la necesidad de una perspectiva más amplia para entender sus causas. Así, se han planteado una serie de enfoques que definen la vulnerabilidad en función de diversos factores. Charvériat (2000), por ejemplo, señala que la vulnerabilidad de los asentamientos humanos está dada por la combinación de tres factores: (1) la presencia de personas y activos en

zonas propensas a las amenazas, (2) el grado de sensibilidad de las personas y activos a los efectos de las amenazas naturales y (3) la degradación ambiental en zonas propensas a las amenazas. Cardona (2001), por su parte, propone otros tres factores de origen: (1) fragilidad física o exposición, que corresponde a “la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los eventos peligrosos y por su falta de resistencia física a los mismos”; (2) fragilidad social, referida a “la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos”; y (3) falta de resiliencia, entendida como “las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.” En complemento a esto último, Paton y Johnston (2001) destacan la importancia de las redes sociales a la hora de enfrentar una situación adversa, afirmando que mientras más gente participe en actividades que fortalezcan el sentido de comunidad, mayor será su resiliencia y menor su vulnerabilidad.

Existen también planteamientos más generales, como el de Alcántara-Ayala (2002), que señala que aunque existen diversos factores que determinan la vulnerabilidad humana, todos ellos pueden insertarse dentro de cuatro categorías principales: sociales, económicos, culturales y políticos. De manera similar, McEntire (2005) propone la siguiente lista de factores con algunos ejemplos para cada uno:

- Factores Físicos:
 - proximidad de personas y propiedades a agentes desencadenantes
 - construcción inadecuada de edificios
 - previsión inadecuada en el diseño de la infraestructura
 - degradación ambiental
- Factores Sociales:
 - educación limitada
 - rutina inadecuada de emergencias y cuidado de la salud
 - migración masiva y no planificada a áreas urbanas
 - marginalización de grupos e individuos específicos
- Factores Culturales:
 - apatía pública hacia los desastres
 - desafío a las medidas de precaución y a las regulaciones
 - pérdida de medidas tradicionales para enfrentar desastres
 - dependencia y ausencia de responsabilidad personal
- Factores Políticos:
 - mínimo apoyo a los programas de desastre
 - incapacidad de reforzar o fomentar pasos para la mitigación
 - centralización de la toma de decisiones
 - debilidad o aislamiento de las instituciones de desastres
- Factores Económicos:
 - divergencia creciente en la distribución del ingreso
 - búsqueda de ganancias sin pensar en las consecuencias
 - fallas en los sistemas de seguros
 - recursos disgregados para prevención, planificación y gestión
- Factores Tecnológicos:
 - exceso de confianza en los sistemas de alerta
 - descuido en la producción industrial
 - falta de previsión respecto a equipos/programas computacionales

Cabe destacar que la configuración de la vulnerabilidad depende también de la escala espacial de análisis, que puede ir desde lo local (individual, comunitaria) hasta lo regional. En este sentido, Green (2004) destaca el hecho de que una casa o unidad familiar puede ser vulnerable a un evento, aun cuando la comunidad en la que se encuentra inserta no lo sea. Entre los factores específicos que influyen sobre la vulnerabilidad a este nivel, Morrow (1999) menciona los siguientes:

- Pobreza: Las familias pobres son consideradas más vulnerables debido a que sus casas, generalmente mal construidas, suelen ubicarse en zonas más expuestas a las amenazas; además, tienen escaso acceso a transporte para evacuar y sus recursos económicos no alcanzan para cubrir medidas preventivas o adquirir lo necesario para recuperarse.
- Edad: Si bien la vulnerabilidad de las personas mayores varía de acuerdo a su estado de salud, contexto familiar y situación económica, la probabilidad de que requieran asistencia en caso de un desastre es alta. Por ello, en términos generales, se les considera un grupo vulnerable. Del mismo modo, debido a su total dependencia, la vulnerabilidad de los niños es alta, especialmente la de aquellos que no cuentan con una adecuada protección familiar.
- Facultades físicas y mentales: Las personas que poseen algún tipo de discapacidad física o mental tienen una menor capacidad de respuesta ante situaciones de desastre y, por lo tanto, constituyen un grupo de alta vulnerabilidad.
- Constitución de la unidad familiar: Las familias que cuentan sólo con padre o madre son vulnerables, ya que el hecho de contar con un solo proveedor las hace más propensas a la pobreza. Asimismo, las familias con muchos miembros dependientes (niños, ancianos, enfermos) tienen una vulnerabilidad mayor.
- Raza: Las familias pertenecientes a minorías étnicas o raciales suelen considerarse vulnerables debido a las frecuentes discriminaciones que los aíslan del resto de la comunidad. También pueden tener problemas de idioma que les impidan informarse y responder adecuadamente.
- Género: En general, las mujeres son consideradas más vulnerables que los hombres, ya que están sujetas a desventajas (como la discriminación laboral) que aumentan su probabilidad de ser pobres.
- Redes sociales: La falta de redes familiares y sociales, o el inadecuado funcionamiento de éstas, se traduce en casas aisladas que deben responder ante una crisis sin el apoyo de la comunidad, lo que las hace altamente vulnerables.

La misma autora señala que estos factores no son excluyentes, sino muy por el contrario, tienden a presentarse de manera simultánea, aumentando exponencialmente la vulnerabilidad de ciertos sectores de la comunidad.

De manera análoga a los factores que intervienen en la configuración de la vulnerabilidad, es posible identificar vulnerabilidades o aspectos de vulnerabilidad diferentes. Wilches-Chaux (1989), por ejemplo, propone un esquema que desagrega la vulnerabilidad global en once componentes, advirtiendo que ellos sólo corresponden a distintos ángulos de análisis y que las distintas vulnerabilidades se encuentran estrechamente interconectadas entre sí:

1. Vulnerabilidad natural: se refiere a la vulnerabilidad intrínseca de todos los seres vivos, determinada por los límites dentro de los cuales la vida es posible, así como por las exigencias internas particulares de cada organismo.
2. Vulnerabilidad física: se refiere a la localización de asentamientos humanos en zonas de riesgo y a las deficiencias estructurales de sus construcciones. Esto se atribuye en gran medida a la pobreza, que limita el acceso a zonas más seguras, y también a la alta productividad de muchas de estas zonas de riesgo, lo cual incita a su poblamiento.
3. Vulnerabilidad económica: a nivel nacional, esta vulnerabilidad se expresa en la dependencia económica de factores externos incontrolables, tales como los precios de compra de materias primas y los precios de venta de combustibles, entre otros; a nivel local e individual, está determinada en gran medida por la falta de diversificación de las economías locales, y se expresa en el desempleo y la inestabilidad laboral, así como en la falta de acceso a servicios formales de salud y educación.
4. Vulnerabilidad social: la determina el bajo nivel de cohesión interna, organización y sentimientos de pertenencia y propósito, así como por la ausencia de liderazgo en una comunidad, ejercido este último por personas y/o instituciones capaces de impulsar la construcción de una identidad individual y colectiva a partir de la cual desarrollar potencialidades que permitan prevenir, mitigar o responder a situaciones adversas.
5. Vulnerabilidad política: se refiere a la centralización del poder, con la consecuente debilidad en los niveles de autonomía de una comunidad para tomar las decisiones que la afectan. Está determinada por la incapacidad de la comunidad de volverse problema (es decir, de ejercer presión y exigir atención de los niveles decisorios) y por su incapacidad de proponer soluciones al problema planteado.
6. Vulnerabilidad técnica: se refiere a la falta de implementación de técnicas adecuadas de construcción y, en general, de tecnologías para prevenir y enfrentar situaciones de riesgo. En muchas ocasiones no está determinada por la falta de recursos económicos, sino simplemente por el desconocimiento de dichas tecnologías.
7. Vulnerabilidad ideológica: se refiere a la concepción del mundo, del medio ambiente y del papel de los seres humanos en él, que predomina en los miembros de una comunidad y que determina su forma de responder frente a una situación adversa. Una concepción fatalista genera pasividad y resignación, aumentando la vulnerabilidad; una concepción conciente del poder de transformación de la voluntad humana, en cambio, genera respuestas más constructivas.

8. Vulnerabilidad cultural: está determinada, por una parte, por la personalidad de una comunidad, que resulta decisoria a la hora de enfrentar un desastre (las reacciones serán distintas si la comunidad está regida por patrones machistas, individualistas o paternalistas, que si está regida por valores de solidaridad, cooperación y fortalecimiento de capacidades locales), y, por otra, por el desempeño de los medios de comunicación en su rol en cuanto a la consolidación de las identidades culturales (cuando la información entregada reafirma la concepción fatalista frente a los desastres, cuando no existen vías de comunicación entre el medio y el receptor de la información, y cuando los medios no reflejan la realidad de la comunidad y no le permiten reconocerse, la vulnerabilidad cultural se hace mayor).
9. Vulnerabilidad educativa: se refiere a la falta de contenidos que otorguen herramientas adecuadas según la realidad local para enfrentar situaciones de riesgo en los programas educativos, así como a la escasa o nula validación que se le otorga a la sabiduría popular a nivel académico.
10. Vulnerabilidad ecológica: se refiere a la adopción de modelos de desarrollo basados en la apropiación y destrucción del medio ambiente, lo que hace que los ecosistemas se tornen vulnerables (incapaces de autoajustarse) y riesgosos para las personas.
11. Vulnerabilidad institucional: se refiere a la obsolescencia y rigidez de las instituciones, en las que impera la burocracia por sobre la agilidad para responder a los cambios, así como a la escasa preparación de la comunidad para enfrentar situaciones de desastre por parte de organismos públicos.

Aysan (1993, citado por Alcántara-Ayala, 2002), en tanto, identifica ocho tipos de vulnerabilidad: (1) material/económica (falta de acceso a recursos), (2) social (desintegración de patrones sociales), (3) organizacional (falta de estructuras institucionales fuertes a nivel nacional y local), (4) educacional (falta de acceso a información y conocimiento), (5) actitudinal y motivacional (falta de conciencia pública), (6) política (acceso limitado al poder político), (7) cultural (ciertas creencias y costumbres) y (8) física (construcciones débiles de los individuos débiles).

Otro enfoque más sencillo, desarrollado por Anderson y Woodrow (1989, citado por Lavell, 1997) identifica tres áreas de vulnerabilidad:

1. Físico-material: Se refiere a las características de la tierra, el clima y el ambiente; los niveles de salud y las características de la fuerza de trabajo; la infraestructura, alimentación y vivienda; y el capital y las tecnologías físicas.
2. Social-organizacional: Se refiere a las estructuras políticas formales y los sistemas informales a través de los cuales las personas logran tomar decisiones, establecer liderazgos y organizar actividades sociales y económicas.

3. Motivacional-actitudinal: Se refiere a cómo las comunidades se ven a sí mismas y sus capacidades para tratar efectivamente el ambiente físico y sociopolítico (victimación, fatalismo y dependencia versus sentido de propósito, poder y conciencia).

A pesar de las diferencias en las formas de explicar la vulnerabilidad, con sus factores de origen y componentes relevantes, todos los planteamientos apuntan finalmente al rol que juegan las personas, tanto individual como colectivamente, en la construcción de la misma. Un modelo conceptual ampliamente difundido que da cuenta del proceso de progresión de la vulnerabilidad es el de presión-liberación (PAR), propuesto por Blaikie *et al.* (1996). Este modelo se basa en la idea de dos fuerzas, los elementos que generan vulnerabilidad y la exposición a una amenaza, que ejercen presión en sentidos opuestos y cuya intersección provoca un desastre; la liberación se refiere a las condiciones necesarias para atenuar la presión y reducir la vulnerabilidad. El modelo propone, además, una cadena explicativa que permite conectar los impactos de un desastre con los factores que dan origen a los distintos tipos de vulnerabilidad. Esta cadena consta de tres niveles (figura 5): (1) causas de fondo, que corresponden a procesos económicos, demográficos y políticos y reflejan la distribución del poder en la sociedad; (2) presiones dinámicas, que son consecuencias de las causas de fondo y se traducen en formas de inseguridad; y (3) condiciones inseguras, que corresponden a las “formas específicas en las cuales la vulnerabilidad de una población se expresa en el tiempo y en el espacio junto con una amenaza”.

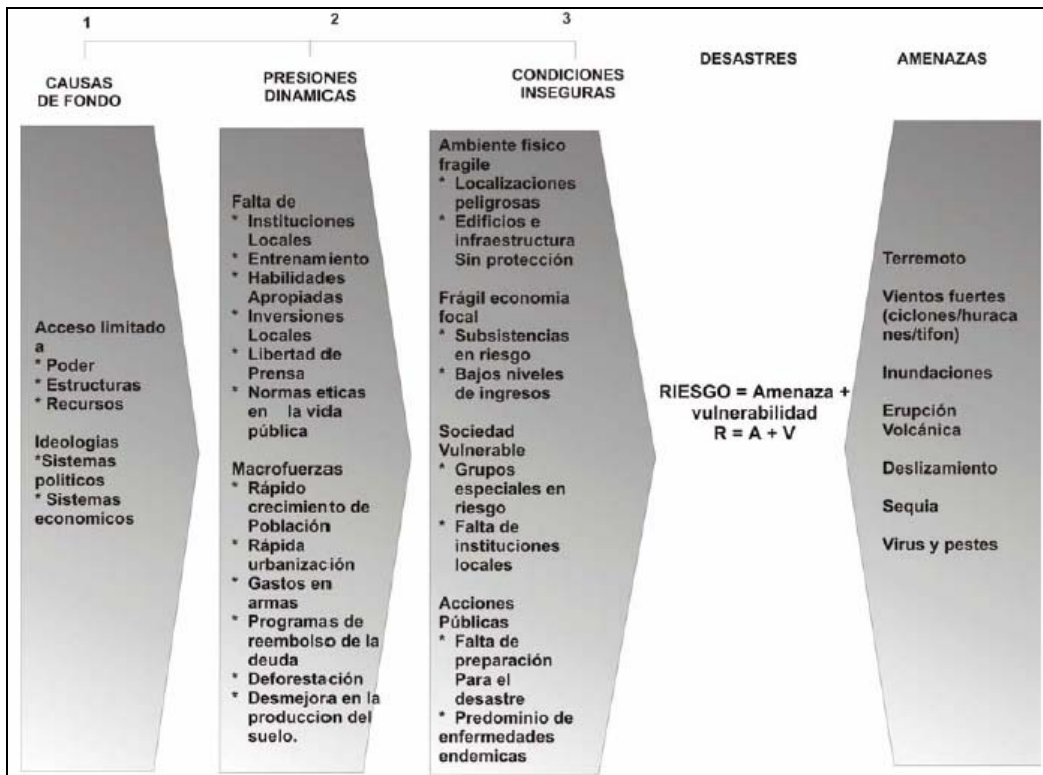


Figura 5. Progresión de la vulnerabilidad.

Fuente: Blaikie *et al.* (1996)

Otro modelo de análisis es el de Turner *et al.* (2003), el cual recoge e integra los diversos componentes de la vulnerabilidad y sus relaciones a diferentes escalas espaciales (figura 6). De acuerdo a este modelo, las amenazas o peligros pueden provenir tanto desde fuera como desde dentro del sistema y tienen el potencial de afectarlo en todos los ámbitos, incluyendo su forma de experimentar perturbaciones. La sensibilidad del sistema, en tanto, está determinada por condiciones sociales y biofísicas, que a su vez influyen sobre los mecanismos de respuesta que actúan a medida que se experimentan los impactos de la exposición. Son estas respuestas, sin importar su naturaleza (autónoma o planificada, pública o privada, individual o institucional, de corto o largo plazo, proactiva o reactiva), y sus resultados, los que determinan la resiliencia del sistema.

