

AMBIENTICO

Revista trimestral sobre la actualidad ambiental

Calidad ambiental en Costa Rica: Análisis y perspectivas desde la UNA



Editorial

La Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA aporta a la calidad ambiental

Herramientas de gestión ambiental para la mejora de la competitividad

Manfred Murell Blanco, Karla Vetrani Chavarria, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez

Evolución del monitoreo de la calidad del aire en Costa Rica

Julio Murillo Hernández, Jorge Herrera Murillo

Desarrollo de factores de emisión de gases efecto invernadero para el mejoramiento de la métrica en Costa Rica

Victor Hugo Beita Guerrero, Carolina Balma Montero, Jorge Herrera Murillo

Modelos de estimación de emisiones vehiculares como herramienta para mejorar la calidad del aire

José Félix Rojas Marín, Jorge Herrera Murillo

La importancia de la metrología en el desarrollo de indicadores de gestión ambiental

Manfred Murell Blanco, Karla Vetrani Chavarria, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez

Adaptación ante el cambio climático por entes operadores del servicio de agua potable: Casos en Barva y Quepos

Alina Aguilar Arguedas, Vanessa Valerio Hernández, Sergio A. Molina-Murillo, Fabiola Rodríguez Acosta

Aspectos técnicos importantes en la gestión de cuencas hidrográficas

María Álvarez Jiménez, Ligia Dina Solís Torres, Pablo Ramírez Granados

Modelo nacional para la gestión de factores de estrés ambiental: olores y ruido

Manfred Murell Blanco, Karla Vetrani Chavarria, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez

Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia

Alina Aguilar Arguedas

Impacto de los polvos del Sahara en la calidad del aire en la GAM

José Félix Rojas Marín, Víctor Hugo Beita Guerrero, Tomás Soto Murillo, Minor Vargas Rojas, Julio Murillo Hernández, Jorge Herrera Murillo

Pandemia, reactivación económica y calidad ambiental en Costa Rica

Sergio A. Molina-Murillo

SECCIÓN ACTUALIDAD LEGAL

Derecho humano de acceso al agua potable: Reforma del artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica

María Virginia Cajiao

Normas mínimas para la presentación de artículos a Ambientico

AMBIENTICO

Revista trimestral sobre la actualidad ambiental

Calidad ambiental en Costa Rica: Análisis y perspectivas desde la UNA



Editor en Jefe: Sergio A. Molina-Murillo
Consejo editor: Manuel Argüello, Wilberth Jiménez, Luis Poveda
Asistencia y administración: Nancy Centeno Espinoza.
Diseño, diagramación e impresión: Programa de Publicaciones, UNA
Fotografía de portada: Calibración de equipo para el monitoreo ambiental. PROCAME-UNA.
Apartado postal: 86-3000, Costa Rica
Correo electrónico: ambientico@una.ac.cr
Sitio web: www.ambientico.una.ac.cr

Ambientico, revista trimestral sobre la actualidad ambiental costarricense, nació en 1992 como revista impresa, pero desde hace varios años también es accesible en internet. Si bien cada volumen tiene un tema central, sobre el que escriben especialistas invitados, en todos ellos se trata también otros temas. *Ambientico* se especializa en la publicación de análisis de la problemática ambiental costarricense -y de propuestas sobre cómo enfrentarla- sustentados en información primaria y secundaria, aunque asimismo se le da cabida a ejercicios meramente especulativos. Algunos abordajes de temas que trascienden la realidad costarricense también tienen lugar.



Sumario

| | |
|--|-----------|
| Editorial La Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA aporta a la calidad ambiental | 2 |
| Herramientas de gestión ambiental para la mejora de la competitividad Manfred Murrell Blanco, Karla Vetrani Chavarría, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez | 4 |
| Evolución del monitoreo de la calidad del aire en Costa Rica Julio Murillo Hernández, Jorge Herrera Murillo | 11 |
| Desarrollo de factores de emisión de gases efecto invernadero para el mejoramiento de la métrica en Costa Rica Víctor Hugo Beita Guerrero, Carolina Balma Montero, Jorge Herrera Murillo | 16 |
| Modelos de estimación de emisiones vehiculares como herramienta para mejorar la calidad del aire José Felix Rojas Marín, Jorge Herrera Murillo | 26 |
| La importancia de la metrología en el desarrollo de indicadores de gestión ambiental Manfred Murrell Blanco, Karla Vetrani Chavarría, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez | 33 |
| Adaptación ante el cambio climático por entes operadores del servicio de agua potable: Casos en Barva y Quepos Alina Aguilar Arguedas, Vanessa Valerio Hernández, Sergio A. Molina-Murillo, Fabiola Rodríguez Acosta | 38 |
| Aspectos técnicos importantes en la gestión de cuencas hidrográficas María Álvarez Jiménez, Ligia Dina Solís Torres, Pablo Ramírez Granados | 44 |
| Modelo nacional para la gestión de factores de estrés ambiental: olores y ruido Manfred Murrell Blanco, Karla Vetrani Chavarría, Ligia Bermúdez Hidalgo, Sherryl Campos Morales, Ernesto Montero Sánchez | 49 |
| Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia Alina Aguilar Arguedas | 56 |
| Impacto de los polvos del Sahara en la calidad del aire en la GAM José Félix Rojas Marín, Víctor Hugo Beita Guerrero, Tomás Soto Murillo, Minor Vargas Rojas, Julio Murillo Hernández, Jorge Herrera Murillo | 62 |
| Pandemia, reactivación económica y calidad ambiental en Costa Rica Sergio A. Molina-Murillo | 68 |
| SECCIÓN ACTUALIDAD LEGAL Derecho humano de acceso al agua potable: Reforma del artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica María Virginia Cajiao | 74 |
| Normas mínimas para la presentación de artículos a Ambientico | 76 |

La Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA aporta a la calidad ambiental

Una de las primeras condiciones para la felicidad, es que la conexión entre el ser humano y la naturaleza no se rompa, escribió el famoso literato ruso Leo Tolstoy. Sin embargo, en el estudio global más reciente sobre calidad del ambiente, publicado por la Organización Mundial de la Salud, indica que un cuarto de las muertes humanas en el planeta está ligado a una mala calidad del ambiente. Muchas personas están expuestas con frecuencia a factores de riesgos en sus viviendas y lugares de trabajo principalmente al aire contaminado, agua y saneamiento no adecuados, químicos, radiación y ruido. Desafortunadamente, los impactos ambientales no son equivalentes entre las personas, y los más pobres son los que sufren las mayores consecuencias y quienes tienen menos posibilidades de generar un cambio por sus propios medios. Para colmo, la situación será amplificada por el cambio climático y la actual pandemia.

En el caso de Costa Rica —y utilizando como ejemplo— el índice de desempeño ambiental 2020, se evidencian desafíos significativos en calidad ambiental. Con una nota de 52.5 en una escala de 1 a 100, reprobamos el examen. En el ranking global de este índice desarrollado por la Universidad Yale, ubicada a nuestro país en el puesto 52 entre 180 países, lo que podría falazmente suponer que estamos más o menos bien. El detalle indica que de los 32 indicadores, solo en 7 de ellos se supera la calificación de 70. Acá destacan los esfuerzos por reducir o contener la contaminación con gases fluorocarbonados y con carbono negro, el CO₂ por pérdida de cobertura, la protección de especies, saneamiento y la protección de biomas terrestres

y marinos. Lamentablemente, los restantes 25 indicadores no superan esta nota. De ellos 5 indicadores no superan los 15 puntos: el incremento de las emisiones de óxido nitroso (NOx), el tratamiento de aguas residuales, y 3 indicadores relacionados con la pesca. Esta radiografía temporal, mayoritariamente del periodo 2017-2018 evidencia que aún tenemos una deuda pendiente con la calidad ambiental en Costa Rica, y el escenario para la siguiente década en la materia es nublado, con nuevos retos económicos y sociales que la pandemia del COVID-19 apenas nos empieza a mostrar.

En este número de la Revista Ambientalico, les presentamos varios artículos específicos producidos por el personal experto de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Especialistas en hidrología, economía, química, biología, planificación, administración empresarial, ingeniería ambiental, forestal, civil, industrial, en derecho y otras disciplinas, se han destacado por entender, evaluar y monitorear la calidad del ambiente, así como de producir investigaciones, capacitar a nuevos profesionales, empoderar personas de las comunidades, buscar soluciones en instituciones y empresas, e impulsar políticas públicas para salvaguardar o mejorar la calidad del ambiente en Costa Rica.

