

Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet

Joaquín Bosque Sendra
Adriana Ortega Sisqués
Víctor Manuel Rodríguez Espinosa

Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de Geografía
C/Colegios, 2. 28801 Alcalá de Henares (Madrid)
joaquin.bosque@uah.es
victor.rodriguez@uah.es

Data de recepció: abril del 2003
Data d'acceptació definitiva: maig del 2004

Resumen

La utilización de información geográfica y los sistemas de información geográfica (SIG) por parte de las ONG es todavía minoritaria. Este tipo de herramientas pueden contribuir a mejorar las actividades más cotidianas de este tipo de organizaciones y la planificación, gestión y evaluación de los numerosos proyectos que desarrollan. En este artículo se analizan algunas de las ventajas, sobre todo para las ONG dedicadas a ayuda y cooperación al desarrollo en el Tercer Mundo, que pueden aportar los SIG, así como las posibilidades que ofrece actualmente Internet para adquirir información geográfica, a veces gratuita. Se ilustra con una sencilla propuesta metodológica para la realización de cartografía de riesgos naturales en Centroamérica, creando una base de datos con información gratuita de Internet y utilizando las herramientas que ofrecen los SIG.

Palabras clave: sistemas de información geográfica, ONG, Internet, cartografía de riesgos, riesgos naturales, Centroamérica.

Resum. *Cartografia de riscos naturals a l'Amèrica Central a partir de dades obtingudes d'Internet*

La utilització d'informació geogràfica i sistemes d'informació geogràfica (SIG) per part de les ONG encara és minoritària. Aquestes eines poden contribuir a millorar les activitats més quotidianes d'aquest tipus d'organitzacions i planificar, gestionar i avaluar els nombrosos projectes que desenvolupen. En aquest article, s'hi analitzen alguns dels avantatges, sobretot per a les ONG que es dediquen a l'ajut i la cooperació del Tercer Món, que poden aportar els SIG., així com les possibilitats que actualment ofereix Internet per adquirir informació geogràfica, de vegades sense cap cost. Tot això s'il·lustra amb una senzilla proposta metodològica per a la realització de cartografia sobre riscos naturals a l'Amèrica Central, creant una base de dades amb informació gratuïta extreta d'Internet i fent ús de les eines que els SIG ofereixen.

Paraules clau: sistemes d'informació geogràfica, ONG, Internet, cartografia de riscos, riscos naturals, Amèrica Central.

Résumé. *Cartographie des risques naturels en Amérique Centrale avec information obtenue d'Internet*

L'emploi d'information géographique et systèmes d'information géographique par les ONG est encore minoritaire. Ce type d'outils peut contribuer à améliorer les activités plus quotidiennes des organisations de ce type et la planification, gestion et évaluation des nombreux projets qu'elles développent. Dans cet article on analyse quelques avantages, surtout pour les ONG consacrées à l'aide et la coopération au développement dans le Tiers Monde, que peuvent apporter les SIG, ainsi que les possibilités qu'Internet offre actuellement pour obtenir information géographique, de manière gratuite quelques fois. Tout cela est illustré avec une simple proposition méthodologique pour la réalisation de cartographie de risques naturels en Amérique Centrale, en créant une base de données avec information gratuite d'Internet et en utilisant les outils offerts par les SIG.

Mots clé : systèmes d'information géographique, ONG, Internet, cartographie de risques, risques naturels, Amérique Centrale.

Abstract. *Central America's natural risks mapping with database extracted from Internet*

The use of geographic data and geographical information systems (GIS) by NGOs is also minority. Those tools can improve the most daily activities developed by NGOs like planning, management and evaluation projects. In this paper, we try to analyse some advantages, focused on NGOs that act in developing countries, with GIS tools, as well as the possibilities that of Internet offers to get geographical information, often freely. Its illustrated by simple methodological proposal to do Central America's natural risks mapping, creating a free database extracted from Internet and using GIS tools.

Key words: geographical information systems, NGO, Internet, risks mapping, natural risks, Central America.

Sumari

Introducción.	La base de datos
Objetivos del proyecto SEDIS SIG y ONG	Los mapas de riesgos naturales en América Central
Objetivos de este artículo	Conclusiones
Cartografía de riesgos ambientales	Bibliografía

Introducción. Objetivos del proyecto SEDIS

Este artículo es parte de un proyecto I+D financiado por la Comunidad de Madrid y fruto de la colaboración entre AURENSA (empresa privada de ingeniería y consultoría de recursos naturales) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá.

El proyecto SEDIS está dirigido a facilitar las actividades de las organizaciones no gubernamentales de desarrollo (ONGD) mediante la utilización de las tecnologías de la información geográfica (TIG); en la dirección <http://www.aula>

rensa.es/SEDIS/index.htm se recoge un amplio resumen del contenido del proyecto y algunos de los resultados más significativos. Entre los objetivos concretos del mismo destacan: 1) dar a conocer a los usuarios, tres ONGD españolas (Ayuda en Acción, Cruz Roja Española y Médicos del Mundo), las técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) y sus aplicaciones en ayuda humanitaria; 2) elaborar un esquema de un SIG que facilite la realización de tareas de cooperación al desarrollo; 3) realizar un estudio de definición y desarrollo de un sistema de ayuda a la toma de decisiones en emergencias de carácter humanitario utilizando imágenes de satélite y SIG.

A lo largo del artículo se discutirán los problemas presentados en la generación de un SIG, útil como ejemplo, para las ONGD participantes en el proyecto.

SIG y ONG

En la actualidad, las ONGD están adquiriendo enorme desarrollo. Sus actividades son cada vez más diversas, pero en este caso concreto interesan aquellas que tienen lugar en países en desarrollo, como por ejemplo los de Centroamérica. Estas actividades se pueden clasificar en dos grandes grupos: la ayuda humanitaria en situaciones de emergencia y la cooperación al desarrollo, con un planteamiento a más largo plazo. En este último tipo de actividades se centrará el presente artículo, en el cual se discutirán las posibilidades de uso de los SIG para la puesta en marcha de las mismas.

Dentro del proyecto, la realización de una encuesta y una amplia discusión sobre las necesidades y los intereses de las ONGD, como potenciales usuarios finales de estas tecnologías (¿cuáles eran sus conocimientos acerca de ellas?; ¿en cuáles de sus actividades podrían ser de utilidad?; ¿cuál era su disposición para utilizarlas y para hacer las inversiones necesarias en dinero, tiempo y esfuerzo de su personal?), permitió llegar a algunas conclusiones de interés.

Las ONGD realizan un amplio número de actividades que pueden ser apoyadas mediante el uso de las TIG en general, y, más en particular, de los SIG. Se comprobó que las tres ONGD participantes manejaban mapas de diversas escalas (desde 1:100.000 hasta 1:50.000 y otros, de carácter nacional), para organizar actividades y tareas y, en menor medida, para presentar resultados.

Sin embargo, no existía en ninguna de ellas una cartoteca sistemáticamente organizada, y muchos de los trabajos realizados sobre mapas, en algunos de los cuales se genera nueva información territorial, no se conservaban ni se almacenaban correctamente. La información espacial se utiliza de modo poco profesional y, evidentemente, las nuevas TIG podrían facilitar y hacer más eficaz su trabajo, así como mejorar los resultados obtenidos.

El problema era si las ONGD participantes en el proyecto, como muchas otras organizaciones, estaban dispuestas, y tenían medios, para alterar su forma de funcionamiento e incluir de un modo más completo y adecuado el uso de estas tecnologías. Es evidente que el uso de las TIG mejoraría su actividad y sus resultados, pero también que cambiar sustancialmente su modo de traba-

jo con este tipo de datos podía tener unos costes, no sólo de dinero, sino también de tiempo y esfuerzo importantes.

Por ello, las ONGD consideraban que era necesario un estudio y una reflexión cuidadosa antes de iniciar ese proceso de cambio. Así, las propuestas que surgieron para el proyecto SEDIS consistían en construir un ejemplo demostrativo que no supusiera gastos ni esfuerzos importantes; la adquisición de nuevos materiales para utilizar estas tecnologías debería ser la mínima y, a ser posible, sin ningún coste e, igualmente, la obtención de los datos debería realizarse del modo más sencillo posible y de forma gratuita.

El desafío que se planteaba era desarrollar un SIG de interés para una ONGD sin que implicase coste importante de tiempo, dinero y personal implicado.

Objetivos de este artículo

Este artículo pretende mostrar de forma resumida algunas de las limitaciones que los SIG y la información geográfica disponible presentan frente a las necesidades de las ONGD, como ejemplos representativos de otras muchas organizaciones interesadas en utilizar las TIG, pero que no quieren verse implicadas en procesos de cambio en sus formas de actuar, ni invertir grandes cantidades de dinero y esfuerzo para llevar a cabo esta modificación de sus usos y modos habituales de funcionar.

Para concretar más el objetivo, se decidió construir un SIG que permitiese elaborar la cartografía de riesgos ambientales de una región, y que resultase de utilidad a las actividades de una ONGD en cuestiones de cooperación al desarrollo. En este caso, y por intereses particulares de las ONG participantes, se eligió Centroamérica y, más concretamente, los países afectados por el huracán Mitch a finales de 1998. Se consideró que las conclusiones a obtener para esta zona se podrían extender a muchos otros ámbitos del Tercer Mundo.

Igualmente, se aceptó que la información utilizada para esta cartografía tenía que obtenerse exclusivamente a través de las posibilidades que, en el año 2002, ofrece Internet, y sin costes de adquisición. De la misma manera, los programas utilizados para ello deberían ser, en lo posible, gratuitos y adquiridos también recurriendo a Internet.

Un objetivo secundario de este trabajo es la presentación de un procedimiento concreto de elaborar mapas de riesgos en una región, utilizando las capacidades de un SIG. Los métodos propuestos son discutibles y mejorables, pero se pueden aplicar a otras muchas situaciones, en especial en aquéllas que no se vean tan constreñidas por la forma de obtener los datos necesarios como en este caso.

Cartografía de riesgos ambientales

El concepto de *cartografía de riesgos* es un instrumento de enorme interés y aplicabilidad en la ordenación y planificación territorial, debido a que permi-

te valorar el potencial riesgo del territorio para ubicar en él usos del suelo y diferentes actividades humanas: industria, servicios, etc.

La investigación sobre riesgos ha desarrollado conceptos de gran interés, como los de *peligrosidad*, *exposición* y *vulnerabilidad*, los denominados *factores de riesgo*, cuyas posibilidades operativas para un análisis territorial concreto ya han sido suficientemente exploradas en diversos estudios e investigaciones. Para que exista riesgo, necesariamente se tienen que dar todos los factores que se incluyen en su ecuación (Ayala, 2002).

