

Impacto ambiental de diferentes sectores productivos de Costa Rica

Environmental impact of different productive sectors of Costa Rica

Kelvin Arce-Villalobos¹, Alejandro Arias-Castro², Karina Hernández-Ugalde³, José Carlos Mora-Barrantes⁴, Rolando Sánchez-Gutiérrez⁵

Fecha de recepción: 14 de diciembre de 2019

Fecha de aprobación: 12 de marzo de 2020

Arce-Villalobos, K; Arias-Castro, A; Hernández-Ugalde, K; Mora-Barrantes, J.C; Sánchez-Gutiérrez, R. Impacto ambiental de diferentes sectores productivos de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-2. Abril-Junio 2021. Pág 76-87.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4890>

- 1 Químico Industrial, Estudiante de Licenciatura en Química Industrial, Universidad Nacional (UNA), Escuela de Química, Costa Rica. Correo electrónico: kelvin.arce.villalobos@est.una.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-7722-3275>
- 2 Químico Industrial, Estudiante de Licenciatura en Química Industrial, Escuela de Química, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: luis.arias.castro@est.una.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0001-5655-1029>
- 3 Química Industrial, Estudiante de Licenciatura en Química Industrial, Escuela de Química, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: karina.hernandez.ugalde@est.una.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-9248-4828>
- 4 Investigador y académico, Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT), Escuela de Química, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: jose.mora.barrantes@una.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-0409-5276>
- 5 Investigador y académico, Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico (LA-MRHI), Escuela de Química, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: rolando.sanchez.gutierrez@una.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-5050-021X>



Palabras clave

Gestión ambiental; evaluación de impacto ambiental; aspecto ambiental; impacto ambiental; sectores productivos; Costa Rica; formularios.

Resumen

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) consiste en la identificación y valoración de los impactos potenciales de proyectos respecto a los componentes físicos, químicos, biológicos, culturales, económicos y sociales, con el fin de que mediante la planificación y la correcta toma de decisiones se desarrollen aquellas actuaciones más compatibles con el ambiente. Además, representa un mecanismo acondicionado a la realidad global actual, que permite el control y seguimiento de la gestión ambiental de forma integral. A pesar de ser una temática ampliamente desarrollada, en múltiples ocasiones su aplicación no es comprendida a plenitud ante la pluralidad de sectores productivos que contempla su aplicación, entre otros aspectos. En Costa Rica, el proceso de evaluación ambiental lo fiscaliza la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA); entre los instrumentos de fiscalización se dispone del formulario ambiental denominado "Formulario D-1", en el cual, el futuro desarrollador de la obra, actividad o proyecto evidencia los impactos ambientales y sociales a generar por parte de la actividad a desarrollar. En el presente trabajo de investigación se desarrolló una evaluación del impacto ambiental de diferentes sectores productivos en Costa Rica a partir de formularios D-1 ingresados a la SETENA durante los años 2018 y 2019. En total se analizaron 125 formularios de futuros proyectos a desarrollar. El sector industrial denominado "*Explotación de minas y canteras*" presenta el mayor valor de impacto ambiental (271,27). Por su parte el sector industrial con menor valor de impacto ambiental (94,64) corresponde a "*Electricidad, gas y agua*".

Keywords

Environmental management; environmental impact assessment; environmental aspect; environmental impact; productive sectors; Costa Rica; forms.

Abstract

The Environmental Impact Assessment (EIA) consists on the identification and assessment of the potential impacts of projects according to the physical, chemical, biological, cultural, economic and social components, in order that by planning and the correct decision-making process, those actions most compatible with the environment are developed. Therefore, it represents a mechanism conditioned to the current global reality, which allows the control and monitoring of environmental management in an integral way. Despite being a widely developed theme, on multiple occasions its application is not fully understood in the face of the plurality of productive sectors that its application contemplates, among other aspects. In Costa Rica, the environmental evaluation process is supervised by the National Environmental Technical Secretariat (SETENA); among the inspection instruments there is an environmental form called "D-1 Form", in which the future developer of the work, activity or project demonstrates the environmental and social impacts to be generated by the activity to develop. In the present research work an evaluation of the environmental impact of different productive sectors in Costa Rica was developed from D-1 forms entered to SETENA during 2018 and 2019. In total, 125 forms of future projects to be developed were analyzed. The industrial sector called "*Mining and quarrying*" showed the highest environmental impact value (271,27). The industrial sector with the lowest environmental impact value (94,64) corresponds to "*Electricity, gas and water*".

Introducción

En los últimos 40 años la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) ha sido un componente clave de la gestión ambiental debido al daño ocasionado por las actividades humanas, entre estos la pérdida de biodiversidad, los daños a las zonas marinas y las amenazas a las fuentes de agua dulce y la calidad de este recurso [1].

