GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

TRABAJO FIN DE GRADO (G201)

Contribución de los SIG al estudio de los riesgos naturales. El caso de Haití.

GIS contribution to the study of natural hazards. The case of Haiti.

Directora TFG: Olga de Cos Guerra

Autor: Luis García Martínez

21/06/2013

RESUMEN

La Geografía es una ciencia que se orienta al estudio de diferentes campos o ámbitos; dos de ellos son los Sistemas de Información Geográfica y los Riesgos Naturales. Así, este trabajo trata de explorar las aportaciones que los SIG pueden hacer para el enriquecimiento de los estudios aplicados a los Riesgos Naturales.

Los Sistemas de Información Geográfica son una potente herramienta que permite almacenar, editar, gestionar y analizar información de carácter geográfico y, además, elaborar cartografía representativa que puede ser útil para una mejor comprensión de un determinado hecho.

El empleo de esta tecnología para el estudio y gestión del medio natural supone un factor de desarrollo importante que contribuye a que la toma de decisiones en esta materia sea la adecuada. Además, el latente desarrollo de los SIG libres permite que cualquier persona pueda acceder sin ningún tipo de restricción tanto a la consulta como a la elaboración de cartografía.

Los servidores cartográficos más utilizados en este trabajo son DIVA-GIS y Geofabrik (*OSM*), aunque parte de la cartografía empleada se ha obtenido a través de Geocommons, un servidor en el que se puede encontrar cartografía referente a distintas temáticas y con diferentes orígenes.

Para el desarrollo de este proyecto se han empleado diversas herramientas de análisis espacial mediante el software libre gvSIG, como por ejemplo diferentes buffer de proximidad o pendientes, sin embargo, la técnica con la que culmina todo el proceso es aquellas en la que convergen las variables más importantes, la evaluación multicriterio.

El caso que se ha utilizado como laboratorio es el de Haití; este país se ubica en un área donde el riesgo sísmico es especialmente elevado debido, por un lado, a la alta peligrosidad motivada por la cercanía al borde entre las placas Caribe y Norteamericana y, por otro, a la presencia de espacios como Puerto Príncipe, donde se dan grandes densidades de población.

El 12 de Enero de 2010 ese riesgo se convirtió en una catástrofe natural que tuvo consecuencias muy importantes a nivel económico y social, siendo el resultado unos 300.000 fallecidos y alrededor de 1.500.000 damnificados. La recuperación total del país será especialmente difícil en un contexto de crisis económica como el que vivimos.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Riesgos Naturales, Terremoto, Haití, Evaluación Multicriterio.

ABSTRACT

Geography is a science focused on the study of different fields or areas; two of them are Geographic Information Systems and Natural Hazards. Thus, this project attempts to explore the contributions that GIS can do for the enrichment of the studies applied to Natural Hazards.

Geographic Information Systems are a powerful tool which allows to store, edit, manage, and analyze geographical information and, also setting up representative cartography which can be useful for a better understanding of a particular event.

The use of this technology for the study and management of the natural environment is an important factor of development which contributes to make the adequate decisions in this area. In addition, the latent free GIS development allows anyone to access without any restriction as to the query as to the development of cartography.

The most used cartographic servers in this work are DIVA-GIS and Geofabrik (*OSM*), although part of the cartography used was obtained through Geocommons, a server in which can be found cartography regarding different topics and with different backgrounds.

For the development of this project it has been used different tools of spatial analysis using the free software gvSIG, such as for example, different buffer of proximity or slope. However, the technique with which culminates the whole process is that in which the most important variables converge, the multicriteria evaluation.

The case which has been used as a laboratory is Haiti, this country is located in an area where seismic risk is especially high because of, on the one hand, the highly dangerousness due to the proximity to the boundary between the Caribbean and North American plates and secondly, the presence of places like Port Prince, where there are large densities of population.

The January 12, 2010 that risk became a natural disaster which had an important impact on the economy and society. As a result, more than 300,000 people died and about 1.5 million people were affected by the catastrophe. The total recovery of the country will be particularly difficult in the context of economic crisis in which we live.

KEY WORDS: Geographic Information Systems (GIS), Natural Hazards, Earthquake, Haiti, Multi-criteria Evaluation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

BLOQUE 1. INTRODUCCIÓN....4

1. Fines y objetivos....4

2. Marco teórico....5

2.1. ¿Qué es un SIG? ¿Qué papel juegan los SIG libres?....5

2.2. ¿Qué son los Riesgos Naturales?....7

2.3. El uso de los SIG en el ámbito de los Riesgos Naturales....9

3. Presentación del ámbito de estudio....9

BLOQUE 2. DESARROLLO....15

4. Fuentes....15

4.1. Fuentes estadísticas....15

4.2. Bases cartográficas....16

5. Metodología....18

5.1. Metodología general....18

5.1.1. Etapa de documentación....18

5.1.2. Etapa de diseño e implementación....19

5.1.3. Etapa de análisis y diagnóstico....19

5.1.4. Obtención de resultados y conclusiones....20

5.2. Metodología específica....20

5.2.1. Entrada de datos....20

5.2.2. Análisis espacial....21

5.2.3. Gestión de datos....22

6. Análisis....22

6.1. Peligrosidad sísmica en Haití....25

6.2. Vulnerabilidad ante el riesgo sísmico en Haití....28

7. Diagnóstico....33

BLOQUE 3. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS....37

BLOQUE 4. BIBLIOGRAFÍA....39

ÍNDICE DE FIGURAS....41

ÍNDICE DE TABLAS....42

BLOQUE 1. INTRODUCCIÓN

¿Son útiles los SIG para el estudio de riesgos naturales?

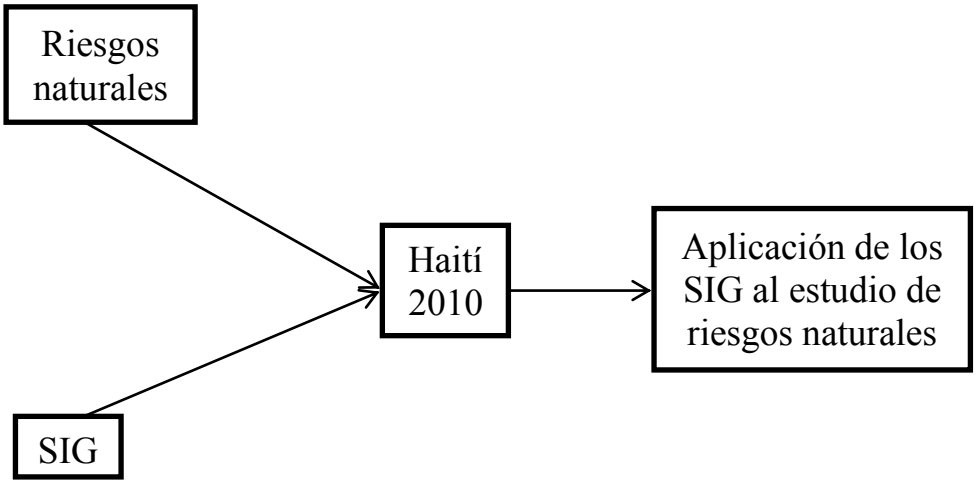
1. FINES Y OBJETIVOS

Este estudio tiene como finalidad principal tratar de explorar las posibilidades de los Sistemas de Información Geográfica, en especial los SIG libres, para el trabajo con variables espaciales en casos de catástrofes naturales, con especial referencia a cartografía distribuida vía Web, también de uso libre.

De esta forma, se intenta reflejar cómo dos campos de la Geografía pueden apoyarse mutuamente y enriquecer así las aportaciones en ambas materias.

Así, se parte de la hipótesis de que los Sistemas de Información Geográfica constituyen una herramienta fundamental para el estudio de los riesgos naturales; para argumentarlo, se ha utilizado como caso de estudio un suceso que tuvo una amplia repercusión: el terremoto de Haití del año 2010.

Figura 1.1 – Marco conceptual y temático del trabajo



Fuente: Elaboración propia.

Tras este suceso, la situación que se vivió en el país fue extremadamente caótica, no sólo por el propio terremoto, sino también por la inexistencia de cartografía adecuada, lo que dificultó notablemente las labores de rescate y la actividad de los diferentes servicios de emergencia.

Esta cartografía era necesaria para los propios agentes locales pero, sobre todo, resultaba fundamental para el personal externo vinculado a las distintas organizaciones que, por ejemplo, no sabía qué carretera le llevaba al hospital más cercano, dónde estaban los campamentos de refugiados...

Posteriormente, a medida que la situación se estabilizaba, personas –principalmente cooperantes- que estaban socorriendo y ayudando a reconducir la situación, comenzaron a cartografiar todos aquellos elementos que consideraban importantes, desde un semáforo vial hasta un edificio derruido[1].

Todo ello fue divulgado a través de la plataforma *Open Street Map*, una iniciativa sin ánimo de lucro que tiene por objetivo generar y distribuir datos geográficos libres, de forma que cualquier usuario que lo necesite pueda utilizarlos sin ningún tipo de cargo económico. Dicha utilización podía y puede realizarse tanto a través de su visualizador, como mediante la descarga de las capas en formato SIG.

Éste es el objetivo principal y más relevante, que se complementa con nuevos resultados que de él se derivan y que podrán calificarse como secundarios.

En este sentido, uno de los retos relevantes es el de sistematizar e integrar cartografía digital procedente de diferentes fuentes, como es el caso de la obtenida a través de Geofabrik (*Open Street Map*), DIVA-GIS o CGIAR.

De la misma manera, el desarrollo de este proyecto implica la creación de un SIG que habilite la aplicación de herramientas de análisis espacial y posibles consultas. El objetivo es que no sólo sea útil durante la elaboración del trabajo sino también ante eventuales situaciones e incertidumbres que pudieran generarse.

2. MARCO TEÓRICO

Para poder llevar a cabo un proyecto de la forma más rigurosa posible, es necesario establecer previamente un marco teórico que siente las bases conceptuales del trabajo. Tal y como el propio título indica, este estudio se centra en la posibilidad de combinar dos ramas de trabajo de la Geografía: la de los Sistemas de Información Geográfica y la del estudio de los Riesgos Naturales.

Así, dado que en el resto del documento se abordará de forma conjunta cuestiones técnicas y metodológicas de los SIG en relación con los aspectos geográficos de los riesgos naturales, en este apartado se explica brevemente qué significa cada uno de estos términos y, posteriormente, se exponen con un enfoque teórico las posibilidades que ofrece la combinación de estos dos campos.

2.1. *¿Qué es un Sistema de Información Geográfica? ¿Qué papel juegan los SIG libres?*

Siguiendo lo establecido por Víctor Olaya en su trabajo "Sistemas de Información Geográfica" (2011), un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que ha de permitir realizar las siguientes funciones:

- Visualización, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos (consultas, modelos…).

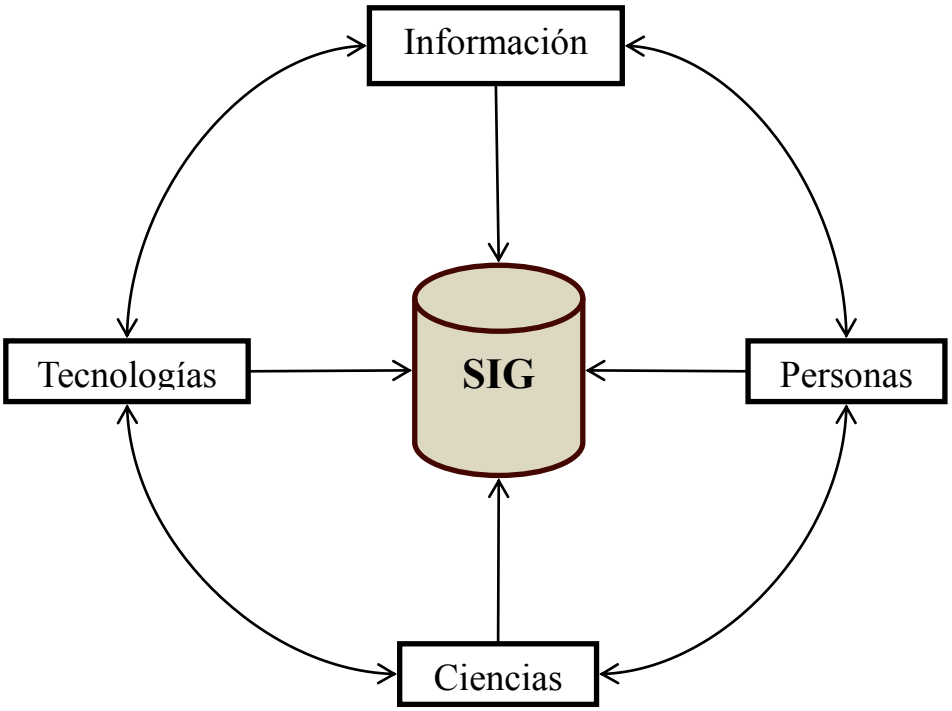
[1] CRESPO, J. 2011. *Charla OSM* [Vídeo]. Universidad de Deusto. Disponible en: http://blogs.deusto.es/deustotech/page/2/ [Consulta: 19 de Febrero de 2013].

– Generación de resultados (mapas, informes, gráficos…).

Así, un SIG es un sistema que integra o engloba distintos componentes que están relacionados entre sí. Estos componentes son los siguientes:

– *Información*: La información es el elemento básico para el funcionamiento de un SIG, y de su validez y precisión dependerá la mayor o menor utilidad del SIG.
– *Tecnologías*: Los SIG son, hoy en día, la herramienta más utilizada para la gestión de resultados y elementos producidos por diferentes tecnologías. Esto pone de manifiesto la importancia de la componente espacial de la información.
– *Personas*: Es mucha y muy diversa la información georreferenciada existente y, por tanto, serán muchos y de perfil variado los usuarios potenciales de los SIG como herramienta.
– *Ciencia*: un SIG aúna diferentes disciplinas científicas en un solo componente, de forma que, por ejemplo, la estadística, la Geología, la Ecología, la Geografía o la Sociología están incluidas en el concepto SIG.

Figura 1.2 – Componentes de un SIG



Fuente: Elaboración propia a partir de Olaya, 2011: 15

En cuanto a los componentes en los que se divide un Sistema de Información Geográfica, existe una división clásica que establece que son 5 las partes que lo conforman: datos, procesos, visualización, tecnología y, por último, el factor organizativo; sin embargo, esta estructura puede ser simplificada en base a 3 subsistemas:

– *Subsistema de datos:* Encargado de la entrada, salida y gestión de los datos.
– *Subsistema de visualización y creación cartográfica:* Permite la representación de los datos, la interacción con ellos y las labores de edición.