Varios programas de la Escuela de Ciencias Ambientales se enfocan en esta temática. En el Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) se realizan ensayos químicos para el diagnóstico e identificación de problemas de contaminación ambiental, con el fin de plantear soluciones de

remediación pertinentes, que garanticen un adecuado uso y manejo de los recursos naturales, así como la minimización de los impactos y riesgos naturales. Tal y como se muestra en este número, destaca también el Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME), quienes apoyan al aumento de la competitividad de las instituciones públicas, empresas privadas y personas, mediante el desarrollo de servicios dinámicos e innovadores en sistemas de gestión de la calidad, calibración de equipos, condiciones de trabajo, formación y ecoeficiencia, tanto en el ámbito nacional como internacional. Desde el PROCAME y la Escuela de Ciencias Ambientales se ofrece una maestría en metrología y calidad, y un programa de educación continua, con cientos de cursos impartidos por especialistas. Adicionalmente, el proyecto “Estrategias participativas de cambio climático a nivel local”, es reconocido por su aporte a la acción climática a nivel municipal. El equipo investigador ha desarrollado instrumentos novedosos para la planificación, la gobernanza y la acción climática, desde donde se procura una mejora de la calidad ambiental y del desarrollo en los espacios locales.

Otros programas e investigaciones en ecosistemas forestales, biodiversidad y agua también destacan en el trabajo cotidiano de la Escuela de Ciencias Ambientales. En el próximo número de la Revista Ambientalico, su personal experto nos presentará resultados, argumentos e ideas sobre el estado de situación a nivel forestal y cómo mejorar su calidad en la próxima década.



Académico, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(manfred.murrell.blanco@una.ac.cr)



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(karla.vetrani.chavarría@una.ac.cr)

Herramientas de gestión ambiental para la mejora de la competitividad



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ligia.bermudez.hidalgo@una.ac.cr)



Investigadora, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(sherryl.procame@gmail.com)

Manfred Murrell Blanco
Karla Vetrani Chavarría
Ligia Bermúdez Hidalgo
Sherryl Campos Morales
Ernesto Montero Sánchez



Investigador, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ernesto.procame@gmail.com)

Con la evolución del comercio internacional, las estrategias competitivas para la producción de bienes y servicios se han diversificado para atender las expectativas de un mercado más consiente de los impactos económicos, sociales, ambientales y culturales que generan las organizaciones. En este sentido, [Hidalgo \(2018\)](#), identifica cinco tendencias globales que forman parte de una nueva dinámica:

- Las tasas de crecimiento mundial del PIB y del comercio de bienes se han reducido en los últimos años.
- El comercio se ha vuelto más complejo al involucrar redes mundiales de producción y suministros, expresadas en las cadenas globales de valor.
- El comercio internacional se mantiene muy concentrado en tres grandes regiones, conocidas como las tres "fábricas mundiales": América del Norte, Asia y Unión Europea.
- Los precios de los productos básicos han caído en más de la mitad, afectando principalmente a las economías de América Latina, África y Asia Occidental.
- El desarrollo del comercio electrónico, referido a la producción, distribución, comercialización, venta o entrega de bienes y servicios por medios digitales.

A lo anterior, habría que agregarle que los requisitos ambientales se han convertido en instrumentos de diferenciación aun cuando no sean exigidos por la reglamentación del país importador. Al respecto, [Acuña et al. \(2017\)](#) mencionan que este proceso comenzó con la aparición del concepto de “desarrollo sostenible” y su adopción en la Conferencia de Río de 1992. Además, señalan que este nuevo enfoque ha modificado lenta pero profundamente la forma en que se definen diferentes aspectos ambientales como: la gestión de los residuos, el uso de determinados materiales y, especialmente, todo el entorno de la energía y los gases de efecto invernadero relacionados con el cambio climático.

Por tanto, las organizaciones que han logrado incorporar estas exigencias en sus estrategias comerciales, frecuentemente han ganado ventajas importantes sobre sus competidores debido al mejoramiento de su imagen empresarial. Por ejemplo, la [Organización Mundial del Comercio \(OMC, 2013\)](#), resalta la influencia de las variables ambientales en la valoración de las empresas, lo que se refleja directamente en su posición en bolsa, ya que muchos inversores desean que sus fondos sean destinados a organizaciones que, además de beneficios económicos a la sociedad y al ambiente.

Entre las estrategias propuestas a nivel internacional para enfrentar los problemas ambientales que ocasionan las organizaciones al producir sus bienes y servicios se encuentran los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), creados como rutas para gestionar sistemáticamente los aspectos e impactos ambientales del

proceso productivo. La implementación de los SGA, mejora la actuación ambiental y las metas económicas trazadas por la organización, pues se enfoca en la búsqueda de un desarrollo sostenible bajo un esquema ecoeficiente, aplicado a todos los procesos productivos.

Teniendo en cuenta lo anterior, solo aquellas organizaciones cuya alta gerencia se encuentra comprometida con los objetivos planteados en su política, que además asignan recursos adecuados para poder implementar las medidas ambientales necesarias, y han puesto en marcha programas de comunicación y entrenamiento empresariales así como auditorías integradas para poder realizar un seguimiento de los aspectos ambientales, han logrado alcanzar la excelencia ambiental en el funcionamiento y la aplicación de los SGA propuestos.

Otra alternativa no excluyente a la implementación de los SGA, es el análisis de ciclo de vida (ACV), que es una metodología internacionalmente aceptada y reconocida para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno. [Rieradevall \(2010\)](#) menciona que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Así, para el diseño o rediseño de los productos, el ACV se vale de modelaciones que permiten caracterizar los impactos ambientales potenciales asociados a las diferentes etapas de su ciclo, logrando así la identificación

de escenarios de producción ecoeficientes, entendidos como la combinación de procesos, o cambio de materias primas o insumos que conlleven a una menor utilización de recursos y a la generación de menores impactos.

En este sentido, el ecodiseño es una estrategia ligada a la innovación y a las nuevas culturas de organización del trabajo, que utiliza la participación interdisciplinaria de todos los departamentos en el proceso de desarrollo de los ecoproductos. De acuerdo con [Guzmán et al. \(2010\)](#), se deben introducir criterios ambientales en el diseño, tratando de minimizar los principales impactos ambientales que se derivan de la producción y consumo del bien generado. El diseño considera la interrelación de ponderaciones como la estética, los costos, la funcionalidad, seguridad, calidad y ergonomía. El objetivo de estas técnicas es incorporar en un mismo orden de importancia los criterios de producción con las

nuevas concepciones medioambientales, a fin de reducir los daños al ambiente, tanto en la producción como a lo largo de la vida del bien que se ofrece.

Finalmente, las ecoetiquetas son símbolos que se otorgan a aquellos productos que tienen un menor impacto sobre el ambiente, debido a que cumple con una serie de criterios ecológicos, que considera su análisis de ciclo de vida y otras características puntuales ([Aguilar y Hernández, 2010](#)). Este tipo de diferenciadores nacen de la creciente demanda global de proteger el medio ambiente por parte de los gobiernos, de las empresas y del público en general. Además, existe una clasificación general de eco-etiquetado de acuerdo con las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), cuyas características se mencionan en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Eco-etiquetado de acuerdo con ISO 14000

| Norma | Características |
|---------------------------------|---|
| ISO 14024, Etiqueta tipo I | Son elaboradas por una tercera persona, poseen mayor credibilidad que las tipo II |
| ISO 14021, Etiqueta tipo II | Las elaboran las mismas empresas, son un requisito para dar a conocer que los productos que se están comercializando son amigables con el medio ambiente. |
| ISO 14025, Etiqueta tipo III | Para la obtención de este tipo de eco etiquetado es necesario elaborar un ACV, cuenta con mayor credibilidad, pero la etiqueta resulta más difícil de comprender debido a que contiene una considerable información técnica (Molina-Murillo y Smith, 2009). |

Fuente: Elaborado a partir de [INTE/ISO 14001 \(2015\)](#).

Debido a las demandas ambientales de un mercado internacional más consiente, se puede esperar el desarrollo de nuevas normativas que ayuden a la conservación de recursos naturales. Sobre esta perspectiva, [Martínez et al. \(2018\)](#), aseguran que, en países como Alemania, China, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos e India, se ha encontrado que entre los mecanismos para cumplir sus objetivos relacionados a la producción y consumo sostenible se utilizan varias de las estrategias mencionadas anteriormente como instrumentos de política pública.

Un ejemplo sobresaliente es la Unión Europea, que en términos de productos verdes se encuentra muy diversificada, con compañías que le apuestan al tema ambiental como: Volkswagen, Danone, Nokia, BMW, Nestle, Adidas, Mercedes Benz, Siemens, Lóreal, Phillips, IKEA, Allianz, AXA, SAP, Santander, y Zara principalmente. Además, en su estrategia de crecimiento inteligente, se enfatizan los puntos del apoyo a la innovación, el uso eficiente de recursos y las pequeñas industrias ([Interbrand, 2019](#)).

Otro caso interesante son los Estados Unidos de América, con compañías con un alto desempeño ambiental manifiesto por sus certificaciones para productos verdes como: Ford, Johnson and Johnson, DELL, Hp, Coca Cola, Intel, Apple, 3M, Pepsi, IBM, XEROX, NIKE, UPS, Microsoft, Starbucks, Kellogg's, Caterpillar, AVON, McDonald's, CITI, Colgate. Sin embargo, [Martínez et al. \(2018\)](#) señalan que esta región del mundo es la que mayor interés muestra en cuanto mecanismos de regulación con el objetivo de controlar

el *greenwashing*, que se define como una forma de presentar productos o servicios como respetuosos del medio ambiental, cuando en realidad no lo son.

