

EN TORNO A LA PREVENCIÓN



Revista N° 11, Diciembre 2013

ISSN: 1659-3057



DEFICIENCIAS DEL ÍNDICE DE FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS NATURALES PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL : PARTE I: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU CORRECCIÓN.

M.Sc. Gustavo Barrantes Castillo
Escuela de Ciencias Geográficas,
Universidad Nacional.
gbarrantes@gmail.com

Ambiental, Planificación Territorial, Ordenamiento Territorial, Valoración de Amenazas Naturales.

Resumen

La metodología oficial para incorporar la variable ambiental en el ordenamiento territorial ha mostrado deficiencias en la valoración de las amenazas naturales, en esta segunda parte del artículo se discutirán las implicaciones prácticas que un enfoque basado en la terminación la capacidad de acogida puede tener sobre la formulación del Índice de Fragilidad Ambiental (IFA). Bajo esta base se ampliarán las amenazas que debería considerar el Índice de Fragilidad Ambiental, se aplicará un enfoque multi-amenaza y se propondrá un nuevo algoritmo de cálculo que logre una apropiada incorporación de las amenazas naturales en la planificación del ordenamiento territorial.

Abstract

The official methodology to include the environment in the land use planning has showed to be not efficient to consider the natural hazards. On this second part of this paper as it will be discussed the concept "Reception Capacity" and modification of the IFA. Due to this reinterpretation, the number of natural threats have been increased, also a multi-hazard approach, and a new algorithm is development to improve their considerations on the land planning.

Palabras clave: Índice de Fragilidad

Introducción

Como se indicó en la primera parte de este artículo, la valoración e incorporación de las amenazas naturales en el proceso de planificación territorial en Costa Rica se rige por el método oficial que pretende la incorporación de la variable ambiental en los planes de ordenamiento territorial, denominado Índice de Fragilidad Ambiental. El "Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental" (Poder ejecutivo, 2006) describe el procedimiento oficial a seguir, el cual una vez aplicado en un cantón determinado debe ser posteriormente avalado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) quien otorga la "viabilidad ambiental".

En la primera parte de este artículo se mostró como la falta de una visión sistémica en la valoración de la fragilidad ambiental, el fuerte sesgo hacia el tema geológico, los métodos simplistas de estimación de las amenazas naturales y en especial el método de cálculo del IFA integrado, terminaban por subestimar las amenazas naturales presentes en el territorio.

En términos generales puede afirmarse que el conocimiento sobre las amenazas naturales sigue una serie de etapas que van de lo general a lo particular, a menos que se hayan presentado acontecimientos o eventos que ameriten estudios específicos antes que los generales. La disponibilidad de recursos económicos y humanos, así como los antecedentes de la amenaza, determinarán el nivel de detalle en que es factible realizar los estudios

sobre las amenazas, ya se trate de estudios generales o específicos, estos tienen su valor en la planificación territorial (Proyecto PREDECAN, 2009). Con respecto a la escala, los estudios de amenazas útiles para el proceso de planificación territorial van desde:

- Escalas generales comprendidas entre 1:50.000 y 1:10.000 que corresponde a un primer nivel (grueso) de aproximación generalmente cualitativo,
- Escalas medias entre 1:10.000 y 1:2.000 que permiten especificar áreas y hacer evaluaciones más cuantitativas y escalas detalladas
- Escalas pequeñas inferiores a 1:2.000 que permiten estudiar sitios puntuales con técnicas de modelación o factores de seguridad.

Es frecuente que existan mapas de amenaza para eventos particulares, elaborados por especialistas en cada área, dicha cartografía debe ser la base para establecer el índice de cada amenaza natural, siempre que estén elaborados a una escala apropiada y con una clara alusión a la intensidad de los eventos y la probabilidad de ocurrencia. Para su incorporación en este índice, el material cartográfico existente debe permitir su estandarización en cinco clases de amenaza: 1. muy baja, 2. baja, 3. moderada, 4. alta y 5. muy alta. De no ser posible su estandarización estos mapas pueden servir de base para implementar del Índice más generalizado.

A pesar de que éste último tipo de estudios es lo más deseable, su costo y la dificultad de contar con suficientes datos de calidad para aplicar sofisticados cálculos o modelaje computacional, los hace poco factibles. En los casos donde no existen estudios específicos a escalas pequeñas o medias se requieren de técnicas mínimas para aproximar el potencial de amenaza desde una escala general. A pesar de que la metodología de IFA está planteada para este último escenario, en la primera entrega de este artículo se mostraron sus deficiencias, lo que hace necesario proponer un método más robusto para la estimación individual de las amenazas así como para su valoración dentro del contexto de la

Planificación Territorial.