– *Subsistema de análisis:* Aporta los métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

En cuanto a programas informáticos, hay que precisar que existen dos tipos fundamentales de software SIG, los SIG comerciales y los SIG libres. Los SIG comerciales son aquellos por cuyo uso se ha de pagar una licencia, normalmente válida durante un año. Existen diversos ejemplos como ArcGis o MapInfo.

Por su parte, los SIG libres son aquellos que podemos utilizar de forma gratuita y sin licencia previa alguna. Generalmente están desarrollados por instituciones u organismos sin ánimo de lucro y podemos distinguir algunos como JUMP, Kosmo, SEXTANTE o gvSIG.

Para este estudio se ha elegido gvSIG debido a que se trata de un producto afianzado debido a una buena combinación entre herramientas y facilidad de uso. Así, soporta los formatos más habituales, tiene un gran potencial a nivel vectorial y ha mejorado bastante el raster[2].

2.2. *¿Qué son los Riesgos Naturales?*

A priori puede parecer sencillo definir el concepto de "riesgo natural"; sin embargo, es un término que frecuentemente lleva a confusión y, por ello, es necesario tener claro a qué nos referimos cuando lo utilizamos.

El concepto de "riesgo" surge a partir de la conjunción de los términos "vulnerabilidad" y "peligrosidad"; así, el peligro podría definirse como *"el fenómeno o proceso de carácter natural que puede originar daños a una comunidad, a sus actividades o al propio medio ambiente"* (Olcina Cantos, 2006). De este modo, el peligro será mayor o menor dependiendo de la magnitud del evento y de la probabilidad de que ocurra.

Por su parte, el concepto de vulnerabilidad se refiere a la pérdida más o menos esperable de un determinado bien, pudiendo tratarse de vulnerabilidad humana, estructural, económica o ecológica (Olcina Cantos, 2006). De esta forma, la vulnerabilidad refleja la capacidad que tiene la sociedad para hacer frente a aquellos fenómenos naturales que implican un riesgo. Además, como la vida humana es el bien más vulnerable y más apreciado, se trata de un concepto exclusivamente social, que mide el grado de adaptación humana.

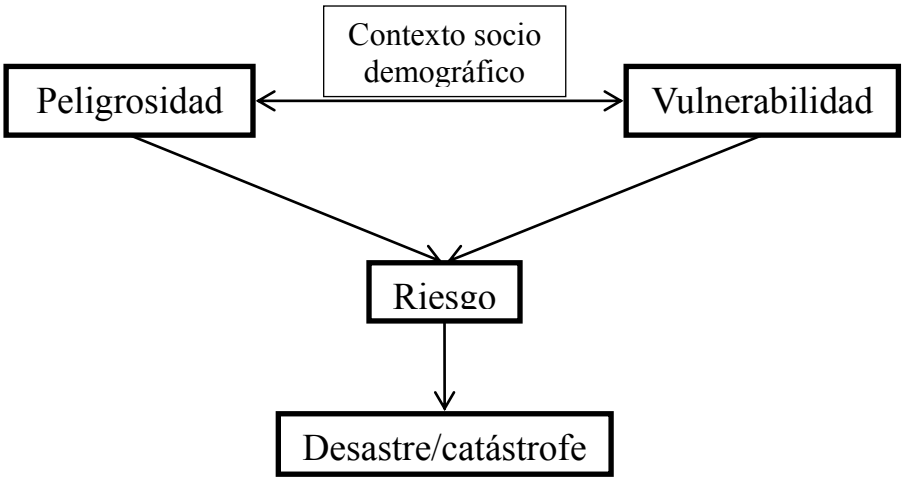
Como consecuencia de lo anterior, se puede definir el concepto de "riesgo natural" como la probabilidad de que un acontecimiento negativo se produzca, siendo susceptible de causar daños a personas y/o a bienes. Este término tiene, por tanto, una dimensión sociocultural, al ser la expresión de la inadaptación al medio.

[2] GILAVERT MARGALEF, J.; PUIG POLO, C. 2013. "Estudio comparativo de herramientas SIG libres aplicadas a contextos de cooperación al desarrollo". *SIGTE; II Jornadas de SIG libre*. Girona. Disponible en: http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1166/PuigGilavert_Art.pdf?sequence=1 [Consulta: 15 de Mayo de 2013].

En última instancia, el "desastre" o "catástrofe" supone la materialización del riesgo produciendo daños o pérdidas (económicas o humanas).

Mediante el siguiente gráfico se puede observar de una manera más simplificada la secuencia anteriormente descrita:

Figura 1.3 – Factores condicionantes de las catástrofes naturales



Fuente: Elaboración propia a partir de Fernández Garrido, 2006: 44

El presente trabajo trata los riesgos naturales, centrándose especialmente en el caso de Haití, donde, como ya se ha señalado, se produjo un importante terremoto. Por ello es preciso tratar de definir con mayor detenimiento estos fenómenos para centrar mejor el desarrollo de este estudio.

Así, los terremotos son rupturas bruscas en conjuntos rocosos que se producen por las tensiones generadas por el movimiento de las placas tectónicas (Olcina Cantos, 2006). Esta ruptura permite la liberación de tensiones acumuladas. Paradójicamente, los terremotos son movimientos muy bruscos pero los desplazamientos de las placas que los originan son muy lentos.

Cuando se produce un terremoto, la roca se rompe y genera una falla y, con ello, se crea una zona de fractura, de debilidad. Como consecuencia, lo normal es que los próximos movimientos se produzcan en torno a esa falla.

Los terremotos producen desplazamientos que pueden ir desde los pocos milímetros hasta las decenas de metros, mientras que las fallas que generan pueden tener desde unos pocos metros hasta millares de kilómetros.

Cuando hay una repetición de terremotos sobre las grandes fallas se produce una descomposición de las fracturas mayores, formándose otras más pequeñas llamadas

fallas secundarias, cada una con su propio dinamismo. Así, puede haber diversos tipos de contacto entre placas:[3]

- *Dorsales:* contacto distensivo por el ascenso del magma.
- *Subducción*: una placa oceánica se mete debajo de otra continental.
- *Fallas transformantes:* un bloque se desliza sobre otro en forma de cizalla.

2.3. *El uso de los SIG en el ámbito de los Riesgos Naturales.*

Desde la creación en los años 70 del siglo XX del "Canadian GIS" la importancia y utilidad de los SIG para los estudios medioambientales y de riesgos naturales ha ido creciendo y evolucionando hasta convertirse hoy en día en una herramienta básica y fundamental.

Así, son muy numerosos los proyectos que estudian la aplicabilidad de los SIG para la planificación medioambiental (Harris et al., 1993), los Estudios de Impacto Ambiental (Vicens y Orduña, 2004) y, por último, los riesgos naturales (Díaz y Hernández, 2004). Estos análisis atañan a todo tipo de riesgo natural, es decir, riesgos morfológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos e, incluso, biológicos[4].

Referido al caso de los riesgos sísmicos, los SIG han permitido recopilar, almacenar, procesar y analizar gran cantidad de datos e información. Así, a través de la creación de un *shape* de eventos podemos georreferenciar todos los movimientos sísmicos necesarios y asociar a ellos toda la información que consideremos relevante, de forma que la cantidad de datos disponible puede ser prácticamente ilimitada.

Los Sistema de Información Geográfica, como potente herramienta de análisis espacial, nos permiten realizar diferentes consultas y procesar la información, de modo que podremos elaborar cartografía que transforme los datos iniciales en información cualitativa fácilmente analizable para cualquier experto.

Éste trabajo ha seguido fundamentalmente el estudio realizado por Diana Yolima Jiménez Jara, "Sistema de Información Geográfica de deslizamientos inducidos por sismo" (2011), sin embargo, hay otros importantes ejemplos de aplicación como los de Miles y Ho (1999), Miles y Keefer (2007) o Delgado et al. (2004).

3. PRESENTACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

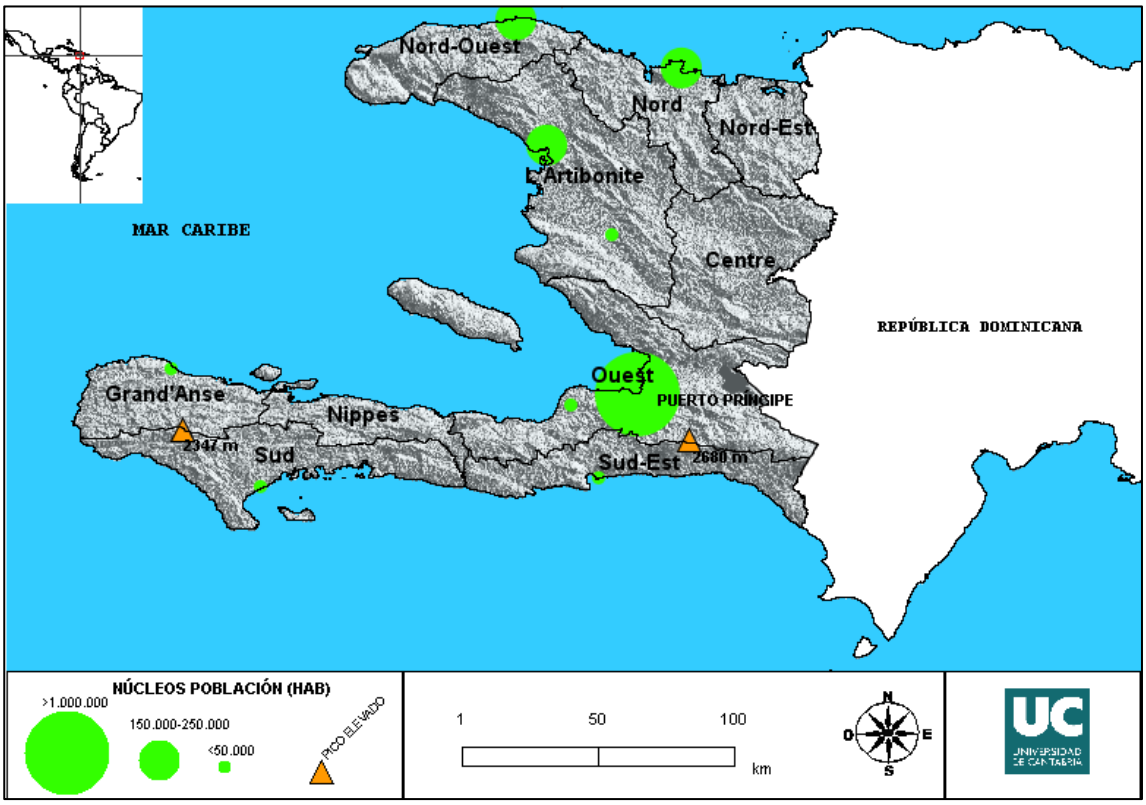
La República de Haití (19º N 72º 25´O) es un Estado ubicado en América Central que ocupa aproximadamente 1/3 de la Isla de la Española, la cual comparte con la República

[3] BOLT, Bruce A. 1981. *Terremotos*. Reverté, Barcelona.

[4] CONESA GARCÍA, Carmelo. 2004. "Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección". En CONESA, C; ÁLVAREZ, Y; MARTÍNEZ, J.B (Ed.) *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección.* Murcia: Universidad de Murcia, vol. 1, pp. 11-21.

Dominicana. Limita al Norte con el Océano Atlántico, al Oeste y al Sur con el Mar Caribe y, por último, al Este con la propia República Dominicana.

Figura 1.4 – Encuadre geográfico de Haití



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y CGIAR

En cuanto a su superficie, se trata de un país de pequeño tamaño, ya que tan sólo cuenta con 27.750 km^2, es decir, ocupa el número 148 del mundo en este aspecto (CIA, 2013). Desde el punto de vista geológico, Haití se encuentra inmerso en un conjunto de fallas originadas por el movimiento de la Placa del Caribe y la Placa Norteamericana, algo que ha tenido unas consecuencias desastrosas para este país.

Respecto a su orografía, Haití presenta un relieve bastante enérgico, con elevaciones destacables como los montes Negros, la cordillera de Matheux o los macizos de la Selle (2.680 m) y la Hotte (2.347 m).

El área de estudio se enmarca dentro de un clima Tropical en el que destacan unas temperaturas medias elevadas todo el año (alrededor de los 27ºC) y unas precipitaciones que, aunque variables, son muy abundantes (más de 1.000 mm anuales), principalmente en otoño y, sobre todo, en primavera.

Desde una perspectiva demográfica, algunos datos representativos muestran las características del país. Así, la población total asciende a 9.893.934 habitantes (CIA, 2013), de lo que se deriva que Haití tiene una densidad de 356,63 hab/km^2, una cifra que lo sitúa como uno de los países más densamente poblados del mundo si exceptuamos casos excepcionales como Macao, Mónaco, Singapur, Hong Kong...

La esperanza de vida es propia de un país en vías de desarrollo, ya que apenas alcanza los 63 años (CIA, 2013); esto no se debe a una única circunstancia, sino que son muchos los motivos que pueden originarlo.

El primero de ellos es económico, y es que es uno de los países con menor renta per cápita del mundo, tan sólo 1.300$ al año y por persona (CIA, 2013), de modo que se sitúa al nivel de los países africanos más pobres como Liberia, Etiopía...

Una nueva causa, que se deriva directamente de la anterior, es de índole social, ya que la tasa de alfabetización es de un 52,9% (CIA, 2003). Esto se debe a que los haitianos no tienen, en general, posibilidad de financiarse los estudios, ni siquiera los más básicos.