Con respecto a los desafíos que enfrentan los países de América Latina y el Caribe en el marco de la producción verde, la [CEPAL \(2016\)](#) señala que la transición hacia sistemas de producción más ecológicos resulta complejo debido a los múltiples desafíos que enfrentan los países a la hora de emprender este tipo de estrategias, ya que además de acelerar el crecimiento y reducir las brechas de ingresos con el mundo desarrollado, deben reducir la heterogeneidad, mejorar el acceso a bienes y servicios básicos y aumentar el bienestar de la población sin imponer una excesiva degradación sobre el entorno. Estas economías deben conciliar las políticas ambientales en un contexto social crítico; además de cerrar brechas de productividad, no sólo entre los países de la región, sino a nivel interno.

En el caso de Costa Rica, se ha desarrollado un sello país conocido como Esencial Costa Rica, cuyo objetivo en una lógica ambiental, ecológica y de conservación ha sido atraer inversión extranjera como fuente alternativa de ingresos al país, adicionales a los obtenidos por turismo, donde el ambiente es un pilar fundamental para el desarrollo económico. Acuña y Ulloa (2018) mencionan que no fue hasta el 2013 cuando la marca se dio a conocer a nivel mundial, y entró al mercado costarricense en el año 2016.

Para el 2017, el valor de la marca Costa Rica aumentó 12 lugares para turismo y cinco para comercio e inversión,

en la clasificación mundial de *Country Brand Ranking 2017–2018*, ubicándose en el puesto nueve del continente, siendo la marca que mayor crecimiento reportó en toda América, con incrementos del 23 % para turismo, 19 % para inversión y 15 % para productos costarricenses de exportación. Según la reglamentación de Esencial Costa Rica, “la Marca País Costa Rica se constituye en un instrumento estratégico y para la competitividad, mediante la cual se identifica al país, se sella la reputación, se sinergiza la promoción y se genera un posicionamiento diferenciador ante los sectores de exportación, inversiones y turismo” (La Gaceta, 2014).

Por otra parte, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones

(MICITT) publicó en 2015 el “VI Informe de Indicadores Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación: Costa Rica 2013” (MICITT, 2015), con base a las actividades empresarias desarrolladas en 2011-2012. En este informe se incluyó una sección completa (siete preguntas) sobre innovación y desempeño ambiental. Estas preguntas se dirigieron a revisar los impactos ambientales, los efectos que genera la actividad productiva en el cambio climático, la existencia de algún programa formal para la prevención de desastres, las actividades de gestión ambiental, y las motivaciones y obstáculos para acceder a nuevas tecnologías de protección y gestión ambiental. Los resultados se muestran en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Aspectos incluidos en las encuestas de innovación en materia de gestión ambiental

| Actividades de gestión ambiental consideradas | Motivaciones para realizar actividades | Barreras u obstáculos |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de equipos de tratamiento de efluentes y residuos • Implementación de programas para disminuir los impactos ambientales • Mejoras en la eficiencia del uso de agua, insumos y energía • Sustitución de insumos o materias • primas contaminantes • Desarrollo de productos más amigables con el ambiente • Establecimiento del reciclado interno o externo • Obtención de alguna certificación de gestión ambiental | <ul style="list-style-type: none"> • Reducir costos • Mejorar la imagen ambiental de la firma • Regulaciones ambientales locales • Exigencias de clientes locales • Estándares intracorporación • Exigencias de mercados externos • Preparación para obtener certificaciones ambientales • Emular las acciones de competidores locales • Exigencias de crédito (local o internacional) • Conciencia ambiental de la empresa | <ul style="list-style-type: none"> • Inexistencia de tecnologías en el mercado internacional y local • Falta de adecuación de las tecnologías disponibles • Alto costo de las tecnologías disponibles • Las tecnologías existentes están protegidas por patentes • Falta de información sobre las fuentes disponibles de tecnología |

Fuente: Elaboración a partir de MICITT (2015).

Con respecto al etiquetado ambiental, nuestro país cuenta desde el 2019 con el Programa Nacional de Etiquetado Ambiental y Energético, iniciativa liderada por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), con el apoyo técnico del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para su implementación. Este programa está respaldado por la Ley No. 8279, pues se fundamenta en el Sistema Nacional para la Calidad y tiene como objetivo establecer las reglas de cómo operar en el país el proceso de etiquetado, el cual se hará básicamente con las etiquetas tipo I y tipo III.

Siguiendo con lo establecido en el Sistema Nacional de la Calidad, aquellas empresas interesadas deberán contactar organismos de certificación de productos acreditados para el etiquetado ambiental y energético. Además, DIGECA (2017) señala que con la implementación del programa se está cumpliendo con una línea de acción de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, oficializada por medio del Decreto Ejecutivo N° 41032, en mayo del 2018, así como con requerimientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Finalmente, se plantean una serie de acciones en materia de competitividad ambiental que nuestro país deberá considerar para alcanzar sus objetivos de desarrollo sostenible al año 2030: a) Es necesario que las políticas del sector productivo del país propicien las reglas del juego claras para que las organizaciones fundamenten su competitividad tomando

en cuenta la dimensión ambiental; b) Se deben promover acuerdos entre los actores y partes interesadas de la cadena productiva, con el objetivo de crear un valor agregado y a su vez establecer externalidades positivas para el desarrollo de nuevos mercados verdes; c) Son necesarias más redes de relaciones colaborativas entre las organizaciones, de manera que se generen flujos de información a través de clústeres, lo cual permite el acceso al conocimiento práctico existente; d) Se deben desarrollar programas de capacitación y formación de competencias relativos a búsqueda de nuevas oportunidades de mercado relativos a la implementación de diferentes tipos de herramientas de la gestión ambiental; e) Establecer prioridades competitivas para el desarrollo de productos con una fuerte base de innovación, a través de procesos de investigación. Esta innovación debe ser incremental modificando productos y servicios ya existentes, o radical, introduciendo nuevos productos.

Referencias

- Aguilar, S y Hernández, M. (2010). Compras responsables: guía práctica para su implementación en las empresas. CEGESTI, San José, Costa Rica.
- Acuña, N; Figueroa, L, y Wilches, M. (2017). Influence of environmental management systems in organizations ISO 14001: case study manufacturing enterprises of Barranquilla. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(1), 143-153. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000100143>
- Arce, D y Ulloa, M. (2018) La marca país Esencial Costa Rica: más allá del bienestar ambiental. *Revista Perspectivas: Estudios Sociales y Educación Cívica*, 17(Julio –Diciembre), 1-21. <http://dx.doi.org/10.15359/rp.17.5>

- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2016), Horizontes 2030: la igualdad en el centro del desarrollo sostenible, (LC/G.2660/Rev.1), Santiago, Mayo, Publicación de Naciones Unidas.
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA). (2017). Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible 2018 □ 2030. Ministerio de Ambiente y Energía. Gobierno de la República de Costa Rica. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/politica_nacional_produccion_consumo_sostenibles.pdf
- Guzmán, L; Castellanos, M; Alanis; M. (2010). Metodología de Ecodiseño para el desarrollo sustentable de productos y de procesos. Principios, herramientas y fundamentos. *Internacional de Investigadores en Competitividad*, 4(1). <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/751>
- Hidalgo, R. (2018). Trends in International Trade of Goods, Trade Policies and Multilateral Negotiations. *Economía y Desarrollo*, 159(1), 135-153. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842018000100009&lng=es&tlng=en
- INTE/ISO 14001 (2015). Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Editada e impresa por INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica).
- Interbrand. (2019). Best Global Brands 2019 Rankings. <https://www.interbrand.com/best-brands/best-global-brands/2019/ranking/>
- La Gaceta Número 59 (2014). N° 38271-MP-TUR. Reglamento de Licenciamiento de la Marca País para la Promoción Turística de Costa Rica.
- Martínez, M; Mayorga, O; Vera, M; García, M. (2018). Eco-etiquetado y productos verdes: desarrollo y competitividad. *Tecnología en Marcha*, 31 (2), 87-97. <http://www.doi.org/10.18845/tm.v31i2.3626>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT). (2015). Indicadores Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación Costa Rica. Unidad de Planificación Institucional, Subsistema Nacional de Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación. <http://www.conicit.go.cr/servicios/listadocs/indicadores-2013-Pub-2015.pdf>
- Molina-Murillo, S. A. & Smith, T. M. (2009). Exploring the use and impact LCA-based information in corporate communications. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 184-194. <http://www.doi.org/10.1007/s11367-008-0042-8>
- Organización Mundial del Comercio (OMC). (2013). Evolución del sistema internacional de comercio y sus tendencias desde una perspectiva de desarrollo, Secretaría de la UNCTAD. TD/B/60/2, Ginebra. <http://www.unctad.org>
- Rieradevall, J; Vinyets, J; Doménech, X. (2010). Ecodiseño: Los Productos y el Desarrollo Sostenible. Barcelona: Rubes Ed.