A continuación se propondrá una modificación del método oficial que evite dejar amenazas naturales sin evaluar, subvalorar las amenazas presentes en el territorio, así como incorporar adecuadamente las amenazas naturales en el Índice de Fragilidad Ambiental.

La conceptualización de las amenazas naturales en el contexto de la Planificación Territorial

Respecto al tema de la incorporación de la variable ambiental al ordenamiento territorial se ha manejado una serie de errores conceptuales, el más crítico para efectos de la consideración de las amenazas naturales en la planificación territorial es el uso descuidado de términos como fragilidad y aptitud, por lo que se procederá a explicar estos y otros conceptos que deben ser la base para hacer una correcta incorporación de las amenazas naturales. El punto de partida para estas aclaraciones procede la obra del reconocido autor y especialista en ordenación territorial, Domingo Gómez.

De acuerdo con Gómez (2007) toda actividad humana requiere de un espacio que la soporte, el cual ocupa y transforma a la vez. En otras palabras toda actividad implica un uso de la tierra y éste no es otra cosa que su adaptación para realizar una actividad. En términos de territorio, el espacio no es homogéneo, si no que consta de un mosaico de espacios o unidades ambientales con distintas características, que a su vez está afectado por distintos procesos naturales, en conjunto estas características y procesos influyen fuertemente en la localización de las actividades humanas. En este sentido surge el concepto de **capacidad de acogida del territorio** para las actividades humanas.

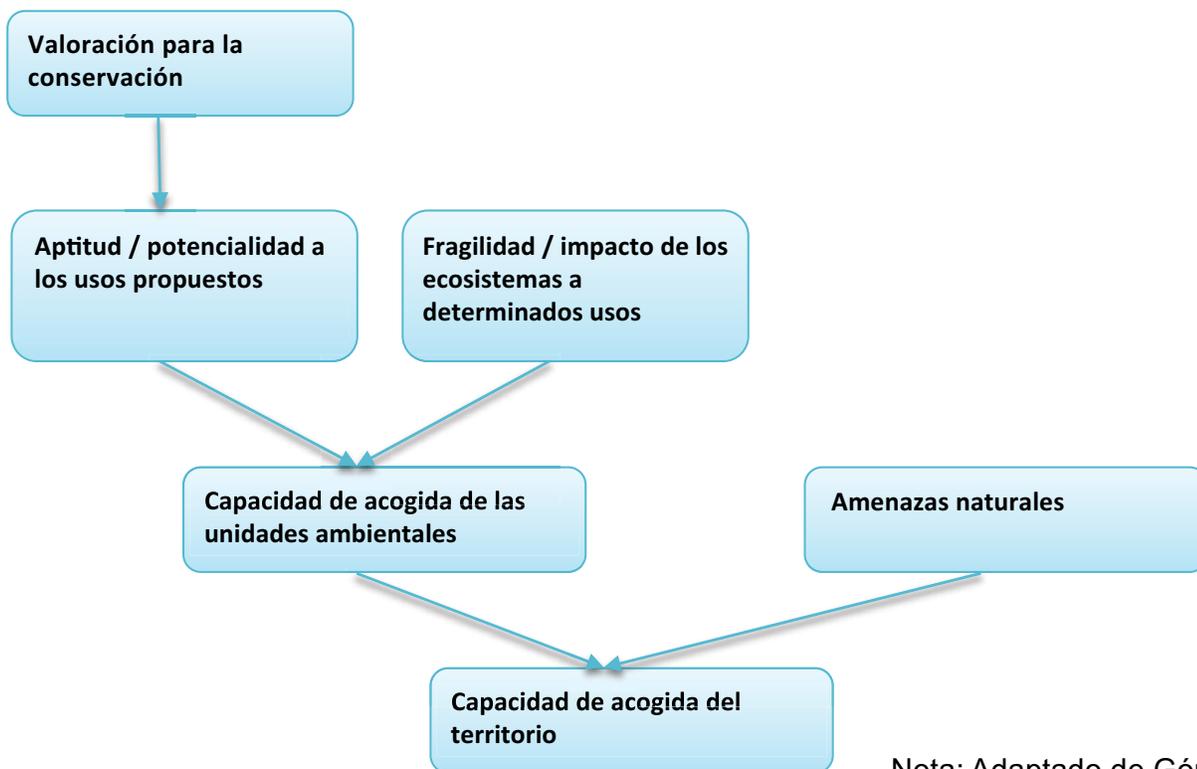
En la valoración de dicha capacidad de acogida del territorio surgen dos conceptos centrales: la **aptitud** y la **fragilidad**. La aptitud o potencial es la medida en que el sitio cumple con los

requerimientos locacionales para una actividad. Por su parte fragilidad se refieren a la vulnerabilidad de medio al impacto de las actividades humanas, en consecuencia está relacionado con la homeostasis del ecosistema y de sus servicios ambientales. Esto aclara que fragilidad no es el inverso de aptitud, como se desprende de la forma en que está estructurado el IFA.