Un rápido aumento en la preocupación por los impactos ambientales y ecológicos ocasionados por proyectos económicos y sociales en proceso ha sido observado en los últimos años, promoviendo, el desarrollo de procedimientos que permitan evaluar el posible impacto ambiental generado por diferentes sectores productivos, entre los cuales destacan la construcción, la agricultura, la ganadería, la caza y la silvicultura, la explotación de minas y canteras, la generación de electricidad, la explotación y distribución de gas, el uso del recurso hídrico y los servicios de comercio y reparación [2]. Todas estas actividades engloban múltiples aristas que representan un problema para el ambiente en condiciones de destrucción, consumo de recursos y contaminación [3].

Diferentes técnicas metodológicas son aplicables al proceso de EIA de múltiples sectores productivos, algunos métodos son generales y otros de carácter más específico [4]. Los procedimientos de EIA en Costa Rica son fiscalizados por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), un ente estatal del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). La SETENA emplea un esquema de evaluación electrónica mediante un formulario ambiental digital denominado "Formulario D-1" (D-1), para estimar preliminarmente el impacto ambiental potencial de los futuros proyectos por construir.

Entre los datos y parámetros que incluye y evalúa el D-1 respecto al proyecto a desarrollar se indican; nombre de la actividad, localización, datos del desarrollador, descripción del proceso productivo (dimensiones, generación de residuos, consumo de agua, electricidad y combustible), marco regulatorio, aspectos e impactos ambientales (cuadro 1) e impacto potencial del proyecto [5]. Dichos datos y parámetros se clasifican en diferentes secciones de acuerdo con la metodología de evaluación de impacto ambiental incluida en el Formulario D-1, estas secciones son; Sección 1: Información general del desarrollador del proyecto y de las características principales de la obra, Sección 2, 3 y 4: ver cuadro 1, Sección 5: Criterios de ponderación, Sección 6: Matriz de efectos acumulativos y sinérgicos, Sección 7: Obtención del valor de impacto ambiental del proyecto y, Sección 8: Ficha de descripción del proyecto. El cuadro 1 contiene un resumen de los factores, componentes y subcomponentes ambientales que son evaluados en las secciones 2, 3 y 4, los cuales permiten obtener el valor de impacto ambiental (Sección 6), una vez revisados los criterios de ponderación (Sección 5) [4].

Para cada Subcomponente Ambiental (SAS) (cuadro 1) se obtiene un valor de "X" de acuerdo con los casos definidos en el formulario y con el marco jurídico preestablecido dentro del mismo Formulario D-1. Cada valor asignado a "X" se define considerando el mayor consumo o efecto a generar por el proyecto a desarrollar, independientemente de que se presente en la etapa de construcción o de operación de este. El valor "X" representa el "valor de significancia de impacto ambiental preliminar" para cada SAS evaluado, cuando el valor "X" es de 6 puntos o más, se considera que el impacto ambiental para un determinado aspecto ambiental es significativo [4].

Cuadro 1. Factores, componentes y subcomponentes ambientales evaluados para cada proyecto.

Sección (D-1)	Factor Ambiental (FA)	Componente Ambiental (CA)	Subcomponentes Ambientales (SAS)	
2	Consumo-Afectación	Agua	Acueducto Público Existente (APE); Agua Superficial (ASP); Agua Subterránea (ASB).	
		Energía	Autoabastecimiento Biocombustibles (ABC); Autoabastecimiento Combustibles Fósiles (ACF); Autoabastecimiento Externo (AE).	
		Biotopos	Afectación a la Fauna (AFN); Afectación de la Flora (AFL)	
3	Impacto en aire y agua	Aire	Emisión de Fuentes Fijas (EFF); Emisión de Fuentes Móviles (EFM); Emisiones de Radiaciones Ionizantes (ERI); Generación de Olores (GO); Producción de Ruido y Vibración (RV).	
		Agua	Producción de Agua de Escorrentía Superficial (AES); Aguas Residuales Ordinarias (ARO); Aguas Residuales Especiales (ARE)	
	Impacto en el suelo	Suelo	Residuos Ordinarios (RO); Residuos Especiales (RE); Escombros (EC); Residuos Químicos (RQ); Residuos Radiactivos (RR); Residuos Biológicos (RB); Movimiento del Suelo (MS); Modificación de Tierras de Pendiente (MTP); Densidad de Población (DP); Densidad de Construcción (DC); Modificación del Suelo (MS).	
			Social	Generación de Empleo (GE); Reubicación de Personas (RP).
			Cultural	Alteración del Paisaje (APS); Afectación del Patrimonio (APT).
	Impacto humano	Viabilidad	Vehículos de Generación de Tráfico (VGT).	
Otros riesgos		Otros riesgos	Manejo de Combustibles Fósiles (MCF); Agroquímicos (AQ); Sustancias Peligrosas (SP); Materiales Radiactivos (MR); Biorriesgos (BR).	