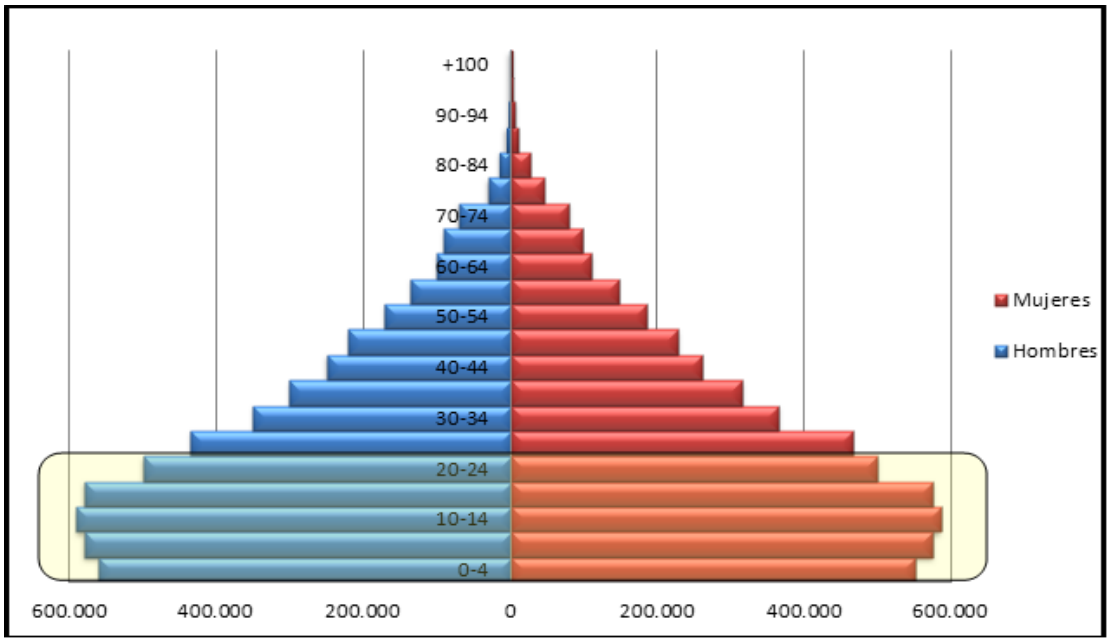
Por último se puede argumentar que hay una razón sanitaria, y es que en un país tan pobre la cobertura sanitaria y los medios higiénicos son escasos, lo cual favorece la propagación de enfermedades graves como el SIDA, la tuberculosis o el cólera, que se cobran abundantes víctimas mortales todos los años.

La coexistencia de todos estos motivos hace que la mayoría de la población de Haití sea relativamente joven, de modo que la edad media es una de las más bajas del mundo, con algo menos de 22 años (CIA, 2013).

Así, más de la mitad de la población tiene menos de 25 años (56 %), alrededor del 35% está entre los 25 y los 54 y tan sólo un 9% consigue sobrepasar los 55 años.

Todos estos datos se ven de una manera mucho más precisa a través de una representación gráfica, en este caso una pirámide poblacional que presenta una estructura progresiva y en la que aparece destacada en amarillo la población joven.

Figura 1.5 – Estructura demográfica de Haití por grupos quinquenales de edad y sexo. 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de datos CIA

En lo referente a la actividad económica, Haití es, como ya se ha mencionado, un país muy pobre, uno de los que más; esto se debe, en cierta medida, a su elevada tasa de paro (40,6% en 2010 según la CIA). La consecuencia directa es que aproximadamente el 70% de la población vive alrededor del umbral de la pobreza.

Así, la escasa población que tiene empleo se distribuye de manera muy desigual entre los tres sectores económicos. Por un lado, a priori puede contrastar que, tratándose de un país tan pobre, presente una población activa en el sector servicios propia de cualquier país desarrollado (50,4%); la razón parece estar en que este país está haciendo del turismo uno de sus principales activos para revitalizar la economía[5]. Además, la población dedicada al sector industrial es bastante escasa (11,5%), algo se debe a que nunca ha contado con un desarrollo del sector secundario suficientemente relevante. Por último, hay una importante proporción de población dedicada a la agricultura (38,1%); sin embargo, generalmente no se trata de una agricultura destinada al comercio, sino que tiene como objetivo el autoabastecimiento.

Respecto al sistema de asentamientos de población, Haití cuenta con una densa red de entidades de pequeño tamaño que se distribuye de manera bastante uniforme por todo el país; sin embargo se trata de asentamientos con una población escasa, de forma que son unos pocos núcleos los que concentran la mayor parte de los habitantes.

Así, destaca sobre las demás Puerto Príncipe, la capital, que cuenta con más de un millón de habitantes y que se configura como el principal centro de actividad económica y negocios del país.

En un segundo nivel en cuanto a importancia y población aparecen Cap-Haitien, Port de Paix, Gonaives, con entre 150.000 y 250.000 habitantes y, por último, aparecen otras ciudades con menos de 50.000 habitantes como L´Artibonite o Légoâne.

En concordancia con el nivel económico, Haití presenta una red de comunicaciones muy deficiente, con una red de carreteras poco densa y, en su mayoría, sin pavimentar.

El aeropuerto principal es el Aeropuerto Internacional Toussaint Louverture, ubicado en Puerto Príncipe y con una capacidad de carga muy pequeña, tanto de pasajeros como de mercancías. Esto provocó que durante el terremoto de 2010 se produjera un colapso en el mismo debido a que apenas quedaba espacio para el despegue y aterrizaje de los aviones.

Respecto a la conexión marítima, este país cuenta con 4 puertos principales, el de Cap-Haitien, Gonaives, Jacmel y Port au Prince, siendo este último el de mayor tráfico.

La conjunción de todas estas características hacen que Haití sea un área de riesgo importante; primero porque el hecho de encontrarse prácticamente en la zona de contacto de dos placas litológicas de gran tamaño lo convierte en una zona especialmente peligrosa y, segundo, porque se trata de un país con pocos medios económicos para afrontar cualquier evento extraordinario. Además, no goza de unos instrumentos desarrollados de planificación territorial, por lo que no se ha tenido en cuenta el importante peligro natural al que está sometido el país, lo cual provoca que se trate de un área especialmente vulnerable.

[5] *Haití apuesta por el turismo para revitalizar la economía*. La Vanguardia. Disponible en: http://www.lavanguardia.com/viajes/20130502/54371736423/haiti-apuesta-turismo-revitalizar-economia.html [Consulta: 2 de Mayo de 2013]

Como se ha mencionado en el marco teórico, cuando el riesgo se materializa en un suceso o acontecimiento negativo, hablamos de un desastre o una catástrofe. Esto es lo que sucedió en Enero de 2010 en Haití.

Así, a las 16:53 del día 12 de Enero de 2010, un seísmo de algo más de 7 grados en la escala de Richter sacudió al país, fundamentalmente a su capital, Puerto Príncipe. El terremoto es el más fuerte en la isla de La Española desde 1946, año en que se produjo uno de 8,1 grados. Por otro lado, hubo gran cantidad de réplicas que, aunque fueron de menor intensidad, causaron gran cantidad de daños y caos en las calles.

Siempre es difícil establecer un número definitivo de víctimas, más aún cuando se habla de un país que no cuenta con un instituto de estadística demasiado desarrollado, sin embargo, las estimaciones superan los 300.000 muertos, 350.000 heridos y alrededor de 1.500.000 damnificados. Puerto Príncipe quedó derruido prácticamente en su totalidad y fueron muchas las personas quedaron sin techo y se vieron obligados a acudir a campamentos de refugiados.

Figura 1.6 – Destrucción y personas sin hogar tras el terremoto de Haití

Fuente: RTVE.es. Noticias. 13/01/2010. Disponible en: http://www.rtve.es/noticias/20100113/miles-heridos-deambulan-por-horror-haiti-mientras-temen-mas-100000-muertos/311820.shtml [Consulta: 13 de Marzo de 2013]

La comunidad internacional respondió rápidamente, de forma que casi todos los países enviaron ayuda humanitaria en función de sus posibilidades[6].

La Unión Europea en su conjunto ha comprometido más de 500 millones de Euros en ayudas a los haitianos y ha enviado cientos de soldados y policías para restablecer el orden.

[6] *Terremoto en Haití: la UE coordina la ayuda*. Comisión Europea. Disponible en: http://ec.europa.eu/news/external_relations/100118_es.htm [Consulta: 15 de Mayo de 2013]

En Estados Unidos se creó el "Clinton-Bush Haiti Fund", que se autodefine como una organización sin ánimo de lucro creada a partir del acuerdo entre George W. Bush, Bill Clinton y Barack Obama para ayudar a la reconstrucción del pueblo haitiano y a la creación de un futuro para el mismo[7].

Esta fundación creció a partir de donaciones individuales y colectivas por parte de empresas y otras organizaciones sin ánimo de lucro y ello ha permitido llevar a cabo importantes inversiones dedicadas al desarrollo de pequeñas empresas, formación para el empleo de la población y responder ante situaciones de necesidad que por cualquier motivo no hayan podido ser satisfechas.

Además, se envió una importante cantidad de soldados, algo que incluso llegó a despertar sospechas entre otros países como, por ejemplo, Cuba. En este sentido, una sección de la sociedad cubana considera que Estados Unidos ha aprovechado la situación de caos en Haití con el fin de lograr una invasión militar[8].

A nivel de Organizaciones No Gubernamentales, fueron muy numerosas las que acudieron y entre ellas estaban las más conocidas como Intermon Oxfam, Médicos Sin Fronteras o Cruz Roja entre otras.

[7] *Clinton-Bush Haiti Fund*. Disponible en: http://www.clintonbushhaitifund.org/ [Consulta: 20 de Mayo de 2013]

[8] *Haití: Estrategia del caos para una invasión*. Cubadebate. Disponible en: http://www.cubadebate.cu/especiales/2010/01/19/haiti-estrategia-del-caos-para-una-invasion/ [Consulta: 15 de Mayo de 2013]

BLOQUE 2. DESARROLLO

La información como base para la toma de decisiones

4. FUENTES

Para la elaboración de este trabajo ha sido necesaria la consulta de numerosas fuentes de información y el rastreo de fuentes a partir de informes. Algunas de ellas son de carácter estadístico mientras que otras son de índole cartográfica.

4.1. *Fuentes estadísticas*

Este apartado se organiza en base a los organismos consultados, estableciendo en cada uno de ellos una breve descripción de la fuente así como una explicación de la información concreta que se ha utilizado.

- ***Central Intelligence Agency*** (https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ha.html). La página de la CIA estadounidense ha sido la principal fuente de datos estadísticos en este estudio. Esto se debe a que se trata de un organismo que cuenta con una importante base de datos de cualquier país del mundo. Por tanto, cuenta con información que se ajusta a lo necesario para este trabajo, actualizada y de calidad.

  Así, dentro del apartado denominado como "The world factbook" se puede encontrar información referente a cualquier país del mundo que se desagrega en diferentes aspectos o temas.

  Inicialmente aparece una breve introducción en la que se hace referencia a la evolución histórica del país en cuestión; posteriormente, se ofrecen datos de carácter geográfico relativos, por ejemplo, a su localización, coordenadas, superficie, altitud... Seguidamente se encuentra un punto denominado "People and Society" en el que aparecen datos e indicadores referidos a la natalidad, la mortalidad, la educación...

  Un nuevo apartado está dedicado al gobierno, donde se refleja la capital del país, la forma de gobierno, la constitución... Del mismo modo se encuentra otro apéndice referente a la economía del país, con la distribución de la población por actividad, PIB...

  Otro conjunto ofrece datos relativos a la energía, al consumo de energía eléctrica, petróleo...

  Los dos siguientes apéndices hacen referencia a la disponibilidad de comunicaciones (teléfono, internet...) y al transporte, es decir, aeropuertos, puertos, estaciones ferroviarias...

  Por último aparecen dos secciones dedicadas al ámbito militar (gasto, número de soldados...) y a temas actuales de interés nacional, como las drogas o conflictos internacionales.

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado los siguientes datos procedentes de esta fuente:

Tabla 2.1 – Información extraída de la CIA

Demografía	Población total | Población por sexo y edad | Esperanza de vida
Economía	Renta per cápita | Tasa de paro| Población activa por sector económico
Geografía	Superficie
Sociedad	Tasa de alfabetización
Transportes	Aeropuertos | Puertos | Vías de comunicación

Fuente: Elaboración propia

- ***USGS*** (http://earthquake.usgs.gov/): El Servicio Geológico de los Estados Unidos es una organización científica que proporciona información relativa a los ecosistemas, el medio ambiente, los desastres naturales...

Para esta investigación ha sido una fuente fundamental, puesto que ha sido útil para obtener las coordenadas de los epicentros de los seísmos de Enero de 2010 en Haití.

Para ello se ha utilizado la herramienta denominada "Global Earthquake Search", en la cual es preciso introducir datos clave para la búsqueda como las coordenadas aproximadas de referencia, la fecha del suceso o la profundidad límite a partir de la cual se desea buscar.

4.2. *Bases cartográficas*

Son diversos los servidores cartográficos que se han utilizado para llevar a cabo este proyecto. A continuación se explican cuáles son las fuentes de las que se han extraído las capas y, posteriormente, se incluye una tabla resumen en la que se ofrecen más detalles en relación a cada una de ellas.

- ***DIVA-GIS*** (http://www.diva-gis.org/): Se trata de un software libre, gratuito. Además de un programa de tratamiento de la información geográfica cuenta con un servidor desde el que se puede descargar información referente a cualquier parte del mundo.

Para ello, desde el apartado *Free Spatial Data*, se selecciona el país del que se desea obtener la información y el tema (población, carreteras, ferrocarriles...). Todas las capas obtenidas de esta fuente están en formato vectorial.

- ***GEOFABRIK*** (http://www.geofabrik.de/index.html): Fue creado a partir de la convicción de que la información geográfica debía estar disponible de forma libre para los usuarios, siguiendo así a proyectos como Open Street Map. No solamente gratis sino que no debe tener restricción alguna en cuanto a licencias.

Por ello, Geofabrik es actualmente el servidor que proporciona el material cartográfico elaborado en Open Street Map.
Para descargar la cartografía es preciso acceder al menú *Data*→ *Downloads*. Posteriormente se selecciona el área del mundo sobre el que se desea hacer la consulta así como el país concreto. Así, ofrece la posibilidad de descargar toda la

cartografía que existe en este servidor en formato *shape* o bien para *Open Street Map*.

Al igual que con DIVA-GIS, las capas que se han obtenido de esta fuente están todas en formato vectorial.

- ***OCHA*** (http://www.unocha.org/#): Es una parte de la Secretaría de las Naciones Unidas cuya misión es garantizar una respuesta coherente ante posibles situaciones de emergencia.

Además, esta organización elabora cartografía referente a los distintos temas de los que se encarga. Hay que puntualizar que, en este caso, la capa vectorial sobre los movimientos poblacionales desde Puerto Príncipe a raíz del terremoto no se ha extraído directamente desde la página Web de esta organización, sino que se ha obtenido a partir del servidor Geocommons (http://geocommons.com/).

- ***CGIAR*** (http://srtm.csi.cgiar.org/): Se trata de una alianza mundial de organizaciones de investigación que se dedican a tratar de reducir la pobreza y el hambre, mejorar la salud y la nutrición humanas y a la investigación para el desarrollo agrícola.

En este caso, la información que se ha obtenido de esta fuente es una capa raster que refleja el Modelo Digital del Terreno, es decir, la topografía de un espacio concreto, en este caso de Haití.

Se trata de una información básica, puesto que la topografía es un fenómeno determinante para casi todo, desde las actividades del hombre hasta posibles desastres naturales.