En el establecimiento de la capacidad de

acogida del territorio debe considerarse el valor para la conservación de ecosistemas o de la biodiversidad (que implica un no uso o uso restringido de determinados espacios), así como los procesos activos entre los que destacan las amenazas naturales. La figura no. 1 se relacionan estos conceptos e introduce el concepto de **capacidad de acogida de las unidades ambientales** o ecosistemas.

Figura 1. Conceptualización del término capacidad de acogida del territorio.



Nota: Adaptado de Gómez (2007).

Como se puede observar en la Figura 1, el primer paso que debería realizarse en el diagnóstico territorial es la valoración de las áreas que presentan un potencial de conservación en virtud de su grado de alteración, su importancia como ecosistemas o de la presencia de especies que se deseen proteger. Una vez discriminadas éstas áreas que requieren de un trato especial, se procede a determinar la aptitud de los espacios o unidades ambientales que componen el territorio en función de los determinados usos propuestos para el territorio, lo que permite identificar varios usos

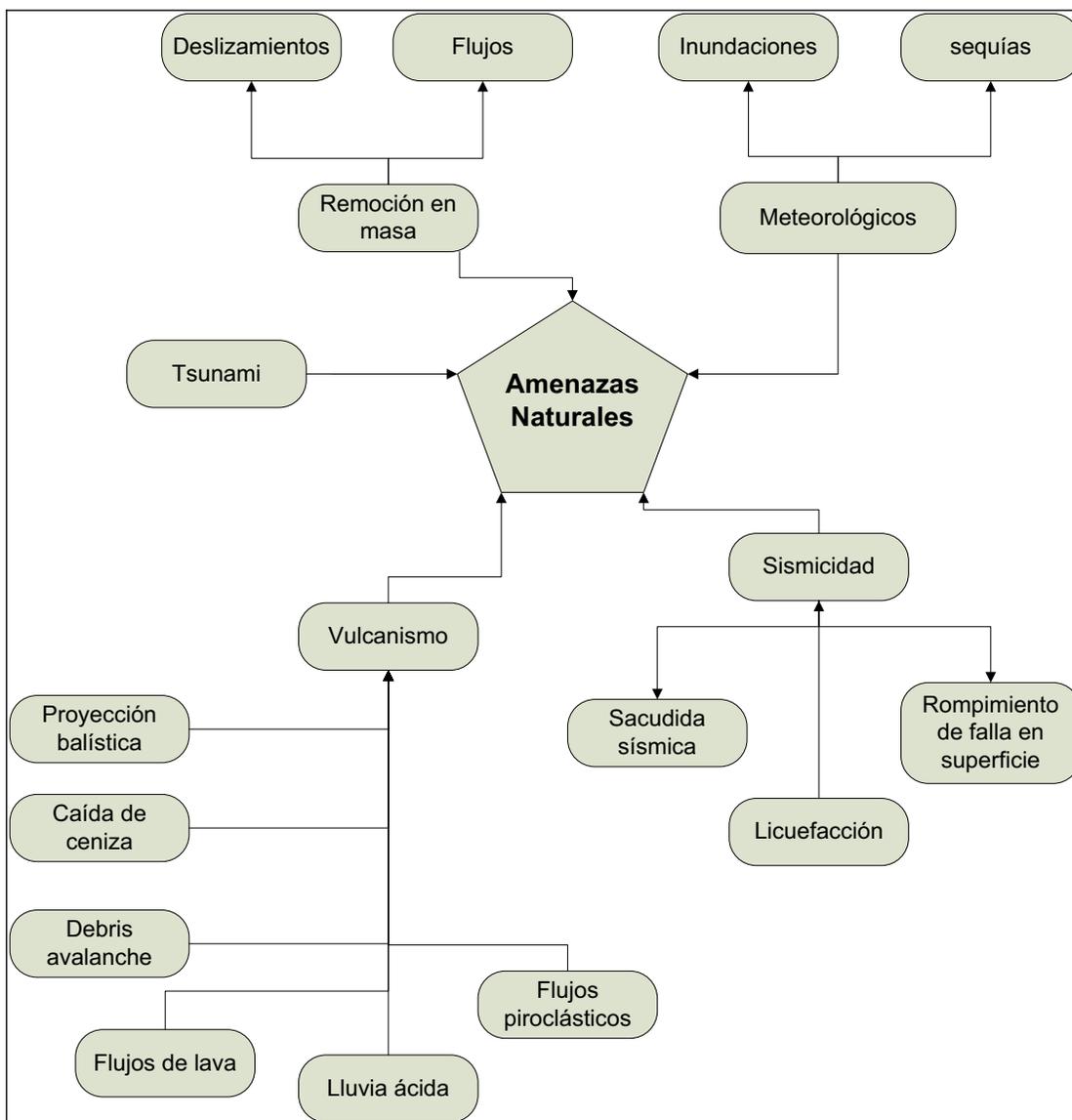
potenciales, así mismo se procede a valorar dichas áreas en función de su fragilidad ambiental ante determinados usos. Realizados estos tres pasos el territorio queda dividido en unidades ambientales acorde con su capacidad de acogida. El último paso consiste en considerar las amenazas naturales (o riesgos naturales si se quiere llegar a este nivel de profundidad) para determinar finalmente la capacidad de acogida del territorio, proceso que se consigue al restarle valor a las unidades ambientales con alta capacidad de acogida en función del grado de amenaza o riesgo presente en cada una.