De manera general, se puede decir que la *cartografía de riesgos* tiene como objetivo «identificar las áreas geográficas susceptibles de sufrir daño en caso de que una amenaza se haga realidad» (Lowry y otros, 1995); se destina, en una primera aproximación, a definir territorialmente la *exposición*, entendida como las áreas que corren peligro de sufrir consecuencias negativas en caso de desencadenarse un desastre natural o un accidente tecnológico.

Las investigaciones en el caso de los *riesgos naturales* se han dirigido sobre todo hacia el estudio de los factores del medio físico que inciden en el desencadenamiento o en la inducción de los desastres. Todo ello con el objetivo de definir el territorio potencialmente afectado y estimar los posibles daños (MOPT, 1992). En *riesgos tecnológicos*, los derivados de actividades humanas que se consideran peligrosas, los avances se han centrado en el estudio de la vulnerabilidad territorial y de distribución espacial de las instalaciones o actividades potencialmente peligrosas (Lowry y otros, 1995).

En la evaluación y modelización espacial de riesgos, los SIG constituyen una herramienta idónea para el diseño de lo que se puede denominar *sistemas de información geográfica* a partir de la caracterización y localización, tanto de las fuentes de peligro como de los receptores potenciales de esos impactos (ver, por ejemplo, Goodchild y otros, 1993; Chatelain y otros, 1995; Beroggi y Wallace, 1995; Stein y otros, 1995; Clark Labs, 1997; McMaster y otros, 1997).

Actualmente, cada vez más se pone de manifiesto la necesidad de desarrollar medios eficaces y rápidos para valorar los escenarios de riesgo y conseguir entornos más seguros para la población y sus actividades, más si cabe en los países poco desarrollados. La mayoría de las recientes catástrofes que se han producido (y que se seguirán produciendo) en todos estos países (huracanes, terremotos, inundaciones, etc.) son ejemplos claros de desastres ocasionados por unas malas decisiones locacionales.

Riesgo, exposición y vulnerabilidad

En el estudio de los riesgos, es preciso diferenciar algunos conceptos de enorme importancia para los mismos. Frente a la *peligrosidad*, el conjunto de aspectos naturales de un fenómeno que inciden en el riesgo y que se define por la severidad del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia (Ayala, 2002), estaría el concepto de *vulnerabilidad*. Ésta suele ser definida como la posibilidad de una comunidad o un territorio para experimentar graves daños en caso de catástrofe, como consecuencia de un bajo sistema de protección social y una mala

gestión del territorio. Es función de la presencia en él de actividades, usos y poblaciones sensibles y, por tanto, susceptibles de ser especialmente dañadas en caso de desastres naturales, accidente o fallo tecnológico (Hewitt, 1997).

Frente a ellos, el concepto de *exposición* se refiere al ámbito territorial susceptible de sufrir daño, como resultado de desencadenarse un fenómeno natural catastrófico o de la presencia de una actividad peligrosa; a la posibilidad que tiene cada punto del territorio de ser afectado por las consecuencias derivadas de hipotéticos «accidentes» (naturales o tecnológicos) que, por sus características, pueden ser considerados como potenciales emisores de riesgo sobre el medio o la población, llevando consigo toda una gama de amenazas o peligros contrarios al bienestar de la población.

La vulnerabilidad ante el riesgo estaría en función de muchas variables (el desarrollo económico, el grado de organización social, la experiencia en catástrofes anteriores, etc.) y es, ante todo, una muestra de la severidad del fenómeno y de las medidas de prevención, tanto estructurales como no estructurales (Olcina y Ayala, 2002). Por tanto, el riesgo es algo variable, que puede sufrir modificaciones a lo largo del tiempo y del espacio. Parece evidente que los países o las sociedades más ricas y desarrolladas tienen más medios para enfrentarse a las consecuencias de una catástrofe que los países pobres, aunque estuvieran sometidos a similares niveles de riesgo. Por ejemplo, el huracán Mitch dejó en Centroamérica un rastro de desolación, muertes, pérdidas económicas, etc., lo que demostró la enorme vulnerabilidad de este territorio. Mientras, muchas zonas del sur y del sureste de EE.UU. se ven afectadas de forma periódica por fenómenos similares sin excesivas consecuencias.

Datos necesarios para medir exposición y vulnerabilidad ante los riesgos

Lo expuesto anteriormente debe materializarse en necesidades concretas de datos que permitan definir las magnitudes referidas. Utilizando la amplia literatura existente sobre el tema (por ejemplo: Ahamdanech y otros, 2003; Bosque y otros, 2000; Hernández y otros, 2000; Laín, 2000; Martín Loeches, 2002), es posible definir los elementos necesarios para medir tanto exposición como vulnerabilidad del territorio. Para ello, se debería contar, al menos, con datos referentes a aspectos como:

- Localización de elementos que pueden generar riesgos naturales: hidrografía, volcanes, epicentros de terremotos o posición de fallas, características litológicas, trayectorias de huracanes, etc.
- Localización de elementos humanos que son fuente de riesgo tecnológico: industrias, centros de gestión de residuos, oleoductos, líneas eléctricas, etc.
- Aspectos del medio físico que condicionan la exposición a los riesgos (naturales y humanos): topografía, suelos, vegetación natural y ocupación del suelo, etc.
- Aspectos del medio social importantes para medir la vulnerabilidad territorial: tamaño de la población y aspectos demográficos, división administrativa, núcleos de población, red de comunicaciones, etc.

Un tema importante en relación con los datos lo constituye la escala que se necesitaría para la correcta generación de este tipo de cartografía. Por supuesto, es una cuestión discutible, pero se podrían dar dos respuestas razonables. Una, realizar un análisis de detalle, con datos a escala 1:50.000 o 1:25.000; serían las necesarias para que los poderes públicos organizaran sus planes de ordenación territorial y de evacuación y protección civil. Este nivel sería útil para una ONGD, pero quizás resulte excesivo en el detalle y, por ello, complicado de manejar.

Un segundo nivel sería el que facilitase a las ONGD organizar sus tareas en cada país, de manera que pudiese determinar las zonas más necesitadas de su atención y también aquellas otras donde la problemática de los riesgos sería menos urgente. El nivel de detalle espacial sería el que permitiese discriminar unidades administrativas relevantes en cada país (estados, departamentos, provincias o, aún más adecuado, municipios). Una escala que podría oscilar entre 1:1.000.000 y 1:200.000.

Programas y personal necesarios en la creación de la base de datos

La elaboración de la cartografía de riesgos va a producir una necesidad de manejar y gestionar datos geográficos con herramientas y programas diferentes. Pero, ¿cuáles son esas necesidades? En general, las funciones necesarias se podrían ajustar a estos tipos: entrada de datos (digitalización y, sobre todo, importación de datos desde otros formatos digitales); operaciones de búsqueda selectiva; elaboración de cartografía y, también, diversas funciones de modelado cartográfico (superposición de mapas, obtención de mapas de proximidad, etc.).

Pero otra limitación en el proceso de generación de este SIG lo constituye el hecho de utilizar programas gratuitos, o de bajo coste, para resolver las tareas que se han planteado. Es decir, se necesita disponer de programas gratuitos disponibles en Internet, y que sean capaces de realizar todas esas tareas. En este sentido, se debería determinar qué programas SIG existen en la actualidad en este medio, gratuitos o, al menos, asequibles, y si sus capacidades son suficientes para resolver las tareas necesarias para la creación de la base de datos y la elaboración de mapas de riesgos.

En la búsqueda de estos programas en Internet, se han localizado varios ejemplos: ArcExplorer.2, de ESRI (www.esri.com/software/arcexplorer); DIVA-GIS.2.5, desarrollado por el Centro Internacional de la Papa-CIP (www.cipotato.org/DIVA/download.htm); WinDisp.5, de la FAO (www.fao.org/ES/giews/spanish/windisp); SIGIS, desarrollado por Géomatique SIGISCO Inc. (www.sigisco.com); AGIS (www.agismap.com); SPRING, desarrollado por el INPE brasileño (www.dpi.inpe.br/spring); GRASS, elaborado por el Ejército de EE.UU. (<http://grass.itc.it>).

Tras el análisis de sus funciones y capacidades, se constató que sólo los dos últimos poseen medios necesarios para desarrollar las funciones consideradas fundamentales, tanto para crear la base de datos como para generar los mapas de riesgos. El resto, realmente, no pasarían de ser meros «visualizadores cartográficos», *pseudo-SIG*.

Pero el programa seleccionado también debería ser lo más simple y fácil de manejar posible, de modo que el personal que lo utilizara no necesitara un entrenamiento complicado y de larga duración. Los programas incluidos en el listado anterior difícilmente cumplen este requisito. Los más potentes (SPRING y GRASS) son complejos, y necesitan un período largo de entrenamiento para ser empleados en resolver las necesidades y obtener los resultados deseados. Usuarios habituales de programas SIG, con buenos conocimientos de Idrisi, ArcView y ARC/INFO, han tropezado, dentro del proyecto SEDIS, con graves dificultades para, en un período de tiempo corto, manejar los citados programas en el modo conveniente. Esto lleva a pensar que las posibilidades que tendría un usuario inexperto, primerizo en el uso de SIG, de usar estos programas, antes de perder el interés y la paciencia, son muy limitadas.

En resumen, en Internet existen diversos programas SIG gratuitos, pero los más importantes y potentes exigen un entrenamiento y unos conocimientos teóricos muy importantes, mucho mayores de los que, previsiblemente, tendrán los usuarios que se están considerando en este proyecto.

La base de datos

Consideraciones previas

La aparición y el rápido desarrollo de Internet han supuesto una auténtica revolución en el mundo de las comunicaciones a escala mundial. Se ha ido convirtiendo en alternativa muy eficaz y barata para la distribución y el intercambio de una enorme variedad de información.

Cada vez son más los organismos, las instituciones, las sociedades, las empresas e incluso los particulares, dentro de los más diversos ámbitos (sociales, económicos, culturales, etc.), que eligen este medio para difundir y hacer llegar la información que en ellos se genera, a un público, también, cada vez más numeroso.