- ***GEOINT ONLINE*** (http://geoint-online.nga.mil): Se trata de un sitio Web basado en el descubrimiento de la demanda y acceso a la inteligencia geoespacial. En este caso, la cartografía utilizada es el mapa de secciones demográficas de Haití de nivel 3, el cual contiene información relativa a densidades de población, superficie de las divisiones administrativas de dicho nivel...

Tabla 2.2 – Origen y principales características de las capas utilizadas

FUENTE	NOMBRE CAPA	DESCRIPCIÓN	FORMATO	SIST. REFERENCIA
DIVA-GIS	HTI_adm3	Límites administrativos nivel 3	SHAPE	EPSG: 4326
	HTI_roads	Carreteras	SHAPE	EPSG: 4326
	HTI_water areas	Láminas de agua	SHAPE	EPSG: 4326
	HTI_water lines	Cursos fluviales	SHAPE	EPSG: 4326
GEOFABRIK	Buildings	Edificios	SHAPE	EPSG: 4326
	refugee_camps_haiti	Campos de refugiados	SHAPE	EPSG: 4326
	Landuse	Usos del suelo	SHAPE	EPSG: 4326
	Natural	Elementos naturales (bosques...)	SHAPE	EPSG: 4326
	Places	Entidades de población	SHAPE	EPSG: 4326
	Points	Elementos puntuales (semáforos...)	SHAPE	EPSG: 4326
	Railways	Lineas ferroviarias	SHAPE	EPSG: 4326
CGIAR	srtm_22_09	Modelo Digital del Terreno	TIF	EPSG: 7030
OCHA	Population movements...	Desplazamientos por el terremoto	SHAPE	EPSG: 4326
GEOINT ONLINE	Haiti sections demographics 3rd	Secciones demográfiocas 3 nivel	SHAPE	EPSG: 4326

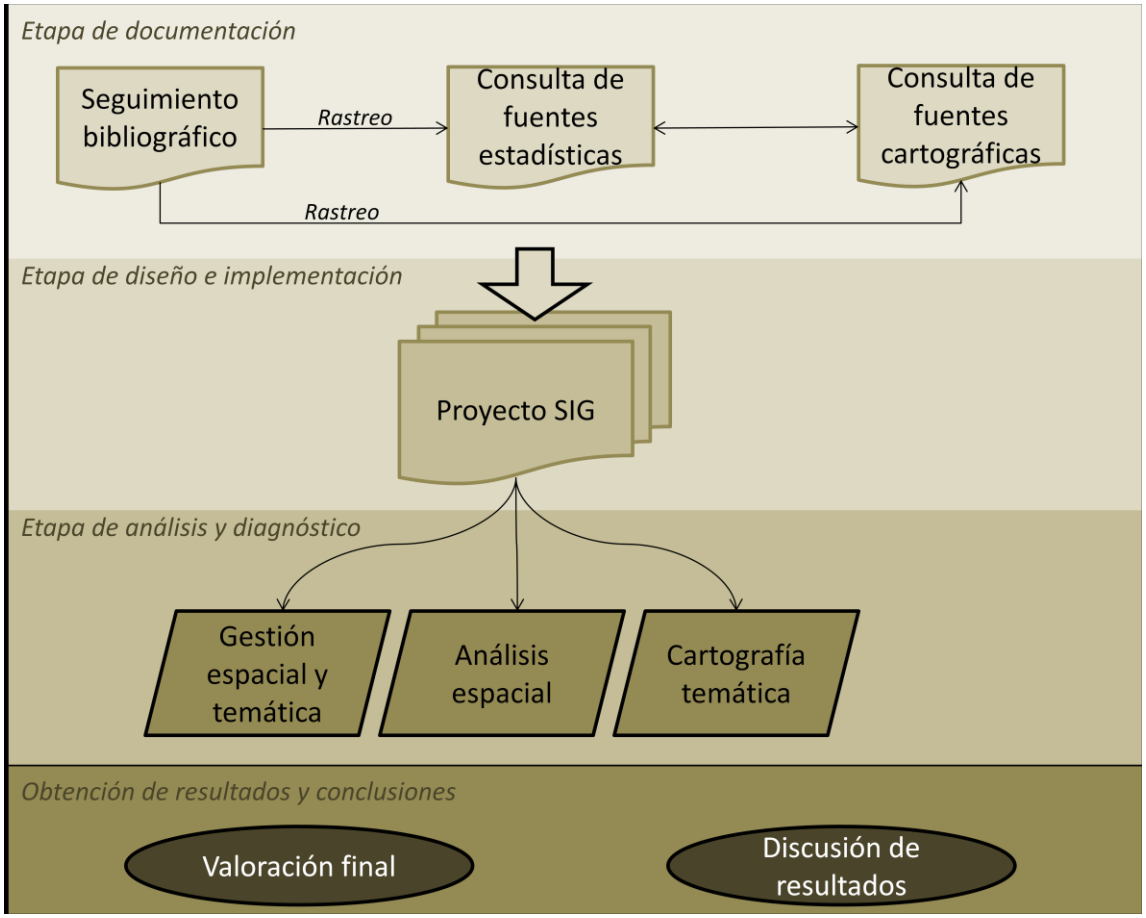
Fuente: Elaboración propia.

5. METODOLOGÍA

5.1. *Metodología general*

Para la elaboración de este estudio se ha seguido una metodología que puede dividirse en cuatro etapas fundamentales: etapa de documentación, etapa de diseño e implementación, etapa de análisis y diagnóstico y, por último, la etapa de obtención de resultados y conclusiones.

Figura 2.1 – Organigrama de la metodología general desarrollada en el trabajo



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. Etapa de documentación: Se trata de la fase inicial de éste y de cualquier proyecto de investigación. Supone la base teórica, la disposición o no de determinados materiales cartográficos, bibliográficos y estadísticos y, en consecuencia, la identificación de la situación de partida del trabajo.

Así, ésta es la fase en la que se conocen las fuentes con las que se cuenta y, por tanto, se puede saber si es posible o no alcanzar determinados objetivos.

Todo parte, inicialmente, de una revisión bibliográfica, es decir, de la búsqueda, lectura y gestión de diversas fuentes documentales que pueden ser de utilidad para el trabajo. En un principio, la búsqueda tiene unos límites poco precisos, de manera que se trata de encontrar la mayor cantidad de información que, posteriormente, será filtrada para contar sólo con aquellas fuentes que son de calidad.

El rastreo de la documentación abarca libros en formato impreso, en formato digital, revistas, noticias, otros trabajos académicos, ensayos, informes de diversos organismos a escala nacional o internacional...

Esta selección bibliográfica ha de ser profundamente analizada, tanto su contenido como las fuentes de las que proviene dicha información (fuentes bibliográficas, centros de descarga de cartografía, servidores estadísticos...).

Por tanto, será el rastreo de las fuentes bibliográficas el que permitirá encontrar fuentes de las que descargar cartografía útil para este proyecto, así como información estadística que proceda de instituciones fiables y contrastadas.

5.1.2. Etapa de diseño e implementación: La segunda fase o etapa del trabajo se basa, inicialmente, en el diseño del proyecto, para lo cual se han seguido dos procesos fundamentales.

En primer lugar se contempla la evaluación y elección del programa SIG que se utilizará (en este caso gvSIG); éste debe ser acorde a las necesidades definidas por los objetivos iniciales, de forma que es preciso considerar una serie de factores como el rendimiento, los modelos de datos con los que trabaja, las funciones de análisis espacial que ofrece...

Posteriormente se pasa al diseño lógico del proyecto, en el cual se han definido las entidades, es decir, los elementos espaciales con los que hay que contar para el trabajo (núcleos de población, límites administrativos, epicentros de los terremotos...); una vez establecidas éstas es preciso elegir su modelo de representación (raster, vectorial o imagen) teniendo en cuenta criterios espaciales. Por último, es necesario precisar cuáles serán las relaciones que se establecerán entre las distintas entidades que conforman el proyecto, etc.

Sobre este modelo se lleva a cabo la implementación, es decir, la fase en la que se comienza a diseñar la estructura física del proyecto, en la que se generan las bases alfanuméricas y cartográficas y se integran en el proyecto.

5.1.3. Etapa de análisis y diagnóstico: Es la fase en la cual se gestionan los datos con los que contamos en el proyecto SIG. De esta forma, se realiza un estudio de la información espacial que se tiene, así como de los aspectos o temáticas que se pretende analizar más en profundidad.

A partir de ello se realizan las diferentes labores de análisis espacial que sean necesarias para el desarrollo del proyecto (análisis de distancias, densidades, reclasificaciones...).

Por último, de la conjunción de la aplicación de las herramientas de análisis espacial y los temas o elementos que se desean tratar se plantea la elaboración de una cartografía temática que permite plasmar o representar los elementos, ideas, relaciones... que se dan sobre el territorio, en este caso en Haití, que es el espacio analizado.

5.1.4. Obtención de resultados y conclusiones: Una vez elaborada toda la cartografía y un diagnóstico de la situación, la última etapa consiste en analizar los resultados obtenidos a partir de dicho análisis.

De este modo, ésta es la etapa en la cual hay que valorar si las conclusiones extraídas del trabajo son las que se propusieron en los objetivos marcados antes de comenzar.

5.2. *Metodología específica*

En este punto se explica la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, entrando de manera más concreta en los aspectos relacionados con el ámbito SIG. Así, se analizarán los métodos para la entrada de datos y, además, las herramientas de análisis espacial utilizadas.

5.2.1. Entrada de datos.

- *Digitalización*. La digitalización consiste en la transformación de meros datos en capas que contienen información geográfica. Estos datos pueden obtenerse mediante múltiples formas como el trabajo de campo, las consultas bibliográficas, etc.

En este caso concreto se han digitalizado dos elementos: las fallas que cruzan el país (falla de Enriquillo y falla Septentrional) así como el borde de placa que divide la Placa Norteamericana de la Placa del Caribe.

La fuente de la que se ha extraído la información para la elaboración de esta capa es el mapa de las placas tectónicas del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el cual ha sido utilizado como guía para crear una nueva capa vectorial .SHP de líneas.

- *Generación de capa de eventos.* Una capa de eventos es una capa vectorial de puntos que se añade a la vista a través de la inserción de sus coordenadas. En este caso concreto se ha utilizado para incluir la referencia puntual de los epicentros de los terremotos.

Así, las coordenadas de los epicentros se han extraído del buscador de movimientos sísmicos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), a partir del cual se obtiene información relativa a su localización, fecha y hora del suceso, magnitud...

Estos datos se descargan como archivo .XLS para posteriormente transformarlos como .DBF, el formato de base de datos que permite trabajar con gvSIG. Una vez conseguido esto, tan solo es necesario crear una capa de eventos que contenga los campos de las coordenadas geográficas de los terremotos (latitud y longitud).

- *Polígono evolvente.* Se trata de una herramienta de análisis espacial que calcula la envolvente convexa, es decir, genera un polígono que tiene el menor área posible para envolver a todos los elementos vectoriales que tenga una capa de entrada.

Para este estudio, este método es útil para establecer el área global de influencia de los epicentros. Así, mediante "convex-hull" se ha creado un polígono que encierra tanto los epicentros de los terremotos como los *buffer* de influencia generados anteriormente.

5.2.2. Análisis espacial.

- *Proximidad.* Se han realizado dos tipos de análisis de proximidad. Por un lado se ha calculado el área de influencia de los epicentros de los terremotos y, para ello, se ha tenido en cuenta la variable de su magnitud.

La aplicación de este proceso genera una nueva capa vectorial .SHP de polígonos, en este caso circulares, que definen el espacio que ha sido afectado por la influencia del elemento central (los epicentros).

El objetivo de su aplicación es saber qué parte de Haití se vio afectada por la magnitud de los terremotos sucedidos en Enero de 2010.

Del mismo modo, se ha llevado a cabo un análisis del área de influencia lateral, algo similar a lo anterior pero que, en este caso, se utiliza para reflejar el área de influencia de una capa vectorial de líneas.

La finalidad es mostrar la capacidad de influencia que tienen las abundantes fallas y el borde de placa que están presentes en Haití y que han sido decisivos para esta catástrofe.

- *Pendientes.* Es un método que crea una capa raster con celdas de distintos valores que se corresponden con el mayor o menor grado de pendiente, entendiéndose como pendiente la inclinación del terreno en un espacio determinado.

Existen diferentes unidades mediante las cuales se puede reflejar la pendiente (radianes, porcentaje...) y para este trabajo se ha expresado en grados mediante el método de Travis et. al (1975).

Este proceso se ha utilizado como un factor más de peligrosidad, puesto que existen una serie de riesgos naturales que se derivan de la pendiente y que, además, pueden verse agravados cuando se producen terremotos, como es el caso de los deslizamientos de ladera[9].

- *Sombras.* Se trata de una técnica que genera una capa de relieve sombreado que tiene un carácter meramente visual, puesto que sus valores no se emplean para ningún otro cálculo.

Así, esta herramienta crea una capa raster que representa las zonas de luz y sombra derivadas de la incidencia de una fuente luminosa (el sol) sobre el área considerada. De este modo, los valores de cada celda indican la cantidad de luz que refleja a la misma.

- *Evaluación multicriterio.* ***"****La evaluación multicriterio se define en términos generales como el conjunto de operaciones espaciales para la adopción de decisiones, teniendo en consideración simultáneamente varios criterios o condicionantes (Barredo, 1996). En una evaluación multicriterio se realiza, por tanto, la combinación de una serie de requisitos o características que sirven de base*

[9] JIMÉNEZ JARA, Diana Yolima. 2011. *Sistemas de Información Geográfica de deslizamientos inducidos por sismo.* [en línea]. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana. Disponible en: http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1438 [Consulta: 13 de Febrero de 2013].

para la toma de decisiones en función de un objetivo específico (Bosque y Mas, 1995).”(De Cos, O; Martín, E. 2007: 261)

Por tanto, este método facilita la incorporación de variables muy diversas a un mismo estudio, lo cual se relaciona con la visión de la Geografía que establece la Estrategia Territorial Europea, que propone una visión integradora del territorio, para cuyo desarrollo es preciso obtener un equilibrio entre el desarrollo de los diferentes componentes (social, económico y territorial).

Para este caso de estudio, la evaluación multicriterio es un método fundamental que permite realizar un mapa de síntesis de cara al diagnóstico. Así, se agrupan diversas variables (pendientes, densidades de población, distancias a los epicentros, distancias a las fallas...) para conseguir establecer cuáles son las zonas concretas más expuestas y vulnerables al riesgo sísmico.