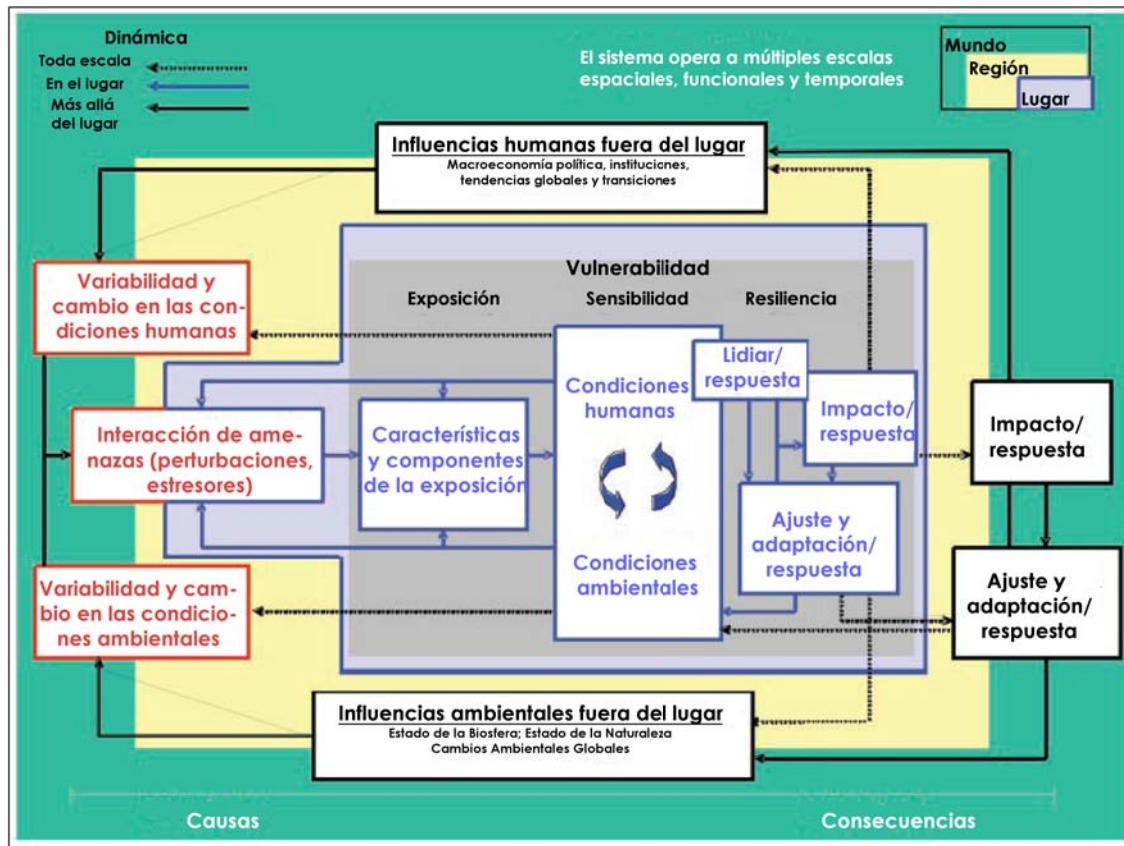


Figura 6. Componentes de la vulnerabilidad y sus relaciones a diferentes escalas.

Fuente: Turner *et al.* (2003)

Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad

Como ha quedado de manifiesto en los párrafos precedentes, la vulnerabilidad puede ser abordada desde distintas perspectivas. Debido a la relevancia de este tema para la prevención de desastres a nivel mundial, en la última década se ha producido una

proliferación de publicaciones científicas que lo abordan en términos tanto teóricos como prácticos (Janssen *et al.*, 2005).

Respecto a los avances teóricos, se ha visto que el concepto de vulnerabilidad ha ido evolucionando en el tiempo. En sus inicios, fue planteado como la componente social de la configuración de situaciones de desastre, y asociado concretamente a la pobreza como principal agente causal (Hewitt, 1983, citado por McEntire, 2004). Más adelante, esta idea fue discutida y complementada por diversos autores, lo que dio origen a una visión más amplia acerca de los elementos sociales que intervienen en la construcción de la vulnerabilidad, tales como la cultura y los procesos económicos y políticos que determinan la distribución del poder en la sociedad (Blaikie *et al.*, 1996; Mileti, 1999, citado por McEntire, 2004; Cardona, 2001; UN/ISDR, 2002). Si bien la importancia de dichos elementos pasó a ser reconocida por los distintos autores vinculados al tema, este enfoque exclusivamente social comenzó a aparecer como limitado e insuficiente para explicar las causas de la vulnerabilidad. Surgió así la necesidad de abarcar otros aspectos, lo que dio origen a una serie de propuestas y modelos analíticos que, si bien varían en sus niveles de complejidad, convergen en la combinación de factores tanto de tipo social como biofísico (Charvériat, 2000; Cardona, 2001; Alcántara-Ayala, 2002; Turner *et al.*, 2003; McEntire, 2005). De este modo, el concepto actual de vulnerabilidad recoge los distintos factores y procesos que aumentan la susceptibilidad al impacto de las amenazas (Alcántara-Ayala, 2002; UN/ISDR, 2004).

Los aportes a la aplicación práctica del concepto de vulnerabilidad, en tanto, comprenden diversas propuestas metodológicas para la evaluación de la misma, las que pretenden ser un apoyo concreto al desarrollo de políticas y la toma de decisiones. Por lo general, los métodos de evaluación se basan en el uso de indicadores de vulnerabilidad. La selección de estos indicadores está determinada por la amenaza de interés y la escala de análisis, así como por la información disponible y las características específicas de cada lugar; por esta razón, dichos métodos se presentan mayoritariamente a través de estudios de caso.

Síntesis de metodologías de evaluación revisadas

Dentro de la gran diversidad de métodos para la evaluación de la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático, es posible identificar dos tipologías principales. Por un lado, se encuentran las metodologías dirigidas a evaluar la vulnerabilidad frente a una amenaza específica asociada a ellos (inundaciones, sequías, subida del nivel del mar, entre otras). Por otro lado, están aquellas en que las distintas amenazas son analizadas en conjunto, como un todo; en otras palabras, este último grupo considera a la variabilidad y el cambio climático en sí mismos como la amenaza.

El cuadro 1 corresponde a una síntesis de las metodologías encontradas para la evaluación de distintas amenazas asociadas a la variabilidad y el cambio climático.

Cuadro 1. Síntesis de metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad asociada al cambio climático.

Autor	Año	Título	Fuente	Contenido
Adger, W.	1999	Social vulnerability to climate change and extremes in Coastal Vietnam	World Development	Análisis de la vulnerabilidad social al cambio climático a nivel (a) individual, como función de la pobreza y la dependencia a recursos, y (b) colectivo, como función de la inequidad de ingresos y la adaptación institucional.
Alderwish, A. y Al-Eryani, M.	1999	An approach for assessing the vulnerability of the water resources of Yemen to climate change	Climate Research	Modelamiento de la vulnerabilidad de los recursos hídricos a la sequía asociada al cambio climático.
Antle, J. <i>et al.</i>	2004	Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO2 fertilization: an integrated assessment approach	Climatic Change	Vulnerabilidad de sistemas agrícolas al cambio climático y la fertilización con CO2.
Brenkert, A. y Malone, E.	2005	Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States	Climatic Change	Índice de vulnerabilidad al cambio climático respecto a una unidad geográfica de referencia, basado en indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación.
Brenkert, A. y Malone, E.	2003	Vulnerability and resilience of India and Indian states to climate change: a first order approximation	en línea	Índice de vulnerabilidad al cambio climático respecto a una unidad geográfica de referencia, basado en indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación.
Connor, R. y Hiroki, K.	2005	Development of a method for assessing flood vulnerability. Water Science and Technology	Water Science and Technology	Índice de vulnerabilidad a las inundaciones asociadas al cambio climático, basado en factores meteorológicos, hidrogeológicos, socioeconómicos y contramedidas.

(continúa)

Cuadro 1. (continuación)

Autor	Año	Título	Fuente	Contenido
Eakin, H.	2005	Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: cases from Central Mexico	World Development	Análisis de la vulnerabilidad de pequeños agricultores al cambio climático y la globalización mediante la comparación de estrategias de subsistencia.
El-Raey, M. <i>et al.</i>	1999	Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said governorate, Egypt	Environmental Monitoring and Assessment	Evaluación de la vulnerabilidad a la subida del nivel del mar asociada al cambio climático, basada en el cálculo del retroceso de la línea de costa.
Fowler, H. <i>et al.</i>	2003	Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system	Water Resources Research	Índices de vulnerabilidad y resiliencia del sistema hídrico a la sequía asociada al cambio climático, en base a su capacidad de responder a la demanda poblacional de agua.
Hareau, A. <i>et al.</i>	1999	Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities	Climate Research	Modelamiento de impactos asociados al cambio climático en cultivos, praderas y zonas costeras, y análisis de vulnerabilidad y capacidad de adaptación frente a ellos.
IMN y MINAE	2005	Vulnerabilidad actual de la zona noroccidental del valle central de Costa Rica	en línea	Índice de vulnerabilidad al cambio climático, basado en el marco conceptual de presión-estado-respuesta.
Kelly, P. y Adger, W.	2000	Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation	Climatic Change	Vulnerabilidad a las tormentas tropicales asociadas al cambio climático.
Kelly, P. y Adger, W.	1999	Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation	en línea	Vulnerabilidad a los ciclones tropicales asociados al cambio climático.

(continúa)

Cuadro 1. (continuación)

Autor	Año	Título	Fuente	Contenido
Krol, M. <i>et al.</i>	2001	The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil	Physics and Chemistry of the Earth	Modelamiento de vulnerabilidad social y ecosistémica a la sequía asociada al cambio climático.
Liverman, D.	1999	Vulnerability and adaptation to drought in Mexico	Natural Resources Journal	Análisis de la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación a la sequía en función de los factores biofísicos y sociales que determinan su distribución en el tiempo y en el espacio.
Middelkoop, H. y Kwadijk, C.	2001	Towards integrated assessment of the implications of global change for water management – the Rhine experience	Physics and Chemistry of the Earth	Análisis de sensibilidad del sistema hídrico en base al modelamiento de cambios hidrológicos a partir de escenarios de cambio climático y cambio de uso del suelo.
Mimura, N.	1999	Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change	Climate Research	Evaluación de la vulnerabilidad a la subida del nivel del mar en países islas en base a factores naturales, humanos, infraestructurales, económicos, institucionales y culturales.
Moss, R. <i>et al.</i>	2000	Measuring vulnerability: a trial indicator set.	en línea	Índice de vulnerabilidad al cambio climático respecto a una unidad geográfica de referencia, basado en indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación.
Moss, R. <i>et al.</i>	2001	Vulnerability to climate change. A quantitative approach.	en línea	Índice de vulnerabilidad al cambio climático respecto a una unidad geográfica de referencia, basado en indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación.

(continúa)

Cuadro 1. (continuación)

Autor	Año	Título	Fuente	Contenido
Nicholls, R.	2002	Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding	Physics and Chemistry of the Earth	Modelamiento de impactos de inundaciones por tormentas asociadas a la subida del nivel del mar.
O'Brien, K. <i>et al.</i>	2004	Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway	Climatic Change	Evaluación comparativa de la vulnerabilidad a nivel nacional, regional y local, demostrando que los resultados varían dependiendo de la escala de análisis.
O'Brien, K. <i>et al.</i>	2004	Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India	Global Environmental Change	Elaboración de mapas de vulnerabilidad al cambio climático y la globalización mediante el análisis espacial de indicadores biofísicos, socioeconómicos y tecnológicos.
Pelling, M.	1999	The political ecology of flood hazard in urban Guyana	Geoforum	Vulnerabilidad a la subida del nivel del mar asociada al cambio climático
Quinn, N. <i>et al.</i>	2001	An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin basin, California	Advances in Environmental Research	Vulnerabilidad del suministro y la calidad del agua a la variabilidad climática.
Schreider, S. <i>et al.</i>	2000	Climate change impacts on urban flooding	Climatic Change	Evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones en función de las pérdidas económicas asociadas a las mismas.
Sullivan, C. y Meigh, J.	2005	Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index	Water Science and Technology	Índice de vulnerabilidad al cambio climático, basado en el índice de pobreza hídrica.

(continúa)

Cuadro 1. (continuación)

Autor	Año	Título	Fuente	Contenido
Thieler, E. y Hammar-Klose, E.	2000	National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Pacific Coast	en línea	Índice de vulnerabilidad costera a la subida del nivel del mar en base a seis variables físicas.
Thumerer, T. <i>et al.</i>	2000	A GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England	International Journal of Geographical Information Science	Evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar, en función de aspectos físicos y económicos integrados en un sistema de información geográfica.
Wilhelmi, O. y Wilhite, D.	2002	Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study	Natural Hazards	Mapas de vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la sequía, basados en factores sociales y biofísicos.
Wu, S. <i>et al.</i>	2002	Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA	Climate Research	Evaluación de la vulnerabilidad a las tormentas producto de la subida del nivel del mar, en base a la identificación de zonas con riesgo de inundación y al cálculo de un índice de vulnerabilidad social.

A continuación se presentan una discusión acerca de las ventajas y desventajas de los distintos métodos identificados, agrupados según los tipos de amenaza/desastre asociados a la variabilidad y el cambio climático de interés para Chile. A partir del Apéndice III se presentan descripciones más detalladas de diez propuestas metodológicas concretas.

Evaluación de vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático

Dentro del grupo de métodos para evaluar la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático, destacan aquéllos basados en la construcción y/o aplicación de índices, los que expresan la vulnerabilidad como un valor numérico. Así, mediante la aplicación de una misma herramienta en lugares distintos, es posible hacer comparaciones espaciales objetivas, a la vez que la repetición de la evaluación en un sitio permite visualizar la evolución de la vulnerabilidad en el tiempo. Sin embargo, aun cuando la ventaja que supone la replicabilidad asociada a los índices existe, en la gran mayoría de los casos se encuentra sujeta a los ajustes correspondientes. Esto porque, dado que los factores que dan origen a la vulnerabilidad varían de acuerdo a la escala de análisis y a las características propias de cada lugar, la selección de los indicadores que conforman un índice debiera también variar para responder a dichos factores.

El Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC, Apéndice III) propuesto por el Instituto Meteorológico Nacional y el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (IMN y MINAE, 2005), por ejemplo, se basa en indicadores que, no obstante su sencillez, son capaces de dar cuenta de los principales elementos identificados como generadores de vulnerabilidad a nivel de distrito en ese país. Las variables sugeridas en el Índice de Vulnerabilidad Climática (CVI, Apéndice IV) desarrollado por Sullivan y Meigh (2005), en tanto, presentan una complejidad mayor, pero responden al mismo objetivo que el anterior. Ambos índices cuentan con una estructura similar, que admite incorporar proyecciones de condiciones futuras en el análisis (a pesar de que según Patt *et al.* (2005) esto no es aconsejable), así como realizar una evaluación ponderada a través de la asignación de pesos distintos a cada uno de sus componentes. Esto último resulta particularmente significativo en el caso del CVI, cuyo sesgo hacia la sequía (atribuible a su concepción en base al Índice de Pobreza Hídrica (WPI)) podría corregirse a través de la asignación de pesos mayores a los componentes “ambiente” y “geoespacial”.

El Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad-Resiliencia (VRIP, Apéndice V) (Moss *et al.*, 2000; Moss *et al.*, 2001; Brenkert y Malone, 2003; Brenkert y Malone, 2005), por su parte, difiere de los dos índices anteriores por cuanto el resultado que entrega no es absoluto, sino que corresponde a la vulnerabilidad (o resiliencia) respecto a una unidad geográfica de referencia. Por esta razón, este método constituye una alternativa de especial interés para la identificación de zonas de acción prioritaria en estudios comparativos de vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, por su estructura basada en indicadores de capacidad de adaptación para denotar resiliencia, en combinación con indicadores de sensibilidad como únicos elementos explicativos de la vulnerabilidad, el VRIP podría considerarse una aproximación un tanto limitada a la

evaluación de esta última. Esto se debe a que, si bien la sensibilidad ha sido identificada por diversos autores como uno de los elementos que definen la vulnerabilidad de un sitio (Charvériat, 2000; IPCC, 2001; Turner *et al.*, 2003; Luers, 2005), todos la mencionan como parte de un conjunto de factores. Por otra parte, cabe mencionar que el sistema de cálculo de los valores por sector dentro del VRIP provoca una sobrevaloración de aquellos indicadores utilizados como único descriptor de un sector; para que todos los indicadores fueran igualmente ponderados en el análisis, todos los sectores debieran ser descritos por el mismo número de indicadores.