La sumatoria de los valores “X” de cada SAS, permite obtener una “valoración por efecto”, que corresponde al valor de significancia ambiental de cada Componente Ambiental (CA) (compuesto por uno o más subcomponentes ambientales, ver cuadro 1). La sumatoria de la “valoración por efecto” de cada CA permite obtener del valor de Significancia de Impacto Ambiental Preliminar (SIA-P) de cada proyecto a desarrollar [4].

El valor de SIA-P de cada proyecto se debe ajustar en función de la existencia o no de regulaciones específicas aplicables a la operación del proyecto y de la adherencia, voluntaria o no, del proyecto a una guía o norma ambiental que exista para la actividad. Una vez ponderado el valor de SIA-P se obtiene el valor de Significancia de Impacto Ambiental Ponderado del proyecto (SIA-Pond). El valor SIA-Pond se ajusta nuevamente, no obstante, esta vez en función de la ubicación geográfica del proyecto considerando: si se localiza en una zona con plan

regulador ambiental autorizado por el ente ambiental estatal o en proceso de autorización; y si se localiza en un área ambientalmente frágil según lo establece el Estado costarricense. Una vez ajustado el SIA-Pond se obtiene el valor de Significancia de Impacto Ambiental Final del proyecto (SIA-F) [4].

El presente trabajo de investigación evaluó formularios ambientales ingresados a la SETENA durante los años 2018 y 2019. A partir de la información contenida en los Formularios D-1 se desarrollaron bases de datos con el objetivo de identificar aquellos sectores productivos con mayor impacto ambiental en Costa Rica, permitiendo a su vez, evidenciar cuales son los componentes ambientales mayormente afectados por cada sector industrial.

Metodología

Trabajo de campo

Para obtener la información a analizar, se realizó un total de 5 visitas al área de Archivo de la SETENA y se revisó un total de ciento veinticinco formularios D-1 en versión impresa ingresados a la SETENA durante los años 2018 y 2019. Se tabuló de forma preliminar la información en una hoja de Microsoft Excel versión 16.0. La información tabulada para cada formulario incluyó: número de expediente, nombre del proyecto, descripción del proyecto, sector industrial perteneciente, localización (provincia, cantón, distrito), área total y área de construcción del proyecto, número de lote y número de plano catastro del proyecto, sector CIIU y clasificación de impacto potencial (IAP), valor de impacto de cada uno de los aspectos ambientales (ejemplo: consumo de agua de acueducto público, emisiones de fuentes gaseosas, gestión de residuos peligrosos, otros). En total se sistematizó para cada proyecto los valores de impacto de 37 Subcomponentes Ambientales (SAS).

Análisis de datos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos haciendo descripción por cada CA (producto de los valores de cada SAS), y posteriormente como resultado de la suma de cada CA se obtuvo un valor promedio para cada Factor Ambiental (FA).

Producto de los valores anteriores se sistematizaron los datos de valor de significancia ambiental de cada proyecto (SIA-P, SIA-Pond y SIA-F), cada uno fue clasificado según el sector industrial correspondiente, con el fin de identificar cual es el sector que presenta los mayores valores de impacto ambiental, identificando a su vez los principales SAS, CA y FA que influyen en el valor final de impacto ambiental.

El análisis estadístico y gráfico de los datos recopilados se realizó en R 3.6.1, R Core Team [16] utilizando el paquete ggplot2 [17]; finalmente los resultados fueron analizados mediante la comparación de la información generada entre los cinco sectores productivos definidos.

Resultados y discusión

Para cada sector industrial, se evaluaron 37 subcomponentes ambientales (SAS), los cuales se encuentran listados en el cuadro 1, por su parte, en el cuadro 2 se incluye la cantidad de subcomponentes ambientales considerados significativos (*) para cada sector industrial.

Cuadro 2. Subcomponentes ambientales significativos por sector industrial evaluado.

Subcomponente ambiental	Sector industrial				
	Explotación de minas y canteras	Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	Comercio y servicios de reparación	Construcción	Electricidad, gas y agua
APE	*	*	*	*	*
ASP					*
ASB		*	*	*	*
ABC					
ACF	*				
AE	*	*	*	*	*
AFN	*	*		*	*
AFL	*	*	*	*	*
EFF	*	*	*	*	
EFM	*	*	*	*	*
ERI					
GO	*	*	*	*	*
RV	*	*	*	*	*
AES		*		*	
ARO	*	*	*	*	*
ARE	*		*		*
RO	*	*	*	*	*
RE	*	*	*	*	*
EC	*	*	*	*	*
RQ	*		*	*	*
RR	*			*	
RB	*			*	
MS	*	*		*	*
MTP	*		*	*	*
DP				*	*
DC		*	*	*	*
MS	*	*	*	*	*
GE	*	*	*	*	*
RP					
VGT	*	*	*	*	*
APS	*	*	*	*	*
APT	*		*	*	
MCF	*	*	*	*	*
AQ		*			
SP	*	*	*	*	
MR					
BR					
Total	26	23	23	28	24
Porcentaje (%)	70	62	62	76	65