5.2.3. Gestión de datos.

Con el objetivo de extraer el mayor rendimiento posible de la cartografía y los datos generados, se han llevado a cabo una serie de consultas de dos tipos distintos: consultas espaciales y consultas temáticas.

- *Consultas espaciales de selección por capa.* Se utilizan para establecer consultas espaciales entre varias capas distintas, de forma que se puede saber qué elementos de una capa intersectan sobre la otra, cuáles no, los que se superponen, los que son iguale en una capa y otra...

En este trabajo, las consultas se han utilizado para obtener información relativa a la población afectada por el terremoto o para conocer qué distritos se encuentran bajo la influencia de la falla de Enriquillo.

- *Consultas temáticas (filtro).* Es una herramienta que permite “aislar” sólo aquellos elementos que cumplen una condición temática de consulta –bien sea numérica o de texto- y que se consideran relevantes para un caso determinado.

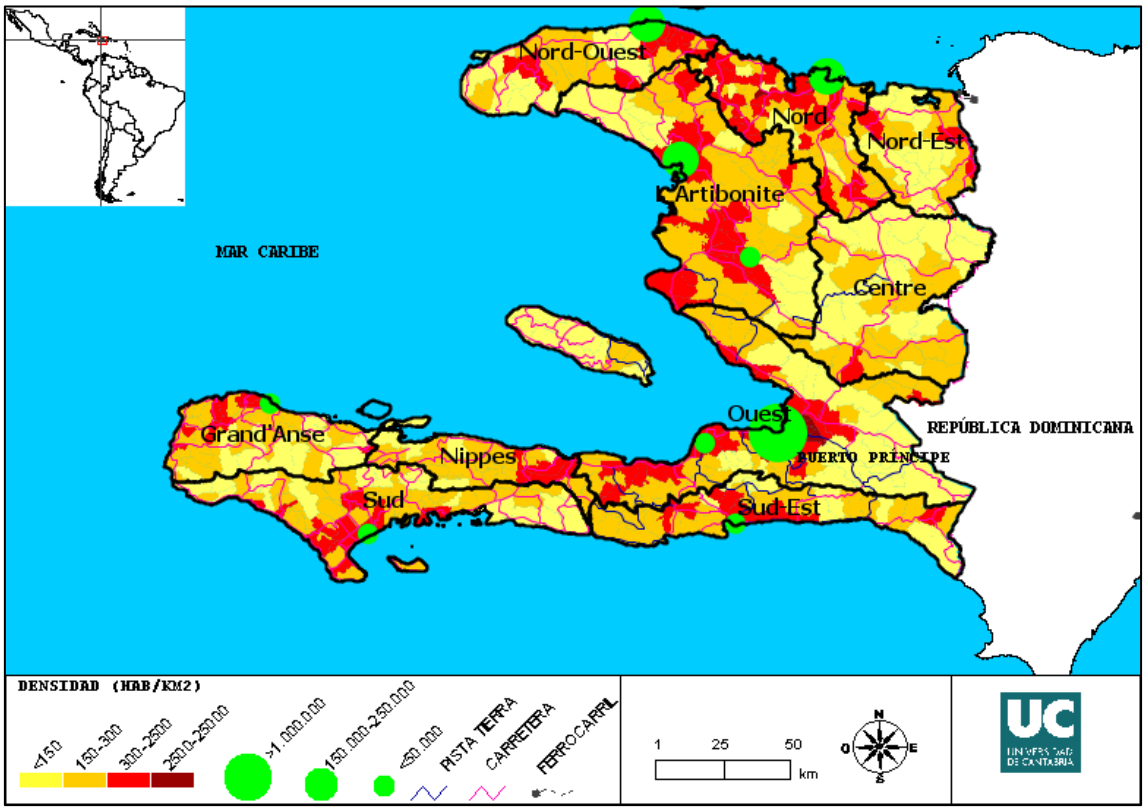
Esta herramienta se ha usado para diferentes finalidades como, por ejemplo, mostrar qué elementos de la capa “points” se corresponden con centros sanitarios o centros educativos.

6. ANÁLISIS

El análisis sobre la influencia de los terremotos de Enero de 2010 en el territorio de Haití así como de la aplicabilidad de los Sistemas de Información Geográfica al estudio de los riesgos naturales, se ha basado en la generación de diversa cartografía relativa a diferentes aspectos como la peligrosidad o la vulnerabilidad de este país.

En la figura 8 se puede observar, inicialmente, que Haití queda dividida en un total de 10 departamentos que, a su vez, se subdividen en otros 43 distritos. Estos departamentos son: L´Artibonite, Centre, Grand´Anse, Nippes, Nord, Nord-Est, Nord-Ouest, Ouest, Sud y Sud-Est.

Figura 2.2 – Distribución de la población y vías de comunicación de Haití



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y GEOINT ONLINE

En la tabla adjunta se muestran los principales datos de cada uno de ellos, aunque cabe señalar la falta de actualización de los datos relativos a la población debido a la dificultad de encontrar información desagregada para cada uno de los departamentos. Aún así, esta información es representativa puesto que, aunque la población ha aumentado, el porcentaje que concentra cada departamento es muy similar al que había en 2003.

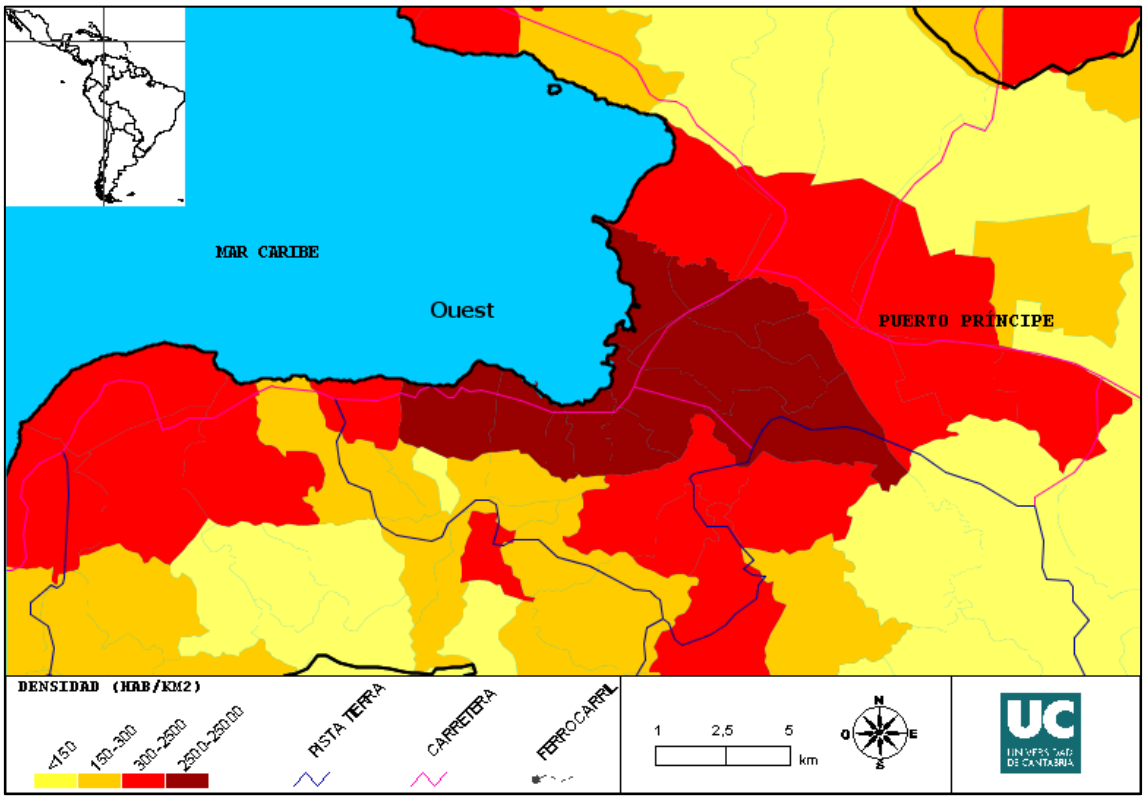
Tabla 2.3 – Información relativa a los departamentos de Haití

DEPARTAMENTO	POBLACIÓN (2003)	SUPERFICIE (km^2)	CAPITAL
OUEST	3.093.698	4.983	Port-au-Prince
L´ARTIBONITE	1.070.397	4.887	Gonaives
NORD	773.546	2.115	Cap-Haitien
SUD	627.311	2.653	Les Cayes
CENTRE	565.043	3.487	Hinche
SUD-EST	449.585	2.034	Jacmel
NORD-OUEST	445.080	2.103	Port-de-Paix
GRAND´ANSE	337.516	1.912	Jérémie
NORD-EST	300.493	1.623	Fort-Liberté
NIPPES	266.379	1.267	Miragoane

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Statoids

En este sentido, el departamento de Ouest, cuya capital es también la del país, Puerto Príncipe, es la región más poblada con diferencia respecto a las demás, reuniendo alrededor del 40% de la población total. Así, en la ciudad de Puerto Príncipe se da la densidad de población más alta de todo el país (entre 2.500 y 25.000 hab/km^2); además, destaca la presencia de un "anillo" que bordea el núcleo principal de la ciudad, lo cual se corresponde con el área metropolitana de Puerto Príncipe y que, sin llegar a los niveles de densidad del centro de la ciudad, alcanza una cifra de entre 300 y 2.500 hab/km^2.

Figura 2.3 – Puerto Príncipe y su área metropolitana



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y GEOINT ONLINE

Seguidamente aparece el departamento de L´Artibonite, que con una superficie similar al anterior acumula alrededor del 10% de la población de Haití. Es un caso peculiar, puesto que tal y como se puede apreciar en el mapa, la ciudad principal, que también se denomina L´Artibonite, no es de las más grandes y aún así, este departamento tiene un número de habitantes bastante elevado. Esto se debe a que la población no se concentra en un único núcleo, sino que como se ve en el mapa temático referente a las densidades de población, son varias las zonas que presentan una densidad poblacional importante (entre 300 y 2.500 hab/km^2).

En el lado opuesto está el departamento de Nippes que, además de ser el más pequeño en cuanto a extensión, es también el menos poblado.

De forma general puede establecerse que la mayor parte de la población se aglutina en torno a la costa, ya que es allí donde se ubican las principales ciudades (Puerto Príncipe, Cap-Haitien, Port-de-Paix...); por el contrario, parece haber un vaciamiento interior que se ratifica al ver que departamentos como Centre o Nord-Est tienen las densidades de población más bajas de todo el país.

El motivo podría ser las posibilidades económicas y sociales que ofrece la localización costera. Así, el mar supone una fuente importante de alimento así como un recurso económico; por un lado, el pescado es una de las principales fuentes de proteínas de los haitianos[10] y, por otro, es un elemento fundamental para el desarrollo de la actividad comercial, siendo uno de los activos económicos más relevantes de este país.

En cuanto a las vías de comunicación, Haití presenta una red viaria relativamente extensa que conecta los puntos principales del país; según datos obtenidos de la CIA, sólo 768 de los 4.266 km de carretera que tiene Haití están pavimentados, lo cual supone que alrededor del 82% de las vías de comunicación del país están sin pavimentar.

Las carreteras más importantes conectan la capital, Puerto Príncipe, con algunas ciudades relevantes como Gonaives Port-de-Paix o Legoane. Son vías que tienen un estado de conservación bueno y a través de las cuales se puede circular con fluidez.

En un segundo nivel aparecen vías secundarias que conectan núcleos de menor importancia y que, en general, se encuentran en mal estado de conservación, lo que dificulta el tránsito de unos puntos a otros del país.

Por último cabe destacar una gran red de pistas y caminos de tierra que se distribuyen por todo el país y que son utilizadas para moverse a pie o bien en vehículos como bicicletas, motocicletas...

Respecto al ferrocarril, Haití presenta una red de vías férreas muy escasa, encontrándose tan sólo dos pequeños tramos en la zona Noreste del país, concretamente en el departamento de Nord-Est. Estas líneas parten desde Fort-Liberté hacia República Dominicana.

6.1. Peligrosidad sísmica en Haití

La isla de La Española, en general y Haití en particular se encuentran en una situación de importante peligrosidad sísmica. Este peligro se debe a diferentes motivos:

Por un lado a su ubicación, muy cercana al límite que divide las placas de Caribe y Norteamericana, "*caracterizado por un movimiento de falla lateral a la izquierda y compresión, que se desplaza a una razón de 20 mm/año (NEIC-USGS, 2010)*"[11].

Esta deformación es absorbida por una serie de fallas de desgarre, repartiéndose esencialmente en dos zonas de desgarre principales en dirección Este-Oeste.

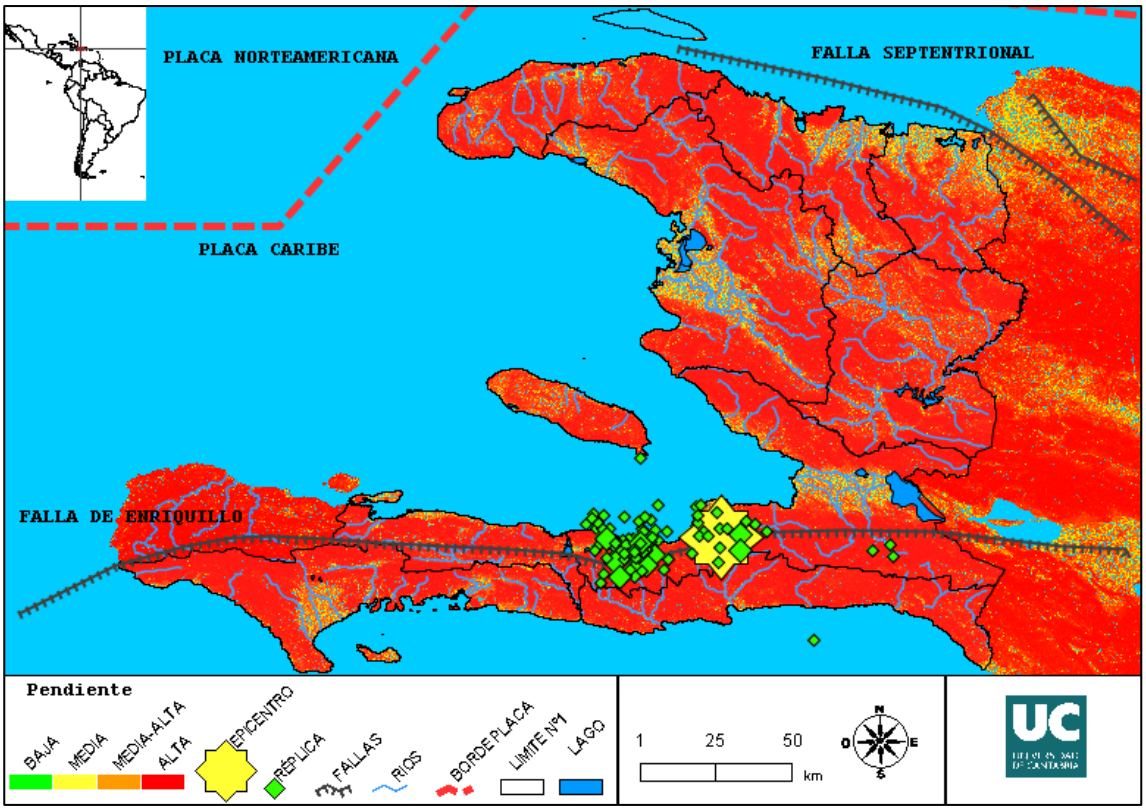
Al Norte, la falla Septentrional absorbe aproximadamente 9 mm/año (Prentice et al., 2003; Manaker et al., 2008) a través de un movimiento de desgarre puro. Por otro lado está la falla de Enriquillo, situada más al Sur y que absorbe alrededor de 7 mm/año (Manaker et al., 2008). Además, a esta deformación hay que añadir la componente

[10] L´HOMME, C. 1999. *Haití: devolver la vida al mar.* UNESCO. Nº 108. Disponible en: http://www.unesco.org/csi/act/haiti/haitis.htm [Consulta: 15 de Mayo de 2013].