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (julio.murillo.hernandez@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jorge.herrera.murillo@una.ac.cr)

Evolución del monitoreo de la calidad del aire en Costa Rica

Julio Murillo Hernández
Jorge Herrera Murillo

Costa Rica es un territorio pequeño, con tan solo 51 100 km² de superficie terrestre. Sin embargo, la mayoría de sus establecimientos humanos se ubican en el Gran Área Metropolitana (GAM), meseta de unos 2 000 km² situada en el centro del país. Aquí se concentra el 70 % de la flota vehicular, un 80 % de la industria y un 60 % de la población nacional aproximadamente, e incluso se estima que para el 2030 será el asentamiento de tres millones de personas (MIVAH, 2013).

Esta concentración de actividades comerciales e industriales ha hecho cada vez más deficiente la operación de las ciudades que integran el GAM en términos de movilidad. Esto ha causado un deterioro en la calidad del aire, impulsado por el aumento en la flota vehicular emisora de contaminantes derivados de la quema de combustibles fósiles, así como de la aparición de nuevas industrias y comercios. Las acciones implementadas por los sectores público y privado no han sido suficientes para compensar estas presiones, y así, el costo por el deterioro de la salud causada por la contaminación del aire urbano de Costa Rica se ha estimado en

210 billones de colones (Vásquez & Fernández, 2016). Por tanto, el desarrollo de un modelo de gestión integral de la calidad del aire es un reto de orden político, económico, ambiental y de salud pública.

De acuerdo con el informe de calidad del aire del GAM para los años 2017 y 2018 (Laboratorio de Análisis Ambiental, 2019), los promedios anuales de concentración de partículas PM_{10} cumplieron con lo establecido en el Decreto 39951-S (Valor de referencia $30 \mu\text{g m}^{-3}$) para 6 de los 8 sitios donde se realiza un monitoreo manual. Mientras tanto, para las partículas $PM_{2.5}$, las concentraciones reportadas no cumplen ni la legislación nacional (promedio anual de $15 \mu\text{g m}^{-3}$) ni la internacional en los sitios muestreados.

La calidad del aire es un asunto complejo de estudiar ya que depende de factores como la naturaleza y el comportamiento de las fuentes emisoras, la meteorología y la topología del sitio. El desarrollo de estrategias de gestión de calidad del aire requiere de la realización de mediciones confiables de las concentraciones ambientales de los contaminantes del aire presentes en una cantidad representativa de sitios de forma continua, con el fin de analizar las tendencias y el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos en la legislación nacional, en concordancia con las políticas nacionales en salud pública. El establecimiento de sistemas de monitoreo de calidad del aire constituye una herramienta básica para el diagnóstico y el análisis de la

efectividad de las acciones emprendidas para mejorar la calidad del aire.

Según Rodríguez & Herrera (2004), el primer intento de diagnosticar el problema de calidad del aire en la ciudad de San José se realizó en 1971, pero se interrumpió 2 años más tarde. Luego, en 1979, se coordinó un estudio que comparó los resultados con los obtenidos en 1971, y se concluyó que las concentraciones de algunos contaminantes habían aumentado significativamente. Después, en 1989, un estudio parcial realizado por la Universidad Nacional responsabilizó la pobre calidad del aire del serio deterioro que sufría el Teatro Nacional.

Los primeros esfuerzos por realizar monitoreos sostenidos de la calidad del aire en el GAM comenzaron con el Programa de Estudios de Calidad del Aire (PECAIRE) de la Universidad Nacional en 1993, con 6 sitios de medición y el apoyo de *Swisscontact*. Entre 1998 y el 2001, se vio una reducción de hasta un 20 % en las concentraciones de material particulado, coincidiendo con el funcionamiento del ecomarchamo, que fue uno de los primeros intentos de establecer un modelo de revisión técnica vehicular a nivel nacional. El Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional retomó el monitoreo de la calidad del aire en el año 2003, gracias a una alianza con la Municipalidad de San José, que permitió el establecimiento de dos sitios de medición de partículas PM_{10} en la ciudad de San José, los cuales se continúan monitoreando.

En octubre del 2008 se firma en Casa Presidencial un convenio de cooperación entre la Universidad Nacional, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) y la Municipalidad de San José con el fin de ejecutar el “Plan Nacional para mejorar la calidad del aire del Área Metropolitana” (Herrera, Rodríguez & Rojas, 2009). El propósito principal fue proteger la salud de la población que habita la zona metropolitana del país, abatiendo de manera gradual y permanente los niveles de contaminación atmosférica. En etapas posteriores se sumaron esfuerzos de monitoreos con las Municipalidades de Escazú y Belén, así como con la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).

Para el año 2008, la Red de monitoreo de la calidad del aire (REMCA) contaba con solamente cinco puntos manuales de operación de alto volumen: San José (2), Heredia (2) y Belén (1), así como 35 ubicaciones para colocación de tubos de difusión de gases contaminantes por difusión pasiva, distribuidos en San José (14), Heredia (10) y Belén (11). En julio del 2009, como parte del Acuerdo de Cooperación USAID-CCAD del CAFTA-DR, se donó al país diez muestreadores de alto volumen PM_{10} por parte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), y el MINAET, lo que permitió incrementar la cantidad de sitios de muestreo distribuidos en el Área Metropolitana (Herrera, Rodríguez & Rojas, 2009).

Esto permitió que efectivamente, durante el 2010 la REMCA fuera operada con 14 estaciones de PM_{10} de alto volumen y 4 de $PM_{2.5}$ de bajo volumen, contaminante más peligroso que hasta entonces nunca se había medido en el país (Herrera, Rodríguez, Rojas & Miranda, 2011). La Universidad Nacional adquirió una unidad móvil de monitoreo de calidad del aire, y comenzó su operación en noviembre del 2009. También se sumaron a estos esfuerzos de monitoreo automático, el Ministerio de Salud y RECOPE con 2 unidades cada institución, la más reciente fue comprada por RECOPE y entrando en funcionamiento en noviembre del 2019.

Por ende, el estudio de la calidad del aire en el país tiene aproximadamente 40 años, y de manera sistemática, se estudia desde hace 27 años. Es muy importante el registro de datos de un mismo sitio durante un tiempo prolongado porque así se puede tener un histórico robusto que permite separar eventos anómalos con cambios en los patrones del sitio, que se sostienen por más tiempo. En el caso de la REMCA manual, la mayoría de los puntos tiene más de 15 años de monitorearse en el mismo sitio

La REMCA funciona operativamente, pero no está exenta de algunas debilidades y retos, muchos de ellos señalados por Vásquez y Fernández (2016). Lamentablemente no se cuenta con monitoreo meteorológico en los puntos de la REMCA, limitando un análisis más profundo con correlaciones explicativas del

comportamiento de la calidad del aire. Existe un acuerdo entre distintas instituciones para la operación, pero no están claros los aportes económicos y logísticos de cada ente, de modo que es confusa la operación de la REMCA bajo ese panorama y se vuelve muy complicado financiar su mantenimiento y actualización tecnológica.

Además, no se cuenta con una estrategia de divulgación de resultados ni un sistema de información ágil y de acceso libre que proporcione los datos de calidad del aire en tiempo real ni para consulta posterior, como ocurre en otras partes del mundo. También el Decreto 39951 menciona un Índice Costarricense de Calidad del Aire (ICCA) como medio para facilitar la comunicación con la ciudadanía, pero aún no ha sido posible su desarrollo y uso, haciendo que por ahora sea desconocido para la población. [Vásquez y Fernández \(2016\)](#) analizan estas debilidades, y recomiendan un rediseño institucional.

Actualmente la REMCA indica en su manual de operación, que cuenta con 11 equipos de medición en alto volumen, ubicados en los centros poblacionales de Cartago (1), Alajuela (1), Belén (2), Heredia (1), Escazú (1) y San José (5). Se utilizan procedimientos estandarizados a nivel internacional y estos puntos permiten un cálculo de la concentración en 24 horas de las partículas de PM_{10} (en 9 de los 11 puntos) y $PM_{2.5}$ (en 3 de los 11 puntos). Se cuenta además, con 49 sitios de muestreo pasivo de dióxido de nitrógeno (NO_2) y 21 de dióxido de azufre (SO_2),

distribuidos en 28 puntos en San José (solo NO_2), 10 en Escazú y 11 en Belén (para ambos gases).

Estos sitios, junto con las 5 estaciones automáticas que han aportado la Universidad Nacional (1), el Ministerio de Salud (2) y RECOPE (2), se encargan del análisis continuo de gases y partículas. En la actualidad, se está trabajando en una propuesta de rediseño de la REMCA manual, así como la migración hacia equipos automáticos y una página web donde se visualicen los resultados con acceso abierto y en tiempo real.

En diciembre del 2016 se actualizó la norma referente a la calidad del aire del país con el Decreto D-39951-S ([Ministerio de Salud, 2016](#)), estableciendo límites máximos permisibles para PM_{10} y $PM_{2.5}$, que fueron definidos a partir de los aportes del Laboratorio de Análisis Ambiental y las mediciones ejecutadas de manera continua en la REMCA. Anteriormente, la normativa nacional no contemplaba valores de referencia para $PM_{2.5}$ y los de PM_{10} estaban establecidos de acuerdo con mediciones efectuadas en otros países, con realidades distintas a la costarricense.