La información de tipo espacial o geográfico también ocupa un lugar destacado dentro de este medio. Su producción es abundante en nuestros días y, además, los productores de la misma también muestran una especial preocupación por difundirla y permitir el acceso a los usuarios, más o menos libre, a sus bases de datos digitales. Internet, un medio de bajo costo para el intercambio de información, es muy utilizado para «colgar» información, unas veces cartográfica (en forma de mapas analógicos) y otras en formato digital, destinada a ser manejada y manipulada a través de dispositivos como los SIG.

Según los objetivos del proyecto, la pretensión era explorar las posibilidades que ofrece Internet para la creación de bases de datos y para la puesta en marcha de un proyecto SIG orientado al estudio de los riesgos naturales en Centroamérica, ofreciendo con ello a las ONGD una herramienta de gran utilidad para la programación y la planificación de sus actividades en la zona (especialmente las destinadas a la prevención o mitigación de la vulnerabilidad de la

población, al diseño de planes de emergencia, etc.). De igual forma, se querían ofrecer pautas y un procedimiento válido para la creación de bases de datos similares para cualquier región del mundo en el que tengan presencia estas organizaciones, así como un método para la generación de una cartografía de riesgos naturales aplicando la tecnología de los SIG.

En el siguiente apartado, se describe la base de datos creada. La información procede en su mayoría de páginas electrónicas de organismos e instituciones que la ofrecen de manera gratuita. Pero, previamente, parece oportuno señalar algunos aspectos que han determinado su configuración y su estructura:

— La información espacial existente y disponible en Internet es muy variada y abundante, y es recomendable un proceso de selección antes de proceder a su «descarga». Es esencial tener claros los objetivos y las metas que se persiguen para evitar «perdersé» entre las amplias posibilidades que, en relación con la información espacial, ofrece este medio.

No siempre se encontrará la información que exactamente se necesita, o la que se desearía, pero es posible disponer de información que puede ser adaptada y/o interpretada para su inclusión en la base de datos y su utilización en el proceso de creación de la cartografía de riesgos.

— Los sitios y servidores de mapas en Internet son muy «dinámicos», es habitual su continua actualización, que, en algunas ocasiones, supone cambios de ubicación y modificación de las direcciones. Esto exige mantener un seguimiento, lo más continuado posible, de las principales páginas proveedoras de información espacial.

— No puede descartarse el recurso a otras fuentes de producción de información geográfica gratuita fuera de Internet, como, en este caso, el recurso a la información recogida en el *Atlas de Centroamérica*, facilitado por el Centro de Información Geográfica (CIGEO) de la Universidad Tecnológica de Centroamérica (UNITEC).

— Los ámbitos que abarca la información disponible en Internet pueden ir desde la escala local hasta la mundial y, normalmente, es difícil que coincida con el área de estudio que se desea. Por ello, un paso obligado en la generación de la base de datos es también el extraer de las coberturas originales el área de interés, recurriendo a las opciones que en este sentido ofrecen los SIG comerciales.

— Uno de los principales problemas a los que hay que enfrentarse para la utilización de la información existente en Internet, aparte de los derivados del grado de fiabilidad y/o calidad de la misma, es el de la existencia de una gran variedad de formatos para su almacenamiento y presentación. No existe un formato estándar, único, lo cual dificulta el intercambio de la información y su incorporación en los diferentes programas SIG, que, normalmente, manejan formatos de archivos específicos. Se hace preciso, por tanto, la manipulación de las coberturas espaciales originales para cambiarlas de formato y poder ser incorporadas al programa seleccionado. En este caso, se optó por transformar toda la información a formato *shapefile*

(.shp), el utilizado por el programa ArcView de ESRI, uno de los formatos de datos más extendidos.

Igualmente, otros tipos de información disponibles en la red, susceptibles de ser incorporados al SIG como parte de la estructura temática del mismo (información demográfica, socioeconómica, etc.), precisan de un tratamiento previo. Normalmente, esta información no se encuentra georeferenciada, no se suele adaptar a las características que poseen las estructuras temáticas de los SIG; se presentan en forma de tablas, o simplemente como texto, y deben ser tratadas previamente con los programas SIG o con otros programas de procesamiento de texto, hojas de cálculo, etc., si se desea su incorporación como atributos de las diferentes entidades espaciales que constituyen las coberturas espaciales. Así ha sucedido, por ejemplo, en este caso al incorporar al proyecto la información censal.

- También son variadas las proyecciones y los sistemas de referencia que se manejan para presentar la información espacial. No obstante, suele ser mayoritario el sistema de coordenadas geográficas (longitud/latitud), poco adecuado para muchos de los procesos analíticos que son necesarios realizar sobre los datos. Así, otra de las decisiones que hay que tomar al poner en marcha cualquier proyecto SIG es fijar un sistema de proyección común a todas las coberturas, de tal forma que permita una adecuada integración y superposición de las mismas. La mayoría de los programas SIG disponen de herramientas que permiten cambios de proyecciones con relativa facilidad, por ejemplo al sistema UTM.

Como se puede observar, la información original «bajada» de Internet requiere un procesamiento previo a su incorporación a la base de datos del SIG; un trabajo muchas veces arduo pero necesario y que se ve facilitado por las diferentes herramientas y opciones que, cada vez más, incorporan los programas SIG. Por ello, es útil la elaboración de *protocolos de descarga*; una descripción de todos los procesos necesarios para la adaptación de la información y de las coberturas originales de Internet al formato del SIG que se utilizó en este proyecto.

Contenido de la base de datos

La búsqueda en Internet de datos necesarios para lograr los objetivos del proyecto resultó en la localización de una gran variedad de páginas electrónicas de donde descargar datos geográficos de interés. Los principales sitios web se enumeran a continuación (ver también García y Bosque, 2001):

- *ESRI Data & Maps* (en www.esri.com), con datos de la Digital Chart of the World (DCW), directamente accesible en la Universidad de Pennsylvania (www.maproom.psu.edu/dcw/). Recoge diferentes temas: unidades administrativas, red de carreteras, hidrografía, núcleos de población, etc. para todo el mundo y a escala original 1:1.000.000. También se pueden encontrar datos sobre epicentros de terremotos, fallas geológicas, etc.

- *International Potato Center* (www.cipotato.org/diva/data/DataServer.htm), su fuente original es la U.S. National Imagery and Mapping Agency's-NIMA (gnpswww.nima.mil/geonames/GNS/index.jsp). Contiene datos de la posición geográfica (en coordenadas longitud/latitud) de una gran variedad de elementos: núcleos poblados, puertos, aeropuertos, volcanes, lagos, etc.
- *National Geophysical Data Center*, de EE.UU. (<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>), modelos digitales del terreno, mapas de usos y ocupaciones del suelo, zonas afectadas por tsunamis, etc., de la mayor parte del mundo.
- *UNEP-United Nations Environment Programme* (www.grid.unep.ch), ofrece datos de zonas sísmicas, huracanes, etc.

En el caso de Centroamérica, se ha podido utilizar también como fuente de información y de datos geográficos el *Atlas de Centroamérica* (del CIGEO, en colaboración con la USAID y el USGS), que recoge datos e información procedente de diferentes fuentes, sobre todo estadounidenses, como por ejemplo de la *ESRI Data & Maps*.

Por último, de los Censos de Población y Vivienda de Guatemala (1994), Nicaragua (1995) y de El Salvador (1992), recogidos en la página electrónica del Centro Centroamericano de Población de la Universidad de Costa Rica (<http://ccp.ucr.ac.cr/index.shtml>), se obtuvo una amplia serie de datos demográficos (tamaño y características de la población) para diversas unidades administrativas (departamentos, municipios, etc) se pudieron obtener. Para Honduras, se recurrió a estimaciones ofrecidas por el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) y el PNUD en Honduras (www.unfpa.un.hn y www.undp.un.hn, respectivamente) o el Centro Latinoamericano de Demografía-CELADE (www.sieca.org.gt).

Se puede concluir que es posible obtener de fuentes situadas en Internet casi todos los elementos planteados en el apartado 4.2, con la notable excepción de los aspectos más relacionados con el posible desarrollo de riesgos tecnológicos: industrias, centros de gestión de residuos, etc. Por lo tanto, con esos datos se pueden realizar estudios de riesgos naturales, midiendo para ello tanto la exposición a diversos tipos de riesgos, como la vulnerabilidad del territorio ante esos peligros. Es cierto que la escala de los datos disponibles es de poco detalle; la mayoría de las fuentes mencionadas proporcionan datos a escala de 1:1.000.000, con lo que sólo es posible realizar análisis muy generales, aunque suficientes y de utilidad para las necesidades de planeamiento estratégico de una ONGD que pretenda diseñar más correctamente sus actividades en un país en desarrollo.

Otro aspecto a cuestionar es el tipo de procesos de recogida y manipulación que se deberá aplicar a los datos obtenidos. La solución es complicada, pues, en función de los problemas ya tratados antes, en especial la falta de un estándar de datos geográficos para poder emplear los datos existentes en esos sitios web, es preciso realizar procesos y manipulaciones adicionales, los más relevantes serían:

1. Descarga al ordenador (con cualquier *browser*: Internet Explorer o Netscape).
2. Descompresión de los datos (realizado con programas específicos, como, por ejemplo, WINZIP), que, dado su volumen, suelen aparecer en formatos comprimidos.
3. Recorte de la zona de interés en un fichero que, generalmente, incluye una mayor extensión geográfica.
4. Proyección de coordenadas geográficas al sistema UTM.
5. Determinación / cálculo de la topología de los datos obtenidos.
6. Conexión de los datos temáticos a los elementos espaciales, mediante la creación de identificadores en la base de datos demográfica y algunas otras similares.

Los últimos procesos se tienen que realizar con programas SIG potentes, capaces de llevar a cabo todas estas operaciones y de manejar con suficiente rapidez ficheros de gran tamaño (30-100 Mb, en muchos casos). Esto plantea una exigencia importante al *software* necesario para crear la base de datos e, igualmente, establece unas exigencias mínimas en cuanto al personal que debe desarrollar estas actividades y en cuanto al tiempo de trabajo necesario para ejecutarlas correctamente.

Los mapas de riesgos naturales en América Central

En el apartado anterior, se ha realizado un rápido recorrido por las posibilidades y las deficiencias que Internet ofrece como fuente de datos y de programas SIG gratuitos. Pero en esta propuesta metodológica se decidió implementar el conjunto de procesos y de operaciones para la elaboración de la cartografía de riesgos naturales haciendo uso de un programa SIG comercial, Idrisi, principal producto de la Graduate School of Geography del Clark University (Worcester, EE.UU.). En la actualidad distribuido en su versión Kilimanjaro, es uno de los SIG de mayor difusión y uno de los más potentes programas *raster* existentes en el mercado. Aunque los archivos *raster* son los más utilizados en los procesos analíticos, también maneja archivos de tipo vectorial y cuenta con herramientas para la conversión vectorial a *raster* (y viceversa).