[11] RED SÍSMICA DE PUERTO RICO. 2010. *Informe especial terremoto de Haití (12 de Enero de 2010).* [En línea]. Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico. Disponible en: http://redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/informes_especiales/Informe_Especial_Haiti_2010.pdf

compresiva, que se absorbe casi toda en la subducción, pero que también es transmitida hacia el interior de la isla de La Española[12].

Figura 2.4 – Factores de peligrosidad sísmica en Haití



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y CGIAR

Tal y como se puede observar en el mapa referente a los diferentes factores de peligrosidad (Figura 10), los terremotos que se produjeron el día 12 de Enero de 2010 en Haití se concentraron en torno a la falla de Enriquillo, muy cerca de Puerto Príncipe; estos movimientos sísmicos han sido los más fuertes alrededor de la ella en los últimos tiempos; sin embargo, la falla de Enriquillo ha sido asociada con muchos terremotos históricos en la zona desde el siglo XVIII.

Así, el movimiento sísmico más fuerte alcanzó los 7º en la escala de Richter y se dio en la latitud 18.457º Norte y la longitud 72.533º Oeste, con una profundidad de alrededor de 13 kilómetros.

En torno a él se produjeron gran cantidad de réplicas con una intensidad que osciló entre los 4º y los 6º en la escala de Richter. Estas réplicas, sin llegar al efecto devastador del sismo principal, generaron una situación de inestabilidad no sólo a nivel geomorfológico, sino también social. Así, se vivieron horas de una incertidumbre muy

[12] PROYECTO SISMO-HAITÍ (2012): Informe final: Evaluación de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Haití y aplicación al diseño sismorresistente [en línea]. Universidad Politécnica de Madrid; Observatorio Nacional del Medioambiente y Vulnerabilidad (coords). <http://oa.upm.es/13999/1/Informe_SISMO-HAITI.pdf> [Consulta: 14 de marzo de 2013].

grande entre la población local, puesto que a la situación caótica provocada por la muerte de miles de personas, se sumaba la inseguridad de no saber cuándo se iba a terminar esa situación.

Otro aspecto a tener en cuenta en relación a la peligrosidad son las pendientes; no tanto como un factor de peligrosidad en sí mismo, sino como sino como un elemento que, junto con los terremotos, puede provocar la aparición otros peligros y riesgos naturales como, por ejemplo, los deslizamientos de ladera.

Así, Haití es un territorio con una energía del relieve bastante importante, con unas pendientes elevadas en gran parte del país (Figura 10); exceptuando las desembocaduras de los ríos y el estrecho que separa la costa caribeña de Puerto Príncipe con el Lago de Enriquillo, el resto del país tiene una inclinación que puede calificarse como elevada.

En cuanto a los terremotos, éstos son una causa muy importante de deslizamientos, tanto que, en ocasiones, los daños producidos por el deslizamiento de tierra son incluso mayores que los provocados por la sacudida del propio terremoto.

Durante un terremoto los deslizamientos de ladera pueden ser inducidos por dos factores: el incremento de los elementos cortantes y/o la reducción de la resistencia del material del que está formado el suelo.

En el primer caso, la inestabilidad viene producida por las fuerzas inerciales mientras que, en el segundo, inicialmente se generan procesos gravitacionales a lo largo del escarpe de falla y, posteriormente, las réplicas terminan por producir el deslizamiento de ladera (Rodríguez, 2001).

Figura 2.5 – Deslizamiento de ladera derivado del terremoto de Haití

Fuente: Jibson y Harp., 2011. En: Jiménez Jara (2011: 24)

En la imagen anterior se puede apreciar el efecto devastador que tuvo uno de los deslizamientos de ladera, cuyo resultado fue la destrucción total de un poblado.

Se estima que hubo entre 4.000 y 5.000 deslizamientos de ladera que se derivaron directamente del terremoto, lo cual afectó a un área de unos 60 kilómetros desde el epicentro en dirección Oeste a través de la falla de Enriquillo (Jiménez Jara, 2011).

6.2. Vulnerabilidad ante el riesgo sísmico en Haití

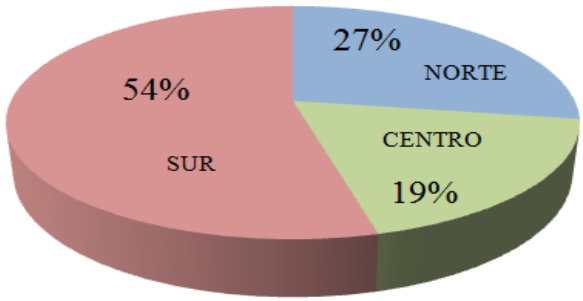
Siguiendo lo establecido al inicio de este trabajo en relación a la definición del riesgo, en este apartado se va a realizar una descripción sobre cuáles son los factores que determinan la vulnerabilidad de Haití frente al riesgo de movimientos sísmicos.

En este sentido cabe destacar, por un lado, la presencia de espacios densamente poblados que, por definición, son más vulnerables que aquellos en los que vive menos población y de forma más dispersa.

Con el fin de conseguir una explicación más idónea de la vulnerabilidad de Haití, se establece una división del país en tres zonas: la primera de ellas es la parte Norte, la segunda es la zona central y, por último, la tercera se corresponde con la parte Sur.

A continuación se muestra un gráfico que refleja la distribución de la población en cada una de esas zonas y, posteriormente, una tabla resumen en la que se recogen algunas de sus principales características.

Figura 2.6 – Distribución de la población por zonas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4 – Información relativa a cada una de las zonas definidas

	ZONA NORTE	ZONA CENTRO	ZONA SUR
DEPARTAMENTOS	199	94	267
POBLACIÓN	2.309.910	1.552.592	4.525.043
SUPERFICIE (KM^2)	8.465,7	7.602,9	10.948
DENSIDAD (HAB/KM^2)	376,6	236,8	719,14

Fuente: Elaboración propia.

Así, en la zona Norte existen áreas con bastante densidad de población, concretamente en torno a la ciudad de Port-de-Paix, Cap-Haitien y Gonaives. Estas están tan expuestas al peligro sísmico como el resto del país, puesto que se encuentran muy cerca de la falla Septentrional así como del borde entre las dos placas tectónicas, la placa Caribe y la Norteamericana.

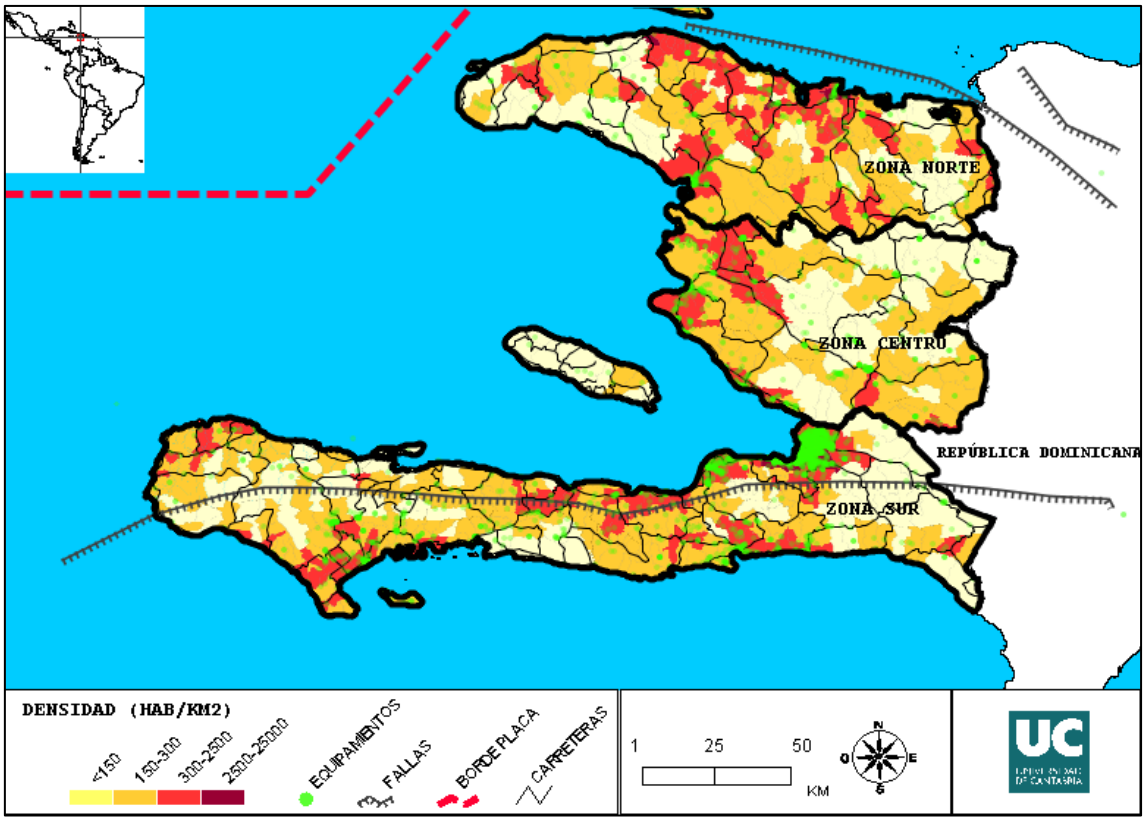
La red de carreteras presente en esta zona del país es, en general, de buena calidad, con vías pavimentadas en un estado de conservación aceptable; del mismo modo, es en la mitad Norte del país allí donde se encuentran los escasos kilómetros de vía férrea que existen en Haití.

En cuanto a los equipamientos, el mapa situado a continuación muestra que la presencia de los mismos se limita prácticamente a los núcleos más importantes como Port-de-Paix y Cap-Haitien.

En definitiva, la mitad Norte del País cuenta con varios factores que determinan su grado de vulnerabilidad: por un lado, zonas con una elevada densidad de población y, por otro, la presencia limitada de infraestructuras viarias y equipamientos que abastecen a las ciudades más importantes.

Tendiendo todo esto en cuenta, se puede establecer que la zona Norte de Haití es potencialmente vulnerable al riesgo sísmico, de forma que ante eventuales catástrofes como la que sucedió el 12 de Enero de 2010, es considerablemente importante la cantidad de vidas humanas y bienes de carácter estructural y económico que están en situación de verse afectados.

Figura 2.7 – Factores de vulnerabilidad de Haití ante el riesgo sísmico



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS, GEOINT ONLINE Y GEOFABRIK

La zona central de Haití presenta unas características muy diferentes y que, como se verá a continuación hacen que la vulnerabilidad en esta parte del país sea menor.

En primer lugar, cabe destacar que apenas existen zonas de alta densidad demográfica, exceptuando el entorno del núcleo de L´Artibonite y Saint-Marc, donde se dan concentraciones de población de entre 300 y 2.500 habitantes/km^2.

El resto se compone de núcleos de pequeña entidad, con densidades que no superan en ningún caso los 300 hab/km^2, predominando incluso aquellas cuya concentración es inferior a los 150 hab/km^2.

Los equipamientos presentes en esta zona son, por tanto, bastante escasos. Así, si debido a las condiciones económicas de Haití se trata de un país en el que los equipamientos sanitarios y educativos no abundan, en esta zona la presencia de los mismos es aún menor, puesto que no existe una población abundante que los demande.

Respecto a las vías de comunicación, la zona centro presenta vías de comunicación pavimentadas, sin embargo, los kilómetros de carretera en relación a la superficie son bastante inferiores a las de las zonas Norte y Sur.

Por tanto, teniendo en cuenta la escasa densidad de población, la falta de infraestructuras y equipamientos de todo tipo y, por último, la poca cantidad de kilómetros de carretera existentes, se puede afirmar que la zona central es el área de Haití que tiene una menor vulnerabilidad frente al riesgo de terremoto.

La última de las zonas a analizar es la parte Sur, que entre otros está formada por los departamentos de Sud, Sud-Est y Ouest.

En primer lugar cabe señalar que es un área que presenta diversidad de situaciones respecto a la densidad de población. Por un lado aparecen departamentos como Nippes o Grand´Anse, en los cuales el poblamiento se ubica de forma dispersa exceptuando aquellas zonas en las que se sitúan las ciudades principales.

Por el contrario existen otros departamentos como Ouest o Sud que presentan las densidades de población más elevadas de todo el país. Concretamente en el departamento de Ouest se sitúa Puerto Príncipe, que alcanza una concentración poblacional muy importante.

Al tratarse de la capital del país y sus alrededores, el área comprendida entre Puerto Príncipe y la ciudad de Jacmel (Sud-Est) es la zona que tiene una mayor concentración de equipamientos.

Así, existe una elevada cantidad de hospitales y otros centros sanitarios, así como centros educativos, tanto a nivel infantil como en estudios superiores (institutos y universidad).

En cuanto a las vías de comunicación se produce una situación similar a la que ocurre al tratar la densidad demográfica; así, se encuentra una mitad occidental en la que la red viaria es bastante escasa, con carreteras pavimentadas que sólo unen los núcleos más relevantes, de forma que hay áreas que quedan mal comunicadas, sobre todo aquellas que presentan una población pequeña.