Además, el Laboratorio de Análisis Ambiental se encuentra acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación desde octubre del 2005 en la ISO 17025:2005, orientada a la gestión de calidad de los laboratorios de ensayo y calibración, de modo que los métodos de muestreo y análisis de la REMCA cuentan con un

respaldo de calidad estandarizado. Se trata de la única red de monitoreo acreditada a nivel latinoamericano, lo que coloca a Costa Rica a la vanguardia en la región en cuanto al monitoreo continuo de la calidad del aire de sus ciudades.

Por casi medio siglo Costa Rica ha avanzado en el monitoreo de la calidad del aire. Se ha avanzado en conocimiento, información y capacidad técnica de operación, así como en la cronología de los datos y en su confiabilidad. En reto de la siguiente década es promover una transición hacia equipos de medición más modernos, que permitan la medición continua de partículas y gases peligrosos para la población, de preferencia automatizados, bajo estándares que garanticen la calidad de la información.

Referencias

- Herrera, J. & Rodríguez, S. (2007). Cuarto Informe de Calidad del Aire de la ciudad de San José. Informe técnico.
- Herrera, J., Rodríguez, S. & Rojas, J. (2009). Primer Informe de Calidad del Aire del Área Metropolitana de Costa Rica: 2008.
- Herrera, J., Rodríguez, S., Rojas, J. & Miranda, S. (2011). Calidad del Aire en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, Tercer informe de estado y tendencias: Año 2010.
- Laboratorio de Análisis Ambiental (2019). Informe de Calidad del Aire, Área Metropolitana de Costa Rica, 2017 y 2018.
- Ministerio de Salud. (2016). Decreto No. 39951-S: Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio. Publicado en La Gaceta 209, del 1° de noviembre del 2016. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/reglamento_calidad_del_aire_contaminantes_criterio.pdf
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos MIVAH (2013). Plan Nacional de Desarrollo Urbano para la Gran Área Metropolitana. Recuperado de <https://www.mivah.go.cr/Documentos/PlanGAM2013/01-DIMENSIONES/Introduccion.pdf>
- Rodríguez, S. & Herrera, J. (2004). Calidad del Aire en la Capital entre 1993 y 2003. *Revista de Ciencias Ambientales*, 27 (1), 53-57. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.27-1.6>
- Vásquez, Y. & Fernández, M. (2016). Informe: Diagnóstico y Recomendaciones para la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (victor.beita.guerrero@una.ac.cr)



Investigadora, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (carolina.balma.montero@una.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jorge.herrera.murillo@una.ac.cr)

Desarrollo de factores de emisión de gases efecto invernadero para el mejoramiento de la métrica en Costa Rica

Víctor Hugo Beita Guerrero
Carolina Balma Montero
Jorge Herrera Murillo



La concentración global de dióxido de carbono (CO₂) ha alcanzado valores preocupantes en años recientes. De acuerdo con datos publicados por la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* de los Estados Unidos, la concentración de CO₂ en la atmósfera ascendió hasta 414.34 ppmv al 20 de marzo de 2020 (NOAA, 2020). Durante el año 2018, según el promedio global calculado a partir de observaciones *in-situ* en estaciones meteorológicas de la red de Vigilancia de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el metano atmosférico, responsable en este momento del 17 % del forzamiento radiativo, alcanzó un nuevo máximo de (1 869 ± 2) ppbv, segundo nivel más alto en la última década, mientras el óxido nitrroso presentó un promedio que alcanzó los (331.1 ± 0.1) ppbv, el cual está 1.2 ppbv por encima de lo reportado en el 2017 (OMM, 2019).

Actualmente, China es el mayor emisor de CO₂ del mundo, con una cuarta parte de las emisiones (23 %), seguido por los Estados Unidos (15 %); UE-28 (10 %); India (7 %); y Rusia (5 %) (Ritchie & Roser, 2020). De estas emisiones,

el consumo de energía es la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, responsable del 73 % en todo el mundo. En este sector se incluye el transporte (7.9 GtCO₂e en el 2016, 15 % de las emisiones totales), electricidad y calor (15 GtCO₂e en el 2016, el 30 % de las emisiones totales), edificios, fabricación y construcción (6.1 GtCO₂e, el 12 % de las emisiones totales), emisiones fugitivas y quema de combustible (Ge & Friedrich, 2020).

Los otros sectores principales que producen emisiones a nivel mundial son la agricultura y ganadería (12 %); uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (6.5 %); procesos industriales de productos químicos, cemento y más (5.6 %); y los residuos, incluidos los vertederos y las aguas residuales (3.2 %) (Ge & Friedrich, 2020). La quema de biomasa

también constituye una fuente importante, con un aporte de alrededor del 18% de las emisiones globales totales (Tripathi, Hills, Singh, & Singh, 2020).

En Costa Rica, de acuerdo con el último inventario de GEI realizado en el país en el 2012, la distribución de las emisiones de GEI expresadas como CO_{2eq} y en unidades de giga gramos-año (Gg año⁻¹), se encuentran lideradas por el sector transporte, el cual representa el 39 % de las emisiones totales, seguido de la fermentación entérica y manejo de estiércol, el cual representa un 17 % de las emisiones, y en tercero y cuarto lugar el manejo de residuos sólidos y la industria manufacturera y de la construcción, los cuales representan el 10 % y el 9 % de las emisiones totales respectivamente, tal y como se logra apreciar en la **Figura 1**.



Figura 1. Porcentaje de contribución de las emisiones de gases efecto invernadero por tipo de fuente en Costa Rica, año base 2012. Fuente: Elaboración con base en datos de Chacón et al. (2012).

Ante este escenario, Costa Rica ha propuesto mediante el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, tres metas de reducción orientadas a la fuente de mayor generación de GEI en el país, el transporte, el cual es el responsable de alrededor del 68.7 % de las emisiones del sector energético nacional (Chacón *et al.*, 2012). Estas metas pretenden que para el 2050, el 100 % de autobuses y taxis sean cero emisiones (Gobierno de Costa Rica, 2019), incentivando al mismo tiempo la toma de decisiones para las demás fuentes emisoras.

Para el establecimiento apropiado de medidas de mitigación, compensación y reducción de las emisiones de GEI —tanto a nivel organizacional como a nivel país— es imperativo contar con una estimación que permita conocer con cierto nivel de confianza, la cantidad de GEI que son emitidos en un período de tiempo. Estas estimaciones cuantitativas se logran a través de herramientas como los son los inventarios de gases efecto invernadero, por medio de los cuales se establecen límites físicos y operativos, definiendo de esta manera el alcance a partir del cual se identifican y clasifican las principales fuentes emisoras, para posteriormente, cuantificar las emisiones y a partir de los resultados, definir los distintos planes de acción (Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente, 2017).

A nivel nacional, el gobierno ha desarrollado el Programa País sobre Carbono Neutralidad, en el cual se establecen una guía organizacional y otra cantonal

de la metodología para el cálculo de emisiones de GEI. La directriz de este Programa es utilizar los factores de emisión (FE) del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en su versión vigente como primera opción para el cálculo de las emisiones. De no contar este documento con un FE para una determinada fuente, se debe consultar como segunda opción los FE establecidos en las guías metodológicas del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). Como tercera fuente, es posible consultar bibliografía confiable y con respaldo científico. Los FE obtenidos de esta tercera fuente provienen de cálculos realizados a partir de datos del IPCC para diferentes regiones del mundo, lo que se conocen como valores por defecto. Estos provienen de estadísticas nacionales o internacionales disponibles y deben ser viables para todos los países, aunque en ocasiones podrían estar subestimando o sobreestimando las emisiones, dadas las circunstancias particulares en cada caso.

Puesto que el valor específico de una región determinada debe ser más aplicable a la situación de ese lugar, se espera que el rango de incertidumbre asociado con el valor específico de un país sea más pequeño que el rango de incertidumbre del factor de emisión por defecto (IPCC, 2006). Es decir, si se utilizan FE extraídos de publicaciones o bajo condiciones diferentes a las reales, es de esperar que se obtengan incertidumbres bastante altas, las cuales caracterizan de manera indirecta las posibles

desviaciones respecto a la realidad local, sea esta organizacional, cantonal, provincial o incluso a nivel país.

Es así como el Laboratorio de Análisis Ambiental en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (LAA-UNA), se ha interesado en proponer y apoyar estudios orientados al mejoramiento de la métrica, a través de proyectos de investigación o servicios por medio de los cuales es posible cuantificar de manera específica las emisiones en la fuente, otorgando una posibilidad para la creación de factores de emisión en distintas fuentes generadoras. Entre algunos de los principales sectores estudiados se encuentran los embalses hidroeléctricos, los cultivos de piña, repollo, papa, arroz, café y caña de azúcar, así como sistemas de compostaje de broza de café y residuos orgánicos, gasificación de broza de café y emisiones provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales asociadas al proceso de beneficiado de café.