Por último, cabe hacer mención del trabajo realizado por O'Brien *et al.* (2004) para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático y la globalización económica en India (Apéndice VI), el que, si bien pone el acento en la representación gráfica de la misma a través de mapas que reflejan su distribución espacial, también utiliza índices para alcanzar sus resultados. Al igual que el VRIP, el perfil de vulnerabilidad al cambio climático desarrollado en este estudio se basa en la combinación de un índice de capacidad de adaptación con un índice de sensibilidad; sin embargo, en este caso el índice de sensibilidad considera también el factor exposición, ajustándose a la definición de vulnerabilidad del IPCC (2001).

Aunque el trabajo de O'Brien *et al.* (2004) es el que pone mayor énfasis en la elaboración de mapas de vulnerabilidad, los demás índices mencionados también pueden ser representados gráficamente. Sin embargo, existe una consideración importante en este sentido, y es que las diferencias abruptas que se observan entre una unidad geográfica y otra al graficar la vulnerabilidad pueden generar un falso sentido de precisión, ya que no dan cuenta de los cambios graduales que se detectan localmente. En respuesta a esto, Sullivan y Meigh (2005) plantean la posibilidad de aplicar los índices a distintas escalas espaciales y luego graficarlos de manera anidada, con el fin de revelar las variaciones locales dentro de regiones o países enteros.

Esta idea de las diferencias que se observan en los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad dependiendo de la escala, es justamente la que profundizan O'Brien *et al.* (2004a) a través del estudio de caso de Noruega. En dicho estudio, los autores realizan un análisis comparativo de la vulnerabilidad a nivel nacional, regional y local, demostrando que las evaluaciones más locales pueden revelar la existencia de segmentos de la población vulnerables en zonas catalogadas como resilientes a nivel macro, y viceversa. En el mismo sentido, para incorporar las variaciones de escala, el trabajo de O'Brien *et al.* (2004) en India complementa la evaluación a escala sub-nacional, basada en índices, con estudios de tipo local, siguiendo un esquema similar al del análisis de vulnerabilidad social propuesto por Adger (1999). Dicho análisis se basa en encuestas tanto cualitativas como cuantitativas a una muestra de hogares, entrevistas a autoridades locales y datos históricos locales; a partir de estas fuentes de información el autor evalúa vulnerabilidades individuales y colectivas, definidas en función de la pobreza y la dependencia a recursos, y de la inequidad de ingresos y la capacidad de adaptación, respectivamente. Si bien estos factores de vulnerabilidad son mencionados por diversos autores (Blaikie *et al.*, 1996; Morrow, 1999; Cardona, 2001; UN/ISDR, 2002; McEntire, 2005), el análisis no aborda

explícitamente otros elementos que algunos autores consideran igualmente importantes en la configuración de la vulnerabilidad a nivel local, como la estructura de las redes sociales (Wilches-Chaux, 1989; Morrow, 1999; Paton y Johnston, 2001; Alcántara-Ayala, 2002) y la composición de géneros y razas (Morrow, 1999; UN/ISDR, 2002).

Evaluación de vulnerabilidad a las inundaciones

Los métodos para evaluar la vulnerabilidad a las inundaciones pueden ser divididos en dos grupos en función de los orígenes de las mismas. De este modo, es posible identificar algunos métodos dirigidos a las inundaciones ribereñas, asociadas a excesos de precipitación, así como otros orientados específicamente a las inundaciones costeras, asociadas a la subida del nivel del mar.

Respecto al primer grupo, inundaciones causadas por exceso de precipitación, sólo se encontraron dos métodos de evaluación de vulnerabilidad, ninguno de los cuales puede considerarse realmente efectivo. El Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones (Connor y Hiroki, 2005) (Apéndice VII), por ejemplo, a pesar de tener una estructura interesante que considera aspectos tanto materiales como humanos, no cumple, según sus propios autores, el objetivo para el cual fue diseñado (evaluar la vulnerabilidad a nivel de cuenca). El método desarrollado por Schreider *et al.* (2000), en tanto, homologa la vulnerabilidad a las pérdidas económicas asociadas a una inundación; esto constituye una aproximación excesivamente simple al concepto de vulnerabilidad, ya que excluye del análisis los factores físicos y sociales que pudieran estar interviniendo en la configuración de la misma.

Entre los métodos de evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones asociadas a la subida del nivel del mar, destacan aquéllos vinculados al uso de sistemas de información geográfica, como el de Wu *et al.* (2002) (Apéndice VIII), el de Thumerer *et al.* (2000) (Apéndice IX) y el de El-Raey *et al.* (1999). Las tres metodologías se basan en el procesamiento de capas temáticas de información en combinación con el uso de modelos de predicción para ciertas variables explicativas (por ejemplo, la altura de las olas). Si bien todos los grupos de autores incluyen en el análisis la exposición de los distintos usos de suelo a las inundaciones, Thumerer *et al.* (2000) van más lejos, cuantificando los potenciales daños económicos asociados a cada uno de ellos. Esta propuesta es también más precisa en términos de las variables físicas que utiliza para explicar la inundación costera, pero puede considerarse incompleta por cuanto excluye los elementos de tipo social. La propuesta de Wu *et al.* (2002), en cambio, emplea un índice de vulnerabilidad social construido en base a nueve variables censales, lo que lo hace muy fácil de aplicar. Otra característica significativa del método de evaluación desarrollado por estos últimos autores es que en el escenario base considera no sólo las zonas susceptibles de ser inundadas por olas de tormenta, sino también las zonas susceptibles de sufrir inundación ribereña; así, aun cuando no incorpora predicciones al respecto, este es el único método revisado que considera la interacción de ambos tipos de inundación.

Otra forma de evaluar la vulnerabilidad a las inundaciones causadas por la subida del nivel del mar es a través de un índice como el Vulnerabilidad Costera (Apéndice X), desarrollado por Thieler y Hammar-Klose (2000). Dicho índice presenta las ventajas típicas de este tipo de métodos (replicabilidad, facilidad de interpretación), sin embargo, al estar compuesto exclusivamente por variables físicas, da cuenta de la vulnerabilidad física y no global del lugar de estudio. Así, su utilidad como herramienta para la toma de decisiones está sujeta a la realización de estudios complementarios que abarquen otras áreas de vulnerabilidad, como la social y la económica.

Evaluación de la vulnerabilidad a la sequía

En el caso de la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía, sólo uno de los métodos identificados consiste en un índice. Se trata del Índice de Vulnerabilidad del Sistema Hídrico (Apéndice XI), desarrollado por Fowler *et al.* (2003) para evaluar el comportamiento de fuentes individuales de agua o del sistema hídrico como un todo frente a la demanda poblacional de agua. Según este índice, la vulnerabilidad equivale a la magnitud del déficit hídrico, aproximación que no se ajusta a ninguna de las definiciones de vulnerabilidad revisadas (Apéndice I), sino más bien responde a la definición de sensibilidad propuesta por Brenkert y Malone (2005). Además, el índice presenta otra importante debilidad en su estructura: al entregar valores absolutos y no relativos a la demanda poblacional de agua en un lugar y un momento determinados, no permite hacer comparaciones entre los resultados obtenidos.

Otra forma de abordar la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía está dada por los mapas de vulnerabilidad desarrollados por Wilhelmi y Wilhite (2002) (Apéndice XII). Dichos mapas utilizan la expresión cartográfica de cuatro indicadores representativos de factores biofísicos y sociales para determinar la distribución espacial de la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la sequía asociada a la variabilidad y el cambio climático. Una de las principales ventajas de este método es que entrega valores continuos de vulnerabilidad, lo que lo hace más realista que aquellos que asignan el mismo valor a una unidad geográfica completa. Así, más allá de los posibles cuestionamientos a la selección de indicadores (que, como ya se ha visto, es susceptible de ser modificada según las características propias de cada estudio), este método constituye una herramienta interesante para la identificación de sitios de acción prioritaria en relación a la vulnerabilidad a la sequía.

El trabajo de Liverman (1999), por su parte, analiza el modo en que la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación varían en el tiempo y en el espacio, considerando para ello los factores biofísicos y sociales determinantes. El análisis que aquí se hace difiere de los demás por cuanto es cualitativo, cuestión que, aunque limita su replicabilidad tanto espacial como temporal y dificulta las comparaciones de resultados, facilita la comprensión de los procesos humanos que dan origen a la vulnerabilidad de la población en estudio.

En términos generales, del análisis de los métodos para la evaluación de la vulnerabilidad se desprende que éstos no han evolucionado a la par con la teoría. Mientras esta última muestra niveles de complejidad crecientes en el tiempo, reflejo del intento por explicar la vulnerabilidad en todas sus dimensiones y a través de todos sus factores de origen, no es posible observar un avance similar en las metodologías revisadas. Muy por el contrario, dichas metodologías presentan grados de complejidad más bien similares, con algunas excepciones que no responden en ningún caso a la temporalidad.

Cabe destacar también que todos los métodos incluidos en el análisis fueron desarrollados a partir de 1999; si bien algunos de los modelos teóricos son posteriores a esa fecha, para ese entonces la gran mayoría de los autores coincidía acerca de la importancia de los factores tanto biofísicos como sociales en la configuración de la vulnerabilidad. Es por ello que llama la atención que algunos autores, como Thieler y Hammar-Klose (2000), propongan una forma de evaluar la vulnerabilidad explicada exclusivamente en términos físicos.

Por otra parte, aunque las distintas aproximaciones teóricas difieren en la importancia que le asignan a uno u otro factor, todas concuerdan en que ellos se encuentran condicionados por las características de los sistemas humanos. Sin embargo, en general los métodos de evaluación cuantitativos no son capaces de dar cuenta del modo en que las personas, tanto individual como colectivamente, generan las condiciones que las hacen vulnerables a las amenazas climáticas. Esto se debe a que los indicadores utilizados se limitan a reflejar el estado de un factor de vulnerabilidad en un momento dado, pero no dicen nada acerca de los procesos y circunstancias que lo llevaron a ese estado. Por esta razón, aunque algunas metodologías cumplen con el objetivo de identificar poblaciones vulnerables, en la mayoría de los casos se requiere de estudios complementarios que permitan proponer líneas de acción para revertir los procesos responsables de dicha vulnerabilidad.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada dejó de manifiesto que la forma de entender la vulnerabilidad se ha ido modificando a través de los años. Así, este concepto pasó de tener un enfoque más bien limitado, que lo relacionaba directamente con la pobreza en la década del '80, a recibir una mirada más amplia, que actualmente reconoce en él la interacción de elementos sociales, económicos y biofísicos.

Además de esta evolución teórica, ha habido algunos avances en el ámbito de la aplicación práctica del concepto de vulnerabilidad. En este sentido, diversos autores han planteado aproximaciones metodológicas para evaluar la vulnerabilidad en distintos puntos del planeta y a diferentes escalas, con el fin de orientar la toma de decisiones respecto a la prevención de desastres.

Los métodos de evaluación revisados se diferencian, por un lado, en las amenazas relacionadas con la variabilidad y el cambio climático abordadas, las que permitieron agruparlos y analizarlos separadamente. Por otro lado, dentro de cada grupo, se identificaron diferencias en la forma de procesar la información (ya sea a través de índices, sistemas de información geográfica o modelos computacionales, entre otros), así como en el énfasis dado a los distintos aspectos de la vulnerabilidad (físico, social, económico, entre otros). Esta última característica es especialmente significativa, ya que de ella depende que los resultados de la evaluación den cuenta de un perfil equilibrado de vulnerabilidad global o que se encuentren sesgados hacia uno o más de los componentes de la misma.

Cabe destacar también que, más allá de las diferencias observadas, existe entre los métodos un denominador común: el uso de indicadores para dar cuenta de los distintos aspectos de la vulnerabilidad. Como ya se ha visto, la selección de dichos indicadores es variable y depende, entre otras cosas, de las características específicas de cada lugar. En este contexto, es fundamental entender las propuestas metodológicas como herramientas de evaluación flexibles, que pueden y deben ser adaptadas de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada estudio en particular.

Por último, es importante tener presente que las metodologías analizadas no son suficientes en sí mismas para determinar las acciones necesarias para mitigar la vulnerabilidad a las amenazas del clima. Mientras los métodos no sean capaces de reflejar los procesos tras los estados de vulnerabilidad, sólo servirán para identificar, con mayor o menor grado de confiabilidad, poblaciones (o segmentos de población) vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

ADGER, W. 1999. Social vulnerability to climate change and extremes in Coastal Vietnam. *World Development* 27(2): 249-269.

AGUILERA, R., ACUÑA, A. y FIGUEROA, D. 2006. Análisis de vulnerabilidad y adaptación al incremento en el nivel del mar en la costa del Golfo de Arauco, Chile. Seminario de Adaptación Institucional al Cambio Climático: Oportunidades y Desafíos para Chile. 29 y 30 de mayo de 2006.

ALCÁNTARA-AYALA, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47: 107-124.

ALDERWISH, A. y AL-ERYANI, M. 1999. An approach for assessing the vulnerability of the water resources of Yemen to climate change. *Climate Research* 12: 85-89.

ANTLE, J., CAPALBO, S., ELLIOT, E. y PAUSTIAN, K. 2004. Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO₂ fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change* 64: 289-315.

BENSON, C. y CLAY, E. 2002. Disasters, vulnerability and the global economy. 35p. [en línea]. Disponible en: <http://www.proventionconsortium.org/files/conference_papers/bensonclay.pdf> (Consulta: 6 de diciembre de 2005).

BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVID, I. y WISNER, B. 1996. Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. 290p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/libros/index.html>> (Consulta: 12 de julio de 2005).

BRENKERT, A. y MALONE, E. 2003. Vulnerability and resilience of India and Indian states to climate change: a first order approximation. Joint Global Change Research Institute, College Park, MD. 105p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.pnl.gov/globalchange/projects/vul/index.htm>> (Consulta: 11 de abril de 2006).

BRENKERT, A. y MALONE, E. 2005. Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States. *Climatic Change* 72: 57-102.

CARDONA, O. 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. 18p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>> (Consulta: 8 de julio de 2005).

CARRASCO, J.F., CASASSA, G. y QUINTANA, J. 2005. Changes of the 0 degrees C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences Journal* 50(9): 933-948.

CHARDON, A.C. 1997. La percepción del riesgo y los factores socioculturales de vulnerabilidad. *Desastres y Sociedad* 8: 4-34. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys08/index.html>> (Consulta: 2 de noviembre de 2005).

CHARVÉRIAT, C. 2000. Natural disasters in Latin America and the Caribbean: an overview of risk. Inter-American Development Bank, Research Department. Working Paper #34. [en línea]. Disponible en: <<http://www.iadb.org/regions/re2/sida-idb-partnership/docs/ENVNatDisastLACeline.pdf>> (Consulta: 13 de febrero de 2006).

CNE, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2005. Capacidad instalada por sistema eléctrico nacional. Sistemas SING, SIC, Aysén, Magallanes. [en línea]. Disponible en: <http://www.cne.cl/estadisticas/nacionales/electricidad/f_precio.html> (Consulta: 2 de septiembre de 2005).

COMITÉ ASESOR SOBRE CAMBIO GLOBAL, CHILE. 2006. Estrategia Nacional de Cambio Climático. 8p. [en línea]. Disponible en: <http://www.sinia.cl/1292/articles-35209_estr_cc.pdf> (Consulta: 19 de junio de 2006).

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 1999. Primera Comunicación Nacional bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 156p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.conama.cl/coain/article-32900.html>> (Consulta: 20 de junio de 2006).

CONFERENCIA SUDAMERICANA. 1996. Municipios y organizaciones locales ante emergencias y desastres. Presentación de casos: emergencias y desastres a nivel local. Aluvión de Antofagasta del 18 de junio de 1991. Expositor: Pedro Araya Ortiz.

CONNOR, R.F. y HIROKI, K. 2005. Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Science and Technology* 51(5): 61-67.

EAKIN, H. 2005. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: cases from central Mexico. *World Development* 33(11): 1.923-1.938.

EASTERLING, D., MEEHL, G., PARMESAN, C., CHANGNON, S., KARL, T. and MEARNNS, L. 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289(5487): 2068-2074.