En síntesis, la aptitud y la fragilidad no son sinónimos, a pesar de que las amenazas naturales pueden ser consideradas como parte de la aptitud, tal como lo hace la metodología de IFA actualmente, es más apropiado hacerlo posteriormente. De esta forma es posible restarle valor a la aptitud (fragilidad en el caso del IFA) o si se quiere a la capacidad de acogida de los ecosistemas. De este modo se evita diluir el valor de las amenazas naturales (o si se quiere del riesgo de desastre) al considerar todas las variables por igual en un índice altamente agrupado como es el Índice de Fragilidad Ambiental.

Nuevo índice de amenazas naturales

A continuación se propone un Nuevo Índice de Amenazas Naturales, el cual incorpora seis amenazas naturales no contempladas en el IFA, éstas son: flujos de escombros, sequías, caída de ceniza, colapso estructural volcánico (Debris avalanche), flujos de lava, lluvia ácida y flujos piroclásticos. El modelo del nuevo índice agrupa las amenazas en cinco subíndices en razón de la presencia de un vector común, a saber: meteorológicos, remoción en masa, tsunamis, vulcanismos y sismicidad (Figura 8).

Figura 2. Modelo conceptual del nuevo Índice de Amenazas Naturales.



En la primera parte del artículo se indicó la debilidad de los métodos empleados en el IFA para la valoración de cada amenaza, a continuación se presentará los aspectos más relevantes a considerar en la estimación de las amenazas no consideradas en el IFA, bajo la lógica de una aproximación cartográfica de escala general.

Flujo de derrubios: Un flujo se produce cuando el material se mueve pendiente abajo en forma de un fluido viscoso (Tarbuk y Lutgens, 1999). A pesar de que la mayoría de los flujos son parte de deslizamientos complejos, su comportamiento y formas resultantes son claramente identificables. Los flujos, pueden ser de barro, derrubios o rocas, con abundante presencia de agua (González, Ferrer, Ortuño, y Oteo, 2002), éstos son disparados por lluvias torrenciales o por sismicidad (Gutiérrez, 2008). El tipo más peligroso, por su extensión y frecuencia son los flujos de derrubios (debris flow). Los flujos de derrubios presentan diferentes formas que típicamente se conforman por tres elementos básicos: un área fuente o zona de aportación de materiales, un canal y una zona de acumulación.

Como, en términos generales, los factores que influyen en los movimientos en masa son los mismos, es posible utilizar métodos como el Mora-Varhson (Mora y Vahrson, 1991) u otros métodos heurísticos para determinar las áreas susceptibles de deslizarse, en otras palabras las potenciales zonas de aportación de materiales. Según Corominas, et al (1996) citado por González, et al (2002) estas zonas de aportación corresponden con áreas de pendientes entre 20° y 45°, mientras que las zonas de acumulación presentan pendientes entre 5° y 15°. La morfología de zonas planas, tales como las llanuras y los abanicos aluviales suelen corresponder con las zonas de acumulación. La conexión entre las zonas de aportación y las zonas de acumulación se realiza por medio de la búsqueda de canales o valle encañonado.

Sequías: Por sequía se entiende un periodo prolongado de precipitaciones excepcionalmente bajas que produce una escasez temporal de agua (Keller & Blodgett, 2004). Una metodología que permite determinar cuándo un déficit de precipitaciones puede ser interpretado como una

sequía, considerando su intensidad y/o duración es el Índice de Precipitación Estándar (IPS o SPI por sus siglas en ingles) Invalid source specified., índice apropiado para múltiples escalas temporales, que requiere de pocas variables.

Este método se aplica a cada una de las estaciones pluviométricas presentes en el área (previa estandarización de los datos meteorológicos). El índice podría calcularse para un periodo de 12 meses. El mapa de amenaza se elabora de la siguiente forma forma (Lardizábal, 2008):

1. Se calcula el SPI para cada estación sobre el registro disponible.
2. Los valores se agruparon en sequía asignándosele un 1 a los valores que exceden el umbral de sequía (-1) y no sequía 0 a los valores que están por debajo.
3. Se obtiene la frecuencia de años con sequía, lo que equivale a su probabilidad de ocurrencia, para cada estación.
4. Finalmente se interpolan los datos por medio de un SIG. De esta manera se obtiene el mapa de probabilidad por sequía para el cantón.