Por otro lado la mitad oriental que, al igual que con el resto de aspectos analizados, es en la que más abundan las infraestructuras viarias, con una red relativamente extensa de

carreteras pavimentadas de buena calidad que conectan Puerto Príncipe con algunas de las ciudades más importantes del país.

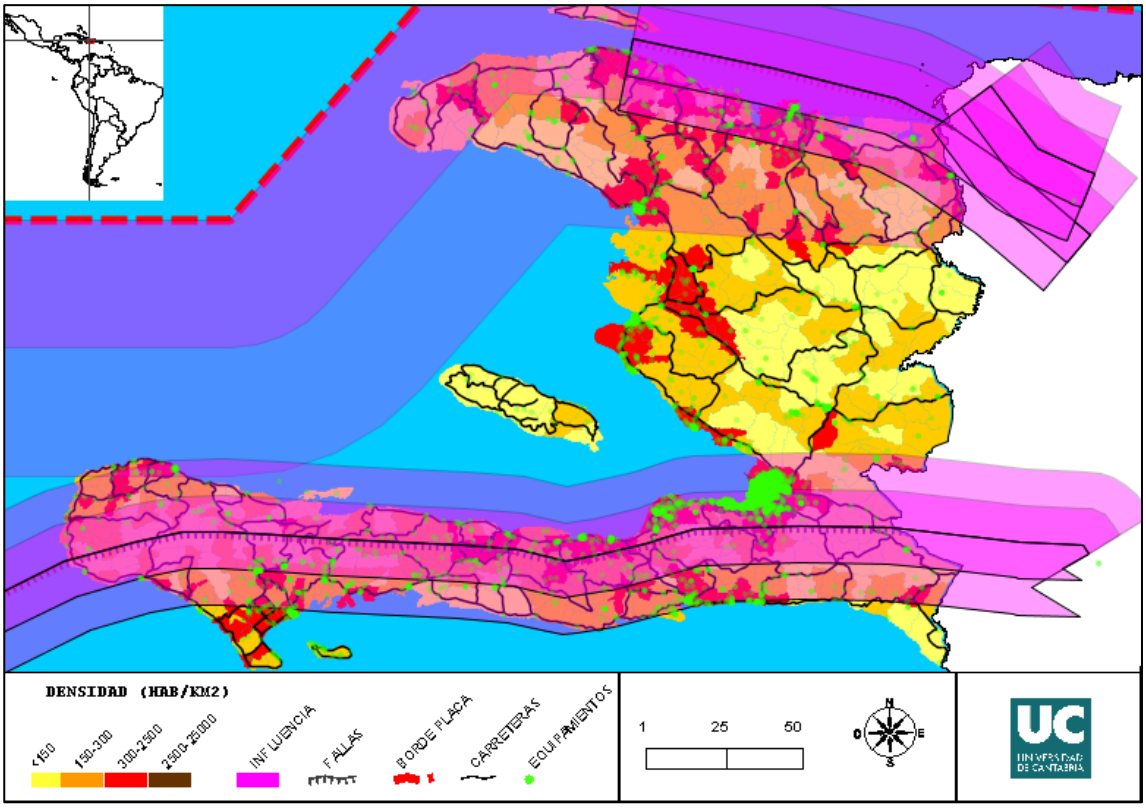
Una nueva herramienta de análisis espacial que contribuye a reforzar estas ideas es la generación de *buffer* de influencia laterales, tomando como referencia tanto las fallas existentes en la zona como el límite de las placas tectónicas. La presencia de estos elementos supone un importante factor de riesgo y, por tanto, la delimitación de su área de influencia permitirá establecer no sólo cual es el territorio afectado, sino también sus características.

Tal y como se puede observar en la Figura 13, la mayor parte del país se encuentra bajo la influencia directa o bien de las fallas (falla de Enriquillo y falla Septentrional), o bien del borde límite entre las placas Caribe y Norteamericana. De forma más específica, las fallas tienen incidencia hasta aproximadamente 50 kilómetros y el límite de placa alrededor de 90 km.

La parte Norte y, sobre todo, la Sur, son las zonas que presentan una mayor actividad sísmica y, por tanto, las de mayor riesgo ante posibles terremotos.

Así, a partir de una serie de consultas espaciales de selección por capa, se han podido extraer algunos resultados concluyentes que ponen de manifiesto la relevancia de estos elementos geológicos en términos de vulnerabilidad y, por tanto, como un factor de riesgo más.

Figura 2.8 – Espacio influenciado por el límite de placa y fallas



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS, GEOINT ONLINE y GEOFABRIK

En este sentido, la mayoría de los distritos administrativos de Haití se ven influidos en mayor o menor grado, concretamente 462 distritos que suponen algo más de un 82% del total del país. Respecto a su distribución, cabe señalar que el número de unidades administrativas que se ven amenazadas por esta situación es similar tanto en la zona Norte como en la zona Sur.

Dichos distritos ocupan una superficie muy amplia, casi 20.000 km^2, una extensión importante si tenemos en cuenta que Haití tiene una superficie total de poco más de 27.000 km^2.

Derivado directamente de la amplitud que presenta este espacio, la población que se asienta en él es de aproximadamente 7.000.000 de personas, lo que representa un 68,5% de los casi 10.000.000 que habitan el país.

A pesar de que los espacios más vulnerables son aquellos que tienen una mayor concentración demográfica (además de otros factores), cabe destacar que en este caso, es mayor la cantidad de población que reside en espacios de baja densidad (casi el 56%) que la que reside en espacios de mayor compacidad, ya que sólo el 44% de las personas que viven en lugares bajo la influencia de las fallas o bordes de placa residen en espacios urbanos.

Por tanto, se trata de un área en el que habita la mayor parte de la población del país y, por ello, la densidad demográfica (580 hab/km^2) está bastante por encima de la del conjunto de Haití (356,63 hab/km^2).

Respecto a las infraestructuras viarias, cabe apuntar que hay 209 tramos vulnerables frente a los terremotos, lo que supone más de un 70% del total. Analizando estos tramos con mayor profundidad resulta que la gran mayoría son carreteras secundarias (169); el resto se dividen en 13 tramos de vías de primer orden y 27 tramos de pistas de tierra.

Por último, es preciso señalar que la cantidad de equipamientos vulnerables por este factor es muy cuantiosa, ya que, a pesar de que sólo se tienen en cuenta centros sanitarios y educativos, 3 de cada 4 se encuentran en situación de riesgo.

Tabla 2.5 – Información relativa al espacio influenciado por límite de placa y fallas

Distritos afectados	**Superficie (Km^2)**	**Densidad de población (hab/km^2)**	**Población**		**Equipamientos**
462 (82,5%)	19.352,14 (69,8%)	579,58	6.781.981 (68,5%)		3.552 (75%)
			Pob. Urbana	**Pob. Rural**	
			44,3%	55,7%	

Fuente: Elaboración propia.

7. DIAGNÓSTICO

Siguiendo la definición de "riesgo natural" establecida al inicio del trabajo, el terremoto de Haití supuso el paso de una situación de riesgo a un acontecimiento catastrófico.

Por ello, este apartado tiene como finalidad principal estudiar con mayor profundidad qué es lo que ocurrió el 12 de Enero de 2010 en Haití, para lo que se centrará especialmente en el área de influencia del desastre y en los puntos concretos más afectados.

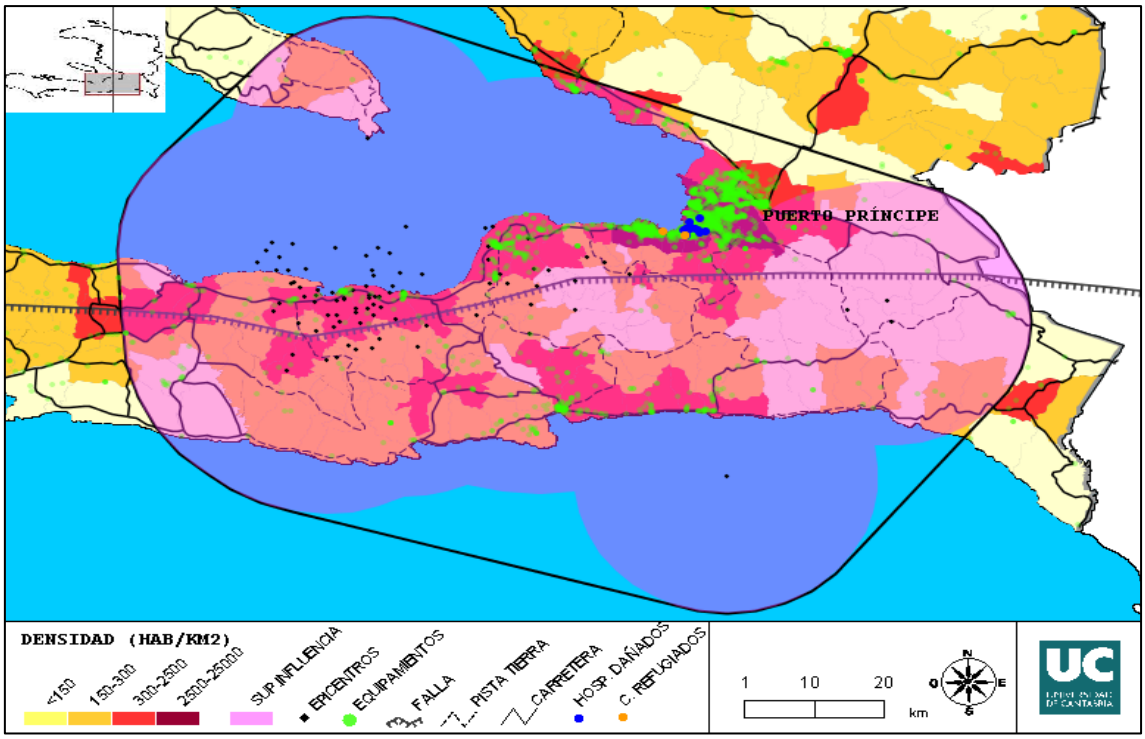
Para ello se han utilizado diferentes técnicas de análisis espacial basadas en la delimitación de áreas de influencia, y en análisis multicriterio; además, se han elaborado consultas con el objetivo de extraer información relevante sobre el grado de impacto que tuvo tanto el terremoto principal como las réplicas.

Inicialmente se ha generado un *buffer* de proximidad (Figura 14) tomando como referencia los epicentros de los terremotos acaecidos aquel día. Para ello, la variable que se ha tenido en consideración ha sido la magnitud, de forma que cuanto mayor sea la magnitud del terremoto en cada uno de los epicentros, mayor será el área del *buffer* generado.

Una vez establecida la influencia del terremoto principal y de cada una de las réplicas, se ha utilizado la geometría computacional, mediante la cual se ha creado un polígono que encierra el global de todas las áreas de influencia anteriormente mencionadas.

Así, se puede observar cómo los epicentros se distribuyen en torno a la falla de Enriquillo, concretamente a la altura de Puerto Príncipe. De esta forma, el territorio afectado por el desastre engloba básicamente los departamentos de Ouest y Sud-Est.

Figura 2.9 – Área de impacto de los movimientos sísmicos



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y GEOINT ONLINE

Concretamente son 153 los distritos o *arrondissements* los que se vieron perjudicados por el terremoto, es decir, más del 25% del total, abarcando una superficie de más de 6.500 km^2. Aunque son cifras elevadas, no fue la extensión del área de impacto lo que provocó el caos, sino que el terremoto se produjese en la zona más ocupada del país, tanto a nivel de infraestructuras y equipamientos como de concentración demográfica. Esto lo demuestra el hecho de que el área afectada presenta una densidad de población de más de 1.000 hab/km^2, una cifra especialmente elevada si tenemos en cuenta que la media del país se sitúa alrededor de los 300 hab/ km^2.

En este sentido, el terremoto afectó a más de 400 centros sanitarios y alrededor de 2.000 centros y equipamientos educativos de diferentes niveles formativos, según la base cartográfica de *Open Street Map*. Por ello, edificios clave como escuelas infantiles, institutos, el Hospital Universitario o el de Turgeau se vieron dañados de manera importante, quedando algunos de ellos reducidos a escombros.

Del mismo modo, casi un millón de viviendas se vieron afectadas por el sismo, llegando a destruirse por completo barrios enteros, lo cual provocó la muerte por aplastamiento de miles de personas.

Los daños producidos en las infraestructuras viarias resultan muy importantes, tanto por el coste económico de su reconstrucción, como especialmente por el contratiempo que supone el no disponer de medios para llegar a hospitales, campamentos de refugiados... esto supone la muerte de muchas personas que no llegan a tiempo a centros sanitarios para salvar sus vidas. Así, hasta 76 tramos de carretera fueron perjudicados en mayor o menor medida, fundamentalmente las carreteras secundarias pavimentadas, aunque también tres tramos de vías de primer orden.

Por último, el aspecto más importante es, lógicamente, la vida humana. Los desastres naturales no serían tal si no afectasen a las personas y sus bienes. Así, los terremotos son desastres naturales porque el hombre los considera una catástrofe.

En relación con ello, el terremoto de Haití generó algo más de 3,5 millones de damnificados, lo cual supone alrededor de 1/3 de la población del país. En su mayoría se trata de personas que habitan espacios urbanos, de alta densidad, sin embargo, también hubo un gran impacto en la población rural.

Tabla 2.6 – Información relativa al espacio influenciado por los sismos

Distritos	**Superficie (km^2)**	**Población**		**Densidad (hab/km^2)**
153 (27,3%)	6.599,2 (23,7%)	3.535.217		1.094,1
		Urbana	Rural	
		58,2%	41,8%	

Viviendas	**Equipamientos**		**Red viaria**		
828.077	2.510		76 tramos		
	Sanitarios	Educativos	1er orden	Secundarias	Pistas
	18,3%	81,7%	3,9%	65,8%	30,3%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior (5) se muestran los resultados de las consultas realizadas sobre el área de influencia de los movimientos sísmicos.

Con el objetivo de generar un mapa definitivo en el que se integren los aspectos más relevantes e influyentes del riesgo sísmico, se ha llevado a cabo una evaluación multicriterio.