EL-RAEY, M., FRIHY, O., NASR, S. y DEWIDAR, K. 1999. Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said governorate, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment* 56: 113-128.

EPSTEIN, P. y McCARTHY, J. 2004. Assessing climate stability. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85(12): 1863-1870.

FOWLER, H.J., KILSBY, C.G y O'CONNELL, P.E. 2003. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research* 39(8), 1222.

GEF/WORLD BANK, GLOBAL ENVIRONMENTAL FACILITY, WORLD BANK. 1997. Caribbean planning for adaptation to global climate change (CPACC). Project Document. Report N° 15916. [en línea]. Disponible en: <http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1997/01/01/000009265_3970619110659/Rendered/PDF/multi-page.pdf> (Consulta: 16 de febrero de 2006).

GÓMEZ, J. y MARÍN, R. 2001. Oportunidades para el desarrollo sostenible en torno al proceso de integración en Centroamérica. Borrador para discusión. 91p. [en línea]. Disponible en: <<http://www3.cepal.org.mx/sica/ESTUDIOS/MA/>> (Consulta: 10 de agosto de 2005).

GREEN, C. 2004. The evaluation of vulnerability to flooding. *Disaster Prevention and Management* 13(4): 323-329.

GLOERSEN, P., PARKINSON, C.L., CAVALIERI, D.J., COMISO, J.C. y ZWALLY, H.J. 1999. Spatial distribution of trends and seasonality in the hemispheric sea ice covers: 1978-1996. *Journal of Geophysical Research* 104(9): 20827-20835.

HAREAU, A., HOFSTADTER, R. y SAIZAR, A. 1999. Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Climate Research* 12: 185-193.

IMN y MINAE, INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL y MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA. 2005. Vulnerabilidad actual de la zona noroccidental del valle central de Costa Rica. Fomento de las capacidades para la etapa II. Adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Adaptación del sector hídrico al cambio climático. 64p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.nu.or.cr/pnud/docs/vulne.pdf>> (Consulta: 6 de febrero de 2006).

IPCC, PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2001. *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. [en línea]. Disponible en: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm> (Consulta: 12 de enero de 2006).

IPCC, PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2001a. Cambio climático 2001: la base científica. Tercer informe de evaluación. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. 84p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf>> (Consulta: 26 de agosto de 2005).

IPCC, PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2001b. Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Tercer informe de evaluación. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. 92p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg2s.pdf>> (Consulta: 20 de julio de 2005).

JANSSEN, M., SCHOON, M., KE, W. y BÖRNER, K. 2005. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. Draft. 16p.

KELLY, P. y ADGER, W. 1999. Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. CSERGE Working Paper GEC 99-07. 35p. [en línea]. Disponible en: <http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1999_07.pdf> (Consulta: 12 de abril de 2005).

KELLY, P. y ADGER W. 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47: 325-352.

KROL, M., JAEGER, A., BRONSTERT, A. y KRYWKOW, J. 2001. The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil. *Physics and Chemistry of the Earth* 26(7-8): 529-533.

LA RED, RED DE ESTUDIOS SOCIALES EN PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA LATINA. 2003. Guía metodológica de Desinventar. 38p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desinventar.org/sp/metodologia/index.html>> (Consulta: 14 de junio de 2006).

LAUENROTH, W.K., EPSTEIN, H.E., PARUELO, J.M., BURKE, I.C., AGUIAR, M.R. y SALA, O.E. 2004. Potential effects of climate change on the temperate zones of North and South America. *Revista Chilena de Historia Natural* 77(3):439-453.

LAVELL, A. 1997. Comunidades urbanas, vulnerabilidad a desastres y opciones de prevención y mitigación: una propuesta de investigación-acción para Centroamérica. *In: Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina.*

LAVELL, A. 1999. Un encuentro con la verdad: los desastres en América Latina durante 1998. 17p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>> (Consulta: 3 de octubre de 2005).

LAVELL, A. 2000. Desastres durante una década: lecciones y avances conceptuales y prácticos en América Latina (1990-1999). 32p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>> (Consulta: 6 de octubre de 2005).

LAVELL, A. 2004. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, La Red: Antecedentes, formación y contribución al desarrollo de los conceptos, estudios y la práctica en el tema de los riesgos y desastres en América Latina: 1980-2004. 76p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/varios/index.html>> (Consulta: 10 de julio de 2005).

LAVELL, A. s/f. Desastres urbanos: una visión global. 10p. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>> (Consulta: 3 de octubre de 2005).

LIVERMAN, D. 1999. Vulnerability and adaptation to drought in Mexico. *Natural Resources Journal* 39: 99-115.

LORENTE, J. 2002. La precipitación del cambio climático. *Mundo Científico* 22(236): 34-37.

LUERS, A. 2005. The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change* 15: 214-223.

McENTIRE, D. 2001. Triggering agents, vulnerabilities and disaster reduction: towards a holistic paradigm. *Disaster Prevention and Management* 10(3): 189-196.

McENTIRE, D. 2004. Development, disasters and vulnerability: a discussion of divergent theories and the need for their integration. *Disaster Prevention and Management* 13(3): 193-198.

McENTIRE, D. 2005. Why vulnerability matters: exploring the merit of an inclusive disaster reduction concept. *Disaster Prevention and Management* 14(2): 206-222.

MANN, M., BRADLEY, R. y HUGHES, M. 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392: 779-787.

MARTÍN-VIDE, J. 1997. Cambio climático: previsión de sequías. *In: Regadío y desarrollo en regiones semiáridas latinoamericanas*. 150p.

MEEHL, G., KARL, T., EASTERLING, D., CHANGNON, S., PIELKE Jr., R., CHANGNON, D., EVANS, J., GROISMAN, P., KNUTSON, T., KUNKEL, K., MEARNS, L., PARMESAN, C., PULWARTY, R., ROOT, T., SYLVES, R., WHETTON,

P. y ZWIERS, F. 2000. An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81(3): 413-416.

MIDDLEKOOP, H. y KWADIJK, C. 2001. Towards integrated assessment of the implications of global change for water management – the Rhine experience. *Physics and Chemistry of the Earth* 26(7-8): 553-560.

MIMURA, N. 1999. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. *Climate Research* 12: 137-143.

MORROW, B.H. 1999. Identifying and mapping community vulnerability. *Disasters* 23(1): 1-18.

MOSS, R., BRENKERT, A., y MALONE, E. 2000. Measuring vulnerability: a trial indicator set. 8p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.pnl.gov/globalchange/projects/vul/index.htm>> (Consulta: 11 de abril de 2006).

MOSS, R., BRENKERT, A., y MALONE, E. 2001. Vulnerability to climate change: a quantitative approach. 88p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.pnl.gov/globalchange/projects/vul/index.htm>> (Consulta: 11 de abril de 2006).

NICHOLLS, R. 2002. Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 1455-1466.

O'BRIEN, K., LEICHENKO, R., KELKAR, U., VENEMA, H., AANDAHL, G., TOMPKINS, H., JAVED, A., BHADWAL, S., BARG, S., NYGAARD, L. y WEST, J. 2004. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change* 14: 303-313.

O'BRIEN, K., SYGNA, L. y HAUGEN, J. 2004. Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway. *Climatic Change* 64: 193-225.

OCDE, ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS. 2001. Resumen: Indicadores medioambientales para la agricultura. Métodos y resultados. Volumen 3. [en línea]. Disponible en: <<http://www.oecd.org/dataoecd/47/47/1960514.pdf>> (Consulta: 20 de febrero de 2006).

ONEMI, OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA. 2000. Temporales 1 junio - 2 julio 2000. Informe consolidado. 188p.

PATON, D. y JOHNSTON, D. 2001. Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prevention and Management* 10(4): 270-277.

PATT, A., KLEIN, R. y DE LA VEGA-LEINERT, A. 2005. Taking the uncertainty in climate-change vulnerability assessment seriously. *C. R. Geoscience* 337: 411-424.

PELLING, M. 1999. The political ecology of flood hazard in urban Guyana. *Geoforum* 30: 249-261.

QUINN, N., MILLER, N., DRACUP, J., BREKKE, L. y GROBER, L. 2001. An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin basin, California. *Advances in Environmental Research* 5: 309-317.

ROSENZWEIG, C., PARRY, M., FISCHER, G. y FROHBERG, K. 1993. Climate change and world food supply. Research Report N° 3. University of Oxford, Environmental Change Unit. [en línea]. Disponible en: <<http://www.ciesin.org/docs/004-046/004-046.html>> (Consulta: 24 de enero de 2006).

SALINGER, J. 2005. Climate variability and change: past, present and future – An overview. *Climate Change* 70(1-2): 9-29.

SCHREIDER, S., SMITH, D. y JAKEMAN, J. 2000. Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change* 47: 91-115.

SULLIVAN, C. y MEIGH, J. 2005. Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science and Technology* 51(5): 69-78.

THIELER, E.R. y HAMMAR-KLOSE, E.S. 2000. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Pacific Coast. [en línea]. Disponible en: <<http://pubs.usgs.gov/of/2000/of00-178>> (Consulta: 27 de julio de 2006).

THUMERER, T., JONES, A. y BROWN, D. 2000. A GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England. *International Journal of Geographical Information Science* 14(3): 265-281.

TURNER, B.L., KASPERSON, R.E., MATSON, P.A., McCARTHY, J.J., CORELL, R.W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J.X., LUERS, A., MARTELLO, M.L., POLSKY, C., PULSIPHER, A. y SCHILLER, A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS)* 100(14): 8074-8079.

UN/ISDR, UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. 2002. Natural disasters and sustainable development: understanding the links between development, environment and natural disasters. Background paper N° 5. 10p.

UN/ISDR, UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. 2004. Terminology of disaster risk reduction. [en línea]. Disponible en: <<http://www.eird.org/eng/terminologia-eng.htm>> (Consulta: 25 de enero de 2006).

VARGAS, G., ORTLIEB, L. y RUTLANT, J. 2000. Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación Sur. *Revista Geológica de Chile* 27(2): 157-176.

WEICHSELGARTNER, J. 2001. Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. *Disaster Prevention and Management* 10(2): 85-94.

WILCHES-CHAUX, G. 1989. Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. Servicio Nacional de Aprendizaje, Popayán. 129p.

WILHELMI, O. y WILHITE, D. 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards* 25: 37-58.

WU, S., YARNAL, B. y FISHER, A. 2002. Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA. *Climate Research* 22: 255-270.

YAMIN, F., RAHMAN, A. y HUQ, S. 2005. Vulnerability, adaptation and climate disasters: a conceptual overview. *IDS Bulletin* 36(4): 1-14.

Glosario

Amenaza o Peligro: (1) Probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual una comunidad es vulnerable (Wilches-Chaux, 1989).

(2) Eventos naturales extremos que pueden afectar diferentes sitios singularmente o en combinación (líneas costeras, laderas, fallas sísmicas, sabanas, bosques tropicales, etc.), en diferentes épocas (estación del año, hora del día, sobre diferentes períodos de regreso, de diferente duración) (Blaikie *et al.*, 1994).

(3) Peligro latente o factor de riesgo externo de un sistema o sujeto expuesto, que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado (Cardona, 2001).

(4) Evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañino que puede causar pérdidas de vida o lesiones, daños en la propiedad, trastornos sociales y económicos o degradación ambiental (UN/ISDR, 2004).

Amenaza Natural o Peligro Natural: (1) Evento geofísico, atmosférico o hidrológico que tiene un potencial de causar daño o pérdidas. Usualmente son eventos poco comunes y extremos en términos del rango de fenómenos naturales como lluvia, tormentas tropicales, inundaciones, entre otros (Royal Society, 1992, citado por Benson y Clay, 2002).

(2) Evento amenazante, capaz de producir daño al espacio físico y social donde se sitúa, no sólo en el momento de su ocurrencia sino en el largo plazo, debido a sus consecuencias asociadas. Cuando estas consecuencias tienen un impacto significativo en la sociedad y/o la infraestructura, se convierte en desastre natural (Alcántara-Ayala, 2002).

Cambio Climático: (1) Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (ONU, 1992).

(2) Cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo, ya sea por razón de su variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (IPCC, 2001).

(3) Cambio estadísticamente significativo sobre un período extenso (décadas o más) en las mediciones del estado medio o la variabilidad del clima de un lugar o región (UN/ISDR, 2004).

Capacidad de Adaptación: (1) La habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad de clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovechar las oportunidades o enfrentar las consecuencias (IPCC, 2001).

(2) El set de acciones potenciales que aportan al potencial mínimo de vulnerabilidad pero no a la vulnerabilidad existente (Luers *et al.*, 2003, citado por Luers, 2005).

(3) La capacidad que tiene una sociedad de adaptarse a los cambios para mantener, minimizar la pérdida de o maximizar la ganancia de bienestar (Brenkert y Malone, 2005).

(4) Las características de un individuo, unidad familiar, o grupo poblacional que le permiten alterar o reorganizar estructuralmente sus actividades para disminuir amenazas actuales a la supervivencia a la vez que refuerzan su habilidad para enfrentar nuevos riesgos (Eakin, 2005).

Clima: Descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie, como la temperatura, las precipitaciones o el viento (IPCC, 2001).

Desastre: (1) El conjunto de efectos sobre vidas humanas, infraestructura o economía que produce un evento sobre una unidad geográfica de máxima resolución predefinida (La Red, 2003).

(2) Una alteración seria del funcionamiento de una comunidad o sociedad, causando pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales generalizadas que exceden la habilidad de la comunidad o sociedad de hacerles frente utilizando sus propios recursos (UN/ISDR, 2004).

Desastre Natural: Interacción entre fenómenos físicos o naturales extremos y un grupo humano vulnerable, que resulta en una desorganización y destrucción general, pérdida de vida y de formas de subsistencia, y lesiones (Westgate y O'Keefe, 1976, citado por Alcántara-Ayala, 2002).

Exposición: (1) Las características de las fuerzas que podrían estresar un sistema, como magnitud y frecuencia (Luers, 2005).

(2) La naturaleza y magnitud de los cambios a los que está sujeto el clima de un lugar en relación a variables como temperatura, precipitación, eventos climáticos extremos, nivel del mar (Brenkert y Malone, 2005).

Resiliencia: (1) La cantidad de capacidad de enfrentar, o la habilidad de reaccionar o recuperarse efectivamente de un agente desencadenante que se torna desastroso (Buckle *et al.*, 2000, citados por McEntire, 2001).

(2) La habilidad de recuperarse efectivamente de la adversidad y aumentar la probabilidad de que la exposición a la adversidad lleve al crecimiento (Paton and Johnston, 2001).

(3) La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesto a peligros, de adaptarse a través de la resistencia o el cambio para alcanzar y mantener un nivel aceptable de funcionamiento y estructura. Esto está determinado por el grado en el que el sistema social es capaz de organizarse para aumentar su capacidad de aprender de desastres pasados para una mejor protección futura y para mejorar las medidas de reducción del riesgo (UN/ISDR, 2004).

Riesgo: (1) Cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno (Wilches-Chaux, 1989).

(2) Potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, como resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad. Puede expresarse en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un cierto sitio y durante un cierto período de tiempo (Cardona, 2001).

(3) La probabilidad de consecuencias perjudiciales, o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, sustento, actividad económica alterada o medio ambiente dañado) como resultado de la interacción entre peligros naturales o inducidos por el hombre y condiciones vulnerables (UN/ISDR, 2004).

Sensibilidad: (1) El grado en el que está afectado un sistema, en sentido perjudicial o en sentido beneficioso, por razón de estímulos relacionados con el clima. Dichos estímulos abarcan todos los elementos del cambio climático, incluido el promedio de características del clima, la variabilidad del clima y la frecuencia y magnitud de casos extremos. El efecto puede ser directo o indirecto (IPCC, 2001).

(2) El grado al que un sistema responderá a una fuerza perturbadora externa. Incluye la habilidad de resistir el cambio y la habilidad de volver a una condición previa luego de que un estresor ha sido removido (Luers, 2005).

(3) La forma en que los sistemas podrían ser negativamente afectados por el cambio en el clima, por ejemplo, cuánta tierra podría inundarse por la subida del nivel del mar, cuánto podrían variar los rendimientos de los cultivos, o cuánto podría verse afectada la salud humana (Brenkert y Malone, 2005).