De los 37 SAS evaluados para los 125 casos de estudio, se encuentra que en al menos un caso de estudio, 32 SAS (86,49%) poseen valores de valor de significancia de impacto ambiental preliminar significativos, destacando que para cinco SAS (13,51%) no se logra encontrar en

ninguno de los casos de estudio, algún valor que sea considerado significativo; lo anterior apunta a que estos SAS pueden estar siendo no afectados de manera importante por ningún sector industrial debido a la aplicación de las regulaciones específicas en el desarrollo de los proyectos; o bien, puede ser evidencia que son SAS poco susceptibles al desarrollo de proyectos para cualquier sector industrial. Por el contrario, se encuentra que para catorce SAS (37,84%), existe una convergencia de significancia de impacto en los cinco sectores industriales evaluados, estos SAS son: APE, AFL, EFM, GO, RV, ARO, RO, RE, EC, MS, GE, VGT, APS y MCF; por lo tanto, es importante prestar especial atención a estos SAS, debido a que pueden influir en mayor medida al valor de significancia de impacto ambiental. Además, se puede observar, que los sectores industriales con porcentajes de subcomponentes ambientales significativos más altos son *Construcción y Explotación de minas y canteras*, con un 70% y 76%, respectivamente.

En la figura 1 se muestra la cantidad porcentual de proyectos analizados para cada sector industrial, según la calificación obtenida en cada categoría de significancia ambiental. En la calificación de Significancia de Impacto Ambiental Preliminar (SIA-P), el 100% de los proyectos analizados obtuvieron una calificación de B2 en los cinco sectores, indicando que, para todos los sectores productivos, la sumatoria de las puntuaciones obtenidas para cada CA es menor a 300. Por otro lado, las calificaciones obtenidas en la etapa de asignación de la Significancia de Impacto Ambiental Ponderado (SIA-Pond) indican que, para los sectores de *Electricidad, gas y agua y Agricultura, ganadería, caza y silvicultura*, el 100% de los proyectos son calificados como B2, mientras que para los sectores restantes la cantidad porcentual de proyectos categorizados como B2 es de 86,36% (*Explotación de minas y canteras*), 88,24% (*Comercio y servicios de reparación*) y 91,67 (*Construcción*).

Se observa en la figura 1, que para la Significancia de Impacto Ambiental Final (SIA-F), nuevamente *Electricidad, gas y agua* presentó calificaciones de B2 en la totalidad de casos bajo estudio; además *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura* presentan calificaciones tanto de B2 (80%) como de B1 (20%); situación similar para los sectores de *Construcción; Comercio y servicios de reparación y Explotación de minas y canteras*, siendo este último, el sector industrial que presenta el mayor porcentaje de proyectos con categoría de impacto ambiental moderado-alto (B1), tanto para el caso del SIA-F (22,73%) como para el SIA-Pond (13,64%). Al comparar el SIA-Pond con el SIA-F, se observa un aumento en las puntuaciones del SIA-Pond, producto de los ajustes en función de la existencia o no de regulaciones, normas o guías aplicables a la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto; y de la clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto. Este último aspecto evalúa si el proyecto se ubica en una localización con Plan Regulador o si se encuentra en un área ambientalmente frágil [6]. Esta variación entre el valor SIA-Pond y el valor SIA-F es mayor en los sectores industriales *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura y Explotación de minas y canteras*, debido a que cada sector presenta 14 y 17 proyectos, respectivamente, que se ubican en un área sin Plan Regulador, ocasionando calificaciones mayores de SIA-F. Por otro lado, de los proyectos estudiados para el sector de *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura*, 11 no cuentan con reglamento específico en materia ambiental aplicable a la operación del proyecto, lo que genera las calificaciones de impacto ambiental en categorías más altas.

En la figura 2 se muestra la distribución de valores de SIA-F con respecto a los diferentes sectores industriales evaluados, esta hace referencia a la densidad de valores individuales de cada caso de proyecto que conforma cada sector industrial. Por su parte, la estadística descriptiva para los valores de SIA-F de cada sector industrial se muestra en el cuadro 3.