A partir de los distintos estudios en los que ha participado el LAA-UNA, se han podido levantar una serie de factores de emisión específicos para ciertas actividades, dentro de los cuales se pueden destacar los que se muestran el **Cuadro 1**. Si bien es cierto, dichos factores de emisión no pueden ser considerados como FE de cobertura nacional, puesto que están generados para características de zonas en particular, se convierten en un primer paso de suma importancia hacia el mejoramiento de la métrica a nivel país.

Si se comparan algunos de los FE de GEI obtenidos, se puede observar que existen diferencias entre los valores derivados de mediciones en campo realizadas por el LAA-UNA y los que se deben utilizar según las directrices (factores por defecto). En el caso del cultivo de papa se pudo realizar únicamente la comparación con el óxido nitroso, ya que ni el IMN ni el IPCC reportan datos de FE asociados a este cultivo. En la **Figura 2**, se puede apreciar que el IMN reporta un factor de 7.86 kg-N₂O/ha-año, representando un incremento de alrededor de un 118 % con respecto al FE obtenido a partir de mediciones en la fuente, lo que significa un aumento en términos absolutos de 4.25 kg-N₂O/ha-año. Así mismo, si se compara el FE por defecto del IPCC con el obtenido experimentalmente, se puede notar que el primero (IPCC) tan solo representa un 2.18 % del factor obtenido a partir de mediciones en la fuente, lo que significaría una disminución absoluta de 3.53 kg-N₂O/ha-año.

Por otra parte, en la **Figura 3** se muestra una comparación de los FE de metano y óxido nitroso derivados del proceso de compostaje de la pulpa de café, resultados que fueron obtenidos a partir de los valores promedio para un total de diez beneficios a lo largo del país, los cuales fueron muestreados por un periodo continuo de tres meses. Los resultados muestran que el factor de emisión de metano obtenido experimentalmente representa una disminución cercana al 70.8 % con respecto al valor por defecto del IMN

y una reducción de alrededor del 85.4 % con respecto al IPCC. Para el caso específico del óxido nitroso, el FE experimental representó un incremento de alrededor de un 23 % con respecto al valor por defecto establecido por el IMN, y a su vez, representó una disminución significativa

en relación con el valor reportado por la IPCC; cerca de un 95.4 % más bajo. Es importante destacar que los FE reportados tanto por el IMN como por el IPCC, corresponden a valores para compostaje de residuos sólidos en general, no específicamente para pulpa de café.

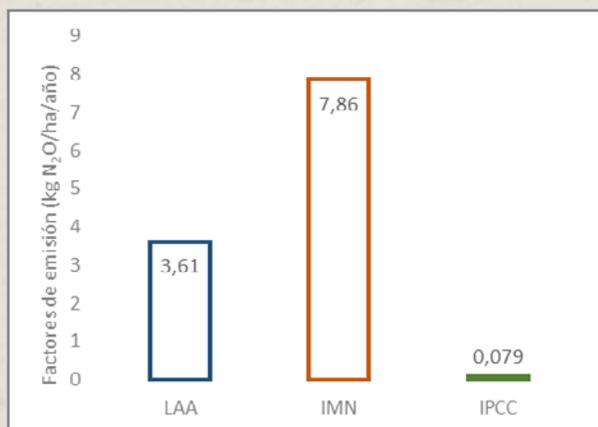


Figura 2. Comparación de los factores de emisión de óxido nitroso obtenidos por el Laboratorio de Análisis Ambiental para el cultivo de papa con respecto a los establecidos por el IMN y el IPCC.

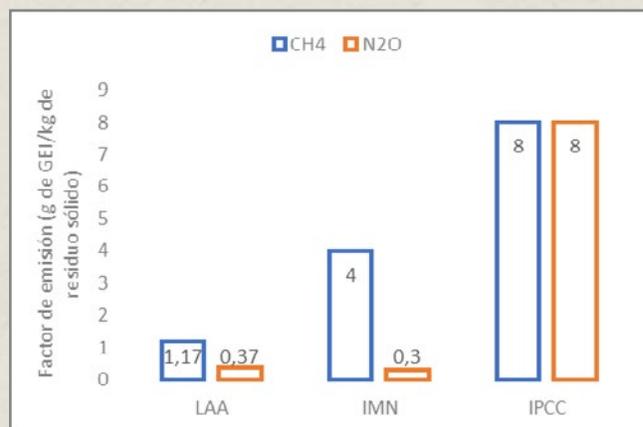


Figura 3. Comparación de los factores de emisión de metano y óxido nitroso obtenidos por el Laboratorio de Análisis Ambiental en compostaje de pulpa de café con respecto a los establecidos por el IMN y el IPCC.

Cuadro 1. Factores de emisión de gases efecto invernadero a partir de valores promedio de mediciones en la fuente, realizadas por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional entre los años 2011 y 2018.

| Sector | Subsector | Características | Variables | Región | Factores de emisión | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---|--|---------------------|------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------|----------------|--------------|-----------------------------|----------------|
| | | | | | CO2 | Unidades | Error estándar | CH4 | Unidades | Error estándar | N2O | Unidades | Error Estándar |
| Sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra | Suelos agrícolas | Cultivo de piña | Valor a partir del muestreo en 12 puntos en un área aproximada de 5.86 ha en un ciclo de producción de aproximadamente 584 días. | Huetar Norte | 6 922 ± 949 | kg-CO ₂ eq/ha-cc* | 1.34 | 155 ± 78 | kg-CH ₄ /ha-cc* | 0.16 | 73 ± 13 | kg-N ₂ O/ha-cc* | 0.02 |
| | | Cultivo de papa | Valor a partir del muestreo en 6 puntos en un área aproximada de 0.07 ha en un ciclo de operación de 75 días. | Central Occidental | 602 ± 95 | kg-CO ₂ eq/ha-cc* | 0.98 | 3.61 ± 0.54 | kg-CH ₄ /ha-cc* | 0.01 | 3.61 ± 0.47 | kg-N ₂ O/ha-cc* | 0.003 |
| | | Cultivo de repollo | Valor a partir del muestreo en 12 puntos en un área aproximada de 0.14 ha en un ciclo de producción de aproximadamente 96 días. | Central Occidental | 1 983 ± 293 | kg-CO ₂ eq/ha-cc* | 2.24 | 10.6 ± 3.0 | kg-CH ₄ /ha-cc* | 0.03 | 3.84 ± 0.44 | kg-N ₂ O/ha-cc* | 0.002 |
| Residuos | Residuos sólidos | Compostaje de pulpa de café | Aplicación de la técnica de volteo como proceso para la elaboración del compostaje. Beneficios de baja y media zona productiva, con un procesamiento promedio entre 43 603 a 139 782 fanegas por cosecha. | Región cafetalera de Turrialba. Central Occidental y Brunca. | 87 ± 411 | g-CO ₂ /kg-pulpa | 516 | 501 ± 139 | g-CH ₄ /kg-pulpa | 168 | 240 ± 133 | g-N ₂ O/kg-pulpa | 342 |
| | | Compostaje de pulpa de café | Beneficios que no utilizan la técnica de volteo como proceso para la elaboración del compostaje. Beneficios de media y alta zona productiva, con un procesamiento promedio entre 271 a 252 199 fanegas. | Pertenecen a la región cafetalera de Orosí, Tarrazú y Central Occidental. | 97 ± 109 | g-CO ₂ /kg-pulpa | 137 | 571 ± 273 | g-CH ₄ /kg-pulpa | 980 | 56 ± 52 | g-N ₂ O/kg-pulpa | 171 |
| | | Compostaje de residuos | Compostaje de residuos orgánicos | Noreste del cantón de Heredia. | 132 ± 1 360.10 | g-CO ₂ /kg-pulpa | 17 | 1.26 ± 13.67 | g-CH ₄ /kg-pulpa | 0.23 | - | - | - |
| | Aguas residuales industriales | Lagunas anaerobias | Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.14 a 0.39 m ³ . | Región cafetalera de Turrialba, Brunca y Central Occidental. | 0.92 ± 0.11 | kg-CO ₂ /ff | 0.41 | 0.66 ± 0.07 | kg-CH ₄ /ff | 0.25 | 14.80 ± 1.20 | mg-N ₂ O/ff | 4.46 |
| | | Reactores anaerobios | Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.075 a 0.29 m ³ . | Región cafetalera del Valle Central Occidental. | 18.50 ± 2.80 | kg-CO ₂ /ff | 2.50 | 17.00 ± 2.20 | kg-CH ₄ /ff | 4.00 | 1 373 ± 216 | mg-N ₂ O/ff | 1 005.50 |
| | | Aspersión sobre pasto estrella | Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.0045 a 0.39 m ³ . | Región cafetalera Brunca, Tarrazú, Valle Central y Valle Central Occidental. | 0.75 ± 0.10 | kg-CO ₂ /ff | 0.14 | 0.10 ± 0.02 | kg-CH ₄ /ff | 0.05 | 1 078 ± 224 | mg-N ₂ O/ff | 3 961 |

| Sector | Subsector | Características | Variables | Región | Factores de emisión | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|---------------|---------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|----------------|
| | | | | | CO ₂ | Unidades | Error estándar | CH ₄ | Unidades | Error estándar | N ₂ O | Unidades | Error Estándar |
| Procesos industriales | Fuentes fijas: Calderas | Tipo A | Combustible búnker | Valle Central | 2.93 ± 0.99 | kg-CO ₂ /L combustible | 0.47 | 2.01± 0.76 | mg-CH ₄ /L combustible | 0.32 | 4.15 ± 1.48 | mg-N ₂ O/L combustible | 1.00 |
| | | Tipo B | Combustible búnker | Valle Central | 2.82 ± 1.51 | kg-CO ₂ /L combustible | 0.46 | 4.04± 1.79 | mg-CH ₄ /L combustible | 0.64 | 34.23 ± 13.70 | mg-N ₂ O/L combustible | 6.96 |
| | | Tipo C | Combustible búnker | Valle Central | 1.73 ± 0.64 | kg-CO ₂ /L combustible | 0.91 | 5.59± 0.54 | mg-CH ₄ /L combustible | 3.72 | 19.64 ± 23.36 | mg-N ₂ O/L combustible | 9.26 |

CO₂: Dióxido de carbono; CH₄: Metano; N₂O: Óxido nitroso; ha: Hectárea (10 000 m²); cc: ciclo de cultivo; eq: equivalente; ff: fanega procesada.

