



## Análisis cuantitativo de indicadores ambientales en países sudamericanos para 2020: tendencias y asociaciones

## Quantitative Analysis of Environmental Indicators in South American Countries for 2020: Trends and Associations

Tomás Darío Marín-Velásquez

Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela

<https://orcid.org/0000-0002-3334-5895>

[tmarin@udo.edu.ve](mailto:tmarin@udo.edu.ve)

RECIBIDO

24/03/2024

ACEPTADO

17/09/2024

### RESUMEN

El análisis de indicadores ambientales es fundamental para entender relaciones entre sociedad y ambiente, sobre todo en una región de contrastes como Sudamérica. El objetivo de la investigación fue analizar cuantitativamente tendencias y asociaciones entre indicadores ambientales en Sudamérica con datos de 2020, aplicando pruebas estadísticas multivariantes. Se recopilieron datos reportados por el Banco Mundial, sobre emisiones de contaminantes atmosféricos y aprovechamiento y manejo de recursos naturales. Se analizaron descriptivamente las tendencias de los indicadores y sus asociaciones por correlación multivariante. En los resultados se destacó el aporte de emisiones contaminantes de Argentina y Brasil (64.9 %) con mayoría en óxido nítrico y metano. Colombia y Venezuela aportaron 8.3 y 9.3 % respectivamente, destacando CO<sub>2</sub> y metano. Las mayores extracciones de agua dulce fueron de Argentina y Brasil (65.5 %). Venezuela presenta mayor porcentaje de áreas protegidas (39.0 %) y Uruguay el 80.4 % de sus tierras como agrícolas. Los indicadores de contaminación se asocian directamente (moderado a perfecto), los indicadores de aprovechamiento y manejo de recursos tienen asociación baja, a excepción de extracción de agua, áreas protegidas y tierras agrícolas (moderada) y las tierras agrícolas y áreas protegidas (alta inversa). Entre los grupos solo destacaron relaciones directas muy altas de indicadores de contaminación atmosférica y extracción de agua. Se concluye en que las emisiones de los gases de efecto invernadero están asociadas entre sí de forma directa, más no así con el aprovechamiento de recursos naturales, a excepción de la extracción del agua, así mismo es evidente la relación inversa entre las áreas protegidas y las tierras agrícolas.

### PALABRAS CLAVE

Contaminación atmosférica; aprovechamiento; manejo; extracción de agua; áreas protegidas.



## ABSTRACT

The analysis of environmental indicators is fundamental to understand relationships between society and environment, especially in a region of contrasts such as South America. The objective of the research was to quantitatively analyze trends and associations between environmental indicators in South America with 2020 data, applying multivariate statistical tests. Data reported by the World Bank on air pollutant emissions and natural resource use and management were collected. The trends of the indicators and their associations were analyzed descriptively by multivariate correlation. The results highlighted the contribution of pollutant emissions from Argentina and Brazil (64.9%), with a majority in nitrous oxide and methane. Colombia and Venezuela contributed 8.3 and 9.3 % respectively, with CO<sub>2</sub> and methane being the most important. The largest freshwater withdrawals were from Argentina and Brazil (65.5 %). Venezuela has the highest percentage of protected areas (39.0 %) and Uruguay has 80.4 % of its land as agricultural. The indicators of pollution are directly associated (moderate to perfect), the indicators of resource use and management have a low association, with the exception of water extraction, protected areas and agricultural land (moderate) and agricultural land and protected areas (high inverse). Among the groups, only indicators of air pollution and water extraction had very high direct relationships. It is concluded that greenhouse gas emissions are directly associated with each other, but not with the use of natural resources, with the exception of water extraction; likewise, the inverse relationship between protected areas and agricultural lands is evident.

## KEYWORDS

Atmospheric pollution; utilization; management; water extraction; protected areas.

## INTRODUCCIÓN

Sudamérica es una región de contrastes, no solo en cuanto a su riqueza natural, sino a aspectos sociales, culturales, económicos y políticos. Por ello, los factores que definen a su calidad ambiental, aun cuando se miden de forma estandarizada, son variables y van en consonancia con la realidad propia de cada país de la región. Al referirse a la definición de indicadores ambientales, Romanelli y Massone (2016) indican que según lo expresa la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) se trata de parámetros que proveen información y descripción del estado de un determinado fenómeno, que refleja de forma sintética niveles que pueden implicar efectos del ambiente social respecto al medio que lo rodea y que pueden incidir en la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos. De la definición anterior se deriva la importancia del estudio de los indicadores ambientales, así como su correcta determinación, por sus repercusiones, no solo a nivel local y nacional sino desde una perspectiva globalizada.

La mayoría de los países apoya la visión de medir los indicadores ambientales como una forma de mantener actualizada la tendencia de los efectos de la actividad antrópica sobre el ambiente y dichos indicadores son reportados tanto de forma interna como a través de entes que llevan bases de datos anuales de los mismos, como el Banco Mundial, con la finalidad del monitoreo de parámetros clave como los gases de efecto invernadero (GEI) y el aprovechamiento de los recursos naturales, por los efectos sobre el clima y el calentamiento global y el desarrollo sostenible, promoviendo así la gobernanza ambiental (Vizeu et al., 2020). En la mayoría de los casos la preocupación de la medición de los indicadores ambientales se centra en la medida o valor en sí del indicador y no en sus relaciones con otros indicadores ambientales; y en otros casos los efectos solo se ven a través de los impactos sociales y económicos derivados.

En este sentido, Bai et al. (2018) refieren que existen diversidad de contaminantes en la atmósfera, como Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ), Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Monóxido de Nitrógeno (NO), Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrógeno (NOx), Material particulado de  $2.5 \mu\text{m}$  (PM2.5) y Material particulado de  $10 \mu\text{m}$  (PM10), por lo que, a escala internacional, un gran número de estudiosos han realizado investigaciones sobre la contaminación atmosférica y la previsión de la calidad del aire, debido a que la misma afecta a la vida de una sociedad e incluso pone en peligro la supervivencia de la humanidad.