El modelo de datos *raster* ofrece mayores posibilidades para el tipo de análisis que aquí se plantea, en el cual se utilizan variables de tipo continuo, con características temáticas que se desarrollan uniformemente a través del espacio.

Los datos obtenidos de Internet, muchos en el formato del SIG vectorial Arc-View (*shapefile*-.shp), fueron convertidos a formato Idrisi. Se trata de una operación relativamente sencilla y automática, pues Idrisi, al igual que la mayoría de los SIG, dispone de herramientas de importación/exportación de archivos a los formatos vectoriales y *raster* más importantes, entre los que está el *shapefile*.

El procedimiento que se desarrolla a continuación utiliza los SIG y las diversas técnicas y métodos que integran para determinar diferentes niveles de

exposición, vulnerabilidad y riesgo en el conjunto de Centroamérica. Recordar que el riesgo es una variable que depende de la interacción de vulnerabilidad y exposición con la peligrosidad, y para poder establecer una cartografía de la variabilidad espacial del riesgo en la región se debe cruzar la distribución espacial de los valores de ambos componentes, así como concretar cómo se pueden medir ambos conceptos de modo operativo.

Procedimiento para medir la exposición a amenazas naturales

Al estudiar la exposición a riesgos, nos enfrentamos ante un problema de una enorme carga geográfica, como es estimar las áreas que están expuestas a amenazas naturales. Así, habrá que definir previamente cuáles son esos «elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas» (Burton y Kates, citado en Ortega Alba, 1991).

En mayor o menor medida, todos los tipos de amenazas naturales están potencialmente presentes en Centroamérica (Ordóñez y otros, 1999). La enumeración de los factores de exposición es complicada y, seguramente, incompleta; siempre será posible incorporar nuevos tipos de factores, pero, en este caso concreto, se decidió considerar aquéllos que, según todos los indicios, eran más frecuentes y, sobre todo, aquéllos que ocasionaban daños humanos, materiales y económicos más importantes.

En Centroamérica confluyen muchas circunstancias que hacen de la región una zona especialmente afectada por desastres naturales: situada en la zona de contacto de cinco placas tectónicas, lo que determina una altísima actividad sísmica; recorrida por una activa cadena montañosa volcánica; localizada entre dos masas oceánicas en las que se generan frecuentes huracanes que provocan, a su vez, una alteración del régimen de lluvias e inundaciones habituales, etc. (Ordóñez y otros, 1999).

Pero en la selección de estos factores también influyó el hecho que la información referida a ellos estuviera accesible en Internet, y que su calidad y resolución fueran compatibles con el resto de información espacial que había sido incorporada a la base de datos. De esta forma, la lista definitiva de amenazas naturales a las que está expuesta la región sería la siguiente: inundaciones; deslizamiento de tierras; actividad volcánica; actividad sísmica y huracanes.

En primer lugar, se estimará para todos la distribución espacial de sus áreas de incidencia en la región, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación.

a) Exposición a inundaciones

Las coberturas que intervienen en la generación de este mapa factor son: red hidrográfica (ríos, lagos, etc.) y MDE (modelo digital de elevaciones).

Lógicamente, la probabilidad de inundación de un territorio será mayor cuanto más cercano se encuentre al cauce de un río. Pero, en la definición de una llanura de inundación fluvial, también intervienen factores como los relacionados con las características del relieve. En este caso, se parte del supuesto

de que la zona de inundación de un río está formada por todas aquellas partes del territorio cercanas al cauce, con una pendiente mínima (inferior a un 2%) y situadas a una altura sobre el nivel del cauce inferior a 5 metros (Ahamdanech y otros, 2002).

El proceso seguido para llegar al mapa final de exposición a inundaciones fue el siguiente:

1. Áreas a menos de 5 metros de altura sobre el cauce

A cada píxel de la red hidrográfica (el conjunto de celdas que definen el recorrido de cada río) se le asignó, con OVERLAY (opción COVER), el valor de altura que poseía en el MDE.

A partir de esta nueva imagen, se generó el mapa de distancias lineales a todos los cursos fluviales (comando DISTANCE) y, posteriormente, se asignó a cada unidad espacial obtenida en él el valor de altitud del tramo del río más próximo a ella (posible a través del comando ALLOCATE).

El último paso consistiría en restar al MDE los valores de la imagen anterior, diferenciando (previa reclasificación de la imagen resultante) aquellas zonas que se encuentran situadas a menos de 5 metros de altura sobre el nivel del cauce más próximo. Estas áreas tendrán valor 1 en la imagen.

2. Áreas de pendientes inferiores a 2%

Con el comando SURFACE de Idrisi es posible generar, partiendo del MDE, un mapa de pendientes, medido en porcentajes o en grados.

Con este mapa, y mediante una sencilla reclasificación, se pueden discriminar aquellas áreas con valores de pendiente superior a 2% (a las que se asigna un valor de 0) de las que tienen pendientes inferiores a 2% (con valor 1 en la imagen).

3. Mapa de exposición a inundaciones

La unión de las imágenes generadas en los pasos anteriores (comando OVERLAY) resultó en un mapa de áreas expuestas a inundaciones derivadas de la red hidrográfica. En Centroamérica las zonas con mayor extensión de áreas expuestas coinciden con los cursos bajos de los principales ríos, tramos cercanos a las costas atlántica y pacífica; áreas en las que se puede suponer que las inundaciones son más frecuentes y donde adquieren mayores proporciones, especialmente en la costa caribeña de Honduras y de Nicaragua.

b) Exposición a deslizamientos de tierra

La mayoría de los deslizamientos en la región se suceden, por lo general, en lugares puntuales y son de pequeña magnitud, pero con resultados algunas veces de gran impacto sobre infraestructuras, bienes y vidas humanas (CEPRE-DENAC, 1999). Las causas naturales de los mismos pueden ser excesivas pendientes, naturaleza y estructura de los suelos (baja consistencia y estructura

adversa), a lo que se suele añadir la saturación por infiltración de agua procedente de fuertes y prolongadas lluvias o aspectos relacionados con la deforestación.

El proceso para obtener este mapa fue sencillo, se extrajo de los mapas de partida las áreas más propensas:

- Del mapa de usos de suelo, las zonas sin vegetación arbórea fueron reclasificadas a valor 1.
- La clasificación de suelos del FAO (<http://edafologia.ugr.es/carto/tema02/amplia2.htm>), utilizada en el mapa de litología, permitió diferenciar aquéllos que, entre otras características, presentan menor evolución, escasa capacidad para retener agua o aquéllos más susceptibles de erosión y arrastre. Las trece categorías del mapa original fueron reclasificadas para asignar valor 1 a las de mayor probabilidad de influir en los deslizamientos de laderas (en concreto, las litologías de las familias de los leptosoles, andosoles y vertisoles).
- Sobre el mapa de pendientes, se optó por definir tres niveles de pendiente, correspondientes, con diferentes niveles de exposición, a este tipo de fenómenos, siguiendo las pautas marcadas para la elaboración del mapa de riesgos de El Salvador, desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (http://www.fisd.l.gob.sv/fis_static/paginas/mapa_riego.html): entre 30-50% de pendiente, exposición baja; entre 50-70%, exposición media y más de 70%, exposición alta

De la combinación de los tres mapas generados en los pasos anteriores (comando OVERLAY) resultó un nuevo mapa factor.

c) Exposición a riesgos volcánicos

Para los riesgos derivados de la actividad volcánica, el modelo de exposición diseñado pretendía medir la probabilidad de que un punto cualquiera del territorio se vea afectado por este tipo peculiar de fenómeno en alguna de sus muchas manifestaciones: avance de lava, expulsión de gases, material piroclástico, cenizas, lapilli, proyección de fragmentos, etc.

Se ha considerado que la exposición aquí no se manifiesta uniformemente sobre el terreno y que tiende a adaptarse a sesgos direccionales, entre los que destacarían los derivados de la topografía. Por tanto, ésta puede adoptarse como factor determinante de la exposición.

Pero la definición del área expuesta a amenazas volcánicas depende mucho de las características de cada volcán, del tipo de erupción del mismo. Ésta es una información difícil de obtener para cada volcán y de la que no se disponía. Por ello, se optó por generar un modelo general que recogiera todos los posibles fenómenos que pueden darse en una erupción volcánica.

Para el caso de la emisión de materiales o gases, fenómenos que pueden alcanzar elevados radios de acción, se modeló la exposición recurriendo a la generación de cuencas visuales. El comando VIEWSHED de Idrisi, a partir

del MDE, permite realizar cuencas visuales para el conjunto de volcanes de Centroamérica; representan el conjunto de zonas visibles desde un punto o conjunto de puntos del territorio y pueden ser empleadas para medir la exposición del mismo a este riesgo. Dentro de la cuenca visual de cada volcán, no han de existir obstáculos, como pudieran ser relieves acusados, que pudieran impedir alcanzar ese punto del territorio desde la boca del volcán, de manera que cualquier acción peligrosa alcanzaría ese lugar con menor dificultad y más rapidez que a aquéllas situadas fuera de su cuenca visual. Así, todos los píxeles incluidos dentro de la cuenca visual de un volcán (hasta 6 km, en este caso) se pueden considerar como especialmente expuestos a las consecuencias de una erupción.

Pero la magnitud de la exposición se podría matizar introduciendo un nuevo factor, reflejo, en cierto modo, de la mayor exposición que implica el que una zona se encuentre en la línea de máxima pendiente del volcán; en la línea que, de producirse el avance de lava, seguiría más probablemente la misma (uno de los efectos más habituales en este tipo de fenómenos).