^A Nota: ¹ Para la utilización de los factores de emisión presentados en este artículo se deben considerar las características y variables reportadas en este cuadro, los cuales son datos generados bajo condiciones específicas en lugares determinados, así como las unidades asociadas al dato. ² Los FE de cultivos no incluyen la influencia del factor de temporalidad, pues las muestras fueron tomadas en un momento determinado del año. ³ Los FE de compostaje de pulpa de café se obtiene del muestreo de diez Beneficios que representan en términos productivos el 60 % a nivel nacional. ⁴ Los factores de emisión de calderas se dividen con respecto a la clasificación en categorías establecidas en el reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto N° 36551-S-MINAET-MTSS.

^B Nota: ¹ Para el desarrollo de los factores de emisión del sector cafetalero se contó con el apoyo y financiamiento de Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible y el Instituto Nacional del Café de Costa Rica (ICAFE).

Fuente: Elaboración con base en datos obtenidos en investigaciones realizadas en el LAA-UNA (Balma, 2018; Hernández, Beita Guerrero, Rojas Marín, Herrera Murillo, & Morera Campos, 2017).

A modo de ejemplificar algunas de las principales diferencias encontradas, se realizó una comparación de los FE obtenidos experimentalmente por el LAA-UNA para calderas tipo A, B y C que utilizan búnker como combustible, con respecto a los FE calculados a partir de los valores por defecto establecidos por el IMN. En la **Figura 4A** se puede observar que las calderas tipo C fueron las que presentaron una mayor diferencia, registrándose una disminución 1.37 kg-CO₂/L de

combustible cuando se comparan los factores de emisión obtenidos experimentalmente contra los calculados a partir de los valores por defecto (IMN), representando una disminución del 44.2 %.

En relación con el metano y el óxido nitroso las diferencias mostraron una mayor variabilidad tal y como se aprecia en las Figuras 4B y 4C. El factor de emisión de metano obtenido experimentalmente registró una disminución de entre 0.136 y 0.132 g-CH₄/L de combustible, lo

que representa un descenso de entre un 95.4 % y un 98.5 % con respecto al FE calculado a partir de los valores por defecto. Por otra parte, el FE experimental de óxido nitroso obtenido para las calderas tipo A fue el que mostró una mayor diferencia en relación con el calculado a partir de los factores del IMN, registrándose una reducción de 0.023 g-N₂O/L de combustible lo que representa una disminución de alrededor de un 85 %.

Nótese que el factor del IMN utilizado corresponde a la categoría de manufactura y construcción para el combustible búnker, dato generado a partir de factores por defecto del IPCC y el volumen de densidad reportado por RECOPE en su manual para los diferentes tipos de combustible, ya que no existe un dato por tipo de categoría de caldera y actividad.¹

En función de los resultados obtenidos y del análisis descrito, queda clara la relevancia de crear factores de emisión propios por medio de mediciones en la fuente, en aras de mejorar la métrica y de generar inventarios de mayor calidad y más acordes con la realidad organizacional y nacional. Nótese que los datos de actividad son muy diversos y están estrechamente relacionados con el sector que se está evaluando, convirtiéndose en datos fundamentales para el diseño de los FE, pues son estos —factores de actividad— los que facilitan o dificultan su utilización final. Por tanto, el mejoramiento de la métrica contribuye

a que las organizaciones interesadas en cuantificar sus emisiones cuenten con datos cercanos a su realidad, permitiendo toma de decisiones más seguras, evitando o minimizando los riesgos que implican una incorrecta cuantificación.



Figura 4. Comparación de los factores de emisión (FE) obtenidos por el LAA-UNA para calderas tipo A, B y C que operan con combustible búnker, con los valores por defecto de acuerdo con los FE del IMN. (A) Dióxido de carbono (CO₂), (B) Metano (CH₄) y (C) Óxido nitroso (N₂O).

¹ Blanco, K. (2020). Factor de emisión asociado a calderas (comunicación personal). Instituto Meteorológico Nacional, Universidad Nacional.

El país debe realizar esfuerzos no solo por contar con factores de emisión propios, sino también, velar porque estos brinden un alto grado de confianza, lo cual se logra a través de la estimación de la incertidumbre de los inventarios; esto implica contar con una incertidumbre para los factores de emisión. En ocasiones, las incertidumbres pueden incluso superar el 60 % de error, situación indeseable no solo por la deficiente estimación, sino también porque los planes de reducción, mitigación o compensación podrían estar por debajo de los errores reportados. Utilizar factores propios, creados a partir de mediciones en la fuente, permite reducir las incertidumbres de los inventarios en casi un 50 % o más (USEPA, 2020), reduciendo los riesgos de subestimaciones o sobreestimaciones y así contribuir a una correcta toma de decisiones y posterior evaluación de las medidas adoptadas.

Según la guía del IPCC (2006), el cálculo de la incertidumbre se encuentra en función de las características del instrumento utilizado para la medición, la calibración y la frecuencia de muestreo de las mediciones directas, o bien (lo cual es más frecuente), una combinación de las incertidumbres en los factores de emisión para ciertas fuentes típicas y los correspondientes datos de actividad. El IPCC también recomienda que después de establecer una distribución de probabilidad, se debe para datos Nivel 1 (datos con nivel básico de complejidad), emplear incertidumbre por categorías usando la ecuación de propagación de errores y para

datos Nivel 2 (datos con nivel intermedio de complejidad), usar análisis de Montecarlo (IPCC, 2006). No obstante, para las características de la información que se maneja a nivel nacional, muchas de los datos utilizados no cuentan con una incertidumbre asociada y por ende dificulta la utilización de estas metodologías.

Según el Programa País Carbono Neutralidad, la evaluación de la calidad de los datos se realiza a partir de una calificación cualitativa que deben dar las diferentes instancias dependiendo de la fuente en la que se obtuvieron los datos, clasificación que se define como alta, media o baja dependiendo de sus características específicas (Gobierno de Costa Rica, 2018) y (Rodríguez, 2018). Esto sugiere la interrogante de si una calificación cualitativa es suficiente para poder manifestar que se ha llegado a la *carbono neutralidad*, cuando numéricamente no se está midiendo qué tan veraces son los resultados. De igual forma, esta técnica no brinda seguridad a las organizaciones al momento de definir estrategias de reducción, ya que los cálculos podrían estar sobreestimados o subestimados.

Si bien la cuantificación de emisiones de GEI a nivel nacional en este momento forma parte de iniciativas voluntarias a nivel organizacional y regional y no es una obligación legal, los retos indicados en este artículo apuntan que para poder mejorar la métrica y poder lograr las metas país en cuanto a la reducción de las emisiones y el compromiso con la *carbono neutralidad* para el 2050, se

deberán promover las mediciones *in situ* (en la fuente) para cada sector productivo, generando así datos específicos por actividad con un adecuado nivel de confianza, expresado a través de una incertidumbre cuantitativa que asegure la fiabilidad de los resultados.