Variabilidad Climática: Variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. Puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2001).

Vulnerabilidad: (1) Incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea, su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio (Wilches-Chaux, 1989).

(2) La probabilidad de que un individuo o grupo se vea expuesto y sea adversamente afectado por una amenaza. Es la interacción de las amenazas de un lugar (riesgo y mitigación) con el perfil social de las comunidades (Cutter, 1996, citado por Brenkert y Malone, 2005).

(3) Factor de riesgo interno que matemáticamente está expresado como la factibilidad de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza (Cardona, 2001).

(4) El grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluidas la variabilidad y los extremos del clima. Es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación a la que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y su capacidad de adaptación (IPCC, 2001).

(5) La propensión de un elemento en riesgo debido a cualquier clase de peligro natural a sufrir distintos grados de pérdida o cantidad de daños, dependiendo de sus particulares debilidades sociales, económicas, culturales y políticas (Alcántara-Ayala, 2002).

(6) Las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros (UN/ISDR, 2004).

(7) Las características inherentes de un sistema que crean el potencial para el daño (Sarewitz *et al.*, 2003, citados por Pielke *et al.*, 2005).

APÉNDICE II**Glosario de Siglas**

CNE	=	Comisión Nacional de Energía (Chile)
CSI	=	Índice de Sensibilidad Climática (del inglés “Climate Sensitivity Index”)
CVI (a)	=	Índice de Vulnerabilidad Climática (del inglés “Climate Vulnerability Index”)
CVI (b)	=	Índice de Vulnerabilidad Costera (del inglés “Coastal Vulnerability Index”)
FVI	=	Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones (del inglés “Flood Vulnerability Index”)
IAI	=	Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (del inglés “Inter American Institute for Global Change Research”)
IMN	=	Instituto Meteorológico Nacional (Costa Rica)
IPCC	=	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (del inglés “Intergovernmental Panel on Climate Change”)
IRI	=	Instituto Internacional de Investigación para la Predicción del Clima (del inglés “International Research Institute for Climate Prediction”)
IVC	=	Índice de Vulnerabilidad Climática
MINAE	=	Ministerio de Ambiente y Energía (Costa Rica)
OCDE	=	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PAR	=	Presión Y Liberación (del inglés “Pressure And Release”)
RH	=	Riesgo-Amenaza (del inglés “Risk-Hazard”)
RRV	=	Confiabilidad, Resiliencia y Vulnerabilidad (del inglés “Reliability, Resilience and Vulnerability”)
UN/ISDR	=	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (del inglés “United Nations International Strategy for Disaster Reduction”)
VRIP	=	Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad-Resiliencia (del inglés “Vulnerability-Resilience Indicator Prototype”)
WPI	=	Índice de Pobreza Hídrica (del inglés “Water Poverty Index”)

APÉNDICE III

Índice de Vulnerabilidad Climática (IMN y MINAE, 2005)

El desarrollo de esta metodología corresponde a una iniciativa conjunta del Instituto Meteorológico Nacional y el Ministerio de Ambiente y Energía, dirigida a evaluar la vulnerabilidad climática de la zona de noroccidental del valle central de Costa Rica a nivel de distrito (mínima división político-administrativa).

El análisis de la vulnerabilidad está basado en el marco conceptual Presión-Estado-Respuesta (PER), según el cual una presión aplicada a un sistema que se encuentra en un estado dado provoca una respuesta para tratar de volver al equilibrio. En este caso, la presión corresponde al clima, el estado está caracterizado por un conjunto de indicadores socioeconómicos y biofísicos que definen la vulnerabilidad actual, y la respuesta comprende las medidas de adaptación y las fortalezas locales.

A partir de esta conceptualización, se construyó un Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) que consta de cuatro componentes, cada uno de los cuales está representado por al menos un indicador que puede variar según la zona de estudio. La siguiente es la expresión matemática de dicho índice:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{ASE} + \text{IV} + \text{CI} + \text{RF}$$

donde:

ASE	=	Agua, salud, sociedad y energía ⁵
IV	=	Infraestructura y vivienda
CI	=	Conocimiento e información
RF	=	Recursos financieros

La selección de indicadores se basó en los criterios generales propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) para la definición y selección de indicadores agroambientales, así como en criterios específicos para este proyecto (cobertura, replicabilidad, entre otros). Los criterios de la OCDE son los siguientes:

- *Pertinentes en términos de políticas:* Deberían centrarse en los principales problemas de medio ambiente con los que se enfrentan los gobiernos y las demás partes interesadas en el sector agrícola.
- *Analíticamente exactos:* Deben basarse sobre conocimientos científicos sólidos, pero también hay que reconocer que su elaboración debe pasar por fases sucesivas de mejora.

⁵ Este primer componente reconoce al agua como “el eje en el que giran las necesidades básicas y actividades productivas de la sociedad costarricense”.

- *Cuantificables:* Deben poder calcularse a partir de datos actuales o proyectados, y deben ser rentables en términos de recolección de datos.
- *Fáciles de interpretar:* Deberían expresar informaciones esenciales para los responsables gubernamentales y el público en general, sin ninguna ambigüedad y de manera que sean fáciles de entender.

Los indicadores seleccionados para cada componente se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Indicadores utilizados para el cálculo del IVC en Costa Rica.

Componente	Indicador
Agua, Salud, Sociedad y Energía	Población menor de 12 años Población mayor de 64 años Población discapacitada Población afectada por asma Dotación doméstica de agua
Conocimiento e Información	Población analfabeta Área propensa a deslizamiento Área propensa a inundaciones Área dedicada a actividades agrícolas Área con sobreuso de suelo
Infraestructura y Vivienda	Casas con paredes de madera Casas sin cielo raso Casas con hacinamiento Casas con tanque séptico
Recursos Financieros	Población en pobreza

El valor de cada indicador representa su estado actual respecto a su mínimo y máximo; las unidades fueron llevadas a una base porcentual, considerando el máximo valor del set de datos de cada indicador como el 100%. Luego, a partir de la sumatoria de los indicadores, se obtuvo el valor del índice para cada distrito.

Los resultados fueron llevados a un formato de Sistema de Información Geográfica (SIG), analizándose cada uno de los indicadores por separado y agrupándose aquéllos que mostraron un patrón espacial común. Así, al tener una idea de las debilidades específicas de cada área, la comprensión del índice mejora ostensiblemente. La figura 7 corresponde al resultado final del IVC para los distritos del valle central de Costa Rica.

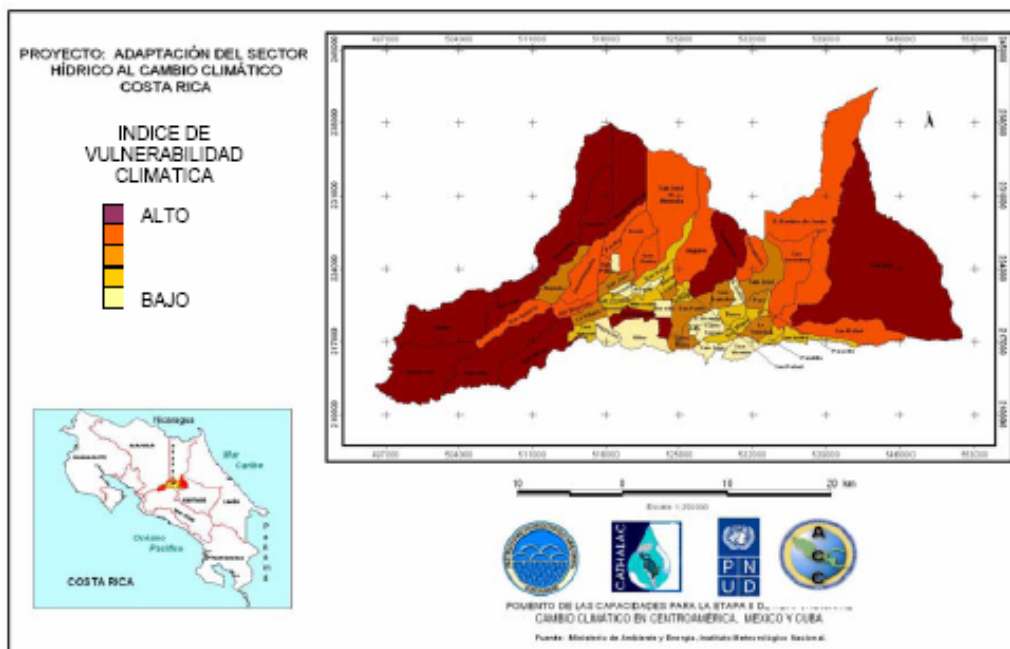


Figura 7. Carta final del Índice de Vulnerabilidad Climática para Costa Rica.
Fuente: IMN y MINAE (2005).

APÉNDICE IV

Índice de Vulnerabilidad Climática (Sullivan y Meigh, 2005)

El índice de vulnerabilidad climática (CVI) está dirigido esencialmente a evaluar la vulnerabilidad humana relacionada con el agua. Para ello, utiliza como parte fundamental de su estructura el índice de pobreza hídrica (WPI), que consta de cinco componentes clave, cada uno de los cuales está compuesto a su vez de una cierta cantidad de sub-componentes o variables explicativas. Dichos componentes son:

1. Recurso: Se refiere a la disponibilidad física del agua, incluyendo variabilidad, calidad y cantidad total.
2. Acceso: Se refiere al acceso para uso humano, incluyendo acceso a riego.
3. Capacidad: Se refiere a la efectividad de las capacidades humanas para manejar el agua.
4. Uso: Se refiere a la eficiencia del uso doméstico, agrícola e industrial del agua.
5. Ambiente: Se refiere a cómo el uso humano del agua afecta al medio ambiente.

El CVI, entonces, está constituido por los cinco componentes del WPI más un sexto componente geoespacial. Este último está conformado por una serie de variables que sirven para indicar el grado de riesgo resultante de la naturaleza física o geográfica del lugar de estudio. Algunas de las variables sugeridas para cada uno de estos componentes se presentan en el cuadro 4.

Matemáticamente, el CVI se expresa como sigue:

$$CVI = \frac{r_r R + r_a A + r_c C + r_u U + r_e E + r_g G}{r_r + r_a + r_c + r_u + r_e + r_g}$$

donde:	CVI = Índice de Vulnerabilidad Climática	C = capacidad
	r = factores de riesgo	U = uso
	R = recurso	E = ambiente
	A = acceso	G = geoespacial

Los factores de riesgo corresponden a la ponderación que se le asigna a cada componente, representando su relevancia en el lugar de estudio. Para asegurar la transparencia del proceso de construcción del índice, la determinación de estos pesos debiera realizarse a través de consultas participativas y juicio de expertos.

Los valores de todos los componentes son estandarizados de manera que fluctúen entre 0 y 100. Así, el valor del CVI cae en el mismo rango, entregando una medida de la vulnerabilidad a la variabilidad climática actual en un lugar determinado. Mientras mayor sea el valor del CVI, mayor será la vulnerabilidad del lugar.

Cuadro 4. Variables sugeridas para cada uno de los componentes del CVI.

Componentes	Variables
Recurso	Disponibilidad de agua superficial y subterránea Capacidad de almacenamiento de agua Calidad de agua Dependencia de agua importada o desalinizada
Acceso	Acceso a agua limpia y sanitización Acceso a riego
Capacidad	Ingreso Inversión en agua relativa a la inversión en capital fijo total Nivel educacional de la población Tasa de mortalidad infantil Existencia de sistemas de alerta de desastres % de la población en viviendas informales Acceso a refugio en caso de inundación u otro desastre
Uso	Consumo doméstico de agua relativo al estándar nacional Uso agrícola e industrial del agua relativo a sus respectivas contribuciones al PIB
Ambiente	Densidad de ganado Densidad de población Pérdida de hábitats Frecuencia de inundaciones
Geoespacial	Cantidad de tierra en riesgo por subida del nivel del mar, marejadas o deslizamientos de tierra Grado de aislamiento de otras fuentes de agua y/o comida Tasas de deforestación, desertificación y erosión Grado de conversión de suelo con vegetación natural Derretimiento y riesgo de desprendimiento de glaciares

La figura 8 muestra la aplicación gráfica del CVI a distintas escalas espaciales.

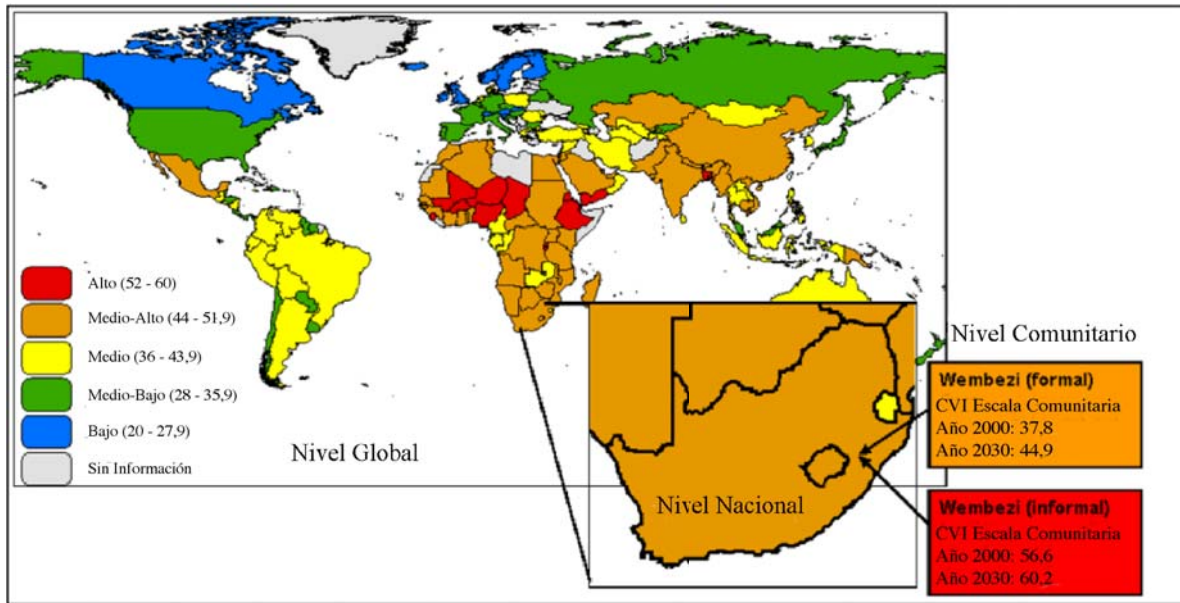


Figura 8. CVI anidados. Escalas global, nacional y comunitaria.
Fuente: Sullivan y Meigh (2005).

APÉNDICE V

Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad-Resiliencia (Brenkert y Malone, 2005)⁶

El prototipo de indicador de vulnerabilidad-resiliencia (VRIP) es una metodología computacional diseñada para medir la vulnerabilidad de una unidad geográfica al cambio climático en relación a una unidad de referencia (por ejemplo, de un país respecto al mundo o de un distrito respecto al país).

El VRIP está basado en el cálculo de indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación, que son integrados en un indicador de vulnerabilidad-resiliencia. Para ello, la sensibilidad y la capacidad de adaptación son caracterizadas a través de una cierta cantidad de “sectores”, cada uno de los cuales es a su vez descrito mediante uno a tres indicadores (cuadro 5). La selección de indicadores por sector considera no sólo lo que representa cada uno individualmente, sino también su comportamiento conjunto, de manera de identificar los vacíos y traslapes que pudieran existir en el análisis. Dependiendo de los objetivos y circunstancias de la aplicación, es posible asignar pesos a los indicadores para ponderar su importancia dentro del set. Los pasos metodológicos del VRIP se describen a continuación:

1. Estandarización de indicadores: El programa recibe como input los datos de los indicadores escogidos de cada unidad geográfica, incluyendo la unidad de referencia. Luego, le asigna a los indicadores de esta última el valor 100 y estandariza contra ellos los datos de los indicadores de las unidades menores.
2. Cálculo de valores sectoriales: Luego, el VRIP calcula para cada una de las unidades menores el valor de cada sector en base a la media geométrica de los indicadores que lo describen. Así, por ejemplo, el valor del sector “seguridad alimentaria” corresponde a la media geométrica de los valores estandarizados de los indicadores “producción de cereales/superficie de cultivos” y “consumo de proteínas *per cápita*”.
3. Cálculo de indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación: Como tercer paso, el VRIP calcula los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación en base a la media geométrica de los valores sectoriales; el primero recibe un signo negativo (-), en tanto que el segundo recibe un signo positivo (+). El indicador de capacidad de adaptación, por ejemplo, corresponde a la media geométrica de los valores de los sectores “capacidad económica”, “recursos humanos” y “capacidad ambiental”.
4. Cálculo del indicador de vulnerabilidad-resiliencia: Por último, el programa suma los indicadores de capacidad de adaptación (+) y sensibilidad (-), para obtener el indicador de vulnerabilidad-resiliencia de cada unidad geográfica respecto a la unidad de

⁶ Esta corresponde a la última aplicación del VRIP; la metodología presenta leves modificaciones respecto a publicaciones anteriores de los mismos autores, también revisadas: Moss *et al.*, 2000; Moss *et al.*, 2001; Brenkert y Malone, 2003.

referencia. Valores negativos de dicho indicador denotan vulnerabilidad, en tanto que valores positivos denotan resiliencia.