Caída de ceniza: La caída de ceniza hace referencia al manto de materiales volcánicos finos arrojados por la actividad volcánica que puede cubrir cientos e incluso miles de kilómetros cuadrados (Tarbuk & Lutgens, 1999). La distribución de la tefra de caída (ceniza) está fuertemente influenciada por la dirección del viento. Por esta razón, es fundamental considerar las principales direcciones del viento (tanto a nivel superficial como en las capas medias y altas de la troposfera). Los clásicos estudios de peligros volcánicos solo toman en cuenta una dirección del viento a nivel de superficie, tal es el caso del mapa de peligros volcánicos de Soto y Paniagua (1992). Para mejorar estas aproximaciones debe considerarse otras direcciones de acuerdo con los registros históricos, geológicos y meteorológicos.

Avalanchas de escombros por colapso

estructural: Las avalanchas de escombros por colapso estructural (debris avalanche) consisten en el deslizamiento súbito de una parte del edificio volcánico (Scott, 1993). Este tipo de eventos son poco frecuentes, no obstante pueden resultar altamente destructivos cuando implican grandes volúmenes de material. Pueden producirse sobre áreas ya colapsadas o en sitios que han sido desestabilizados por procesos endógenos o exógenos.

Entre las causas de este tipo de eventos se tienen (Capra, Bernal, Carrasco, & Roverato, 2013):

- Relacionados con la actividad magmática: Domos en la cima, criptodomos, diques intrusivos y actividad freatomagmática o hidromagmática.
- Debilitamiento del edificio volcánico: El marco estructural del volcán (fallas, deformaciones) y la alteración hidrotermal (que causa baja resistencia de las rocas y al aumento del almacenamiento de agua debido a la presencia de arcillas).
- Presencia de glaciales.

Con base en estas características es posible construir un modelo de susceptibilidad que parte de factores presentes de inestabilidad y de posibles factores de disparo, siguiendo la lógica de la metodología Mora-Vahrson (Mora & Vahrson, 1991).

Flujos de lava: Los flujos de lava son coladas o corrientes de lava que se producen cuando el magma alcanza la superficie y desborda el cráter central o es expulsado por un cráter secundario (Keller & Blodgett, 2004). Su viscosidad está determinada por la temperatura de la lava, el contenido de sílice y del de gases (Tarbuk & Lutgens, 1999).

El recorrido posible de la lava podría ser inferido a partir del análisis de los valles o cursos fluviales que que podrían verse invadidas por flujos de lava. Para la identificación de dichas corrientes fluviales se asume que la siguiente erupción puede tener lugar en cualquier punto de las áreas fuente

identificadas por los especialistas (Hoyuela, Gómez, & Martínez, 2012).

El desarrollo de coladas de lava depende de múltiples factores, tales como: el volumen y tasa de emisión, la composición químicas del magma, la cantidad de cristales presentes en el magma y la topografía del terreno. Es de esperar que en nuestro contexto vulcanológico las lavas sean de composición intermedias (andesíticas y andesíticas basálticas) de avance lento y recorridos inferiores a 14 km (Paniagua & Morales, 1987).

Lluvia ácida: La acidificación es producida cuando el dióxido de azufre liberado en la actividad volcánica reacciona con la atmósfera para producir lluvia ácida, la cual se combina con otros gases y partículas volcánicas, que sigue la dirección principal del viento (Keller & Blodgett, 2004). Tanto los compuestos de azufre como los cloruros y fluoruros reaccionan con el agua para forma ácidos irritantes para los seres vivos (Scott, 1993) y promover la lixiviación de los suelos aún en bajas concentraciones. Sin embargo, en condiciones de baja humedad atmosférica y alta emisión de gases, en fumarolas de alta temperatura, es posible tener precipitación ácida seca.

Los efectos de los gases están directamente ligados con su concentración, la cual decrece rápidamente con la distancia desde el punto de emisión; normalmente el efecto nocivo está restringido a un radio de unos 10 km desde del foco de emisión (Scott, 1993). Como resultado de la lluvia ácida y la depositación ácida seca, las plantas inhiben su crecimiento, pueden llegar a perder sus hojas y hasta morir (necrosis parcial o total), las estructuras metálicas sufren una acelerada corrosión y las edificaciones en concreto sufren un rápido desgaste. Por su parte, los suelos sufren lixiviación acelerada de los nutrientes de las plantas y éstas presentan intoxicación por absorción de aluminio a través de sus raíces.