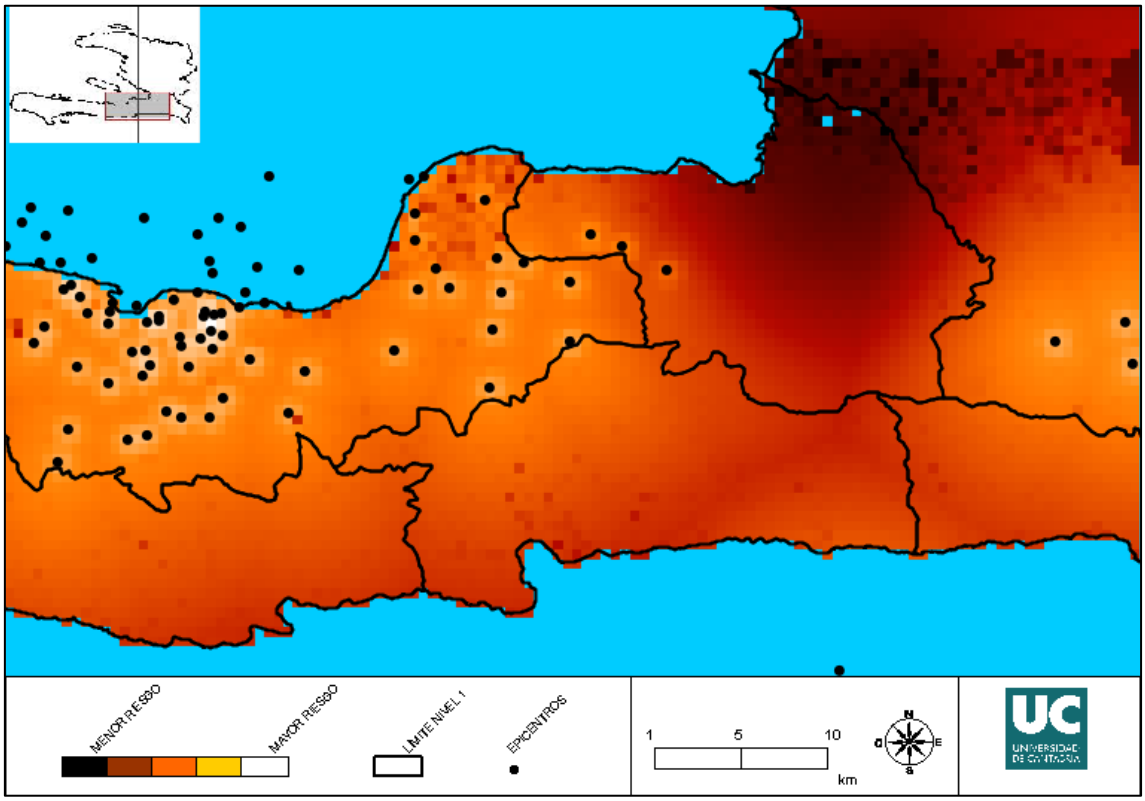
Las variables que se emplean para elaborar esta cartografía pueden ser muy diversas, siendo escogidas a criterio personal. Además, el mapa será diferente en función de qué importancia se le otorgue a cada una de esas variables.

En este caso, los elementos que se han tenido en cuenta para la generación de este mapa han sido:

- Las distancias a los epicentros de los terremotos.
- Densidad de los epicentros obtenida a través del método de Kernel.
- Cantidad de población residente en cada una de las secciones afectadas.
- Pendientes.

El resultado es una cartografía que combina la evaluación multicriterio en formato raster acompañada de los epicentros de los terremotos y los límites administrativos de nivel 1 de Haití:

Figura 2.10 – Evaluación multicriterio sobre el impacto del terremoto



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía obtenida de DIVA-GIS y GEOINT ONLINE

En cuanto a la jerarquización de estos elementos, se ha considerado que los factores más determinantes son la distancia a los epicentros y la cantidad de población residente en el ámbito.

Resulta evidente que aquellas zonas que se encuentren cerca del epicentro de un terremoto tienen mayor probabilidad de sufrir sus consecuencias en caso de que éste suceda.

Por otro lado, la población que reside dentro del área de influencia de estos epicentros es fundamental, puesto que cabe recordar que el riesgo depende de la mayor o menor exposición de los seres humanos y sus bienes (estructurales, económicos...) ante una posible amenaza.

En un segundo nivel se ha situado el factor que alude a la densidad de los epicentros; así, el hecho de que haya una gran concentración de terremotos aumenta la vulnerabilidad de un espacio. Aunque los terremotos no sean de gran magnitud, si se producen una gran cantidad de ellos en un espacio reducido, es posible que se agraven sus consecuencias.

Por último se ha tomado en consideración la pendiente; no es en sí misma un factor de riesgo, sin embargo, se trata de un fenómeno que puede empeorar las consecuencias propias de un movimiento sísmico, derivando, por ejemplo, en deslizamientos de ladera.

BLOQUE 3. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

"Ya nadie duda hoy de la utilidad de los SIG en el análisis y gestión del medio natural" (Conesa, 2004)

El presente trabajo se planteó con la finalidad principal de tratar de demostrar que los Sistemas de Información Geográfica contribuyen a enriquecer la elaboración de estudios en materia de riesgos naturales, tanto a nivel de prevención como de intervención en caso de emergencia.

Por un lado, a través de estas herramientas no sólo se pone de relieve el posible efecto de un fenómeno, sino que también es posible llevar a cabo análisis previos al acontecimiento que permitan zonificar las áreas potenciales de riesgo.

De este modo, si se consigue establecer cuáles son las zonas que tienen mayor probabilidad de sufrir un desastre natural, es más sencillo y efectivo tomar medidas de prevención que eviten estos sucesos o, al menos, reduzcan sus consecuencias en la media de lo posible.

Por otro lado, a través de la gestión de los datos relativos a un acontecimiento de este tipo, se puede elaborar cartografía que permita transformar esos datos en información y conocimiento en relación a qué es lo que ha ocurrido, cómo ha ocurrido y cómo podría haberse evitado.

Así, la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a los estudios de riesgos naturales es obligada y, además, los resultados obtenidos deben considerarse en planificación ambiental y territorial, puesto que contar con una buena información facilita que la toma de decisiones sea adecuada.

En definitiva, tengo la firme convicción de que los Sistemas de Información Geográfica son un mecanismo muy valioso para llevar a cabo una correcta gestión del riesgo.

En este sentido, considero que este trabajo establece un marco que deja abundantes líneas abiertas; así, es posible profundizar en mayor medida en estos estudios a través de la inclusión de variables distintas que son inherentes a cada tipo de fenómeno natural.

En relación con ello, la estructura seguida para el desarrollo de este proyecto puede servir de aproximación metodológica inicial para profundizar en análisis posteriores relativos a otros tipos de riesgos o bien para otras zonas y escalas de trabajo.

Como no podía ser de otra manera, el desarrollo de este trabajo se ha encontrado con algunas limitaciones que tienen distintos orígenes; por un lado debo destacar que el análisis que se lleva a cabo de los terremotos no es tan profundo como el que podría realizar un experto en la materia; de la misma forma, el uso que se ha hecho de los SIG es tan sólo una pequeña parte de las posibilidades de explotación que ofrece esta herramienta y que, sin duda, una persona con mayores conocimientos en este ámbito sabría aprovechar.

Siendo consciente de estas limitaciones, creo firmemente que me ha permitido ahondar en la exploración de las herramientas SIG y en las posibilidades de Internet para acceder a datos espaciales digitales.

Así, este estudio se ha nutrido de los conocimientos que me ha aportado la Geografía, una ciencia que ofrece una visión integrada e integradora del territorio; en este sentido; considero que ése es el objetivo principal del Grado en Geografía y Ordenación del Territorio, obtener una visión global del espacio que nos permita analizar las cosas teniendo en cuenta una gran cantidad de factores.

Así, esta titulación nos permite tener un conocimiento específico en el ámbito de la Geografía y, además, encontrar un equilibrio entre todos los aspectos que conforman la realidad territorial.

La temática de algunas asignaturas que se cursan en el Grado está directamente relacionada con la materia de este trabajo, contribuyendo en gran medida a su desarrollo, especialmente aquellas que tienen que ver tanto con los riesgos naturales como con los Sistemas de Información Geográfica; sin embargo, todas ellas aportan una visión determinada que condiciona la formación como Geógrafo.

Esto hace que, además de los aspectos específicos del trabajo, se hayan incluido elementos que hacen referencia a otros ámbitos de la Geografía; así, la Demografía, la Estadística, la cartografía temática, la Geomorfología... son algunas de las materias que ayudan a enriquecer el contenido de este estudio.

Finalmente, considero que el Trabajo de Fin de Grado supone la culminación de un periodo académico importante, pero no el fin en mi formación como Geógrafo, puesto que el conocimiento e interés por los diferentes aspectos que componen la realidad social, económica y territorial es la que te permite tomar decisiones de forma adecuada.

BLOQUE 4. BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDER, D. 1993. *Natural disasters*. UCL Press, London.

BARREDO CANO, J.I. 1996. *Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio.* Madrid, Editorial RA-MA, pp. 264.

BOLT, Bruce A. 1981. *Terremotos*. Reverté, Barcelona.

BOSQUE, J; MAS, S. 1995. "Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables". *Serie Geográfica*. Nº5, 97-112.

CIAMPAGNA, J.M. 2000. *Administración de proyectos de Sistemas de Información Geográfica*. GDSIG, Grupo para el Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: http://cvu.rediris.es/pub/bscw.cgi/d673126/Administraci%C3%B3n%20de%20Proyecto%20s%20SIG.pdf [Consulta: 15 de Mayo de 2013].

CONESA GARCÍA, C. 2004. "Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección". En CONESA, C; ÁLVAREZ, Y; MARTÍNEZ, J.B (Ed.) *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección.* Murcia: Universidad de Murcia, vol. 1, pp. 11-21.

CRESPO, J. 2011. *Charla OSM* [Vídeo]. Universidad de Deusto. Disponible en: http://blogs.deusto.es/deustotech/page/2/ [Consulta: 19 de Febrero de 2013].

DE COS GUERRA, O; MARTIN LATORRE, E. 2007. "Evaluación multicriterio y delimitación de espacios funcionales: aplicación SIG para la definición de mapas comarcales", *GeoFocus* (Artículos), nº 7, p. 256-280. ISSN: 1578-5157

DE COS GUERRA, O. 2004. "Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento de la población en España", *Geofocus* (Artículos), nº4, p. 136-165. ISSN: 1578-5157

FERNÁNDEZ GARRIDO, M.J. 2006. *Los riesgos naturales en España y en la Unión Europea: incidencia y estrategias de actuación.* J.C. García Codrón y J.S. Magagnosc (dir). Tesis doctoral, Universidad de Cantabria.

GILAVERT MARGALEF, J.; PUIG POLO, C. 2013. "Estudio comparativo de herramientas SIG libres aplicadas a contextos de cooperación al desarrollo". *SIGTE; II Jornadas de SIG libre*. Girona. Disponible en: http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1166/PuigGilavert_Art.pdf?sequence=1 [Consulta: 15 de Mayo de 2013].

GUEVARA, J.A. 1992. "Esquema metodológico para el diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfico". En: *V Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Págs. 21-30.

JIBSON, R.W; HARP, E.L. 2011. *Field reconnaissance report of landslides triggered by the January 12, 2010.* Haiti earthquake: U.S. Geological Survey Open File Report 2011-1023, p. 19.

JIMÉNEZ JARA, Diana Yolima. 2011. *Sistemas de Información Geográfica de deslizamientos inducidos por sismo.* [en línea]. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana Disponible en: http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1438 [Consulta: 13 de Febrero de 2013].

LAÍN HUERTA, L. 2002. *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el Medio Ambiente. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al estudio de la distribución espacio-temporal de los sismos de 2001 en El Salvador.* Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

L´HOMME, C. 1999. *Haití: devolver la vida al mar.* UNESCO. Nº 108. Disponible en: http://www.unesco.org/csi/act/haiti/haitis.htm [Consulta: 15 de Mayo de 2013].

MANAKER, M., E. CALAIS, A. M. FREED, S. T. ALI, P. PRZYBYLSKI, G. MATTIOLI, JANSMA, C PRÉPETIT y J. B. DE CHABALIER. 2008. "Interseismic Plate coupling and strain partitioning in the Northeastern Caribbean". *Geophysical Journal International*, 174, 889-903.

OLAYA, V. 2011. *Sistemas de Información Geográfica.* Formato PDF. Disponible en: http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG [Consulta: 20 de Mayo de 2013].

OLCINA CANTOS, J. 2006. "¿Riesgos naturales?". *Geoambiente XXI*, vol. 1, Davinci Continental S.L., Mataró.

PROYECTO SISMO-HAITÍ (2012): *Informe final: Evaluación de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Haití y aplicación al diseño sismorresistente* [en línea]. Universidad Politécnica de Madrid; Observatorio Nacional del Medioambiente y Vulnerabilidad (coords). <http://oa.upm.es/13999/1/Informe_SISMO-HAITI.pdf> [Consulta: 14 de marzo de 2013].

RED SÍSMICA DE PUERTO RICO. 2010. *Informe especial terremoto de Haití (12 de Enero de 2010).* [En línea]. Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico. Disponible en: http://redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/informes_especiales/Informe_Especial_Haiti_2010.pdf

RODRÍGUEZ, C.E. 2001. *Hazard assesment of earthquake-induced landslides on natural slopes.* PhD thesis, Imperial College of Sciende Technology and Medicine. Londres.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. *Marco conceptual y metodológico del trabajo*.....3

Figura 1.2. *Componentes de un SIG*.....4

Figura 1.3. *Factores condicionantes de las catástrofes naturales*.....8

Figura 1.4. *Encuadre geográfico de Haití*.....10

Figura 1.5. *Estructura demográfica por grupos quinquenales de edad y sexo. 2013*.....11

Figura 1.6. *Destrucción y personas sin hogar tras el terremoto de Haití*.....13

Figura 2.1. *Organigrama de la metodología general desarrollada en el trabajo*.....18

Figura 2.2. *Distribución de la población y vías de comunicación de Haití*.....23

Figura 2.3. *Puerto Príncipe y su área metropolitana*.....24

Figura 2.4. *Factores de peligrosidad sísmica en Haití*.....26

Figura 2.5. *Deslizamiento de ladera derivado del terremoto de Haití*.....27

Figura 2.6. *Distribución de la población por zonas*.....28

Figura 2.7. *Factores de vulnerabilidad de Haití ante el riesgo sísmico*.....29

Figura 2.8. *Espacio influenciado por el límite de placa y fallas*.....31

Figura 2.9. *Área de impacto de los movimientos sísmicos*.....33

Figura 2.10. *Evaluación multicriterio sobre el impacto del terremoto*.....35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. *Información extraída de la CIA*.....16

Tabla 2.2. *Origen y principales características de las capas utilizadas*.....17

Tabla 2.3. *Información relativa a los departamentos de Haití*.....23

Tabla 2.4. *Información relativa a cada una de las zonas definidas*.....28

Tabla 2.5. *Información relativa al espacio influenciado por límite de placa y fallas*.....32

Tabla 2.6. *Información relativa al espacio influenciado por los sismos*.....34