Así mismo Bai et al. (2018), detallan que los contaminantes atmosféricos tienen dos posibles orígenes, los que se originan a partir de eventos naturales como erupciones volcánicas e incendios forestales, entre los que se encuentran  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , CO y sulfatos; y los que provienen de origen antropogénico como la quema de combustibles, los vertidos de los procesos de producción industrial y las emisiones del transporte, entre los que se destacan  $\text{CO}_2$ , azufre, metales y material particulado. Lo que además se refuerza con lo indicado por Xie et al. (2017), quienes indican que la quema de combustibles fósiles produce una enorme cantidad de  $\text{CO}_2$ , un gas de efecto invernadero, además de otros contaminantes atmosféricos con efectos perjudiciales como CO,  $\text{SO}_2$ , NOx y partículas (PM2.5 y PM10).

Otro contaminante atmosférico de importancia es el metano ( $\text{CH}_4$ ) que tal como lo menciona Turner et al. (2019), tiene gran influencia en los niveles de ozono troposférico, en la capacidad oxidativa de la atmósfera y en el vapor de agua estratosférico, lo que hace que su aumento en la atmósfera puede tener repercusiones profundas en el estado futuro

del clima. Las emisiones atmosféricas y las concentraciones de CH<sub>4</sub> van aumentando, convirtiéndolo en el segundo gas de efecto invernadero con mayor influencia humana en términos de cambio climático, después del CO<sub>2</sub> (Saunio et al., 2020).

Por otro lado, el aprovechamiento de los recursos naturales es una cuestión de importancia para garantizar la vida de los seres humanos, sin embargo, esto no ha sido armonioso con el ambiente. Wunderlich y Martínez (2018), advirtieron sobre esto indicando que la pérdida de recursos alimenticios debido a la sobreexplotación agrícola está generando no solo disminución en la cantidad de alimentos disponibles, sino también de los numerosos recursos naturales necesarios para producirlos, así como un aumento importante en las emisiones atmosféricas asociadas.

En el caso de Sudamérica, se han desarrollado investigaciones sobre la contaminación atmosférica en algunos países, como el de Mielnicki et al. (2005) sobre el efecto de la quema de biomasa en las emisiones contaminantes, Herrero y Gil (2008) con un estudio sobre las emisiones debidas a las actividades agropecuarias, Nisbet et al. (2016) quienes indagaron sobre el efecto de la quema de combustibles fósiles en la contaminación atmosférica y Durán-García y Rodríguez-Antón (2021) en relación a las emisiones de biogás en vertederos de desechos a cielo abierto. Así mismo, el aprovechamiento y manejo de recursos naturales ha sido objeto de estudios como los direccionados hacia las áreas naturales protegidas en investigaciones como las de Ferrero (2018), Maldonado et al. (2020) y Martín (2022), sobre la extracción de agua dulce por Peinado et al. (2020) y sobre el aprovechamiento de las tierras para actividades agrícolas investigado por Arbeletche et al. (2019), Arbeletche (2020) y Satorre y Andrade (2021).

Los estudios previos se han centrado en análisis descriptivos de los indicadores ambientales, así como en su impacto social y económico, sin hacer énfasis en las relaciones que existen de forma cuantitativa, de allí que el presente estudio se planteó como finalidad analizar las tendencias y asociaciones entre indicadores ambientales en países sudamericanos con datos reportados para el 2020, para la comprensión de la problemática de la contaminación atmosférica y el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales en la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, de tipo documental, con nivel descriptivo-correlacional y diseño no experimental. El área de estudio estuvo constituida por todos los países de Sudamérica, tomándose como muestra 10 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela (Figura 1). Se descartaron de la muestra a Guyana y Surinam debido a que no presentaban datos para el año de estudio (último año de reporte 2016).

**Figura 1.**  
**Área de estudio**



Fuente: tomado de Google Earth

### **Fuente de la información**

Los datos de los indicadores ambientales fueron obtenidos del portal del Banco Mundial (Banco Mundial, 2023) mediante un proceso de filtrado a través de la sección de indicadores de medio ambiente, haciendo énfasis en los referido a la contaminación del aire y a los que presentan datos sobre el manejo de los recursos naturales. Se revisaron varios indicadores en función a su último año de reporte para asegurar que los mismos presentaran datos para el año 2020 (Tabla 1). Luego se descargaron los seleccionados en archivos de Microsoft Excel y se filtró por los países de Sudamérica. Se seleccionaron 9 indicadores (5 correspondientes a datos sobre agentes contaminantes atmosféricos y 4 relacionados con el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales). La información fue almacenada en hoja de cálculo de LibreOffice Calc, se clasificaron y depuraron para su posterior análisis.

### **Criterios de inclusión y exclusión de la información**

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

1. Datos correspondientes a indicadores de contaminantes ambientales y manejo de recursos naturales.
2. Países con registro de datos para el año 2020.
3. Países con registro de datos continuos respecto a los indicadores.

Se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

1. Indicadores que no representaran información referida a contaminantes ambientales y manejo de recursos naturales.
2. Países sin registro de datos para el año 2020.
3. Países con registros históricos incompletos.

### Descripción de los indicadores ambientales

Los indicadores ambientales fueron seleccionados mediante un muestreo por conveniencia con base en dos grupos identificados y de acuerdo con la importancia de los mismos: contaminación atmosférica y aprovechamiento y manejo de los recursos naturales (Tabla 1).