De acuerdo con (Zarate, 1989) las condiciones del viento y la lluvia en Costa Rica son dos elementos fundamentales a considerar, el primero en la propagación de los gases y el segundo por ser precipitante y diluyente de los contaminantes.

De acuerdo con este autor, en los meses secos la dirección predominante del viento es 80°, época en la que se produciría una mayor dispersión por la velocidad de los vientos alisios. Con respecto a la época lluviosa la dirección predominante es 90° pero con una mayor fluctuación, época en que la menor velocidad de los vientos sumada a las precipitaciones reducen la dispersión de los aerosoles. Existen reportes de áreas de afectación directa de entre 2.5 y 4 km de longitud, para los principales volcánes que muestran este fenómeno en el país (Duarte & Fernández, 2010).

Flujos piroclásticos: Los flujos piroclásticos son nubes secas y calientes de escombros piroclásticos y gases que se movilizan velozmente a ras de la superficie o cerca de éste. Un flujo se compone normalmente de dos partes; un flujo basal, denso y ceñido al suelo, que es el flujo piroclástico propiamente dicho, y una oleada en forma de nube turbulenta de ceniza que precede o cabalga sobre el mismo (Scott, 1993). Este tipo de actividad volcánica ha provocado más muertes que ninguna otra amenaza volcánica (Keller & Blodgett, 2004).

Existen varios procesos que pueden generar flujos piroclásticos, como el colapso gravitacional de la columna eruptiva, el colapso de un domo o del frente de una colada de lava, entre otros. Así mismo existen varias clasificaciones para los flujos piroclásticos acorde con la modalidad del fluido o el depósito resultante. Existen pequeños o moderados flujos piroclásticos que rápidamente pueden ser conducidos por la topografía, en particular por los valles, como también existen violentos flujos capaces de sobrepasar las barreras topográficas de tamaño moderado como sucedió en la erupción del Monte Santa Elena.

Cálculo del índice de Amenaza Natural Acumulada: En la metodología de IFA, el Factor Amenazas Naturales se obtiene de la suma y clasificación (o media aritmética) de los valores obtenidos para cada una de las amenazas consideradas. No obstante no tiene sentido asumir que la amenaza de un espacio concreto esté representada por el promedio de las amenazas presentes en el mismo, esto equivaldría a afirmar

que si en éste espacio están presentes amenazas altas y bajas, el mismo quedaría representado como un área de amenaza media.

Por otro lado, diversos autores han apuntado a la necesidad de un enfoque multi-amenazas (Armonia, 2007; Fleischhauer, Greiving, y Wanczura, 2006; Perales y Cantarero, 2010). En este sentido, Perales y Cantarero (2010) hacen una crítica de las metodologías existentes para la valoración de las amenazas en espacios con múltiples amenazas presentes, llegando a las siguientes consideraciones:

- En la mayoría de las metodologías la intención de integrar se limita a la sobreposición de amenazas y la cartografía se utiliza como un elemento accesorio de su aplicación.

- Se deben establecer estándares cartográficos que orienten la producción de cartografía de amenazas y riesgo enfocado en el ordenamiento territorial. Actualmente su producción está sectorizada por distintas disciplinas que se ocupan de su estudio. Se deben contemplar las distintas amenazas presentes en un mismo espacio, así como posibles efectos en cadena.

A continuación se propone la creación de un índice de Amenaza Natural Acumulada, con la intención de incluir un análisis multi-amenazas. Dicho índice se construye únicamente con las amenazas naturales presentes en cada territorio. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Estimación individual de cada amenaza presente acorde con métodos cartográficos heurísticos (como los del IFA o alguna versión mejorada) o de investigación realizadas por especialistas.

2. Estimación del Índice de Amenaza Acumulada. Para calcular este valor se procede la siguiente ecuación:

$$IANA = IAN_{i\max} + \left(\sum A_i \right) * 0.5$$

Donde:

IANA= Índice de Amenaza Natural Acumulada

$IAN_{i\max}$ = Índice de Amenaza Natural máximo de todos los eventos

A_i = Número de amenazas presentes en un mismo espacio, con $IAN_{i\max}$ mayor a 3, excluyendo la mayor amenaza utilizada para establecer $IAN_{i\max}$.

De esta forma, el valor asignado a cada zona en que se divida el territorio corresponde con el valor de la mayor amenaza presente agravada por la presencia de otras amenazas mayores importantes (mayores a 3). En los casos donde el Índice de Amenaza Acumulada sobrepasa el valor de 5, se asignará 5 por omisión, ya que representa la máxima amenaza que puede presentarse en una zona.

