



Investigador, profesor universitario y estudiante de doctorado ([gustavo.hernandez.sanchez@una.ac.cr](mailto:gustavo.hernandez.sanchez@una.ac.cr))



Investigador, profesor universitario y estudiante de doctorado ([willintonbarranco@gmail.com](mailto:willintonbarranco@gmail.com))



Investigador, profesor universitario y estudiante de doctorado ([yostin0660@gmail.com](mailto:yostin0660@gmail.com))

## Análisis jerárquico (AHP) para la valoración de atributos ambientales de los índices de fragilidad ambiental (IFA) en Costa Rica

Luis Gustavo Hernández-Sánchez  
Willinton Barranco  
Yostin Añino



En el 2006, los índices de fragilidad ambiental (IFA) son introducidos mediante decreto como una variable ambiental en los planes reguladores u otras planificaciones de uso del suelo en Costa Rica, a través del *Manual de instrumentos técnicos para el proceso de evaluación de impacto ambiental* (Manual de EIA)-Parte III. Los IFA se definen como “el balance total de carga ambiental de un espacio geográfico dado, que sumaria la condición de aptitud natural del mismo (biótica, gea y de uso potencial del suelo), la condición de carga ambiental inducida, y la capacidad de absorción de la carga ambiental adicional, vinculada a la demanda de recursos” (MINAE, 2006). Dicha variable aplica tanto para planes reguladores cantonales o locales, como para planes públicos o privados. Este instrumento es de principal interés en aquellas actividades donde es posible que haya efectos sobre el medio ambiente, por lo que puede ser requerido en estudios de impacto ambiental presentados ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA).

El resultado es un mapa de zonificación de categorías de fragilidad ambiental con las respectivas tablas de limitantes

y potencialidades técnicas, que permite orientar la toma de decisiones sobre la planificación del uso del suelo. Este es un método de tipo restrictivo, que aplica la premisa ambiental del desarrollo sostenible para orientar a sus usuarios y a la ciudadanía en general, la forma más equilibrada de insertar las actividades humanas en los espacios geográficos. Según el decreto vigente N.º 32967 MINAE (2006), la elaboración del IFA integrado se obtiene mediante una ecuación basada en una suma algebraica de las fragilidades ambientales parciales, la cual arroja una caracterización en los mapas de IFA integrado, que se divide en zonas con muy alta, alta, moderada, baja y muy baja fragilidad.

Sin embargo, los índices de fragilidad ambiental (IFA) presentan algunos problemas metodológicos, los cuales son abordados por estudios como los de Barrantes (2012, 2015 y 2016), y recientemente por Méndez (2021). Este último autor analiza cuán factible es la implementación de los IFA, particularmente en la fase diagnóstica, para ello tomó datos relacionados al componente ambiental del cantón de Siquirres, provincia de Limón en Costa Rica, y realizó una comparación de dos métodos planteados para la elaboración del mapa de IFA integrado. El presente ensayo busca proponer la implementación de un proceso analítico jerárquico (AHP) como complemento previo a la elaboración del IFA integrado, independientemente del método que se utilice para su elaboración.

Autores como Barrantes (2016) proponen que el algoritmo de cálculo del IFA tiende a conducir a subestimaciones de las amenazas naturales por mezclar esta información con variables de otra índole que, por su naturaleza, generan sesgos en la información al no ser manejadas correctamente. Barrantes (2015) propone un modelo de multiamenaza natural que mitiga las limitaciones presentadas por el IFA calculado convencionalmente. Otro método sugerido para construir los mapas de IFA integrado es propuesto por Saborío & Saborío en 2016 (citado por Méndez, 2021). Este consiste en reemplazar el método algebraico de suma de promedios por la combinación de capas vectoriales utilizando una herramienta como QGIS Nødebo 2.16.

Adicionalmente, Méndez (2021) realiza un análisis de la factibilidad técnica en la implementación de la metodología de IFA para el cantón de Siquirres, compara los métodos de sumatoria y promedios para el método de combinación de capas vectoriales, lo cual resulta en variaciones considerables en los porcentajes de representatividad de la zonificación territorial de la fragilidad ambiental existente en el cantón de Siquirres (**Cuadro 1**). Este caso evidencia que se debe reflexionar sobre la ambigüedad, que puede haber no solo a la hora de realizar los cálculos para la elaboración del mapa de IFA integrado, sino también en la selección de criterios y las ponderaciones que se les otorgan antes de realizar cualquier tipo de cálculo.