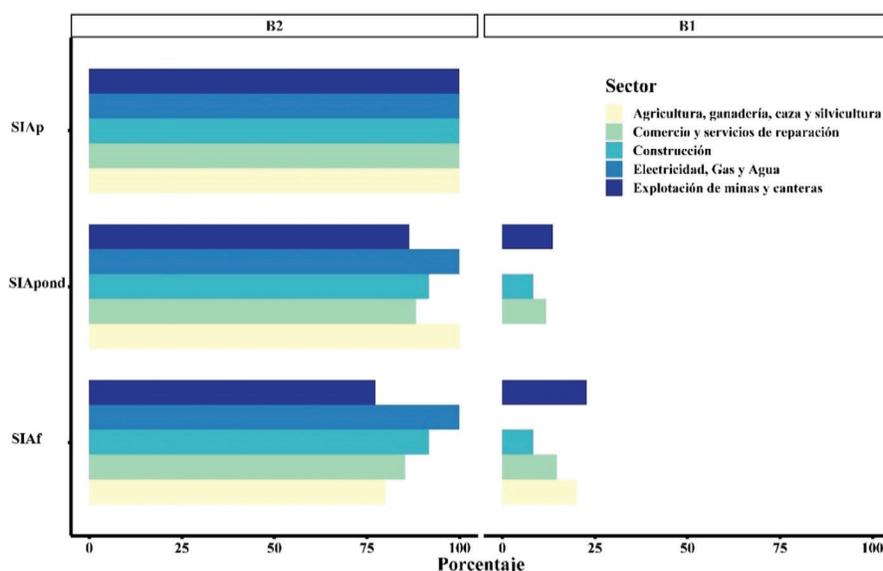


Figura 1. Porcentaje de proyectos por sector productivo con calificaciones de B2 y B1 de acuerdo con los diferentes valores de significancia ambiental (SIA preliminar, SIA ponderado y SIA final).

El sector de *Explotación de minas y canteras* (G), posee un valor promedio de SIA-F de 271,27, siendo el más alto entre los sectores. Lo anterior se debe a que este presenta una mayor variabilidad y distribución de valores del SIA-F en las diferentes actividades productivas que lo conforman, además que existen actividades con valores individuales de magnitudes elevadas (figura 2). La variabilidad observada para este sector es en parte, debida a la diferencia que puede existir entre un proyecto u otro; a pesar de que se ubican en un mismo sector productivo, sus procesos varían si la finalidad de la explotación de la mina o cantera es con el fin de extraer material metálico o no metálico, si la explotación se hace directamente en una montaña rocosa o en un cauce de dominio público. Esto lo que provoca es que, debido a la diferencia de estos procesos productivos, el proyecto impacte de manera distinta en los diferentes subcomponentes ambientales evaluados en el formulario D-1 [7]. Sin embargo, el valor de impacto que puede presentar cada uno de los SAS no son los que explican la principal variabilidad, si no, los ajustes a los valores de SIA-P y SIA-F. Esto se ve reflejado en el cuadro 3, ya que el sector de *Explotación de minas y canteras* cuenta con el valor más alto de desviación estándar y a su vez cuenta con el valor máximo de SIA-F (534). Este valor tan alto en particular, se genera producto de los ajustes realizados en el SIA-Pond y SIA-F, como se detalló anteriormente. El valor inicial (SIA-P) fue de 178; al realizar el ajuste del SIA-Pond, este valor se duplicó a 356, debido a que el proyecto no contaba con reglamentación específica en materia ambiental que regulara la operación. Por último, al realizar el ajuste de SIA-F, se obtiene el valor de 534, aumentando 1,5 veces respecto al SIA-Pond, producto de la carencia de plan regulador en el área de localización del proyecto. Estos ajustes realizados para cada uno de los casos estudiados promueven la variabilidad de los datos, ya que a pesar de que la afectación de los SAS sea similar para proyectos que se agrupan en un mismo sector, los ajustes de SIA-Pond y SIA-F, aumentan la puntuación de cada proyecto de acuerdo con las características intrínsecas de la actividad y el área de localización. Los valores extremos más altos que se observan en la figura 2 para el sector de *Explotación de minas y canteras* son producto principalmente de la falta de reglamentación ambiental y de que el proyecto se planea ubicar en un área sin plan regulador o ambientalmente frágil. El sector industrial *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura* (A), presenta el segundo valor promedio de SIA final más alto (249,70) (cuadro 3), con valores máximos y mínimos individuales de 432 y 113, respectivamente (figura 2).

Las actividades industriales de *Explotación de minas y canteras*, así como de *Agricultura ganadería, caza y silvicultura*, son altamente dependientes de la disponibilidad de recursos naturales; además, impactan negativamente al ambiente a través de la contaminación del aire, suelo y agua tanto superficial como subterránea. Por su parte, estos dos sectores industriales presentan una mayor generación de múltiples tipos de residuos, un mayor agotamiento de los recursos no renovables, alta generación de ruido, así como un impacto negativo generalizado en los hábitats naturales y al paisaje [8]–[10], por lo anterior, es congruente que sean los sectores industriales con valores promedio de SIA-F más altos.