**Tabla 1**  
Descripción de los indicadores ambientales utilizados en el estudio

Grupo	Indicador	Unidad de medida	Nomenclatura utilizada
Contaminación atmosférica	Emisiones de óxido nítrico	miles de tn de equivalente de CO <sub>2</sub>	E-N2O
	Emisiones de metano	ktn de equivalente de CO <sub>2</sub>	E-CH4
	Emisiones agrícolas de gas metano	miles de tn de equivalente de CO <sub>2</sub>	E-CH4-A
	Emisiones de metano en el sector de energía	miles de tn de equivalente de CO <sub>2</sub>	E-CH4-E
	Emisiones de CO <sub>2</sub>	miles de tn	E-CO2
Aprovechamiento y manejo de los recursos naturales	Áreas protegidas terrestres y marinas	% del total de la superficie territorial	A-PROT
	Extracción anual de agua dulce, total	billones de m <sup>3</sup>	H2O-Ext
	Extracción anual de agua dulce, total	% de recursos internos	H2O-RI
	Tierras agrícolas	% del área de tierra	T-AGRI

En las bases de datos disponibles consultados en el portal de Banco Mundial existen otros indicadores como el uso de la energía fósil, sin embargo, la mayoría no presenta datos actualizados a 2020 y en el caso específico de las rentas totales por recursos naturales la mayoría de los países de la región poseen datos actualizados, con la excepción de Venezuela que no reporta dicho dato desde el 2014 por lo que se descartó, pues su análisis no sería representativo.

### Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada para recolectar los datos fue la revisión documental cuantitativa de fuentes secundarias de datos, la cual consiste en la incorporación de datos numéricos recogidos de fuentes publicadas, lo que significa que los datos ya han sido recogidos por otra persona por otro motivo y también pueden utilizarse para otros fines en una investigación (Taherdoost, 2021). Como instrumento para la recolección y registro de los datos se utilizó la ficha, la cual consiste en un formato donde se registran la información obtenida de las fuentes secundarias (bases de datos) y que se diseña con base en los datos que deben ser registrados (Pandey & Pandey, 2015).

## Etapas de la investigación

### Etapa 1. Revisión de base de datos

En esta etapa se realizó una revisión de los indicadores disponibles en la base de datos del Banco Mundial (2023). Esto con la finalidad de seleccionar aquellos indicadores que, según las premisas establecidas, resultaran relevantes, que fueran indicadores de contaminación ambiental y de manejo de recursos naturales. Además, de que estos indicadores cumplieran con los criterios de inclusión previamente definidos.

### Etapa 2. Diseño de ficha de registro de datos

Se diseñó en una hoja de cálculo de LibreOffice Calc una ficha con la información de cada indicador seleccionado, ordenándose por cada país de la región que se tomó como muestra. En la ficha se codificaron los indicadores y se tabularon para su revisión, descripción y posterior análisis.

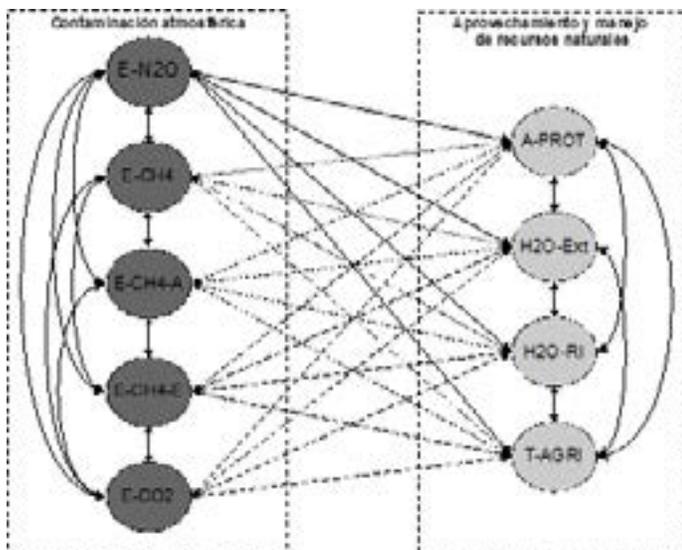
### Etapa 3. Análisis de la información

La información cuantitativa recopilada se analizó inicialmente de forma descriptiva para observar la tendencia de los indicadores tomando como punto de comparación los países, para ello se determinaron parámetros de tendencia central (Media), dispersión (Coeficiente de variación, Rango) y de normalidad (Shapiro-Wilk). Seguidamente se procedió a analizar el comportamiento de los datos en función a los puntos atípicos, de tal forma de identificar cuales valores y países asociados a ellos se desviaban significativamente del comportamiento de los demás datos. También se procedió a evaluar la fiabilidad de los datos mediante análisis de punto de fiabilidad, utilizando como referencia el estadístico Alfa de Cronbach, para un valor referencial de 0.7 como mínimo para considerar fiables a los datos utilizados en su conjunto, según lo indica Toro et al. (2022).

Luego de los análisis descriptivos se llevaron a cabo pruebas de correlación multivariada para establecer las asociaciones entre los indicadores, de acuerdo con el esquema de estructuras asociadas entre los indicadores (Figura 2).

### Figura 2

Esquema de estructura de asociaciones entre los indicadores estudiados



Este análisis permitió observar y discutir sobre las asociaciones estadísticas entre los indicadores con los países como puntos referenciales en el análisis, lo que permitió tener un panorama general de cómo es el comportamiento de los indicadores en la región y cuales se asocian entre ellos. Todos los análisis se realizaron con el empleo del paquete estadístico Statgraphics Centurion XVII y con una significancia estadística de  $p = 0.05$ , lo que en otras palabras implica un nivel de confianza estadística de 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según se destacan en las concentraciones de E-N<sub>2</sub>O, E-CH<sub>4</sub>, E-CH<sub>4</sub>-A y E-CO<sub>2</sub>, Brasil y Argentina son los principales emisores de varios contaminantes claves. Juntos, estos países contribuyen con el 73.4% de E-N<sub>2</sub>O, 64.3% de E-CH<sub>4</sub>, 71.7% de E-CH<sub>4</sub>-A y 61.9% de E-CO<sub>2</sub>, con aporte mayoritario de Brasil. Para estos 3 indicadores, un análisis de valores atípicos demostró que Argentina y Brasil destacan por encima del resto, aunque también es importante el aporte de Colombia con 7.2% de E-N<sub>2</sub>O, 8.0% de E-CH<sub>4</sub>-A y 9.2% de E-CO<sub>2</sub>, así como Venezuela con 10.8% de E-CH<sub>4</sub>. En el caso del indicador E-CH<sub>4</sub>-E, Venezuela y Brasil presentan la mayor producción con 65.5% en conjunto y los que representaron valores atípicos respecto al resto, siendo Venezuela el mayor emisor de E-CH<sub>4</sub>-E, donde también hay un aporte importante de Argentina con 15.7% (Tabla 2).