Cuadro 5. Indicadores de capacidad de adaptación y sensibilidad para el VRIP.

Categoría	Sector	Indicador(es)
Capacidad de Adaptación	Capacidad económica	PIB per cápita Medida de equidad del ingreso
	Recursos humanos y cívicos	Tasa de dependencia Alfabetización
	Capacidad ambiental	Densidad poblacional SO ₂ /superficie % tierra sin manejo
Sensibilidad	Sensibilidad de asentamientos e infraestructura	Población en riesgo por subida del nivel del mar Población sin acceso a agua limpia
	Seguridad alimentaria	Producción de cereales/ superficie cultivada Consumo proteico per cápita
	Sensibilidad ecosistémica	% tierra manejada Uso de fertilizantes/ superficie cultivada
	Sensibilidad de la salud humana	Fertilidad completada Esperanza de vida
	Sensibilidad de los recursos hídricos	Suministro renovable y caudal Uso del agua

La figura 9 muestra la aplicación del VRIP al caso de India y sus Estados en relación al mundo.

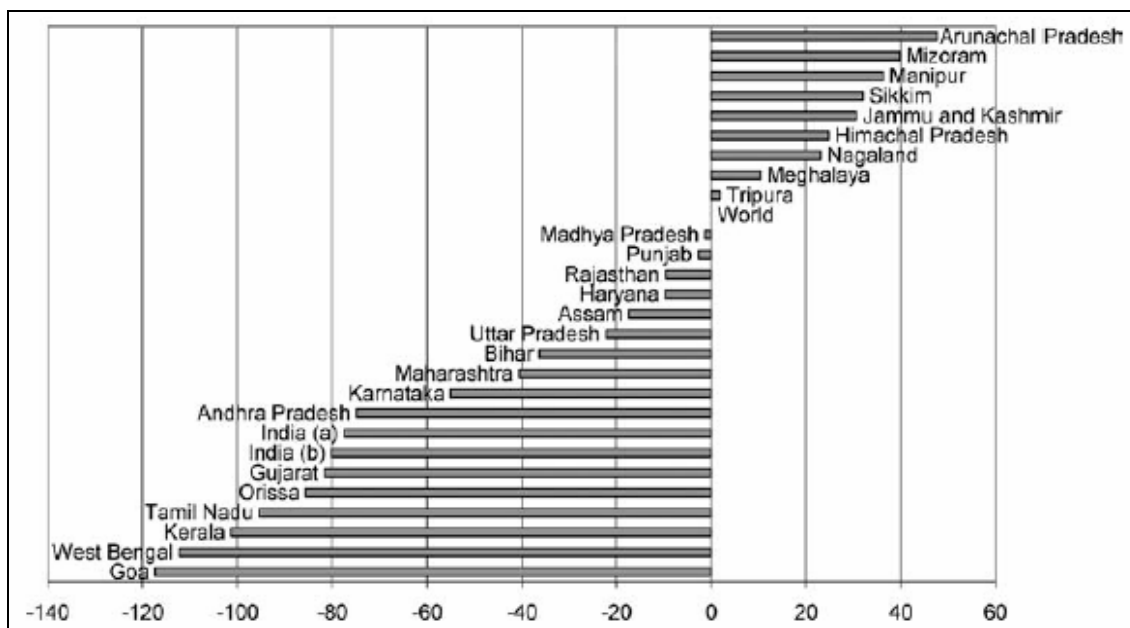


Figura 9. Indicador de vulnerabilidad-resiliencia de India y sus Estados versus el mundo.
Fuente: Brenkert y Malone (2005).

APÉNDICE VI

Mapas de Vulnerabilidad a Estresores Múltiples (O'Brien *et al.*, 2004)

Este método tiene por objetivo evaluar la vulnerabilidad al cambio climático a nivel sub-nacional, ya no de manera aislada, sino en combinación con la vulnerabilidad a otro importante estresor para los países en vías de desarrollo: la globalización económica. El estudio de caso corresponde a los sistemas agrícolas de India.

El método se basa en la construcción de mapas de vulnerabilidad, proceso que consta de las siguientes cuatro etapas:

1. Desarrollo de un perfil de vulnerabilidad al cambio climático: Este perfil constituye, según los autores, una operacionalización de la definición de vulnerabilidad del IPCC⁷ (Apéndice I) a nivel sub-nacional, para “mostrar cómo los distintos factores que conforman la vulnerabilidad varían dentro de un país”. Así, el perfil se basa en la combinación de un índice de capacidad de adaptación con un índice de sensibilidad que considera la exposición al cambio climático.

Los indicadores considerados para la medición de la capacidad de adaptación se presentan en el cuadro 5. Para la sensibilidad, en tanto, se construyó un Índice de Sensibilidad Climática (CSI), compuesto de dos sub-índices: (1) el de aridez, que representa la sensibilidad a la sequía, y (2) el de dependencia a los monzones, que representa el promedio de los eventos extremos de precipitación. Cabe destacar que el CSI no se comporta como una función continua, sino que varía en respuesta a cambios transitorios en el clima; por ello, sólo es de utilidad para visualizar cambios en la magnitud y frecuencia de eventos extremos cuando las comparaciones se realizan a nivel de décadas.

Para incorporar el factor exposición, el CSI fue recalculado a partir de los datos del modelo HadRM2, que representa uno de los posibles escenarios futuros de cambio climático. Así, a partir de la sumatoria de este índice con el de capacidad de adaptación, se obtuvo la vulnerabilidad actual de los sistemas agrícolas al cambio climático futuro en India.

2. Desarrollo de un perfil de vulnerabilidad a la globalización económica: La vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la globalización, entendida como la liberalización del comercio, también puede explicarse a través de la sensibilidad, la exposición y la capacidad de adaptación. Para evaluar esta última, pueden utilizarse los mismos indicadores biofísicos, socioeconómicos y tecnológicos empleados en el perfil anterior (cuadro 6).

⁷ Según esta definición, la vulnerabilidad al cambio climático es función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación.

La construcción del mapa de sensibilidad bajo exposición, por su parte, se basa en la consideración de dos factores fundamentales: (1) los patrones de cultivo y productividad de una canasta representativa de cultivos sujetos a competencia por importaciones y (2) y la distancia del distrito al puerto más cercano. Se estima que los cultivos competitivos menos productivos o más cercanos a puertos internacionales son más vulnerables.

A partir de la combinación de los índices de capacidad de adaptación y sensibilidad bajo exposición se obtuvo el perfil de vulnerabilidad a la globalización.

Cuadro 6. Indicadores de Capacidad de Adaptación para la evaluación de la Vulnerabilidad del Sistema Agrícola en India

	Factores	Indicadores
Biofísicos	Condiciones del suelo	Profundidad del suelo Grado de degradación del suelo
	Disponibilidad de agua subterránea	Cantidad total de agua subterránea renovable disponible anualmente
Socioeconómicos	Niveles de capital humano	Tasa de alfabetización de adultos
	Niveles de capital social	Grado de equidad de género
	Presencia de actividades económicas alternativas	% de la fuerza de trabajo empleada en agricultura % de trabajadores sin tierra empleados en agricultura
Tecnológicos	Disponibilidad de riego	% del área neta regada
	Calidad de la infraestructura	Índice de Desarrollo Infraestructural (incluye disponibilidad de infraestructura para el transporte de energía, actividades bancarias, comunicación, educación y salud)

3. Identificación de zonas de doble exposición: El objetivo de esta etapa es identificar las áreas que son vulnerables tanto al cambio climático como a la globalización, mediante la combinación de los perfiles de vulnerabilidad de ambos estresores. Así, los distritos que presentan valores altos de vulnerabilidad en los dos perfiles se consideran doblemente expuestos. En la figura 10, estas zonas se presentan superpuestas al mapa de vulnerabilidad al cambio climático; se identifican también los distritos seleccionados para los estudios de caso.

4. Estudios de caso: Los estudios de caso a nivel local tienen por finalidad validar los resultados obtenidos a nivel macro. Dichos estudios se realizaron en tres etapas: (1) Dado que en India las políticas agrícolas son impuestas por los gobiernos estatales y no nacionales, primero se entrevistó a oficiales de gobierno a nivel de distrito para identificar las políticas relevantes implementadas desde el inicio del proceso de liberalización en 1991. (2) Posteriormente, se seleccionaron los pueblos para los estudios locales a partir de información socioeconómica y climática secundaria y de discusiones con expertos locales de organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales. (3) Finalmente, se realizaron encuestas en casas para evaluar cómo las políticas han influenciado las formas de vida de los agricultores y su capacidad de enfrentar calamidades como la sequía. De acuerdo a estos estudios, que reafirman los resultados obtenidos con los perfiles anteriores, las políticas agrícolas estatales podrían ser fundamentales para mejorar la adaptabilidad local a la variabilidad climática en el contexto de la liberalización económica.

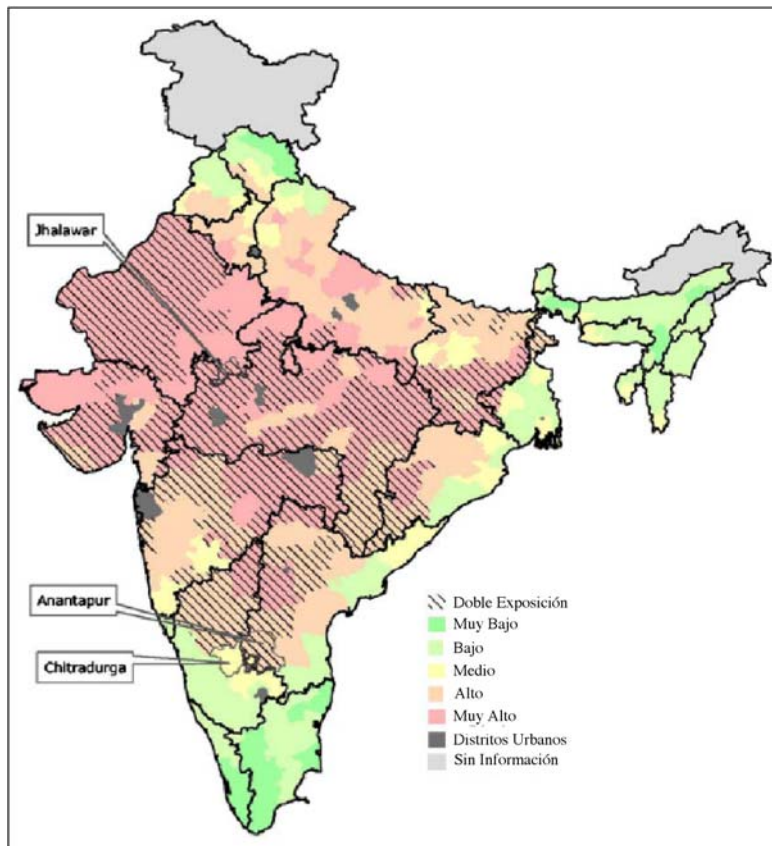


Figura 10. Vulnerabilidad al cambio climático y zonas de doble exposición en India.

Fuente: O'Brien *et al.* (2004).

APÉNDICE VII

Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones (Connor and Hiroki, 2005)

El índice de vulnerabilidad a las inundaciones (FVI) fue desarrollado a partir de la idea de que la vulnerabilidad de una cuenca a las inundaciones no depende sólo de la precipitación y la escorrentía, sino también de otros factores como la preparación y la capacidad de adaptación. Así, el FVI está constituido por cuatro componentes clave:

1. Meteorológico: Se refiere a cuánta agua entrará a la cuenca.
2. Hidrogeológico: Se refiere a cuán difícil es para el agua entrante salir de la cuenca.
3. Socioeconómico: Se refiere a cuán vulnerable es un área a las inundaciones en términos de población y desarrollo económico.
4. Contramedidas: Se refiere al grado de resiliencia y resistencia en términos de mejoramiento de los ríos y preparación de la comunidad.

Por otra parte, según los autores, la evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones requiere también de la evaluación del grado potencial de daño una vez ocurrida la inundación. Por esta razón, han optado por dividir el índice en dos partes, una que considera los impactos humanos (FVI_H) y otra que considera los impactos económicos o materiales (FVI_M). La expresión matemática de ambas partes se presenta a continuación:

$$FVI_H \frac{y}{x_{pop}} = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + a_0$$

$$FVI_M \frac{z}{x_{pro}} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_0$$

donde:

FVI_H	=	Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones (impactos humanos)
FVI_M	=	Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones (impactos materiales)
x_{pop}	=	población total en la planicie de inundación
x_{pro}	=	propiedad total en la planicie de inundación
y	=	número total de víctimas
z	=	costo total del daño
x_n	=	indicadores de vulnerabilidad
a_n	=	coeficientes de regresión lineal

La selección de indicadores se realiza mediante una regresión lineal múltiple, de manera que sólo se incluyan en el análisis aquellos indicadores cuya combinación presente el mayor coeficiente de determinación. Algunos de los indicadores sugeridos se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Indicadores sugeridos para el Índice de Vulnerabilidad a las Inundaciones

Componente	Factor	Indicador	FVI_H	FVI_M
Meteorológico	Lluvia intensa	Frecuencia de lluvia intensa	○	●
Hidrogeológico	Velocidad de inundación	Descarga específica	●	○
	Volumen de inundación			
	Corriente	Número de tifones	○	○
Socioeconómico	Población y activos	Población en la planicie de inundación	*	●
		Propiedades en la planicie de inundación	●	*
	Sanitización	Tasa de mortalidad infantil	○	●
	Evacuación	Tasa de población infantil y de tercera edad	●	●
		Tasa de penetración de la televisión	●	●
		Estado de la predicción de tifones	○	○
	Tasa de aprobación en educación media	●	○	
Contramedidas	Infraestructura de control de inundaciones	Inversión en obras de ríos	●	●
	Medidas no-estructurales	Estado de las medidas no-estructurales	○	○

○ = indicadores considerados inicialmente

● = indicadores finalmente incluidos en la ecuación

* = variables objetivas

APÉNDICE VIII

Vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar (Wu *et al.*, 2002)

Este método corresponde a un estudio realizado en el condado de Cape May, New Jersey, Estados Unidos, con el objeto de evaluar la vulnerabilidad a las inundaciones asociadas a la subida del nivel del mar a través del uso de sistemas de información geográfica. Dicha evaluación se realizó en base tres elementos:

1. Riesgo de inundación: El riesgo de inundación actual se obtuvo en base a la combinación de dos capas temáticas. La primera, el riesgo de inundación asociado a tormentas costeras, se construyó a partir de la comparación de los resultados del modelo SLOSH (altura de las olas de tormenta para distintas intensidades de huracanes) con un modelo de elevación digital del área de estudio, lo que permitió identificar zonas susceptibles de inundación para cinco categorías de huracanes y tormentas costeras de intensidad comparable. La segunda capa, que consta de cuatro categorías de riesgo de inundación ribereña, se construyó a partir de información de la Agencia Federal de Gestión de Desastres. A cada categoría de ambas capas temáticas se le asignó un puntaje de riesgo (cuadro 11), representando los puntajes más altos un riesgo mayor. Así, mediante la sumatoria de los puntajes de cada píxel se generó el mapa de riesgo actual.