**Cuadro 1.** Comparación de los IFA integrados obtenidos por modelos de sumatoria y promedios y modelos de combinación

Semiología	Sumatoria y promedios (%)	Combinación (%)	Diferencia (%)
Muy alta	6	32	26
Alta	34	13	21
Moderada	35	22	13
Baja	12	12	0
Muy baja	13	21	8

Fuente: Méndez (2021).

Para mejorar la metodología del IFA, se propone la incorporación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la valoración de atributos, justo como es planteado en un estudio realizado por Mendoza et al. (2021) en Colombia. El AHP permite la comparación, por pares, de los criterios evaluados y estima los pesos que pueden tener sus interacciones, su resultado es la importancia relativa de cada una de las variables en relación con las otras (Macedo et al., 2018). También sugerimos la utilización de la herramienta web “AHP Priority Calculator”, disponible en el enlace: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php> (Goepel, 2018). Esta herramienta permite la interacción de grupos expertos que califican la significancia de cada criterio con base en una escala de Likert del 1 al 9, en donde 1 simboliza igualdad de importancia, y el rango comprendido entre 2 y 9 qué tan importante es un elemento con respecto al otro (Mendoza

et al., 2021). Esto se muestra con un ejemplo a continuación.

Tomamos los datos presentados por Barrantes (2012) en la aplicación del IFA a un caso hipotético ubicado en una llanura del Caribe Sur de Costa Rica. Aprovechando la experiencia, diversidad de formación académica y nacionalidad de especialistas, se realizó el ejercicio de una valoración de los 12 subíndices contemplados en el IFA, los cuales fueron ponderados con la herramienta web propuesta “AHP Priority Calculator”. Dicho método no solo permite priorizar los subíndices, sino también visualizar, a través del porcentaje de priorización, cuánto peso o importancia puede tener cada índice para los grupos expertos. La herramienta web “AHP Priority Calculator” genera una matriz que permite establecer una relación de proximidad de importancia entre las variables evaluadas o priorizadas. A la vez, genera un índice de consistencia,

el cual analiza la coherencia de las respuestas brindadas por el grupo de personas expertas, en relación con todas las variables utilizadas.

Las amenazas naturales representan la prioridad más importante con 27.9 %, mientras que la geodinámica externa (13.9 %), la hidrogeología (13,1 %), el subíndice litopetrofísico (11.0 %), y la cobertura de suelo (10.5 %) completan el top 5 de prioridad (**Cuadro 2**). En el caso particular de la evaluación realizada para este estudio de caso, las personas expertas consideran que son las amenazas naturales las que deberían de tener mayor peso al momento de realizar un estudio donde

se incorpore la variable ambiental en el ordenamiento territorial. Sin embargo, es importante mencionar que este mismo análisis podría realizarse de manera más general para el caso de índices del IFA, a saber: antropoaptitud, edafoaptitud, bioaptitud y geoaptitud. Contrariamente, podrían ser aún más específicos, y priorizar las características de un subíndice para una región específica; por ejemplo, en el caso de amenazas naturales, priorizar sismicidad, fallas, licuefacción, vulcanismo, inundaciones, tsunamis u otras que se consideren importantes en cierta región de estudio.

**Cuadro 2.** Priorización de subíndices ambientales de los IFA a partir de la utilización de la herramienta web “*AHP Priority Calculator*”

Rango	Subíndices ambientales de IFA	Prioridad (%)
1	Amenazas naturales	27.9
2	Geodinámica externa	13.9
3	Hidrogeología	13.1
4	Litopetrofísico	11.0
5	Cobertura del suelo	10.5
6	Capacidad de uso de la tierra	5.9
7	Uso del suelo	4.9
8	Estabilidad de laderas	3.9
9	Tipo de suelo	2.9
10	Paisaje	2.3
11	Áreas protegidas	2.2
12	Potencial de corredor biológico	1.6