Reformulación del factor amenazas naturales para una adecuada valoración de las amenazas naturales en la metodología de índices de fragilidad ambiental (IFA)

Se propone tratar a las amenazas naturales por separado, bajo el supuesto de que las amenazas naturales no deben ser consideradas dentro de un índice de geaptitud, por tratarse más bien de limitantes en vez de una aptitud natural del terreno. En el contexto de la planificación del uso de la tierra es común considerar a los peligros naturales como limitantes al desarrollo (Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993). De acuerdo con Molina (2007). El medio ambiente presenta limitaciones como lo son las amenazas naturales, que deben ser valorados por separado para luego integrarlos en la valoración del potencial, (La aptitud en el caso del IFA). Esta modificación implicaría calcular el IFA integrado como se indica en el decreto, pero retirando

de su calculo el Factor Amenazas Naturales y el de Estabilidad de laderas.

El procedimiento seguiría el siguiente orden:

1. Se calcula el índice de geaptitud: esta vez sin el factor amenazas naturales ni el de estabilidad de laderas.
2. Se calcula el índice de Amenaza Natural Acumulada como se describió en la sección anterior.
3. Se calculan los demás índices: antropaptitud, bioaptitud y edafoaptitud.
4. Se calcula el índice de fragilidad ambiental integrado, que pasa a llamarse Índice de Fragilidad Ambiental, solamente.
5. Al Índice de Fragilidad Ambiental se le resta el Índice de Amenaza Natural Acumulada, de esta manera se obtendría el valor del Índice de Fragilidad Ambiental Integrado. La formulación matemática de este paso se muestra a continuación:

$$IFAI = IFA - IAMA$$

donde

IFAI = Índice de Fragilidad Ambiental Integrado.

IFA = Índice de Fragilidad Ambiental.

IAMA = Índice de Amenaza Natural Acumulada.

Es importante aclarar que esta diferencia puede resultar negativa, por lo que se formuló un cuadro para la clasificación de todos los valores resultantes (Cuadro 1)

Cuadro 1. Clasificación de los valores resultantes.

IAG – IAMA	Valora asignado	Calificativo del IFA
-4 - -2.4	1	Muy Alta
-2.4 - -0.8	2	Alta
-0.8 - 0.8	3	Moderada
0.8 - 2.4	4	Baja
2.4 - 4	5	Muy Baja

Al aplicar las modificaciones propuestas sobre el ejemplo expuesto la primera parte de este artículo se obtiene:

Cuadro 2. Aplicación del nuevo método para cálculo del IFA a un caso hipotético.

<i>Índice</i>	<i>Sub Índice</i>	<i>Características</i>	<i>Valor</i>	<i>Total</i>
Antropoaptitud	Uso del suelo	Zona de actividad agrícola intensiva y con presencia de una población importante	5	5
	Paisaje	Parte baja de la cuenca con visibilidad limitada y cobertura de cultivos comerciales	4	
Edafoaptitud	Tipo de suelo	Alta fertilidad del suelo	2	2
	Capacidad de uso de la tierra	Alto potencial de uso agrícola	2	
Bioaptitud	Cobertura del suelo	Área de cultivo	5	5
	Áreas Protegidas	Zona sin restricción de uso	5	
	Potencial de corredor biológico	Zona de protección por proximidad a corredor biológico	4	
Geoaptitud	Litopetrofísico	Dureza de la roca	3	3
		Consistencia del suelo	3	
		Lineación	4	
		Meteorización	2	
		Espesor del suelo	2	
		Contenido de arcilla	4	
		Porosidad y permeabilidad	2	
	Geodinámica externa	Pendiente	5	4
		Relieve relativo	5	
		Densidad de drenaje	2	
		Formas de erosión	5	
		Formas de sedimentación	1	
	Hidrogeología	Densidad de drenaje	2	3
		Perfil hidrogeológico	3	
		Potencial de infiltración	3	
Manantiales y pozos		3		
Precipitación promedio anual		4		
Índice de Fragilidad Ambiental				4
				IANM
Índice de Amenazas naturales	Sismicidad	4	5	2
	Deslizamientos	2		
	Licuefacción	3		
	Vulcanismo	0		
	Tsunamis	1		
	Inundaciones	5		
Índice de Amenaza Natural Acumulada				5
Índice de Fragilidad Ambiental sin clasificar				-1
Índice de Fragilidad Ambiental Integrado				2

Al comparar los resultados obtenidos con este método, con el obtenido utilizando la metodología de IFA original (Parte I del artículo), se obtienen las siguientes mejoras:

- El nivel de amenaza no es subvalorado como efecto de considerar de amenazas menores.
- El valor del índice de amenazas naturales acumulado no se reduce al considerar los demás indicadores que conforman el Índice de Geopatitud.
- A pesar de que la amenaza no ha cambiado, su valoración si, y con ésta la fragilidad aumentó de “baja” (4 siguiendo la metodología oficial, según se planteó en la primera parte de este artículo) a “alta” (2 con la modificación propuesta). Estos datos indican que el algoritmo propuesto para corregir la valoración de las amenazas naturales en la planificación del territorio no subestima las amenazas naturales.