**Tabla 2**  
Concentraciones promedios para los indicadores ambientales

País	Contaminación atmosférica					Aprovechamiento y manejo de recursos naturales			
	E-N <sub>2</sub> O	E-CH <sub>4</sub>	E-CH <sub>4</sub> -A	E-CH <sub>4</sub> -E	E-CO <sub>2</sub>	A-PROT	H <sub>2</sub> O-Ext	H <sub>2</sub> O-RI	T-AGRI
Argentina	51 061.5	131 035.7	86 098.7	23 706.0	154 535.9	9.4	37.7	12.9	43.0
Bolivia	9 838.1	2 6597.8	20 342.1	3 367.3	18 375.3	30.9	2.1	0.7	35.1
Brasil	191 103.3	449 214.0	340 438.6	39 382.4	414 138.8	29.2	67.2	1.2	28.6
Chile	6 599.4	11 795.5	5 568.2	1 352.6	84 827.8	37.8	35.4	4.0	14.7
Colombia	23 778.2	77 156.4	47 742.2	13 142.6	79 057.6	17.0	29.1	1.4	39.7
Ecuador	5 192.8	27 460.3	8 571.3	6 886.0	34 431.0	15.1	9.9	2.2	21.8
Paraguay	11 255.8	30 106.5	22 352.2	408.3	7 575.7	14.3	2.4	2.1	42.3
Perú	10 200.5	31 679.8	18 037.6	3 065.3	46 578.9	13.3	38.6	2.3	19.5
Uruguay	7 967.7	20 393.6	18 299.9	189.6	6 514.3	2.4	3.7	4.0	80.4
Venezuela	13 097.2	97 594.2	27 315.2	59 732.9	72 509.0	39.0	22.6	2.8	24.4
Media	33 009.5	90 303.4	59 476.6	15 123.3	91 854.4	20.8	24.9	3.4	35.0
CV (%)	173.2	146.2	170.6	132.9	132.6	60.0	84.5	104.9	53.8
S-W	0.5319	0.6078	0.5473	0.7768	0.6875	0.9222	0.9039	0.6567	0.8488
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0076	0.0006	0.3761	0.2415	0.0003	0.0562
Mínimo	5 192.8	11 795.5	5 568.2	189.6	6 514.3	2.4	2.1	0.7	14.7
Máximo	191 103.3	449 214.0	340 438.6	59 732.9	414 138.8	39.0	67.2	12.9	80.4

Al respecto se tiene que la contaminación atmosférica en Sudamérica ha representado una temática recurrente en investigaciones, con enfoques diversos como Mielnicki et al. (2005) quienes mostraron como la quema de biomasa por incendios forestales en la

región era causante de la mayor parte de la contaminación y destacaron como países con mayores problemas, a Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay, haciendo énfasis en las emisiones de CO y N<sub>2</sub>O que la quema produce, lo que es consistente con lo que se observó, aun con la diferencia de tiempo de los estudios. En este mismo contexto, un reporte del Center for Climate and Resilience Research (CR2, 2023) indicó que en Chile el 90% de la población vive en zonas urbanas con altos niveles de contaminación atmosférica, lo que es consistente con el nivel de emisión de CO<sub>2</sub>, el cual representa el 9.2% del total regional y el más alto respecto a generación per cápita el cual es de 4.4 tn por persona.

Respecto a las emisiones de metano, las mismas se han asociado a la producción de biogás en vertederos a cielo abierto, sobre todo en el caso de Venezuela donde Durán-García y Rodríguez-Antón (2021) identificaron este problema con propuestas para su minimización, lo que se une a lo manifestado por Herrero y Gil (2008) quienes en el caso argentino indagaron sobre la contaminación atmosférica por actividades agropecuarias demostrando una importante producción de metano de hasta 371 kg/ha, lo que demuestra porque estos son dos de los principales países emisores de CH<sub>4</sub> de la región. De igual manera, Nisbet et al. (2016) destaca que, aunque se observa una tendencia al aumento de las emisiones de metano de combustibles fósiles en lugares tropicales y del hemisferio sur, indican que los combustibles fósiles no han sido el factor dominante que ha impulsado el aumento y mencionan que una de posibles causas de las emisiones de metano son los humedales tropicales y de la agricultura.

Las A-PROT están dominadas por Venezuela, Chile, Bolivia y Brasil con el 65.7% del total de áreas protegidas en Sudamérica con una mención específica para Uruguay cuyo valor fue atípico y el más bajo de la región. De acuerdo con Maldonado et al. (2020) en Sudamérica se han incrementado las áreas naturales protegidas, sin embargo, esto no ha contribuido en gran medida a la mejora de la calidad de vida de las comunidades originarias que habitan dentro o cerca de las mismas, lo que ha generado conflictos por el uso de las tierras. De allí que en países como Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia y Brasil la implementación de medidas para atacar este problema no ha sido del todo efectivas, lo que demuestra que mayores áreas protegidas no es sinónimo de bienestar social y conservación, lo que también fue abordado por Ferrero (2018) al referirse al caso de las áreas protegidas en Argentina.