Como tal este ejercicio también nos deja una importante reflexión: el hecho de que los subíndices evaluados en primera instancia están relacionados y, por ende, su priorización es importante, entendiendo dicha interacción. Prueba de este argumento se percibe en el bajo porcentaje que posee el subíndice: potencial de corredor biológico (1.6 %), ya que guarda relación con los subíndices con ponderación superior, es decir, se deben contemplar amenazas naturales, geodinámica externa, cobertura de suelo, tipos de suelo, paisaje, etc., para poder cumplir con un potencial para ser catalogado como corredor biológico. Considerando lo planteado y en adición que los IFA cuentan con subíndices valorados mediante una escala de Likert, sería interesante también contemplar la incorporación de otros métodos matemáticos como los análisis factoriales exploratorio y confirmatorio (AFE, AFC), así como modelos de ecuaciones estructurales (SEM), estos últimos para contemplar variables latentes, que nos son más que variables no observables que derivan de la interacción de variables observables y que, en este caso, serían los valores asignados por la persona investigadora a cada uno de los subíndices de IFA.

Podemos concluir que, antes del análisis espacial de los datos, la incorporación de valores de importancia a los criterios evaluados para la elaboración de un mapa de IFA integrado es importante, porque contribuye a la reducción de la ambigüedad

en las ponderaciones, disminuye también el sesgo que podría existir en la zonificación territorial de la fragilidad ambiental. La inclusión de un proceso analítico jerárquico (AHP) facilita la replicación eficiente de los modelos actuales de IFA integrado, permite realizar una mejora significativa de la metodología, sin necesidad de modificar las bases teóricas de la misma. La propuesta permite el trabajo interdisciplinario y el aporte de criterio experto de una manera rápida y sucinta, al permitir alcanzar acuerdos para un mejor ordenamiento territorial y sobre todo, para incorporar de mejor manera la variable ambiental en los planes reguladores en Costa Rica.

#### Referencias

- Barrantes, G. (2012). Deficiencias del índice de fragilidad ambiental en la valoración de las amenazas naturales para la planificación territorial. *En torno a la prevención*, (9), 1-9. <http://revistaentorno.desastres.hn/pdf/spa/doc901/doc901.htm>
- Barrantes, G. (2015). *Modelo de multiamenaza natural para países en vías de desarrollo: Caso de aplicación cantón de Poás, Costa Rica* [Tesis doctoral inédita]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, C.R. DOI:10.13140/RG.2.1.2836.4400
- Barrantes, G. (2016). Problemas conceptuales y metodológicos del índice de fragilidad ambiental y sus implicaciones para la valoración del riesgo en el ordenamiento territorial en Costa Rica. *En torno a la prevención*, 16, 27-32. [https://www.researchgate.net/publication/307634035\\_PROBLEMAS\\_CONCEPTUALES\\_Y\\_METODOLOGICOS\\_DEL\\_INDICE\\_DE\\_FRAGILIDAD\\_AMBIENTAL\\_Y\\_SUS\\_IMPLICACIONES](https://www.researchgate.net/publication/307634035_PROBLEMAS_CONCEPTUALES_Y_METODOLOGICOS_DEL_INDICE_DE_FRAGILIDAD_AMBIENTAL_Y_SUS_IMPLICACIONES)

[PARA\\_LA\\_VALORACION\\_DEL\\_RIESGO\\_EN\\_EL\\_ORDENAMIENTO\\_TERRITORIAL\\_EN\\_COSTA\\_RICA](#)

- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469-487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Macedo, D., Hughes, R., Kaufmann, P., & Callisto, M. (2018). Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. *Sci. Total Environ*, 635, 1267-1279. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.216>
- Méndez, R. (2021). Análisis de la factibilidad técnica en la implementación de la metodología 'índices de fragilidad ambiental' de la secretaría técnica nacional ambiental para el cantón de Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica, durante el año 2016. *Repertorio Científico*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.22458/rc.v24i1.3086>
- Mendoza, J. M., Rosso-Pinto, M., Tavera-Quiroz, H., Coronado-Arango, A., Ríos-Kerguelen, J., Anaya-Guzmán, A., & Arrieta-López, A. (2021). Análisis de la fragilidad ambiental asociada a la contaminación del recurso hídrico como herramienta para el fortalecimiento de la gobernanza del agua en la cuenca del río Sinú. *Prospectiva*, 19(2). <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/2606/2424>
- MINAE. (2006). *Decreto N.o 32967-MINAE: Manual de instrumentos técnicos para el proceso de evaluación del impacto ambiental (Manual de EIA)-Parte III*. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57062&nValor3=72443&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57062&nValor3=72443&strTipM=TC)