Conclusiones

Los estudios de detalle deben ser la base de partida para determinar el valor de cada amenaza natural presente en cada territorio. Sin embargo, la falta de dichos estudios, el costo que representan para su elaboración y la falta de datos en muchos casos, obliga a utilizar métodos más generales que permiten una primera aproximación válida para el proceso de planificación territorial.

La fragilidad ambiental y la aptitud de las unidades ambientales son conceptos distintos y complementarios, por lo que no es válido asumir, a la hora de establecer su valor, que uno es el inverso del otro. Juntos estos conceptos determinan la capacidad de acogida de los ecosistemas o unidades ambientales determinadas. En la aptitud puede considerarse las amenazas pero resulta más adecuado hacerlo en una fase posterior para evitar la pérdida de significado en un índice muy agrupado, como es el caso del IFA.

Es necesario desarrollar procedimientos para valorar otras amenazas naturales no presentes de manera explícita en la metodología del IFA,

su desarrollo debe partir de un estudio de las consideraciones más relevantes de los procesos que las provocan. La decisión final de cuales amenazas deben incluirse en cada territorio depende de la presencia o no de determinadas amenazas en el mismo.

Se ha presentado un algoritmo de cálculo que tiene dos virtudes, la primera de considerar la presencia de varias amenazas en un mismo espacio y la otra de valorar adecuadamente las amenazas naturales dentro del IFA. Este algoritmo se basa en calcular del IFA primero sin considerar las amenazas naturales, calcular un índice de amenaza natural acumulado por separado y finalmente restarle a la aptitud (o fragilidad mal interpretada) el índice de amenaza natural acumulada. En el ejemplo de aplicación teórico se mostró que este procedimiento evitar la subvaloración de las amenazas, como sucede con el IFA.

Referencias bibliográficas

- Capra, L., Bernal, J., Carrasco, G., y Roverato, M. (2013). Climatic fluctuations as a significant contributing factor for volcanic collapses : evidence from Mexico during the late pleistocene. *Global and Planetary Change*, pp. 194-203.
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. (1993). Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Washington, D.F.: Organización de los Estados Americanos.
- Duarte, E., y Fernández, E. (2010). La lluvia ácida en los volcánes de Costa Rica. Heredia: OVSICORI.
- Gómez, D. (2007). Ordenación Territorial. 2ed. Madrid: Ediciones Mundi-Presa.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.
- Gutiérrez, M. (2008). Geomorfología. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.

- Hoyuela, J., Gómez, F., y Martínez, R. (2012). Plan Territorial espacial de ordenación para la prevención de riesgos. Territorio y sostenibilidad. Recuperado de :<http://www.terysos.com/tenerife.htm>
- Keller, E., y Blodgett, R. (2004). Riesgos Naturales. España: Pearson, Prentice Hall.
- Lardizábal, C. (2008). Análisis de la sequía y alternativas de adaptación y mitigación en la subcuenca del río Guacerique, Honduras. Tesis para optar por el grado académico de Maestría en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. CATIIE.
- McKee, T. B., Doesken, J., y Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth conference on applied climatology, pp. 179-184. Washington D.C. : American meteorological Society.
- Molina, J. M. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis para optar al grado de Doctor en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Cataluña-Manresa.
- Mora, S., y Vahrson, W. (1991). Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos sobre grandes Ciudades. Bogotá : s.n.
- Paniagua, S., y Morales, L. D. (1987). Peligro sísmico y volcánico en Costa Rica. *Geoistmo*, 1(3), pp. 11-24.
- Perales, M., y Cantarero, F. (2010). Problemas y restos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio: propuesta metodológica para la elaboración de cartografías multi-peligros. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, pp. 245-271.
- Poder ejecutivo. (4 de Mayo de 2006). Decreto N° 32967-MINAE: Manual de instrumentos técnicos para el proceso de evaluación de impacto ambiental. San José, C.R. : La Gaceta Diario Oficial, pp. 2-29.
- Proyecto PREDECAN. (2009). Incorporando la gestión del riesgo de desastre en la planificación y gestión territorial: guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos . Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Scott, W. (1993). Los peligros volcánicos. En R. Tilling, *Apuntes para un curso breve sobre los peligros volcánicos* (B. Beate, Trad., pág. 111). Santa Fe: World Organization af Volcano Observatories.
- Tarbuk, E., y Lutgens, F. (1999). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física* (6 ed.). (A. M. Rubio, Trad.) Madrid: Prentice Hall.
- Zarate, E. (1989). Elementos meteorológicos importantes en para la toma de decisiones con respecto a las emanaciones contaminantes del Volcán Poás. San José: Intituto Meteorológico Nacional.