Martín (2022), hace mención a la inversión en conservación de las áreas protegidas en la región y particularmente en Argentina, expresando que las mismas se han venido incrementando, pero no se está invirtiendo en ellas, lo que no asegura el cuidado a la biodiversidad ni tampoco el de las comunidades que dependen de dichas áreas, lo que evidencia un tema de investigación que dé a entender que ocurre en los países con mayores territorios protegidos, si en verdad estos están siendo administrados correctamente.

Brasil domina el indicador H<sub>2</sub>O-Ext y junto con Perú, Argentina y Chile acumulan el 71.9% de la extracción anual de agua dulce en la región. El porcentaje de agua dulce producida respecto a los recursos internos (H<sub>2</sub>O-RI) es mayoritario en Argentina quien acumula el 38.5% del total y destaca como valor atípico alejándose de los demás países, pues quienes comparten el segundo puesto (Chile y Uruguay) en conjunto aportan el 23.8%.

Al referirse a la producción de agua dulce en Sudamérica y la huella hídrica asociada, Peinado et al. (2020), hacen alusión a que Paraguay y Argentina son los países con mayor huella hídrica, acompañados por Bolivia, Uruguay y Brasil, destacando que la mayoría del agua producida se destina a la agricultura y la ganadería y en bajas proporciones

al suministro humano, con la excepción de Ecuador y Venezuela quienes en términos porcentuales son los que destinan mayor cantidad de agua al consumo humano, así mismo existe una baja participación del consumo de agua a nivel industrial. Lo anterior, es un indicativo de que la extracción de agua en la región obedece principalmente a la producción de alimentos, lo que puede ser un indicio de su relación con las tierras agrícolas.

El total de tierras agrícolas (T-AGRI), sin discusión está mayoritariamente en Uruguay quien presenta un 80.4% de su territorio destinado a tierra agrícola y además contiene el 23.0% del total regional. En este indicador también destacan Argentina, Paraguay y Colombia. En consistencia con lo obtenido, Arbeletche (2020), refiere que el agro en Uruguay ha sufrido cambios importantes a lo largo del siglo XXI motivados a la participación extranjera, modificaciones en la organización empresarial y la expansión de las tierras de cultivo. Sin embargo, esto ha generado situaciones conflictivas debido a la extranjerización de la producción y el control de los territorios que lleva consigo impactos negativos sobre los productores locales y principalmente a la agricultura familiar, lo que evidentemente también fue dado a conocer por Arbeletche et al. (2019).

En el caso argentino, Satorre y Andrade (2021), hacen referencia a que la expansión de las tierras de cultivo en el país obedece al cultivo de la soja como principal producto agrícola de verano, una expansión que se desarrolla desde la década de los 90s, llegando a representar el 50.0% del cultivo en el país, además de indicar que la ganadería acoplada a la agricultura también ha generado un aumento en las tierras agrícolas.

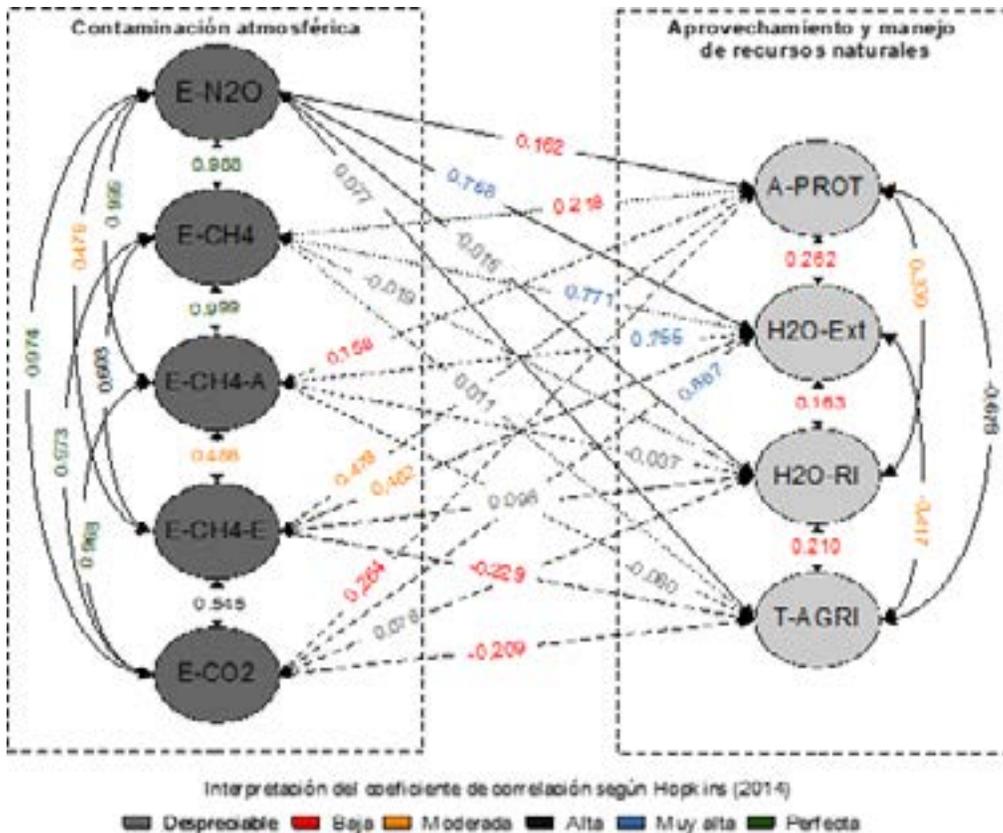
La variabilidad de los datos por cada indicador es alta con 6 de los 9 indicadores por encima de 100% de variación, esto indica que existen valores muy diferentes en cada país, lo que evidentemente depende de diversos factores, como tamaño del territorio, número de habitantes, número de empresas, industrias extractivas, cantidad de transporte automotor, leyes de protección de áreas vulnerables o frágiles, cultura agrícola, disponibilidad de agua dulce, entre otros. El indicador con la menor variabilidad fue T-AGRI el cual si se descarta el valor atípico de Uruguay tendría un CV de 35.2%, lo que hace inferir que el porcentaje del territorio dedicado a la agricultura es más consistente entre los países.