En contraparte, el sector *Electricidad, Gas y Agua* (F), presenta el menor valor promedio de SIA-F (94.64, Cuadro 3), el cual se asocia a una distribución con tendencias a valores bajos de SIA-F para las actividades que le conforman (figura 2), con valores máximos y mínimos de 251 y 22,5 respectivamente. En este sector, actualmente el diseño de proyectos se realiza con la inclusión de una variable ambiental que permita mantener bajos impactos por la generación de desechos sólidos y líquidos, emisiones gaseosas, aporte al calentamiento global y a la salud humana [11]; por lo anterior se explica los dato obtenidos para el sector.

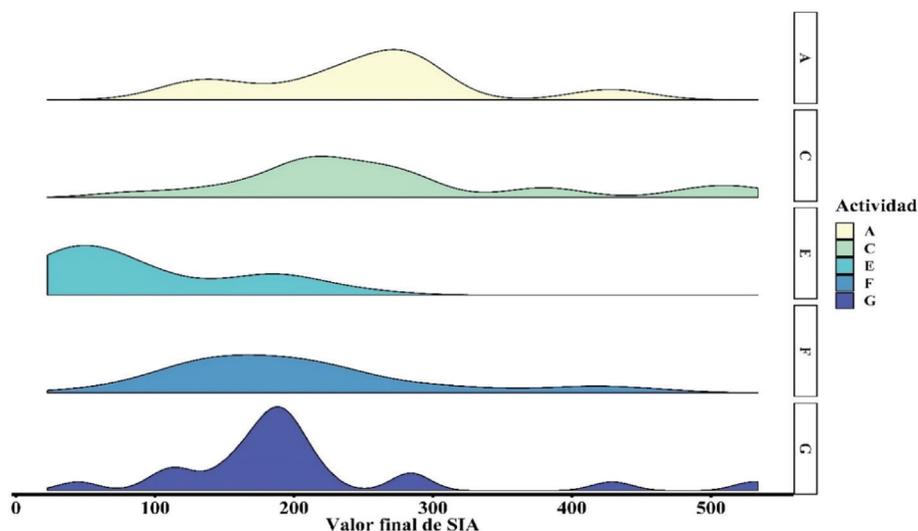


Figura 2. Distribución de los valores finales de SIA de acuerdo con el sector o actividad productiva: (A) Agricultura, ganadería, caza y silvicultura; (C) Comercio y servicios de reparación; (E) Construcción; (F) Electricidad, Gas y Agua; (G) Explotación de minas y canteras.

Cuadro 3. Promedio, desviación estándar y valores máximos y mínimos de los valores SIA final por sector industrial.

Sector	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	249,70	83,80	113	432
Comercio y servicios de reparación	202,98	100,56	44,6	531
Construcción	203,65	94,33	46,5	456
Electricidad, Gas y Agua	94,64	69,46	22,5	251
Explotación de minas y canteras	271,27	118,74	83	534

La figura 3 muestra los valores de impacto ambiental de cada SAS analizado para cada sector industrial; de esta se infiere que existe una tendencia a que los valores de mayor impacto ambiental corresponden al medio *suelo*, principalmente por el aporte individual de valores de impacto altos del sector de *Construcción* y de *Explotación de minas y canteras*. El alto impacto del sector construcción al medio suelo se debe principalmente a la generación de escombros y a la inadecuada disposición final de los mismos, que generalmente se realiza mediante una escombrera dentro del área del proyecto, o se entrega a un tercero sin fines comerciales. La industria de la construcción es considerada mundialmente como una de las mayores productoras de residuos sólidos, los cuales han ido aumentando con el paso de los años, debido al incremento del desarrollo de nueva infraestructura, así como trabajos de renovación, reparación y demolición [12]. Estos materiales se filtran por el agua de lluvia y el agua de escorrentía superficial, ocasionando lixiviación y liberación de contaminantes del material de desecho al suelo subyacente y, eventualmente, al agua subterránea [13]. Grandes cantidades de residuos de construcción y demolición son perjudiciales para el medio ambiente si no se gestionan de manera adecuada [12].