Para generar este nuevo factor de exposición, se recurrió al programa *Flow-Direction* (Unamuno, 2001, descargable desde la página www.geogra.uah.es/Proyectos/proyectos.htm), que permite determinar líneas de máxima pendiente en el MDE, simulando la línea lógica de vertido o de drenaje desde un punto dado. El resultado de esta aplicación fue una imagen que, sumada a la anterior (cuenca visual), dio como resultado el mapa de exposición a riesgos volcánicos. En él se establecieron tres niveles de exposición: baja, para áreas dentro de la cuenca visual; media, para áreas en la línea de máxima pendiente, y alta, para las áreas en la línea de máxima pendiente y dentro de la cuenca visual de cada volcán. Lógicamente, las áreas de mayor exposición se disponen en torno a la cadena montañosa volcánica que recorre todo el istmo centroamericano de norte a sur, especialmente a través de El Salvador y Guatemala, y cercanos a lugares de gran concentración demográfica o de gran actividad económica.

d) Exposición a riesgos sísmicos

El proceso metodológico para obtener el mapa de exposición a la actividad sísmica se basa en la cobertura que recoge la zonificación de la región en función de su intensidad sísmica (en realidad, en función de la intensidad del mayor seísmo que es probable que ocurra en los próximos cincuenta años); una zonificación realizada en 1998 por el UNEP de Naciones Unidas y donde el conjunto centroamericano queda dividido en cinco zonas de diferente intensidad (tabla 1), adoptadas para diferenciar los niveles de exposición al riesgo sísmico.

Este mapa puede ser matizado incluyendo información referida a localización de fallas y epicentros históricos en la región, así como incorporando las teóricas áreas de exposición. Sin lugar a dudas, este tipo de elementos son de gran importancia y determinantes en el desencadenamiento de terremotos y, así, se generó en torno a fallas y a epicentros áreas de influencia con las que se reco-

Tabla 1. Transformación de los niveles de intensidad sísmica de UNEP a valores de exposición.

Valor de exposición	Intensidad
1	Intensidad V e inferior.
2	Intensidad VI.
3	Intensidad VII.
4	Intensidad VIII.
5	Intensidad IX y superior.

gerían las zonas más expuestas y con mayor probabilidad de sufrir los efectos de la actividad sísmica.

El mapa resultante fue simplificado de nuevo a tres niveles de exposición y muestra claramente como casi todos los departamentos de Guatemala se encuentran dentro de niveles altos de exposición y, más concretamente, la franja que une la costa del norte y la costa del sur del país a través del altiplano central, donde se encuentra la capital nacional. La mayor actividad sísmica en El Salvador y en Nicaragua se da en una banda de territorio que discurre entre el océano Pacífico y la cadena montañosa central.

e) Exposición a huracanes

El mapa de partida es el de trayectorias de huracanes que han afectado a la región entre 1998 y 2001 (Universidad de Hawai: www.solar.if.hawaii.edu), una serie temporal reducida, pero es la única información de interés que se ha encontrado en Internet.

Como apuntan Olcina y Pérez (2002), los efectos de este tipo de fenómenos se asocian a los fuertes vientos y a las intensas precipitaciones. Por ello, en cierta medida, con la incorporación de este nuevo factor se están sobrevalorando otros factores ya considerados en esta propuesta: las inundaciones y los deslizamientos de tierras.

El hecho de que una zona se haya visto afectada en algún momento por un huracán puede ser utilizado como un indicador de la mayor o menor exposición del territorio a un tipo de fenómeno que parece responder a ciertas pautas en cuanto a su origen, temporada de generación, recorrido, etc. Así, para cada trayectoria se definió un área de influencia (BUFFER), delimitando una zona teórica de afección del huracán.

Esta exposición podría ser matizada introduciendo un nuevo factor, reflejo del número de exposiciones de huracanes a que está sometido un territorio. La posibilidad de que un punto sea afectado por cualquier incidencia aumenta al hacerlo el número de zonas de exposición a que está sometido. De esta forma, la suma de las áreas de influencia de los diferentes recorridos históricos podría ser una medida para este factor, en el que, nuevamente, se distinguen tres niveles de exposición, desde la baja (zonas expuestas al paso de menos de dos huracanes) hasta la alta (áreas que se han visto expuestas al paso de más

de cinco huracanes en los últimos años), pasando por la media (expuestas al paso de tres a cuatro huracanes en los últimos años).

Mapa de exposición a riesgos naturales

Tras definir y calcular los factores de exposición, el paso siguiente es determinar cómo va a intervenir cada uno en el mapa final de exposición. Se trata de decidir y asignar pesos a cada factor de exposición.

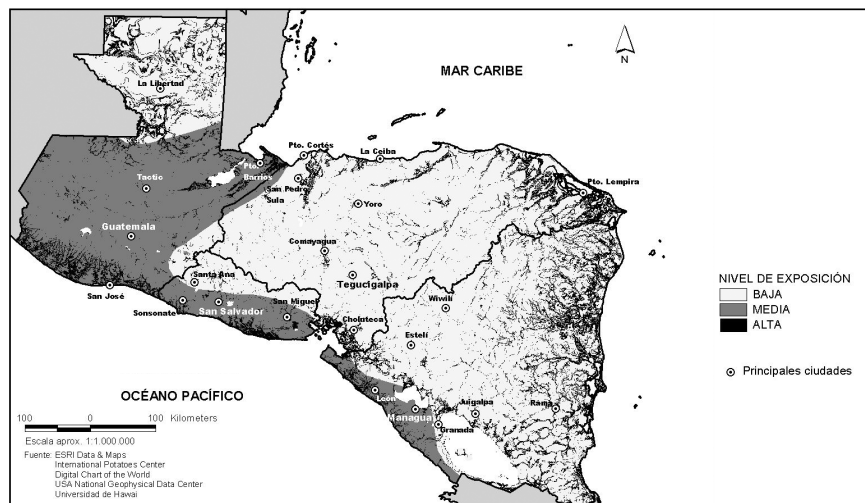
La *matriz de comparación por pares de Saaty*, otra de las opciones incorporadas en Idrisi (comando WEIGHT), es un procedimiento de ponderación que permite establecer la importancia relativa de los factores que intervienen en los procedimientos de Evaluación Multicriterio *integrados* en los SIG (Barredo, 1996). Consiste en establecer un «juicio de valor» que represente la importancia relativa de cada factor sobre los demás, siempre recomendable que sea resultado de una discusión multidisciplinaria. Tal como se puede comprobar en la tabla 2, es una matriz de doble entrada en la que se repiten los factores en filas y columnas; cada celda recoge el valor resultante de comparar un factor con los restantes, valores que han de oscilar entre 1/9 (extremadamente menos importante) y 9 (extremadamente más importante). Una vez asignados, automáticamente el programa determina el *eigenvector principal* de la matriz, el que establece los pesos que tendrán los factores.

En este caso, esos «juicios de valor» estarán necesariamente influidos por la frecuencia e impacto de cada amenaza natural en Centroamérica. Según PNUMA (2003), desde 1970 hasta 2001 los desastres naturales dejaron en la región más de 240 mil víctimas mortales, sobre todo por sismos (un 47,2% del total), inundaciones (18,5%), huracanes (14%), erupciones volcánicas (9,3%) y deslizamientos (4,1%). Esta información, junto al mapa de desastres naturales ocurridos en la región entre 1960 y 1998 (COREGA-CAC, 2000), que representaba la frecuencia de las diferentes amenazas, fue utilizada como apoyo al establecimiento de la importancia relativa de los factores que intervienen en el mapa de exposición final, cuyo cálculo se basó en la expresión siguiente:

$$\text{Exposición} = 0,44* \text{inundaciones} + 0,11* \text{deslizamientos} + 11* \text{huracanes} + 0,22* \text{terremotos} + 0,11* \text{volcanes}$$

Tabla 2. Comparación por pares de factores de exposición al riesgo.

	Inundaciones	Deslizamientos	Huracanes	Terremotos	Volcanes	PESO
Inundaciones	1					0,44
Deslizamientos	1/4	1				0,11
Huracanes	1/4	1	1			0,11
Terremotos	1/2	2	2	1		0,22
Volcanes	1/4	1	1	1/2	1	0,11



Mapa 1. Exposición a riesgos naturales en Centroamérica.

De forma indirecta, se estaría aquí considerando otro de los factores de riesgo, la *peligrosidad*. Para mejorar su visualización, la imagen resultante (con diferentes categorías de exposición al riesgo que van desde 0 a 2,43 como valor máximo) fue reclasificada en tres niveles (baja, media y alta), utilizando para definirlos los valores de la media y la desviación típica de la distribución (mapa 1).

Todo el territorio centroamericano está expuesto a la eventualidad de algún desastre natural. El nivel de exposición más elevado se corresponde con áreas de inundación en torno a los grandes ríos de la región; es éste el fenómeno de mayor frecuencia, asociado o no a huracanes, y se manifiesta prácticamente todos los años con diferentes magnitudes (Ordóñez y otros, 1999). Uno de los efectos más letales de los huracanes son las lluvias torrenciales, que suelen provocar graves inundaciones en áreas de desembocadura de los grandes colectores fluviales (Olcina y Pérez, 2002), que se suman a inundaciones periódicas de menor intensidad. Esto hizo que las inundaciones recibieran el peso más alto en la matriz, seguido de terremotos, que si bien en cifras son la primera amenaza en la región, su recurrencia es menor.

Procedimiento para medir la vulnerabilidad

En este apartado se describe el proceso seguido para estimar la vulnerabilidad, otro de los componentes del riesgo analizados en esta propuesta, que es función

de la presencia en el territorio de actividades, usos y poblaciones sensibles y, por tanto, susceptibles de ser especialmente dañados en caso de accidente.

Su conocimiento permite evaluar los daños potenciales y relacionar sus costes con decisiones de prevención destinadas a reducir al máximo los daños, ofreciendo instrumentos de ayuda a la decisión y para la formulación de políticas preventivas (Ordóñez y otros, 1999), aspectos en los que las ONGD tienen mucho que aportar.

Dadas las características de esta región, los indicadores de vulnerabilidad más frecuentes en estudios de este tipo han sido ligeramente reinterpretados y adaptados. Aspectos relacionados con la accesibilidad del territorio a determinados tipos de equipamientos de evacuación y/o ayuda en el caso de desastre (hospitales, aeropuertos, puertos, etc.); características físicas de las construcciones, fundamentalmente de las viviendas donde residen las personas afectadas, y características de la población, que determinan su mayor o menor preparación, conocimiento, etc. de la manera de actuar antes y después de una catástrofe (nivel de instrucción) son algunos de los puntos que se tendrán en cuenta para calcular la vulnerabilidad así entendida.

Sobre el territorio de Centroamérica se determinarán áreas más o menos evacuables, ayudables, sin refugio y capacitadas, en un proceso que se describe a continuación:

a) Determinación de áreas «evacuables»

El nivel de la infraestructura y del equipamiento existente puede ser una buena defensa ante catástrofes, en el sentido de que son mayores las probabilidades de que la población pueda ser evacuada y atendida adecuadamente ante cualquier desastre. Y una medida del nivel de dotación puede venir del cálculo de la mayor o menor accesibilidad a determinados equipamientos, como pueden ser los de tipo sanitario (hospitales o similares).