De acuerdo a lo indicado en la metodología, el coeficiente Alfa de Cronbach aportó un valor  $\alpha = 0.8312$  que al ser mayor a 0.7 es prueba de que el grupo de indicadores tomados son fiables, es decir presentan consistencia estadística, por lo que son confiables para las pruebas de correlación (Toro et al., 2022). Sin embargo, se destacó en la prueba que los indicadores de contaminación atmosférica son los más consistentes y se correlacionan mejor con los demás, a diferencia de los de aprovechamiento y manejo de recursos naturales que mostraron comportamientos menos fiables, incluso se hace mención a T-AGRI como indicador que correlaciona de forma negativa con los demás, lo que puede ser un indicativo de que este indicador se comporta de forma inversa respecto a los otros analizados.

Como se observa en la figura 3, en el grupo de contaminación atmosférica se observan asociaciones moderadas (E-CH4-E con E-N2O y E-CH4-A), altas (E-CH4-E con E-CH4 y E-CO2) y perfectas (E-N2O con E-CH4, E-CH4-A y E-CO2; E-CH4 con E-CH4-A y E-CO2; E-CH4-A con E-CO2), siendo todas las asociaciones positivas por lo que se puede decir que en este caso los indicadores de contaminación atmosférica siguen una tendencia de asociación directa entre ellos.

La asociación perfecta y positivas entre las emisiones de óxido nítrico y las emisiones de metano están justificadas, dado que según lo que indican Reay et al. (2012), este gas de origen antropogénico tiene a las actividades agropecuarias como su mayor fuente, de allí que su relación con las emisiones de metano de la agricultura sean consistentes, de igual manera Signor y Cerri (2013), explican que las emisiones de N<sub>2</sub>O en la agricultura se deben principalmente a los procesos de nitrificación y desnitrificación, en los que influyen la humedad del suelo, la temperatura, la concentración de oxígeno, la cantidad de carbono y nitrógeno orgánicos disponibles y la relación C/N del suelo.

**Figura 3**  
Asociaciones entre los indicadores ambientales analizados



En otro estudio, Rehman et al. (2020), también reportaron asociaciones positivas entre las emisiones de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en la agricultura en China, lo que demuestra que los resultados obtenidos son consistentes. El indicador con menores relaciones fue el E-CH4-E, aun cuando mantiene la tendencia positiva en las mismas, lo que concuerda con lo indicado por Khan et al. (2014), al mencionar que la generación de gases de efecto invernadero como metano, óxido nítrico y dióxido de carbono se correlacionan positivamente con el consumo de energía. Por lo que es claro que los países con mayor consumo de energía emiten mayores cantidades de metano a la atmósfera y las formas de metano debidas a la actividad agrícola, el metano total y el dióxido de carbono están en relación directa.

En el caso de los indicadores de aprovechamiento y manejo de recursos naturales las asociaciones son en su mayoría bajas, lo que indica que no están tan relacionados entre ellos, con 2 asociaciones moderadas entre A-PROT y H2O-RI y entre H2O-Ext y T-AGRI. Las áreas protegidas muestran una moderada asociación con la extracción de agua como parte de los recursos internos de los países, al respecto Ortiz y Romo (2016)

indican que en algunos casos se presentan problemas relacionados con las políticas de aprovechamiento de las fuentes de agua que se encuentran en áreas protegidas, lo que evidentemente puede llevar a una explotación indebida de las mismas, algo que puede incidir en la relación observada, donde la tendencia es a que en los países donde hay mayor cantidad de territorio protegido la explotación del agua tiende a ser mayor, aunque de forma moderada.

En este mismo contexto, Casallas-Garzón y Gutiérrez-Malaxechebarría (2019), refieren que en Colombia a pesar de tener una porción significativa de su territorio como áreas naturales protegidas, el aprovechamiento del recurso agua en estas áreas no está legalizado del todo con más del 88% de los puntos de aprovechamiento de forma ilegal, lo que es evidencia de que si hay una relación entre los indicadores, aunque esta se visualice como negativa en el sentido de la explotación no controlada de las fuentes hídricas.

Respecto a la asociación entre la explotación del recurso agua y las tierras agrícolas es claro que aun siendo moderada, tal como lo mostraron Peinado et al. (2020), existe una tendencia manifiesta a que la explotación del agua en los países de Sudamérica está relacionada con la actividad agropecuaria más que con cualquier otra actividad, incluido el consumo humano, de allí que la asociación observada sea lógica y consistente con lo que se ha manifestado en investigaciones previas.

La única asociación fuerte entre los indicadores de aprovechamiento y manejo de recursos naturales fue la de A-PROT y T-AGRI siendo la misma inversa. Es decir, la tendencia indica que los países con mayores áreas protegidas tienen menor porcentaje del territorio como tierras agrícolas, lo que supone un conflicto en el manejo de la tierra, ya que las zonas protegidas no pueden utilizarse para la producción agrícola que es considerada como uno de los principales motores de la economía sudamericana y fuente principal de alimento para la región (Pochat et al., 2018). De allí que se observa como el país con mayor territorio agrícola (Uruguay) es el que menor cantidad de territorio ha destinado a áreas naturales protegidas.

Se han documentado los conflictos entre la agricultura y las áreas protegidas lo que crea un complejo sistema interactuante que requiere en la mayoría de los casos de gobernanzas que lleven a darle un uso apropiado a la tierra, como lo manifiestan Gómez (2019) y Hensler y Merçon (2020), quienes coinciden en que en algunos casos el turismo es esencial para la interacción, sin embargo, la necesidad de producción de alimentos debe ser compensada.