Para construir el mapa de riesgo de inundación proyectado, se asumió el escenario de cambio climático propuesto por Najjar *et al.* (2000, citado pro Wu *et al.*, 2002), según el cual el nivel del mar subiría 60 cm. De este modo, se agregaron 60 cm a las alturas de las olas predichas por el modelo SLOSH y luego se siguió el mismo procedimiento que para el mapa anterior.

Cuadro 11. Puntajes de riesgo para las distintas categorías de inundación.

Inundación asociada a tormentas		Inundación Ribereña	
Categoría de olas de tormenta	Puntaje de Riesgo	Categoría de zona de inundación	Puntaje de Riesgo
1	5	Zona V ⁸	4
2	4	Recurrencia de 100 años	3
3	3	Recurrencia de 500 años	2
4	2	Bajo riesgo	1
Bajo riesgo	1		

2. Uso del suelo: Se utilizó un mapa de uso actual de suelo para evaluar la exposición del lugar a la amenaza de las inundaciones. Este mapa se superpuso a los anteriores, lo que

⁸ Zona de velocidad, la acción del viento y las olas intervienen en la inundación.

permitió identificar el cambio en el riesgo para cada uso de suelo con y sin cambio climático.

3. Vulnerabilidad social: Se determinaron nueve variables sociales: población total, número total de hogares, número de mujeres, número de residentes no blancos, número de menores de 18 años, número de mayores de 60 años, número de hogares encabezados por madres solteras, número de hogares ocupados por arrendatarios, y mediana del valor de las casas. Para cada bloque censal y variable social se calculó un índice de vulnerabilidad en base a la siguiente fórmula:

$$I_n = V_n / V_{\text{máx}}$$

donde V_n = valor de la variable n en el bloque censal
 $V_{\text{máx}}$ = valor máximo de la variable n en el condado

A modo de excepción, el índice de vulnerabilidad para la variable “mediana del valor de las casas” se calculó en base a la siguiente fórmula:

$$I_n = 1 - (V_n / V_{\text{máx}})$$

Posteriormente, se calculó un índice compuesto de vulnerabilidad social para cada bloque censal, definido como la media geométrica de los índices anteriores, y se construyó un mapa con cuatro categorías de vulnerabilidad.

Por último, mediante el producto de los puntajes de riesgo de inundación y vulnerabilidad social, se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad global a las inundaciones asociadas a tormentas sin y con subida del nivel del mar (figura 12).

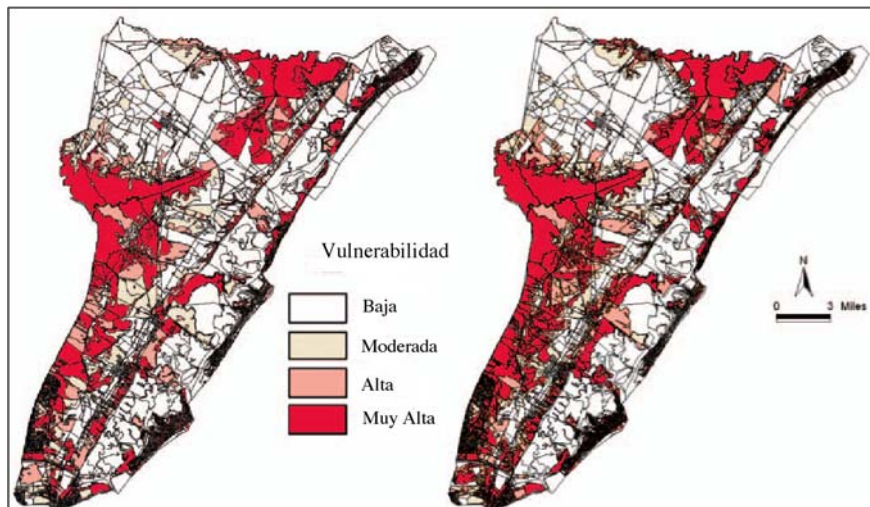


Figura 12. Vulnerabilidad a las inundaciones sin y con subida del nivel mar (izquierda y derecha respectivamente).

Fuente: Wu *et al.* (2002)

APÉNDICE IX

Vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar (Thumerer *et al.*, 2000)

Este método se basa en el uso de un sistema de información geográfica para evaluar la vulnerabilidad a las inundaciones producto de la subida del nivel del mar en la costa este de Inglaterra. Para lograr este objetivo, se desarrolló un modelo de evaluación de riesgo que considera la vulnerabilidad como función de tres procesos costeros: olas de tormenta, subida del nivel del mar y ajuste isostático. Se consideraron tres escenarios de cambio climático, asociados a un calentamiento de 1,5°C, 2,5°C y 4,5°C respecto al escenario base (año 1990). El modelo consta de los siguientes pasos metodológicos:

1. Definición de unidades de inundación: A partir de las unidades de manejo preexistentes, correspondientes a segmentos lineales a lo largo de la costa, se definieron unidades de inundación poligonales en base a un criterio de elevación; así, el fondo de cada unidad quedó determinado por la línea de los 5 m.s.n.m., con un máximo de 5 Km desde la línea de costa.
2. Identificación de altura mínima de defensa por unidad: A partir de los datos de altura de las defensas costeras del Sistema de Manejo de Línea de Costa, se identificaron las alturas mínimas de defensa de cada unidad de inundación y se almacenaron como atributos en el sistema de información geográfica.
3. Cálculo de frecuencia de inundación bajo escenario base: Se utilizaron las predicciones de Dixon y Town (1997, citados por Thumerer *et al.*, 2000) respecto a altura de olas con períodos de retorno de entre 1 y 10.000 años para cada unidad, las que fueron comparadas con las respectivas alturas mínimas de defensa. De este modo, se obtuvo el período de retorno de las olas cuya altura sobrepasa la defensa de cada unidad, provocando la inundación de la misma. A partir de la fórmula:

$$P = 1/R$$

donde P representa una probabilidad anual y R representa un período de retorno en años, se obtuvo la frecuencia de inundación anual para cada unidad.

4. Cálculo de frecuencia de inundación bajo escenarios de cambio climático: Se siguió el mismo procedimiento que para el escenario base. Para incorporar el efecto de la subida del nivel del mar y la subsidencia asociada al ajuste isostático, se redujeron las alturas de las defensas de cada unidad. Los valores anuales del nivel del mar hasta el año 2100 para cada unidad de inundación y escenario de cambio climático se estimaron en base a los resultados del modelo MAGICC; las tasas medias anuales de ajuste isostático, en tanto, se obtuvieron a partir de la interpolación lineal de las predicciones de Shenann (1989, citado por Thumerer *et al.*, 2000).

5. Cálculo de valores de daño: Para estimar el valor económico de los activos en cada unidad de inundación, se utilizó una imagen Ladsat TM clasificada según usos de suelo; los distintos usos fueron evaluados según el concepto de “house equivalent”, que representa el promedio anual de costo monetario de daño de una residencia promedio inundada por un evento representativo. Así, los costos potenciales de daño de los usos más importantes identificados en la imagen fueron calculados de acuerdo a las estimaciones que se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Valor de daño estimado por clase de uso de suelo.

Clase de Uso de Suelo	Valor de Daño (£)	Modo de Cálculo⁹
Bosque y matorral	26	A
Pastoreo extensivo	48	A
Pastoreo intensivo	49	A
Tierra arable	90	A
Tierra hortícola	103	A
Comercial	32.600	A
Industrial	48.900	A
Aldea	848	B
Pueblo	130	B
Ciudad	12.127	B
Parques formales	965	C
Campos de juego	2.322	C
Parques temáticos	5.701	C

6. Cálculo del riesgo de inundación: Finalmente, el riesgo de inundación para cada unidad y cada escenario fue calculado mediante la multiplicación de la frecuencia de inundación y el valor de daño, de acuerdo a la fórmula:

$$R = F * C$$

donde R corresponde al riesgo de inundación de la unidad, F a la frecuencia o a la probabilidad de que ocurra una inundación y C a las consecuencias del evento (en este caso, a los valores de daño).

Los valores de riesgo obtenidos fueron agrupados en cinco categorías: bajo (<£10.000), medio (£10.000-1.000.000), alto (£1.000.000-10.000.000), muy alto (£10.000.000-100.000.000) y extremo (>£100.000.000). Las figuras 14 y 15 muestran la representación gráfica de dicho riesgo para el escenario base (año 1996) y el escenario más pesimista de subida del nivel del mar (año 2100) respectivamente.

⁹ A = cálculo por pixel (625 m); B = cálculo basado en número estimado de unidades residenciales por pixel; C = cálculo para toda la entidad espacial, independiente del tamaño.

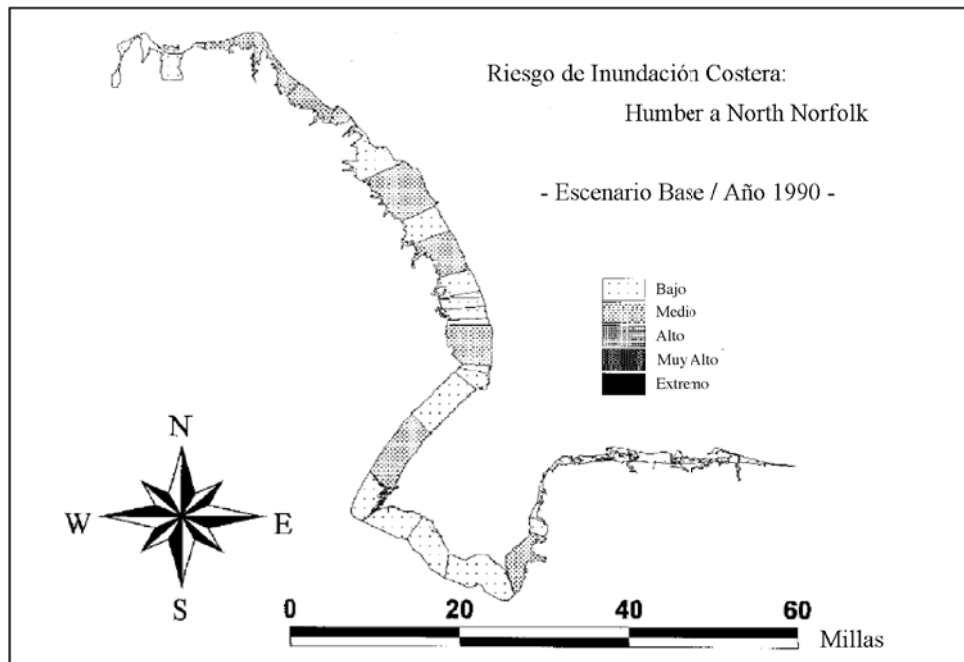


Figura 13. Riesgo costero a las inundaciones, escenario base.
Fuente: Thumerer *et al.* (2000).

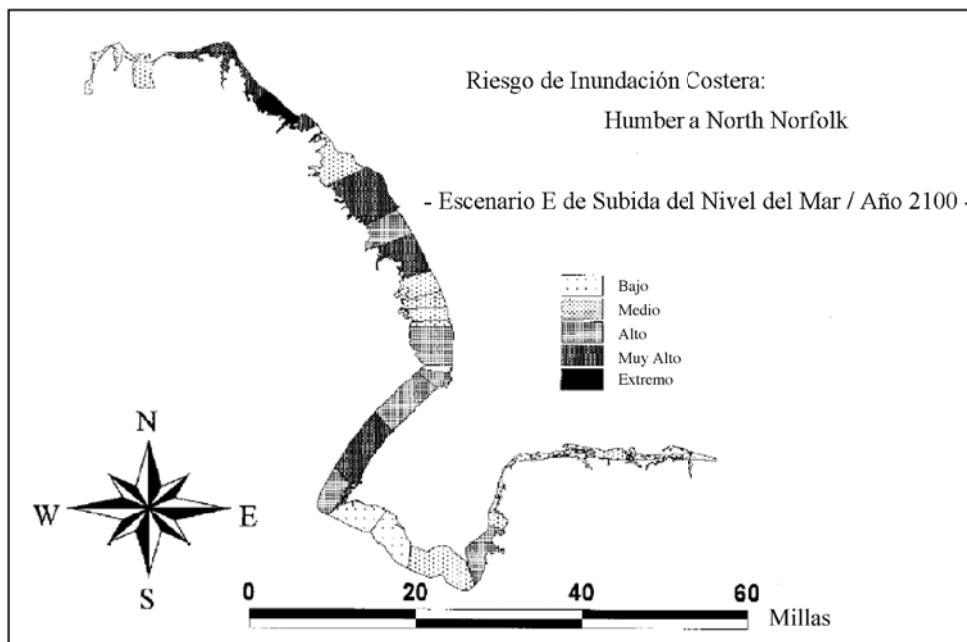


Figura 14. Riesgo costero a las inundaciones, escenario pesimista de cambio climático.
Fuente: Thumerer *et al.* (2000).

APÉNDICE X

Índice de Vulnerabilidad Costera (Thieler y Hammar-Klose, 2000)

Este método está basado en el índice propuesto por Gornitz *et al.* (1994, citados por Thieler y Hammar-Klose, 2000), y fue utilizado para evaluar la vulnerabilidad costera física a la subida del nivel del mar en la Costa Pacífica de Estados Unidos. Para ello, se desarrolló una base de datos a escala nacional a partir de información recopilada de agencias locales, estatales y federales, e instituciones académicas.

Las variables físicas seleccionadas fueron seis: geomorfología, pendiente costera, tasa relativa de subida del nivel del mar, tasas de erosión y depositación, extensión media de la marea y altura media de las olas. Los datos de cada variable fueron vinculados a una grilla de celdas con una resolución espacial de tres minutos (~5 km) y luego transferidos a un vector de la línea de costa en escala 1:2.000.000. Luego, a cada variable se le asignó un puntaje de riesgo relativo en base a la magnitud potencial de su contribución a la ocurrencia de cambios físicos a medida que sube el nivel del mar; dichos puntajes fluctúan entre 1 y 5, que representan riesgo muy bajo y muy alto respectivamente. Los rangos de valores asociados a cada puntaje para cada variable se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. Rango de valores por variable y sus respectivos puntajes de riesgo relativo.

Variable	Rango de Valores				
Geomorfología [a]	Costas rocosas, con acantilados Firdos	Acantilados moderados Costas irregulares	Acantilados bajos Depósitos glaciales Planicies aluviales	Playas pedregosas Estuarios Lagunas	Playas de arena Pantanos de sal Planicies de barro Deltas Manglares Arrecifes de coral
Pendiente (%) [b]	>1,9	1,3 – 1,9	0,9 – 1,3	0,6 – 0,9	<0,6
Cambio relativo del nivel del mar (m/año) [c]	<-1,21	-1,21 – 0,1	0,1 – 1,24	1,24 – 1,36	>1,36
Tasa de erosión/ depositación (m/año) [d]	>2,0	1,0 – 2,0 (depositación)	-1,0 – 1,0 (estable)	-1,1 – -2,0 (erosión)	<-2,0
Extensión media de la marea (m) [e]	>6,0	4,1 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,9	<1,0
Altura media de las olas (m) [f]	<1,1	1,1 – 2,0	2,0 – 2,25	2,25 – 2,6	>2,6
Puntaje de Riesgo	1	2	3	4	5

El Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) se calcula como la raíz cuadrada de la media geométrica de las seis variables que lo componen, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$CVI = \sqrt{(a * b * c * d * e * f) / 6}$$

Cabe destacar que, dado que los rangos de valores se aplican específicamente al área de estudio, los resultados del índice no son directamente comparables con los de otras costas.

Los valores del CVI fueron clasificados en cuatro categorías de riesgo: bajo (<5,5), moderado (5,5-8,5), alto (8,5-12,5) y muy alto (>12,5). El mapa resultante se presenta en la figura 15.



Figura 15. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Costera en la Costa Pacífica de EE.UU.
Fuente: Thieler y Hammar-Klose (2000).