Se pretende calcular la accesibilidad de cualquier parte del territorio hasta centros hospitalarios, utilizando la red de carreteras de la región, y, de forma más general, a ciudades más pobladas. Parece lógico pensar que el nivel de equipamientos de todo tipo será mayor (independientemente de su calidad) cuanto mayor sea el tamaño de una ciudad; que aquellas localidades de mayor tamaño dispondrán de infraestructuras para atender a la población (la propia y la de localidades cercanas) en caso de catástrofe.

Se trataría de llevar a cabo un cálculo de costes de transporte desde un punto cualquiera de la red viaria hasta el punto considerado como destino. Para ello, y en primer lugar, se debe concretar la localización de los principales hospitales y de las ciudades de mayor tamaño en Centroamérica.

El *Gazetteer*, un diccionario de topónimos geográficos de la US National Imagery and Mapping Agency's-NIMA en el que se recogen las coordenadas geográficas de diferentes elementos (que puede ser una población, un elemento del medio físico, etc.), permitió generar las coberturas de puntos de todas las poblaciones de Centroamérica. Posteriormente, a cada punto, le fue asignada información sobre población procedente de los censos de población. A partir

de esta cobertura y de los listados recogidos en páginas electrónicas de los ministerios de Sanidad centroamericanos, se creó otra nueva con la localización de los 93 hospitales de la región. Ambas serían las coberturas de partida para llevar a cabo este análisis.

Pero el cálculo de la accesibilidad requiere también de un mapa de carreteras de toda la región. La información de partida disponible no incluía ninguna diferenciación entre tipos de vías. Esto hubiera enriquecido considerablemente el análisis al poder incluir en cada tipo de carretera una fricción diferente, una mayor o menor dificultad, rapidez o coste al movimiento a través de la misma. Así, al conjunto de carreteras se le asignó (utilizando el comando RECLASS) una fricción unitaria de 0; el resto de la imagen (lo que no es carretera) tendría valor -1 , necesario para generar una barrera absoluta y conseguir que el cálculo de costes posterior sólo se lleve a cabo a través de las carreteras.

Con esta superficie de fricción y la localización de hospitales y ciudades principales, puntos conocidos y conectados con alguna carretera que es utilizada para desplazarse, se generaron dos mapas de costes de desplazamiento desde cada punto a lo largo de las carreteras, utilizado el comando COST-GROW de Idrisi.

La distancia de cualquier punto del territorio a una carretera determinará, por tanto, también su accesibilidad a cualquier centro hospitalario o ciudad importante. Con el comando DISTANCE, se calcularon las distancias a todas las carreteras y, para finalizar, a cada unidad espacial obtenida en el cálculo de distancias le fue asignado (con el comando ALLOCATE) el valor de coste de desplazamiento del tramo de carretera más próximo.

Los mapas de accesibilidad final de cualquier punto del territorio vendrían definidos por la proximidad del mismo a una carretera y por el coste de recorrido por carretera hasta el hospital o la ciudad más próximos. Los valores más bajos coincidirían con localizaciones de mayor accesibilidad, mientras que los más elevados se corresponderían con aquellos lugares más alejados de los elementos considerados.

Pero en cualquier estudio en el que se pretenda integrar distintos factores, variables o criterios, como sucede en este caso para generar un mapa de áreas «evacuables», e independientemente del método utilizado, es aconsejable que dicha integración se realice utilizando escalas comparables.

Los valores de cada uno de los factores pueden ser, y son, muy diferentes y medidos en escalas igualmente distintas. Por ello, es necesaria una *normalización* de los mismos, con el fin de evitar sesgos hacia los factores que alcancen los valores más altos.

Son numerosos los métodos existentes para la normalización, pero en esta propuesta se ha optado por aplicar el ajuste lineal (utilizando el comando FUZZY), mediante el cual los valores originales de la accesibilidad a hospitales y a ciudades más pobladas fueron reescalados entre un mínimo y un máximo determinados (en este caso, entre 0 y 1), comunes en todos los factores que entrarán a formar parte del cálculo de áreas «evacuables» a través de la suma de ambas.

b) *Determinación de áreas «ayudables»*

Siguiendo el mismo proceso que se ha descrito, se trata de medir la accesibilidad que presentan las diferentes partes del territorio a lugares, puntos del territorio con mayores posibilidades de recibir ayuda internacional, centros en los que habitualmente se suele centralizar este tipo de ayuda en caso de catástrofe. Las *capitales nacionales* (ciudades que reciben en primera instancia la ayuda internacional por situarse en ellas sedes gubernamentales, sedes centrales de las principales organizaciones que facilitan la ayuda, etc.); los *aeropuertos* (no sólo localizados en capitales nacionales, son vitales para la distribución de ayuda humanitaria), y los *puertos* (otra forma alternativa de llegada de la ayuda del exterior) fueron los elementos para los que se calculó la accesibilidad; normalizados entre 0 y 1, su suma dio el nuevo mapa factor de áreas «ayudables».

c) *Determinación de áreas sin refugio*

La posibilidad de defensa de la población ante una amenaza tipo natural tiene mucho que ver con la pobreza, y uno de los productos más evidentes de la misma son las condiciones de la vivienda en que reside la población, la calidad de la construcción.

Las características estructurales de las viviendas se pueden convertir también en un indicador adecuado para determinar el grado de vulnerabilidad física, y en esta propuesta se plantea la posibilidad de generar un nuevo factor de vulnerabilidad (áreas sin refugio) a través del cálculo del porcentaje de viviendas de baja calidad o infraviviendas sobre el total de hábitáculos existentes en cada departamento de Centroamérica.

Para ello, hay que recurrir a la información contenida en los censos de población y vivienda de los cuatro países centroamericanos. Pero la información censal varía de un país a otro (en la calidad, en el número de variables recogidas, en el nivel de desagregación, etc.); en la mayoría la información disponible y, sobre todo, aquélla que se consideró de interés para la realización de la cartografía de riesgos, aparece, como mucho, desagregada a nivel departamental, muy poca desciende a escala local, municipal. Esto obligó a definir el departamento como unidad de estudio en esta fase del trabajo, a pesar de reconocer la generalización que ello implica.

Para Honduras no se pudo contar con información demográfica del último censo (de 1988) y se debió recurrir a otras fuentes, estimaciones recientes sobre algunas de las características demográficas de mayor relevancia y que más interesaban para este estudio: población total, según edad, población con estudios y analfabeta, número y tipo de vivienda. Todas estas variables, recogidas a nivel de departamentos, pasaron a constituir la base de datos temática que se asociaría a la cobertura de los límites departamentales. Previamente, fue necesaria la adaptación de las tablas y los textos de los censos al formato de base de datos relacional que se emplea en la mayoría de los SIG.

La base de datos recogería también el total de viviendas y de infraviviendas, lo que permitió generar un nuevo mapa factor (áreas sin refugio), resultado de calcular el porcentaje de viviendas vulnerables sobre el total de las que

había en cada departamento centroamericano. Los valores oscilan entre más del 40% de viviendas vulnerables en departamentos como Petén o Alta Verapaz, en Guatemala, o Valle en Honduras, y porcentajes inferiores al 10% (la totalidad de El Salvador, los departamentos centrales de Guatemala, etc.).

El último paso en este proceso lo constituye la normalización de este factor a una escala común, utilizando, al igual que se realizó para los otros factores que intervienen en la vulnerabilidad, un intervalo entre 0 y 1.

d) Determinación de áreas capacitadas

En el cálculo de la vulnerabilidad del territorio ante amenazas naturales es importante también determinar la capacidad que tiene la población para entender lo que está ocurriendo en una situación de emergencia y de seguir las instrucciones de prevención y protección civil. Para ello, este nuevo factor se mide mediante el porcentaje de población analfabeta en cada departamento con respecto al total de población de más de cinco años existente en cada uno de ellos.

El proceso de generación de este factor es igual al seguido para el caso anterior, puesto que se integra la información censal en la base de datos temática de la cobertura de departamentos. En la región, el índice de analfabetismo es muy alto, siempre superior al 10%. Los niveles más elevados (incluso por encima del 40% de la población de más de cinco años) se da en buena parte de los departamentos de Nicaragua y Guatemala.

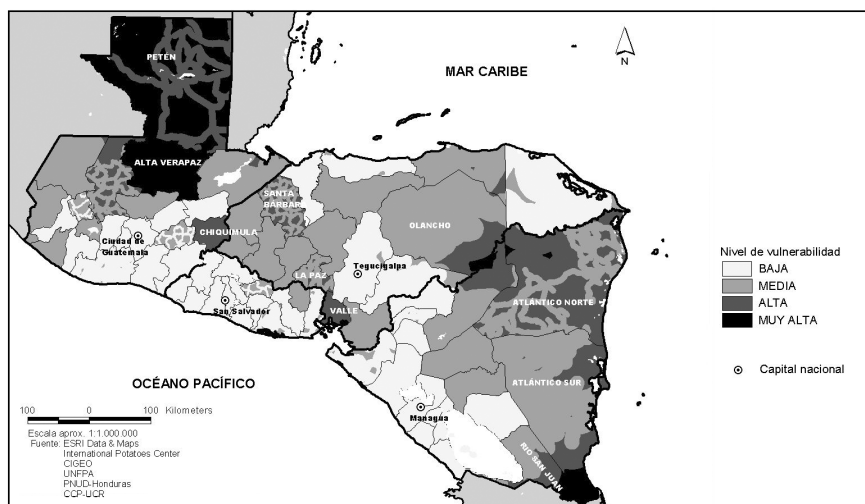
Mapa de vulnerabilidad

Una vez obtenidos todos los mapas factor y normalizados mediante un ajuste lineal entre valores de 0 y 1, el mapa de vulnerabilidad final es el resultado de la suma de todos ellos.

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{áreas evacuables} + \text{áreas ayudables} + \text{áreas sin refugio} + \text{áreas capacitadas}$$

Originalmente con una escala de valores entre 0 y 2,277, para visualizar y hacer más comprensible el mapa de vulnerabilidad (mapa 2), se establecieron cuatro niveles (vulnerabilidad baja, media, alta y muy alta), utilizando los valores de la media y la desviación típica de la distribución.