Las asociaciones entre los indicadores de ambos grupos mostraron una mayoría de relaciones entre bajas y despreciables, lo que es indicio de que no hay muchas relaciones entre los indicadores de contaminación atmosférica y los de aprovechamiento y manejo de recursos naturales. La excepción la representó H<sub>2</sub>O-Ext cuyas asociaciones con los indicadores del otro grupo fueron muy altas, con excepción de E-CH<sub>4</sub>-E con el que mostró asociación moderada, lo que sugiere que en Sudamérica la mayor extracción de agua dulce anual está asociada a los países con mayores niveles de contaminación atmosférica, aunque esta relación no ha sido documentada directamente en investigaciones previas.

La contaminación atmosférica está frecuentemente asociada a los entornos urbanos, así como a la extracción de agua, principalmente para la producción agrícola destinada a abastecer estos entornos. Esta conexión está claramente establecida y se relaciona con la huella hídrica y la producción de energía que esta actividad implica. En este sentido,

Serrano et al. (2017), señalan que la producción energética, causante del mayor aporte de la contaminación atmosférica, tiene un impacto sobre la huella hídrica y por ende en la extracción y manejo del agua.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis descriptivo se concluye que Argentina y Brasil son los países que mayor cantidad de agentes contaminantes emiten a la atmósfera en Sudamérica, donde también se ha destacado Colombia. Una mención importante, es el caso de las emisiones de metano debidas al sector energía, donde Venezuela destaca, lo que da a entender que el sistema de producción energética de este país genera grandes cantidades de metano que son liberados a la atmósfera, sobre todo en la industria petrolera y en sus vertederos de desechos a cielo abierto como biogás. Los países con menores cantidades de emisiones contaminantes en promedio son Uruguay, Paraguay y Bolivia, lo que está asociado a la menor cantidad de población en los tres países, pero sin embargo, podrían ser valores importantes si se expresan en términos per cápita.

Las asociaciones entre los indicadores demostraron que las emisiones de contaminantes atmosféricos están asociadas de manera directa y entre moderada y perfecta, lo que significa que en general, los países con mayor aporte de emisiones de una fuerte definida, tienden a ser los que mayores cantidades aportan de otros gases contaminantes, lo que incide de forma determinante en el efecto invernadero. Las emisiones contaminantes se deben mayoritariamente a  $\text{CO}_2$ , lo que está ligado a la quema de combustibles fósiles y carbón en industrias y parque automotor, de allí que los países con mayor desarrollo industrial y poblacional son los de mayores emisiones. Se sugiere un aporte importante de metano y óxido nitroso por parte de las actividades agropecuarias y agroindustriales, por lo tanto el volumen de emisiones reportadas.

Los indicadores de aprovechamiento y manejo de recursos naturales no mostraron importantes asociaciones entre ellos, indicio de que son indicadores independientes, donde solo destaca la extracción de agua dulce con las tierras agrícolas, debido a que la mayor parte del agua que se extrae en la región está destinada a la agricultura y la ganadería, es decir a la producción de alimentos, aunque esta asociación no deja de ser moderada. La asociación más importante fue la inversa entre las áreas naturales protegidas y las tierras agrícolas, lo que es indicativo de que los países con mayores tierras destinadas a la agricultura tienen menor cantidad de áreas naturales protegidas, donde destaca el caso de Uruguay con más de 80% de su territorio como tierras agrícolas y sólo poco más del 2% de áreas protegidas, dando a entender que aún hay un conflicto interno en los países por el equilibrio entre la protección de los ecosistemas vulnerables y la necesidad de tierras para la producción de alimentos.

Con excepción de la extracción de agua dulce, no se visualizaron asociaciones importantes entre los dos grupos de indicadores. Aparentemente no se relacionan y solo las emisiones contaminantes parecen estar en asociación directa y muy alta con la explotación de agua dulce, lo que aparentemente se debe a que la agricultura necesita de agua dulce para abastecer los centros urbanos de alimentos, los que a su vez emiten las mayores cantidades de contaminantes atmosféricos. Por lo que los países con mayores volúmenes de agua extraída tienden a ser los de mayores índices de contaminación, lo que en realidad amerita de un estudio que corrobore esta relación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbeletche, P. (2020). El agronegocio en Uruguay: su evolución y estrategias cambiantes en el siglo XXI. *RIVAR (Santiago)*, 7(19), 109-129. <https://doi.org/10.35588/rivar.v7i19.4355>
- Arbeletche, P. R., Courdin, V., Guibert, M., Sabourin, E., Saravia, A., & Tourrand, J. F. (2019). La Experiencia En Uruguay De Las Mesas De Desarrollo Rural En Territorios De Agricultura Familiar. *Eutopía. Revista De Desarrollo Económico Territorial*(15), 147-166. <https://doi.org/10.17141/eutopia.15.2019.3888>
- Bai, L., Wang, J., Ma, X., & Lu, H. (2018). Air pollution forecasts: An overview. *International journal of environmental research and public health*, 15(4), 780. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040780>
- Banco Mundial. (2023). *Indicadores*. <https://datos.bancomundial.org/indicador>
- Casallas-Garzón, E. N., & Gutiérrez-Malaxechebarría, Á. M. (2019). Caracterización de usos del recurso hídrico en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 1-33. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-01>
- CR2. (2023). *Contaminación atmosférica en Chile: Más que un problema de calidad del aire*. Center for Climate and Resilience Research. <https://www.cr2.cl/reportaje-cr2-contaminacion-atmosferica-en-chile-mas-que-un-problema-de-calidad-del-aire/>
- Durán-García, M. E., & Rodríguez-Antón, D. B. (2021). Control del biogás de vertedero en Venezuela y el resto del mundo. Entre los Acuerdos de Kioto y Paris. *Prospectiva*, 19(1), 1-17. <https://doi.org/10.15665/rp.v19i1.2240>
- Ferrero, B. G. (2018). Tras una definición de las áreas protegidas: Apuntes sobre la conservación de la naturaleza en Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 99-117. <https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036006/383257036006.pdf>
- Gómez, E. (2019). Establecidos y marginados en áreas naturales protegidas: dos casos de estudio en México y Argentina. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*(26), 51-68. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.26.2019.3825>
- Hensler, L., & Merçon, J. (2020). Áreas Naturales Protegidas como territorios en disputa: intereses, resistencias y acciones colectivas en la gestión compartida. *Sociedad y ambiente*(22), 180-211. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2101>
- Herrero, M. A., & Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v18n3/v18n3a03.pdf>
- Khan, M. A., Khan, M. Z., Zaman, K., & Naz, L. (2014). Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.091>
- Maldonado, O. A., Chávez, R. M., & Bravo, M. L. (2020). Áreas naturales protegidas y participación social en América Latina: problemas y estrategias para lograr la integración comunitaria. *Región y sociedad*, 32, e1277. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1277>
- Martín, G. (2022). ¿Realmente invertimos en conservar las áreas protegidas? El modelo de conservación setenta/treinta en Argentina. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 31, 104. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.31-200>
- Mielnicki, D. M., Canziani, P. O., & Drummond, J. (2005). Quema de biomasa en el centro-sur de Sudamérica: incendios locales, impactos regionales. IX Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires: Hispagua. <https://hispagua.cedex.es/?q=formacion/congreso/29561>
- Nisbet, E. G., Dlugokencky, E. J., Manning, M. R., Lowry, D., Fisher, R. E., France, J. L., . . . Ganesan, A. L. (2016). Rising atmospheric methane: 2007–2014 growth