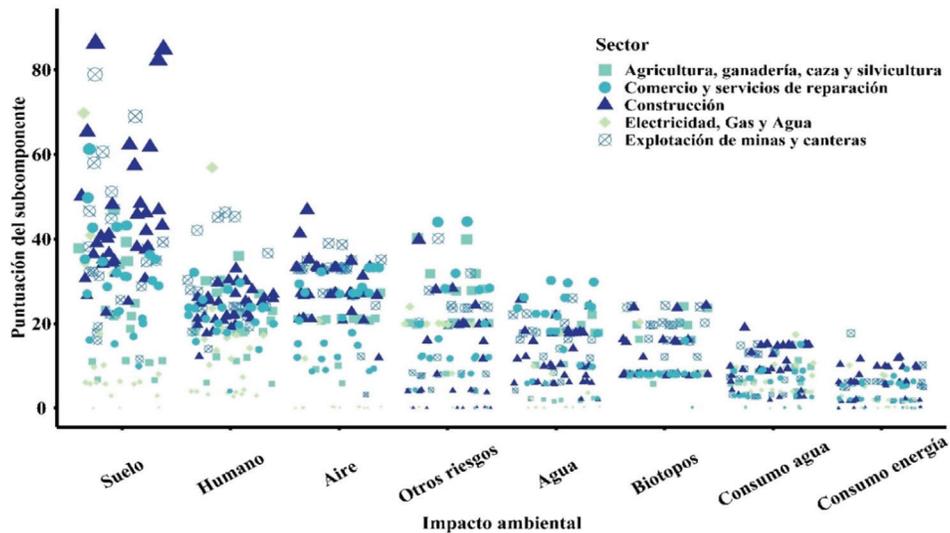


Figura 3. Puntuaciones obtenidas por subcomponente para cada uno de los 125 casos evaluados, en relación con el sector productivo al que pertenecen.

El sector industrial *Explotación de minas y canteras* es una de las actividades humanas responsables de la contaminación de los suelos en grandes áreas del mundo, no obstante, en Costa Rica su explotación es altamente regulada, requiriéndose un Estudio de Impacto Ambiental antes de iniciar cualquier proyecto de este tipo. Los desechos de las minas ocasionan drenajes de ácidos y sólidos que pueden liberar metales como Cu, Mn, Fe, Zn, Ni, Mo, B y Cl, los cuales son esenciales para las plantas; así como otros elementos que son beneficiosos para algunas especies vegetales, tal cual es el caso de Al y Ti; sin embargo, a grandes concentraciones, son tóxicos y perjudiciales [14], [15]. Según la figura 3, la *Explotación de minas y canteras* genera una gran afectación al subcomponente *Humano*, debido principalmente al impacto social ocasionado por el limitado empleo que genera esta actividad y al impacto cultural generado por la alteración al paisaje que ocasiona la minería, que generalmente se desarrolla en zonas rurales provocando un desequilibrio en la textura del paisaje existente.

El tercer subcomponente con mayor afectación es medio *aire*, impactado principalmente por los sectores de *Construcción* y *Explotación de minas y canteras*. Ambas actividades impactan al aire debido principalmente a las emisiones de fuentes fijas no controladas, emisiones de

equipos móviles y a la producción de ruidos o vibraciones no confinables. Diversos estudios han demostrado que la industria de la construcción es el mayor contribuyente a las emisiones totales de CO₂, las cuales representan el 7% de las emisiones anuales globales de gases de efecto invernadero de los Estados Unidos [16].

De acuerdo con la figura 3, los diferentes subcomponentes ambientales pertenecientes a los sectores industriales evaluados impactan en menor grado a los medios *Agua, Biotopos, y Energía*. Es notable que los sectores que influyen en menor medida en el impacto ambiental sobre los componentes ambientales son los sectores industriales *Electricidad, gas y agua*, así como el de *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura*.

La tendencia mencionada, para el caso de las puntuaciones otorgadas a los SAS, explica en parte la variabilidad encontrada en los valores de SIA final, dado que los sectores con magnitudes de SIA final altos presentan a su vez puntuaciones elevadas en el caso de los SAS y una correspondencia similar se presenta para los valores más bajos de cada aspecto. Esto además se refleja en los valores extremos de cada sector, los cuales, una vez más, guardan una relación directa con la tendencia mencionada, en virtud de que los valores máximos más altos corresponden a los sectores con las magnitudes de SIA final y puntuación de SAS más grandes; así como los valores mínimos más bajos con aquellos que presentan las magnitudes menores de cada variable.

Aunado a esto, la localización de los diferentes proyectos dentro de un sector, puede ser otro factor que explique la variabilidad de la SIA final. Esto se refleja con claridad en el caso del sector *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura*, el cual presentan el segundo valor más alto SIA final promedio (249,70), a pesar de ser uno de los que influyen en menor medida en el impacto ambiental sobre los componentes ambientales; hallazgo que se asocia con el hecho de que ningún proyecto, entre los casos de estudio de este sector, se localiza en un punto autorizado por un Plan Regulador u otra planificación ambiental de uso del suelo aprobado por la SETENA; criterio que se contempla en el formulario D-1 al calcular el SIA final y que explica el alto valor de dicho aspecto para este sector en particular; así como parte de la variabilidad de la SIA final en los casos restantes.

Conclusiones y Recomendaciones

Un 37,84% del total de subcomponentes ambientales evaluados fueron clasificados como significativos para los cinco sectores industriales analizados, siendo estos los que influyen en mayor medida en el valor de significancia de impacto ambiental.

Los sectores industriales con porcentajes de subcomponentes ambientales significativos más altos son *Construcción y Explotación de minas y canteras*, con un 70% y 76%, respectivamente.

El sector *Explotación de minas y canteras* presenta el mayor valor de SIA-F (534), mientras que el menor valor de SIA-F corresponde al sector denominado *Electricidad, Gas y Agua* (22,5), lo anterior es congruente con las características propias de cada sector industrial.