APÉNDICE XI

Índice de Vulnerabilidad del Sistema Hídrico (Fowler *et al.*, 2003)

Esta metodología se basa en el análisis de confiabilidad, resiliencia y vulnerabilidad (RRV) propuesto por Hashimoto *et al.* (1982, citado por Fowler *et al.*, 2003), para evaluar los impactos de la sequía asociada a la variabilidad y el cambio climático sobre el sistema hídrico en Yorkshire, Inglaterra.

El análisis RRV permite evaluar el comportamiento de fuentes individuales de agua o del sistema hídrico como un todo frente a la demanda poblacional de agua. Así, el índice de confiabilidad representa la frecuencia de operación de una fuente o del sistema sin fallas; el de resiliencia representa la capacidad de una fuente o del sistema de recuperarse tras una falla; y el de vulnerabilidad representa la magnitud de las fallas de la fuente o del sistema. Las fallas se definen como la incapacidad de proveer una cierta cantidad de agua en un momento dado.

La construcción de los índices RRV consta de los siguientes pasos:

1. Se define un criterio (C) que representa una cantidad predeterminada de agua, la cual puede variar dependiendo de la fuente. Esta cantidad actúa como referente para evaluar si una fuente en particular o el sistema en general es o no capaz de proveer la cantidad de agua requerida. Cuando el análisis es sistémico, C adopta el valor de la demanda total de agua.
2. Se utilizan series de tiempo de valores diarios simulados de niveles de embalses, caudales de ríos o disponibilidad total de agua del sistema (X_t). Dichos valores se evalúan para un tiempo futuro (T). Cada fuente tiene su propio rango de valores satisfactorios (S) e insatisfactorios (U) definidos por C.
3. Se define un indicador (Z_t) que refleja los períodos en que la fuente o el sistema es capaz de satisfacer la demanda de agua.

$$\text{Si } X_t \geq C, \text{ entonces } X_t \in S \text{ y } Z_t = 1$$

$$\text{Si } X_t < C, \text{ entonces } X_t \in U \text{ y } Z_t = 0$$

4. Se define otro indicador (W_t) que refleja la transición de un estado U a un estado S.

$$\text{Si } X_t \in U \text{ y } X_{t+1} \in S, \text{ entonces } W_t = 1$$

$$\text{En cualquier otro caso, } W_t = 0$$

5. Los períodos U se definen como J_1, J_2, \dots, J_n .

De esta forma, los índices se expresan como sigue:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{T}$$

$$\text{Resiliencia} = \frac{\sum_{t=1}^T W_t}{T - \sum_{t=1}^T Z_t}$$

$$\text{Vulnerabilidad} = m \times \left\{ \sum_{t \in J_i} (C - X_t), \quad i = 1, \dots, n \right\}$$

Los índices fueron aplicados a tres escenarios: escenario base, que utiliza datos observados del período 1961-1990; (2) variabilidad natural, que utiliza ejemplos de las fases alta y baja de la Oscilación Noratlántica; y (3) cambio climático, que utiliza escenarios futuros para los períodos 2021-2050 y 2051-2080. La demanda de todos los escenarios se asumió igual a la del escenario base. Dado el objetivo de este estudio, el análisis se realizó a nivel de sistema. Para generar los datos necesarios, se utilizaron los siguientes modelos:

1. Modelo de precipitaciones: Se generaron series anuales de precipitaciones de 1.000 años para diversos sitios, mediante un modelo estocástico desarrollado por Fowler *et al.* (2000, citado por Fowler *et al.*, 2003). Para ello, se utilizaron los datos del período 1961-1990, siendo modificados los parámetros del modelo de acuerdo a las diferencias de los distintos escenarios respecto al escenario base (cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Cambio porcentual en las precipitaciones medias de los escenarios de variabilidad y cambio climático respecto al escenario base (Yorkshire, 1961-1990). Escenario variabilidad climática: Oscilación Noratlántica (NAO), fases alta y baja.

Zona	Estación	Cambio en las precipitaciones (%)	
		NAO, Fase Alta	NAO, Fase Baja
Este	Verano	+0	+5
Este	Invierno	+1	-2
Oeste	Verano	-1	+6
Oeste	Invierno	+2	-4

Cuadro 8. Cambio porcentual en las precipitaciones medias de los escenarios de variabilidad y cambio climático respecto al escenario base (Yorkshire, 1961-1990). Escenario cambio climático: UKCIP98, períodos 2021-2050 y 2051-2080.

Estación	Cambio en las precipitaciones (%)	
	2021-2051	2051-2080
Verano	-5	-9
Invierno	+9	+16
Anual	+3 a +5	+4 a +10

2. Modelo de evapotranspiración potencial: Se realizó un análisis de regresión entre los datos de precipitación y evapotranspiración potencial del período 1961-1990 y se determinó que la correlación entre ambas variables es fuerte. Las ecuaciones de regresión fueron entonces aplicadas a los datos simulados de precipitación, generando series anuales de evapotranspiración potencial de 1.000 años. Por último, estos datos fueron desagregados a través de una relación sinusoidal para obtener valores mensuales.
3. Modelo hidrológico: Las series de datos generadas mediante los dos modelos anteriores fueron utilizadas como insumo para un modelo hidrológico desarrollado por Todini (1996, citado por Fowler *et al.*, 2003). El modelo fue calibrado con datos diarios de caudales y niveles de embalses del período 1970-1996, y a partir de él se obtuvieron series hidrológicas anuales de 1.000 años.
4. Modelo del sistema hídrico de Yorkshire: Este modelo considera diez grupos de embalses, cuatro ríos, la capacidad de las cañerías y la capacidad de tratamiento de agua. Las series de datos del modelo hidrológico se utilizaron como insumos, obteniéndose valores diarios de capacidad de suministro de agua del sistema.

Una vez concluida la modelación, los tres índices del análisis RRV fueron calculados a partir de los datos del modelo del sistema hídrico de Yorkshire.

APÉNDICE XII

Mapa de Vulnerabilidad Agrícola a la Sequía (Wilhelmi y Wilhite, 2002)

Este método fue desarrollado con el fin de evaluar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la sequía en el estado de Nebraska, Estados Unidos, a través de técnicas de procesamiento geográfico. Teniendo en cuenta la información disponible para el área de estudio, la vulnerabilidad fue caracterizada en base a dos factores biofísicos -clima y suelos- y dos factores sociales -uso del suelo y riego.

1. Clima: El indicador utilizado para representarlo fue la probabilidad de deficiencia estacional del agua, calculada a partir de la evapotranspiración de los distintos tipos de cultivo y las precipitaciones medias de la zona. Los datos de evapotranspiración de los cultivos con mayores requerimientos hídricos, como maíz y soya, se obtuvieron del modelo de Hubbard (1992, citado por Wilhelmi y Wilhite, 2002); en el caso del trigo y los pastos, la evapotranspiración se estimó en función de la eficiencia de uso del agua y el rendimiento de cultivos (Musick y Porter, 1990, citados por Wilhelmi y Wilhite, 2002). A partir de estos datos, y considerando el área cubierta por cada cultivo, se calculó la evapotranspiración media ponderada para cada condado, cuyos datos fueron utilizados como input junto con los datos de precipitación media en un programa estadístico. De dicho programa se obtuvieron los valores de probabilidad de deficiencia estacional de humedad de cultivos, los que fueron asignados a 112 estaciones meteorológicas distribuidas a través del área de estudio. Estos valores puntuales fueron interpolados espacialmente mediante un sistema de información geográfica para generar un mapa con valores continuos de probabilidad, el cual fue finalmente reclasificado en cuatro categorías.
2. Suelos: El indicador utilizado en este caso fue la capacidad de retención de agua en la zona de enraizamiento, para el cual se contaba con un mapa de valores continuos. Dicho mapa fue reclasificado en cuatro categorías.
3. Uso del Suelo: Se utilizó un mapa preexistente de uso y cobertura de suelo, el que fue reclasificado en tres categorías: cultivos, praderas y zonas no-agrícolas; esta última agrupaba zonas urbanas, bosques, humedales y agua.
4. Riego: Si bien en la literatura no existe consenso acerca de si el riego reduce o aumenta la vulnerabilidad, en este caso se asumió que el acceso a riego constituye una medida de mitigación frente a la sequía y, por lo tanto, disminuye la vulnerabilidad. Para representar espacialmente este indicador, se utilizaron las coberturas vectoriales de fuentes de riego (pozos y canales) y un mosaico de 18 imágenes satelitales, sobre el que se digitalizaron los límites de los campos regados y los no regados. De este modo, se generó un mapa con dos categorías (Anexo XIII). El porcentaje de tierras regadas por condado fue contrastado con datos del Servicio de Estadísticas Agronómicas del

Departamento de Agricultura de Nebraska, encontrándose diferencias poco significativas entre ambos (0-8%).

A cada categoría de los cuatro mapas anteriores se le asignó un peso de 1 a 5; los pesos mayores representan una mayor vulnerabilidad a la sequía. Las tierras no-agrícolas fueron enmascaradas con el valor 20, quedando así fuera del análisis. Las tierras con acceso riego, en tanto, recibieron el valor 100, lo que permitió analizarlas separadamente de las sin acceso. Las ponderaciones de cada indicador se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Ponderaciones de los indicadores considerados para la construcción del mapa de vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la sequía.

Factor	Indicador	Categoría	Peso
Clima	Probabilidad de deficiencia estacional de humedad	< 30%	2
		30-50%	3
		50-70%	4
		> 70%	5
Suelos	Capacidad de retención de agua en zona de enraizamiento	< 100 mm	4
		100-150 mm	3
		150-200 mm	2
		> 200 mm	1
Uso del suelo	Uso del suelo	Pradera	1
		Cultivos	2
		No-agrícola	20
Riego	Acceso a riego	Con riego	100
		Sin riego	4

En el mapa de síntesis, cada pixel adoptó el valor de la sumatoria de los cuatro pesos; valores altos en zonas con y sin riego fueron considerados representativos de una alta vulnerabilidad a la sequía. De la reclasificación de este mapa en cuatro categorías cualitativas, se obtuvo el mapa final de vulnerabilidad que se presenta en la figura 11.

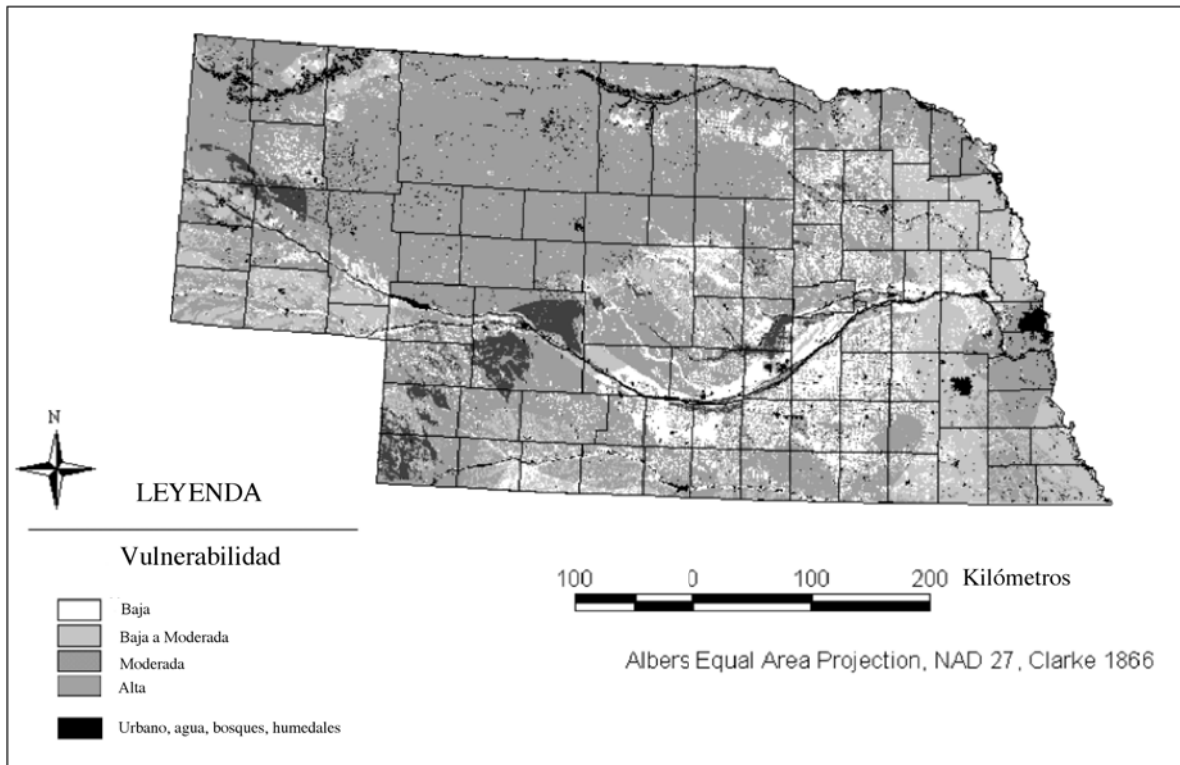


Figura 11. Mapa final de vulnerabilidad agrícola a la sequía del estado de Nebraska.
Fuente: Wilhelmi y Wilhite (2002).

ANEXO I

Impactos del Cambio Climático

Cuadro 2. Impactos esperados para los cambios proyectados en distintas zonas del planeta

Cambios proyectados durante el siglo XXI en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad ¹⁰	Ejemplos representativos de los impactos proyectados
Extremos simples	
Temperaturas máximas mayores; más días calientes y olas de calor en casi todas las zonas continentales (<i>muy probable</i>)	Mayor incidencia de muertes y enfermedades graves en grupos de personas de edad y pobres de zonas urbanas Mayor estrés térmico en el ganado y la vida silvestre Cambios en los destinos turísticos Mayor riesgo de daños a diversos cultivos Mayor demanda de refrigeración eléctrica y menor fiabilidad del abastecimiento energético
Temperaturas mínimas mayores (en aumento); menos días fríos, días de heladas y olas de frío en casi todas las zonas continentales (<i>muy probable</i>)	Menor mortalidad y morbilidad humana relacionadas con el frío Menor riesgo de daños a diversos cultivos, y mayor riesgo para otros Alcance y actividad ampliados de algunos vectores de plagas y enfermedades Menor demanda energética para calefacción
Sucesos de precipitaciones más intensos (<i>muy probable en muchas zonas</i>)	Mayores daños de crecidas, desprendimientos y deslizamientos de tierras y avalanchas Mayor erosión del suelo. Las mayores escorrentías de las crecidas pueden aumentar la recarga de algunos acuíferos de llanuras inundables Mayor presión sobre los sistemas gubernamentales y privados de seguros contra crecidas y de socorro en casos de desastre
Extremos complejos	
Veranos más secos en la mayor parte de las zonas continentales interiores de latitud media y riesgos conexos de sequías (<i>probable</i>)	Menor rendimiento de los cultivos Mayores daños a los fundamentos de los edificios causados por degradación de los terrenos Menor cantidad y calidad de los recursos hídricos Mayores riesgos de incendios forestales
Aumento de la intensidad pico del viento en casos de ciclones tropicales, y en la intensidad media y pico de las precipitaciones (<i>probable en algunas zonas</i>)	Mayores riesgos para la vida humana, riesgos de epidemias de enfermedades infecciosas y muchos otros riesgos Mayor erosión de las costas y daños a los edificios y la infraestructura costeros Mayores daños a los ecosistemas costeros, como arrecifes de coral y manglares
Intensificación de las sequías y las crecidas relacionadas con sucesos de El Niño en muchas regiones diferentes (<i>probable</i>) (véase también sucesos de precipitaciones intensas y sequías)	Menor productividad de tierras agrícolas y de pastoreo en regiones susceptibles a crecidas y sequías Menor potencial hidroeléctrico en regiones susceptibles a sequías
Mayor variabilidad de las precipitaciones monzónicas de verano en Asia (<i>probable</i>)	Crecidas y sequías de mayor magnitud y mayores daños en zonas templadas y tropicales de Asia
Mayor intensidad de las tempestades en zonas de latitud media (hay poco acuerdo entre los modelos actuales)	Mayores riesgos para la vida y la salud humanas Mayores pérdidas de bienes e infraestructura Mayores daños a los ecosistemas costeros

¹⁰ La probabilidad corresponde a un juicio del Tercer Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I del IPCC, donde: muy probable = 90-99% de posibilidad; probable = 66-90% de posibilidad.