- and isotopic shift. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(9), 1356-1370. <https://doi.org/10.1002/2016GB005406>
- Ortiz, S. E., & Romo, M. D. (2016). Impactos socioambientales de la gestión del agua en el área natural protegida de Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Región y sociedad*, 28(66), 195-230. <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v28n66/1870-3925-regsoc-28-66-00195.pdf>
- Pandey, P., & Pandey, M. M. (2015). *Research methodology: tools and techniques*. Bridge Center. <https://www.euacademic.org/BookUpload/9.pdf>
- Peinado, G., Mora, A., Ganem, J., & Ferrari, B. (2020). Las huellas de la contradicción entre desarrollo y ambiente. Un análisis del metabolismo socioeconómico en América del Sur a través de sus huellas ecológica e hídrica. *Revista del CESLA. International Latin American Studies Review*(25), 103-122. <https://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.ojs-issn-2081-1160-year-2020-issue-25-article-642>
- Pochat, V., Donoso, M., & Saldarriaga, J. (2018). *Proceso regional de las Américas Foro mundial del agua 2018*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.bivica.org/files/foro-mundial-agua.pdf>
- Reay, D. S., Davidson, E. A., Smith, K. A., Smith, P., Melillo, J. M., Dentener, F., & Crutzen, P. J. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature climate change*, 2(6), 410-416. <https://doi.org/10.1038/nclimate1458>
- Rehman, A., Ma, H., Irfan, M., & Ahmad, M. (2020). Does carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and GHG emissions influence the agriculture? Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 28768-28779. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08912-z>
- Romanelli, A., & Massone, H. E. (2016). Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 123-137. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n6/2007-2422-tca-7-06-00123.pdf>
- Satorre, E. H., & Andrade, F. H. (2021). Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *CONICET Digital*, 29(173), 19-27. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/213612/CONICET\\_Digital\\_Nro.42d5c5fd-71e2-4d3d-beda-795fc1aa10ba\\_E.pdf?sequence=5](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/213612/CONICET_Digital_Nro.42d5c5fd-71e2-4d3d-beda-795fc1aa10ba_E.pdf?sequence=5)
- Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., . . . Zhuang, Q. (2020). The global methane budget 2000–2017. *Earth system science data*, 12(3), 1561-1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Serrano, M. F., Pérez, D. D., Galvis, J. F., & Rodríguez, M. L. (2017). Método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales. *Prospectiva*, 15(2), 7-12. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.913>
- Signor, D., & Cerri, C. E. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43, 322-338. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>
- Taherdoost, H. (2021). Data Collection Methods and Tools for Research; A Step-by-Step Guide to Choose Data Collection Technique for Academic and Business Research Projects. *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)*, 10(1), 10-38. <https://hal.science/hal-03741847v1/document>
- Toro, R., Peña-Sarmiento, M., Avendaño-Prieto, B. L., Mejía-Vélez, S., & Bernal-Torres, A. (2022). Análisis empírico del Coeficiente Alfa de Cronbach según opciones de respuesta, muestra y observaciones atípicas. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación-e Avaliação Psicológica*, 2(63), 17. <https://doi.org/10.21865/ridep63.2.02>
- Turner, A. J., Frankenberg, C., & Kort, E. A. (2019). Interpreting contemporary trends in atmospheric methane. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(8), 2805-2813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814297116>
- Vizeu, M., Rojas, L., Chamness, S., & Ponce, A. (2020). *Indicadores de Gobernanza*

*Ambiental para América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Indicadores-de-gobernanza-ambiental-para-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Wunderlich, S. M., & Martinez, N. M. (2018). Conserving natural resources through food loss reduction: Production and consumption stages of the food supply chain. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4), 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.06.002>

Xie, X., Semanjski, I., Gautama, S., Tsiligianni, E., Deligiannis, N., Rajan, R. T., . . . Philips, W. (2017). A review of urban air pollution monitoring and exposure assessment methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), 389. <https://doi.org/10.3390/ijgi6120389>