La vulnerabilidad de Centroamérica muestra valores elevados en zonas del territorio alejadas de infraestructuras y equipamientos importantes para la prevención y la ayuda ante situaciones de emergencia planteadas por desastres de origen natural. Las áreas peor comunicadas, las más alejadas o peor conectadas por la red de carreteras, así como aquéllas con elevados porcentajes de población analfabeta, zonas que se puede suponer que son las menos desarrolladas y de mayor pobreza de la región, son zonas de alta vulnerabilidad: en Guatemala, Petén y Alta Verapaz y partes de Chiquimula; en Honduras, La Paz, Santa Bárbara y Valle y, en menor medida, Olancho y Colón; en Nicaragua, partes importantes de Río San Juan, Jinotega y de la RAAN.



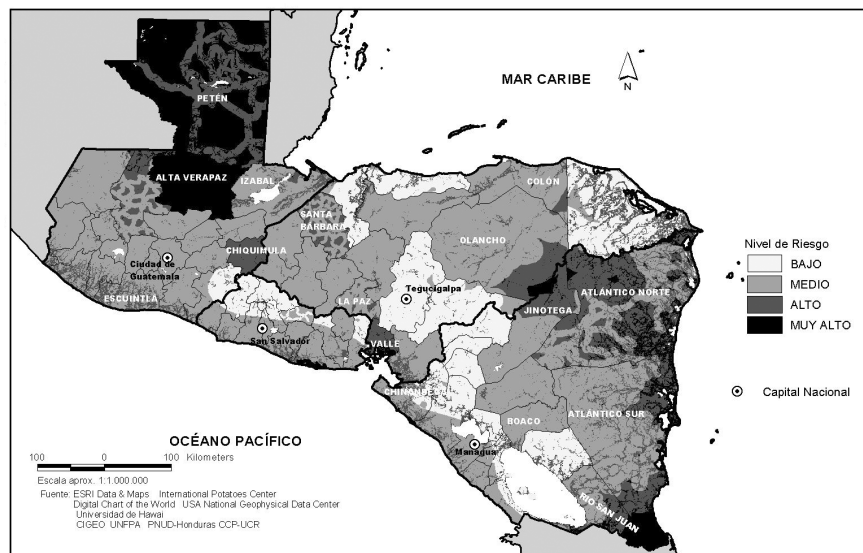
Mapa 2. Vulnerabilidad en Centroamérica.

El riesgo combinado

Ya se ha apuntado que el riesgo es una magnitud que depende de la interacción, entre otros, de la vulnerabilidad y la exposición. Una vez definidos ambos, el último paso de esta propuesta consiste en establecer un método para su integración.

Se optó por utilizar la tabulación cruzada, una opción también integrada en el SIG Idrisi (comando CROSSTAB), mediante la cual podemos obtener las posibles combinaciones entre la información categórica de ambas imágenes. El resultado de esta operación se presenta en una tabla en la cual aparece el número de celdas que cumplen las posibles combinaciones de categorías de exposición y vulnerabilidad. Pero el programa ofrece también como resultado de la tabulación una nueva imagen con un total de veinte categorías (combinación de los tres niveles del mapa exposición y de los cuatro de vulnerabilidad, más los valores 0 en cada uno de ellos). Ese elevado número de combinaciones posibles resulta muy poco intuitivo; por ello, se procedió a su reclasificación para obtener una imagen con cinco niveles de riesgo (Bosque y otros, 2000): *nulo* (zonas del territorio donde la exposición al riesgo y la vulnerabilidad presentan valores nulos); *bajo* (al menos una de las magnitudes presenta valores nulos o ambas valores bajos); *medio* (cuando algunas de las dos variables presenta valores bajos y la otra no supera valores medios); *alto* (una de las magnitudes alcanza valores altos y la otra permanece en medios), y *muy alto* (si exposición y vulnerabilidad alcanzan valores altos).

El mapa 3 muestra la disposición concreta de los diferentes niveles de riesgo en Centroamérica. En mayor o menor medida, todos los departamentos de



Mapa 3. Riesgo físico en Centroamérica.

la región se ven afectados por algún nivel de riesgo. Centroamérica, como se señaló, es una zona conflictiva en cuanto a los riesgos naturales; está sometida a una gran diversidad de fenómenos naturales que, periódicamente, provocan crisis e, incluso, el colapso de la totalidad o de partes importantes del país.

A ello hay que añadir la debilidad que presentan todos estos países en cuanto a su desarrollo socioeconómico, que incide en su capacidad de respuesta ante catástrofes de este tipo: mediocre sistema sanitario, deficiente red de carreteras (que no estructura el territorio como debiera), elevado nivel de analfabetismo, etc. Todo ello convierte a una buena parte de los departamentos centroamericanos en territorios de una alta vulnerabilidad.

Las consecuencias de estos desastres naturales y sus repercusiones en estos países, ya de por sí escasamente desarrollados, son muy negativas y pueden llegar a hipotecar su futuro. Así, todas las acciones encaminadas a la prevención y la preparación para la reducción de la vulnerabilidad del territorio, los daños sobre personas y bienes y, en definitiva, los riesgos deben ser parte fundamental en las estrategias de desarrollo en ésta y en otras muchas regiones del mundo.

El riesgo es elevado en gran parte del territorio de departamentos como Petén, Alta Verapaz, Izabal, Chiquimula y Escuintla, en Guatemala; Santa Bárbara, Valle, La Paz, Olancho, Gracias a Dios y Colón, en Honduras; Jinotega, Regiones Autónomas del Atlántico Norte y Sur y Río San Juan, en Nicaragua. Las principales concentraciones de población (las capitales nacionales y las principales ciudades de la región) se localizan en estas áreas.

Población vulnerable en cada nivel de exposición, vulnerabilidad y riesgo

La propuesta metodológica se verá enriquecida al determinar el volumen de población vulnerable en cada nivel de exposición, vulnerabilidad y riesgo. Además, para las ONGD y otros organismos e instituciones, el conocer las verdaderas dimensiones de esta población puede ser un instrumento de gran utilidad y operabilidad para planificar la prevención y los planes de emergencia ante situaciones de riesgo, así como para plantear programas tendentes a reducir la vulnerabilidad de la población.

La medida de la vulnerabilidad, en sentido estricto, está basada en la población. Pero no sólo en la identificación del volumen de población en situación de riesgo directo de ser afectada por un impacto negativo, sino también en el reconocimiento de que hay determinados grupos de población especialmente vulnerables: los niños, los jóvenes y los ancianos (Zoógrafos y Davis, 1989, citado en Bosque y otros, 1999).

Los censos de población ofrecen información sobre la estructura por edad, y esta información fue incorporada a la base de datos temática del SIG. A partir de ella, se crearon nuevos campos en la tabla de atributos asociada a la cobertura de departamentos para agrupar la población total en tres colectivos: jóvenes (menores de 16 años), adultos (entre 16 y 64 años) y ancianos (de más de 65 años). La población vulnerable de cada departamento resultaría de la ponderación de estos colectivos, tal como se recoge en la siguiente expresión:

$$\text{Población vulnerable} = 2^* \text{ jóvenes} + \text{ adultos} + 2^* \text{ ancianos}$$

Este nuevo campo de la base de datos se puede convertir en una nueva imagen en la que los valores de población vulnerable ponderada oscilaría entre 0 y 2.102.746, una cifra que supera, sin lugar a dudas, el total de la población del departamento más poblado y que debe ser interpretada adecuadamente, como resultado de dicha ponderación.

Utilizando esta imagen y las de exposición, vulnerabilidad y riesgo, y sirviéndose de las posibilidades que ofrece Idrisi, es posible calcular la población vulnerable dentro de cada nivel, para cada departamento.

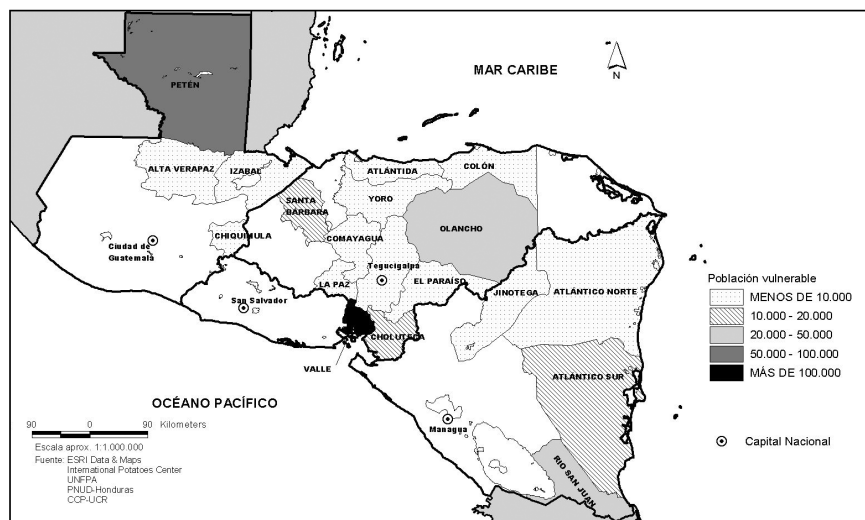
Los resultados pueden visualizarse como tablas y mapas. En la tabla 3, por ejemplo, se recoge la población vulnerable en cada nivel de exposición en El Salvador, y en el mapa 4, el volumen de población vulnerable en Centroamérica dentro del nivel más alto de riesgo. En la página electrónica del proyecto SEDIS, se pueden consultar todos los datos sobre población vulnerable en cada uno de los niveles de exposición, vulnerabilidad y riesgo para cada departamento centroamericano.

Conclusiones

El uso de los SIG, y de otras TIG, en el seno de las ONGD españolas, en concreto en tres de las más importantes, es todavía reducido. No obstante, en su actividad utilizan numerosa información geográfica, por lo que cabe conside-

Tabla 3. Población vulnerable dentro de cada nivel de exposición al riesgo natural. Departamentos de El Salvador.

Departamento	Población vulnerable ponderada (total)	Baja población	%	Media población	%	Alta población	%
Ahuachapán	384.034	23.577	6,14	333.650	86,88	26.395	6,87
Cabañas	206.688	181.635	87,88	21.652	10,48	3.401	1,65
Chalatenango	263.722	251.759	95,46	--	0	11.963	4,54
Cuscutlán	260.591	137.502	52,77	107.692	41,33	15.396	5,91
La Libertad	737.709	142.899	19,37	544.298	73,78	48.933	6,63
La Paz	361.539	--	0	271.584	75,12	88.237	24,41
La Unión	375.697	171.360	4,56	170.364	45,35	31.855	8,48
Morazán	237.449	193.908	81,66	34.951	14,72	8.590	0,36
San Miguel	583.089	113.794	19,52	408.192	70,01	61.103	10,48
San Salvador	2.102.746	504.132	23,97	1.383.342	65,79	215.272	10,24
San Vicente	210.817	75	0,04	188.508	89,42	21.899	10,39
Santa Ana	655.138	561.528	85,71	65.237	9,96	28.373	4,33
Sonsonate	524.799	--	0	452.940	8,63	70.684	13,47
Usulután	450.542	--	0	359.784	79,86	85.815	19,03

**Mapa 4.** Población vulnerable en nivel de riesgo alto. Departamentos de Centroamérica.

rar que podrían mejorar la eficacia de sus acciones incluyendo estas tecnologías en la panoplia de los medios y de las herramientas empleados en su modo de actuar cotidiano.