El medio ambiental mayormente afectado es el suelo, esto principalmente asociado al impacto ambiental de los sectores industriales *Construcción y de Explotación de minas y canteras*.

Los sectores industriales *Agricultura, ganadería, caza y silvicultura y Explotación de minas y canteras* presentan la mayor variación entre sus valores SIA-P y SIA-F, lo cual se debe principalmente a la carencia de reglamentación en materia ambiental, así como la inexistencia de Planes Reguladores en las zonas de ubicación de los proyectos.

El menor impacto ambiental (valor de SIA-F) corresponde al sector *Electricidad, Gas y Agua*, ya que posee valores relativos bajos de impacto en los diferentes componentes ambientales, así como a la existencia de normativa que regule este tipo de actividad, por ejemplo, el cumplimiento del *Reglamento de Perforación del Subsuelo para la Exploración y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas N° 35884-MINAE*, el cual regula las concesiones de agua.

Agradecimientos

Se agradece a los funcionarios del Archivo Central de la SETENA que contribuyeron en el desarrollo de este artículo, en especial, a Yuliani Zúñiga Peña.

Referencias

- [1] R. K. Morgan, "Environmental impact assessment : the state of the art," *Impact Assess. Proj. Apprais.*, vol. 30, no. March 2015, pp. 5–14, 2012.
- [2] G. He, L. Zhang, and Y. Lu, "Environmental impact assessment and environmental audit in large-scale public infrastructure construction: The case of the qinghai-tibet railway," *Environ. Manage.*, vol. 44, no. 3, pp. 579–589, Sep. 2009.
- [3] A. Enshassi, B. Kochendoerfer, and E. Rizq, "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción," *Rev. Ing. Constr.*, vol. 29, no. 3, pp. 234–254, Dec. 2014.
- [4] J. C. Mora-Barrantes, O. M. Molina-León, and J. P. Sibaja-Brenes, "Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de construcción de edificaciones universitarias," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 29, no. 3, p. 132, 2016.
- [5] J. C. Mora Barrantes, J. P. Sibaja Brenes, G. Piedra Marín, and Ó. Molina León, "Environmental impact assessment of 17 construction projects in various university campuses," *Int. J. Environ. Impacts*, vol. 1, no. 4, pp. 433–449, 2018.
- [6] "Decreto Ejecutivo N° 34375-MINAE," *Procuraduría General de la República*, 2007. .
- [7] I. R. Gómez and B. R. Gómez, "El derecho administrativo de concesión de explotación de canteras y cauces de dominio público en Costa Rica," Universidad de Costa Rica, 2019.
- [8] W. Fan *et al.*, "Life cycle environmental impact assessment of circular agriculture: A case study in Fuqing, China," *Sustain.*, vol. 10, no. 6, p. 1810, May 2018.
- [9] E. Moreno-Jiménez *et al.*, "Screening risk assessment tools for assessing the environmental impact in an abandoned pyritic mine in Spain," *Sci. Total Environ.*, vol. 409, no. 4, pp. 692–703, Jan. 2011.
- [10] J. Moyé, T. Picard-Lesteven, L. Zouhri, K. El Amari, M. Hibti, and A. Benkaddour, "Groundwater assessment and environmental impact in the abandoned mine of Kettara (Morocco)," *Environ. Pollut.*, vol. 231, pp. 899–907, Dec. 2017.
- [11] E. A. Nanaki, C. J. Koroneos, and G. A. Xydis, "Environmental impact assessment of electricity production from lignite," *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 35, no. 6, pp. 1868–1875, Nov. 2016.
- [12] M. Marzouk and S. Azab, "Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 82, pp. 41–49, 2014.
- [13] O. Schwab, P. Bayer, R. Juraske, F. Verones, and S. Hellweg, "Beyond the material grave: Life Cycle Impact Assessment of leaching from secondary materials in road and earth constructions," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 10, pp. 1884–1896, 2014.
- [14] M. M. Abreu, M. J. Matias, M. C. F. Magalhães, and M. J. Basto, "Impacts on water, soil and plants from the abandoned Miguel Vacas copper mine, Portugal," *J. Geochemical Explor.*, vol. 96, no. 2–3, pp. 161–170, 2008.
- [15] K. El Amari, P. Valera, M. Hibti, S. Pretti, A. Marcello, and S. Essarraj, "Impact of mine tailings on surrounding soils and ground water: Case of Kettara old mine, Morocco," *J. African Earth Sci.*, vol. 100, pp. 437–449, 2014.
- [16] T. W. Johnson, "Comparison of environmental impacts of steel and concrete as building materials using the life cycle assessment method," Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- [16] R Core Team. R: A Language & Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2018
- [17] H. Wickham. "ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis,". Springer-Verlag New York, 2017.