Esta posibilidad tropieza con un grave problema: la falta de medios de todo tipo para llevar adelante estos cambios y modificaciones que se exigen. Por ello, la primera exigencia es disponer de dichas herramientas en términos de mínimo costo y dificultad.

Uno de los objetivos del proyecto SEDIS ha sido precisamente intentar comprobar si, en la actualidad, es viable disponer de herramientas y datos geográficos que cumplan estas condiciones: baratos (incluso gratuitos), asequibles y fáciles de usar. Con este pretexto, se planteó una propuesta metodológica para elaborar cartografía de riesgos naturales en Centroamérica a partir de la información espacial disponible en Internet.

Nuestras conclusiones sobre todo esto son variadas. Por un lado, es posible encontrar en Internet numerosos datos y programas gratuitos que pueden ser utilizados para resolver el problema antes mencionado. Pero, tanto los programas como los datos disponibles no son sencillos de usar y obtener, ni incluso son asequibles, para una organización que no cuente con algún tipo de personal entrenado y capacitado en estas cuestiones. Una dificultad adicional es la falta de un formato de datos geográficos común a todos los productores y usuarios de datos geográficos.

Las TIG tienen que evolucionar y desarrollarse todavía mucho para que realmente se conviertan en la herramienta sencilla, potente y asequible que muchas organizaciones, como las ONGD estudiadas, necesitan. En este sentido, diversas iniciativas como la desarrollada por numerosos productores de programas SIG: OpenGIS (www.opengis.org), o la de carácter más académico, tendente a la construcción de la denominada Ciencia de la Información Geográfica (www.ucgis.org), pueden favorecer este desarrollo de las mencionadas tecnologías en un futuro más o menos cercano.

Utilizando la información espacial gratuita disponible en Internet, es posible elaborar mapas de cuestiones y temas muy diversos, como cartografía de riesgos, aunque no sin limitaciones. La disponibilidad de dicha información, su accesibilidad, la escala, normalmente grande, los diferentes formatos, etc., ya de por sí condiciona las características de los estudios que se puedan plantear, resultando en muchas ocasiones muy generalista, como en este caso.

El método propuesto asume las limitaciones de la información espacial existente y disponible gratuitamente en Internet. Es cierto que no hay en él aportaciones novedosas a la gestión de los riesgos haciendo uso de los SIG, herramientas que ya han demostrado su aplicabilidad y utilidad en este campo; ésta no era la intención del proyecto ni la de este artículo. Pero, por el contrario, su principal aportación puede ser la de ofrecer a organizaciones como las ONGD una serie de pautas para elaborar con esa información cartografía de riesgos a nivel regional.

Los resultados obtenidos, si bien pueden ser discutibles, ofrecen a estas organizaciones una primera aproximación a la problemática del territorio, y

les pueden servir para fijar sus futuras intervenciones de prevención y planificación en el mismo. En un futuro, estos resultados pueden ser la base para plantear estudios más profundos y a escalas más reducidas.

Bibliografía

- AHAMDANECH ZARCO, I.; BOSQUE SENDRA, J.; PÉREZ ASENSIO, E. (2002). «Vulnerabilidad del territorio ante los riesgos naturales: una propuesta de medición en Honduras tras el paso del huracán Mitch». *Estudios geográficos* (en prensa).
- AYALA-CARCEDO, F.J. (2002). «Capítulo 6. Introducción al análisis y gestión de riesgos». En AYALA; OLCINA (coord.) (2002). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia, p. 133-145.
- BARREDO, J.I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: Ra-Ma.
- BEROGGI, G.E.G.; WALLACE, W.A. (eds.) (1995). *Computer supported risk management*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- BOSQUE SENDRA, J.; GÓMEZ DELGADO, M.; RODRÍGUEZ ESPINOSA, V.M.; DÍAZ MUÑOZ, M.A.; RODRÍGUEZ DURÁN, A.E.; VELA GAYO, A. (1999). «Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, núm. 19, p. 295-323.
- BOSQUE SENDRA, J.; DÍAZ MUÑOZ, M.A.; GÓMEZ DELGADO, M.; RODRÍGUEZ DURÁN, A.E.; RODRÍGUEZ ESPINOSA, V.M. (2000). «Sistemas de información geográfica y Cartografía de riesgos tecnológicos. El caso de las instalaciones para la gestión de residuos en Madrid». *Industria y medio ambiente* (Universidad de Alicante y Grupo de Geografía Industrial de la AGE), p. 315-326.
- CENTRO DE COORDINACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES EN AMÉRICA CENTRAL (CEPREDENAC) (1999). *Plan Regional de Reducción de Desastres-PRRD*, en <www.disaster-info.net/cepredenac/04_temas/prrd/prrd_ind.htm> [Consulta: 25 de marzo de 2002]
- CHATELAIN, J.-C.; GUILLIER, B.; SOURIS, M.; DUPERIER, E.; YEPES, H. (1995). «SIG et évaluation des risques naturels: Application aux risques sismiques de Quito». *Mappemonde*, núm. 3/95, p. 17-22.
- CLARK LABS FOR CARTOGRAPHIC TECHNOLOGY AND GEOGRAPHIC ANALYSIS (1997). *Applications of Geographic Information Systems technology in Environmental Risk Assessment and Management*. <<http://www.idrisi.clarku.edu/10applic/risk>>
- CONSEJO REGIONAL DE COOPERACIÓN AGRÍCOLA Y CONSEJO AGROPECUARIO CENTROAMERICANO (CORECA-CAC) (2000). *Plan Regional de Reducción de Desastres (Plan Básico)*, en <www.coreca.org/vulsac/documentos/vulsac03/> [Consulta: 25 de marzo de 2002]
- DA CRUZ, J. (1991). *Los riesgos son un problema global*. Gotemburgo (inédito).
- GARCÍA HERNÁNDEZ, E.; BOSQUE SENDRA, J. (2001). «Bases de datos cartográficas de cobertura global accesibles on-line», *GeoFocus* (Recursos), Grupo de Métodos cuantitativos, SIG y Teledetección, AGE, Madrid, núm. 1, 2001, p. 5-10. <www.geofocus.org>
- GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. (1993). *Environmental Modelling with GIS*. Nueva York: Oxford University Press, cap. IV. Risk and Hazard Modelling.

- HERNÁNDEZ, M.; FERRER, M.; GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (2000). «Mapa de susceptibilidad del terreno por deslizamientos de Honduras. Escala 1:500.000». *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica (I. Análisis y Gestión de Riesgos)*. Madrid: ITGE y AECI.
- HEWITT, K. (1997). *Regions of risk*. Harlow: Longman.
- JIMÉNEZ MORENO, J.; LAÍN HUERTA, L. (2000). «Gestión de riesgos naturales mediante sistemas de información geográfica en Centroamérica». *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica (I. Análisis y Gestión de Riesgos)*. Madrid: ITGE y AECI.
- LAÍN HUERTA, L. (ed.) (2000). *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Madrid: ITGE y Ediciones AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional).
- LOWRY, J.H.; MILLER, H.J.; HEPNER, G.F. (1995). «A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/US border». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, núm. 11, p. 1347-1359.
- MARTÍN LOECHES, M.; TEMIÑO VELA, J.; BOSQUE SENDRA, J.; PÉREZ ASENSIO, E. (2002). «La reducción de la vulnerabilidad por la Cruz Roja española en Honduras. El caso de la exposición al riesgo de inundación y erosión potencial». *II Jornadas sobre sistemas de información geográfica en riesgos geológicos y medio ambiente*. Madrid, 14-15 de noviembre de 2002. Instituto Geológico y Minero de España, p. 169-178.
- MCMMASTER, R.B.; LEITNER, H.; SHEPPARD, E. (1997). «GIS-based environmental equity and risk assessment; methodological problems and prospects». *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 24, núm. 3, p. 172-189.
- MOPT (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid: Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones del MOPT.
- OLCINA CANTOS, J.; AYALA-CARCEDO, F.J. (2002). «Capítulo 1. Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación». En AYALA; OLCINA (coords.) (2002). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia, p. 41-73.
- OLCINA CANTOS, J.; PÉREZ GARCÍA-TORRES, A.P. (2002). «Capítulo 42. Riesgos climáticos en el ámbito intertropical: Ciclones tropicales y lluvias monzónicas», en AYALA; OLCINA (coords.) (2002). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia, p. 757-796.
- ORDÓÑEZ, A.; TRUJILLO, M.; HERNÁNDEZ, R. (1999). *Mapeo de riesgos y vulnerabilidad en Centroamérica y México. Estudio de capacidades locales para trabajar en situaciones de emergencia*. Managua: OXFAM.
- ORTEGA ALBA, F. (1991). «Incertidumbre y riesgos naturales». *Ponencias del XII Congreso Nacional de Geografía*. Valencia, p. 99-108.
- PNUMA-PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (2003). *GEO América Latina y Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003*. Oficina Regional para América Latina y Caribe, Ciudad de Méjico <[www.onu.org.cu/uunn/sistemas.html](http://www.onu.org.cu/uunn/sistemas/html)> [Consulta: 13 de julio de 2002]
- STEIN, A.; STARITSKY, I.; BOUMA, J.; VAN GROENIGEN, J.W. (1995). «Interactive GIS for environmental risk assessment». *International Journal Geographical Information Systems*, vol. 9, núm. 5, p. 509-525.
- UNAMUNO GANDIAGA, A. (2001). *Determinación de vertidos líquidos a partir de modelos digitales del terreno*. Trabajo de fin de carrera. Escuela Politécnica. (inédito). Universidad de Alcalá de Henares.
- ZEIGLER, D.J.; JOHNSON, J.H.; BRUNN, S.D. (1983). *Technological hazards*. Washington, AAG: Resource Publications in Geography.