Referencias

- Ahmed *et al.* O. M. (2018). Factores de emisión de la generación de energía de gasificación de biomasa a pequeña escala distribuida: Comparación con la quema a cielo abierto y la generación de energía de biomasa a gran escala. *Atmospheric Environmental*, 221-227.
- Balma. C. (2018). *Comparación de las emisiones de gases efecto invernadero para dos tecnologías de tratamiento de residuos de pulpa de café en Costa Rica. (Tesis para optar para el grado de licenciatura)*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional, Costa Rica.
- Chacón *et al.* R. J. (2012). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono*. San José. Costa Rica: MINAE-IMN.
- Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente. (2017). *Guía de Implementación del PPCN 2.0*. San José. Costa Rica.
- Ge, M. & Friedrich, J. (6 de Febrero de 2020). *World Resource Institute*. Obtenido de <https://www.wri.org/blog/2020/02/greenhouse-gas-emissions-by-country-sector>
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Programa País Carbono Neutralidad 2.0*. San José. Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Gobierno de Costa Rica. (2019). *Plan Nacional de Descarbonización 2018 - 2050*. San José. Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- Hernández. J. M., Beita Guerrero, V. H., Rojas Marín, J. F., Herrera Murillo, J., & Morera Campos, E. (2017). *Proyecto ATN/OC-14350-RG: Inventario de Gases de Efecto Invernadero en Empresas Exportadoras de Centroamérica*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica.
- IPCC. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Jiménez. N. F. (2019). *Evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en beneficios de café, en términos de sus emisiones de gases de efecto invernadero*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional.
- Kumar *et al.* A., S. M. (2018). Estimation of carbon stock for greenhouse gas emissions from hydropower reservoirs. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 3183-3193.
- NOAA. (24 de marzo de 2020). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html>
- OMM. (2019). *Organización Meteorológica Mundial*. Boletín de Gases Efecto Invernadero. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100
- Rodríguez. J. (2018). *Estimación cualitativa de la incertidumbre para el inventario de contaminantes tóxicos del aire de la gran área metropolitana en el 2007*. San José. Costa Rica: UNED.
- Ritchie. H., & Roser. M. (2020). *Our World in data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#citation>
- Tripathi, N., Hills, C., Singh, R., & Singh, J. (2020). Offsetting anthropogenic carbon emissions from biomass waste and mineralised carbon dioxide. *Scientific reports*.
- USEPA. (25 de marzo de 2020). *Environmental Protection Agency of United States*. AP-42 Vol. I Introduction. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/c00s00.pdf>



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jose.rojas.marin@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jorge.herrera.murillo@una.ac.cr)

Modelos de estimación de emisiones vehiculares como herramienta para mejorar la calidad del aire

José Félix Rojas Marín
Jorge Herrera Murillo



La contaminación del aire es un mal que aqueja a muchas ciudades modernas en el mundo. Dado el crecimiento acelerado que sufren la mayoría de estas, el problema continúa en aumento cada año afectando la salud de millones de personas, en especial poblaciones vulnerables como personas adultas mayores, enfermas crónicas y la niñez. De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 9 de cada 10 personas en el mundo respiran una mala calidad del aire, lo que se traduce en alrededor de 7 millones de muertes al año (OMS, 2018). Entre los contaminantes más importantes están las partículas en suspensión y gases inorgánicos como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono troposférico (O₃); provenientes principalmente de procesos de combustión o por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Las partículas son el contaminante más estudiado en los últimos años, principalmente las de menor tamaño dada su capacidad de ingresar al sistema respiratorio y llevar consigo otras sustancias químicas tóxicas que fácilmente se absorben en el torrente sanguíneo ocasionando enfermedades de carácter crónico. A nivel

de monitoreo ambiental, se suelen medir las concentraciones en el aire de las partículas con diámetros menores a 10 y 2.5 micrómetros (um), denominadas PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente, ya que estos tamaños se correlacionan fuertemente con problemas a la salud como: enfermedades del corazón, dificultades para respirar e irritación de las vías respiratorias. Los NO_x y el ozono son bien conocidos por ser promotores del asma, aumentar la susceptibilidad a enfermedades respiratorias y ocasionar bronquitis crónica (USEPA, 2020). Existen muchos otros contaminantes del aire con diversas afectaciones a las personas y también a estructuras (edificios, monumentos, etc.), especies vegetales y animales, además de reducir la visibilidad dando un mal aspecto a la ciudad.

Algunos países llevan varios años lidiando con este tipo de problemática ambiental y han desarrollado infraestructura y capacidad técnica para enfrentarla. Entre las medidas más exitosas está la implementación de los programas de gestión de la calidad del aire, donde se plantea el uso herramientas básicas para monitorear, conocer y modelar la relación emisor-receptor; con el fin de respaldar la toma de decisiones de las autoridades locales o nacionales. Esto potencia la creación de planes de mejora de la calidad del aire, los cuales se van actualizando en el tiempo o modificando según las metas de reducción de la contaminación del aire que se quieran alcanzar. Pero antes, se debe empezar por fijar límites máximos permitidos de exposición para proteger la

salud de las personas, para lo cual la OMS ha girado recomendaciones para cada uno de los contaminantes más comunes en las ciudades modernas (OMS, 2006). Sin embargo, estos valores son muy estrictos y la recomendación es que cada país adopte sus propios límites basados en la realidad que afrontan en términos de tecnologías disponibles, tipos de industria presentes, ordenamiento territorial y calidad de los combustibles disponibles, con el fin de alcanzar dichos valores de referencia a mediano o largo plazo. En Costa Rica tenemos actualmente el Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio (Decreto 39951-S), con el fin de regular valores seguros de exposición aguda y crónica en aire ambiente o inmisión. Pero esta normativa no nos permite determinar quiénes son los mayores contribuyentes a la contaminación presente en el aire, para esto debemos recurrir a otras herramientas.

Un componente muy importante de cualquier Programa de Gestión de la Calidad del Aire es el desarrollo periódico de inventarios de emisiones (IE) de contaminantes criterio y tóxicos. Estos permiten determinar cuáles son las fuentes de emisión más importantes dentro de una zona específica, al realizarse una estimación de los flujos máxicos para los contaminantes de interés dentro de un período de tiempo (usualmente anual). Los IE tienen múltiples aplicaciones entre las que destacan: identificar los mayores emisores, documentar las tecnologías de

control existentes, servir de línea base para generar nueva normativa, alimentar modelos de calidad del aire y hacer proyecciones o escenarios de las emisiones para evaluar el grado de éxito de alguna medida de mitigación. En Costa Rica no existe legislación vinculante que exija la elaboración periódica de IE para los contaminantes mencionados. Sin embargo, se han realizado dos inventarios para contaminantes criterio y uno para compuestos tóxicos, a través del Laboratorio de Análisis Ambiental, de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. El primero se hizo con año base 2007 en solamente la Gran Área Metropolitana (GAM); el segundo, con año base 2011 cubriendo todo el país, y el de tóxicos se realizó también en el 2007 en la GAM. Estos IE coinciden en que las fuentes móviles, que circulan por carretera, hacen la mayor contribución a las emisiones antropogénicas con cerca de un 60 % (Herrera, 2014). Esto se puede explicar con los patrones de movilidad urbana, donde predomina la necesidad de desplazarse a los centros de trabajo; cerca del 34 % de los trabajadores utilizan los autobuses y el 33 % usan su vehículo propio; el resto camina (17 %), viaja en motocicleta (10 %) y taxi (6 %) (Sánchez, 2018). Sumado a esto, está el crecimiento del parque automotor, el cual se duplicó en los últimos 20 años, aumentando la congestión vial en las carreteras y la contaminación en las zonas urbanas (MINAE & PNUD, 2015). Solo

entre 2017 y 2018 se incrementó un 3.4 % (Programa Estado de la Nación, 2019). Dentro de estas fuentes, se agrupan todos los vehículos que circulan por carretera, independientemente del tipo de combustible que utilicen, donde los automóviles particulares representan el mayor aporte. Por ejemplo, en Costa Rica estos componen el 61.3 % de la flota vehicular, seguidos de un 20.1 % de motocicletas, 12.8 % carga liviana y 1.2% autobuses (Sánchez, 2018). Las emisiones que estos generan no solo se dan a través del escape (Figura 1), sino también por otros medios:

- *Emisiones por el escape:* ocurren solamente cuando el vehículo se encuentra en movimiento y corresponden a subproductos de la combustión incompleta.
- *Emisiones evaporativas:* estas consisten principalmente en compuestos orgánicos volátiles que permean de forma fugitiva en todo el sistema de combustión. Estas pueden ser:
 - En reposo caliente: se presentan luego de apagar el motor debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación, ocasionado por el calor residual del motor.
 - En operación: son ocasionadas por las fugas de vapores de combustible que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.

- *Emisiones por desgaste:* se dan por fricción en las llantas y el proceso de frenado durante la circulación normal. Estas emisiones se dan tanto en vehículos de combustión interna como eléctricos.

El comportamiento de los perfiles de emisión de los vehículos depende de una serie de variables tanto internas como externas, por ejemplo:

- *Tipo y calidad del combustible:* la composición de este afecta el proceso de combustión y determina el tipo y cantidad de contaminantes.
- *Tecnologías de control de emisiones:* ya sea sistemas pre o post

combustión. Por ejemplo: catalizadores, válvula EGR, filtros, “canisters”, etc., los cuáles disminuyen las concentraciones de algunos contaminantes. Muchos de estos dispositivos son alterados para aumentar la potencia del vehículo.

- *Flota vehicular y su antigüedad:* la composición de la flota vehicular y su edad tiene impacto importante en la calidad de las emisiones. En Costa Rica, la edad promedio ronda los 16 años según el Anuario de Revisión Técnica Vehicular ([Riteve SyC, 2019](#)).
- *Velocidad de circulación:* las tasas de emisión de algunos contaminantes, como los NOx, dependen de la velocidad del vehículo.

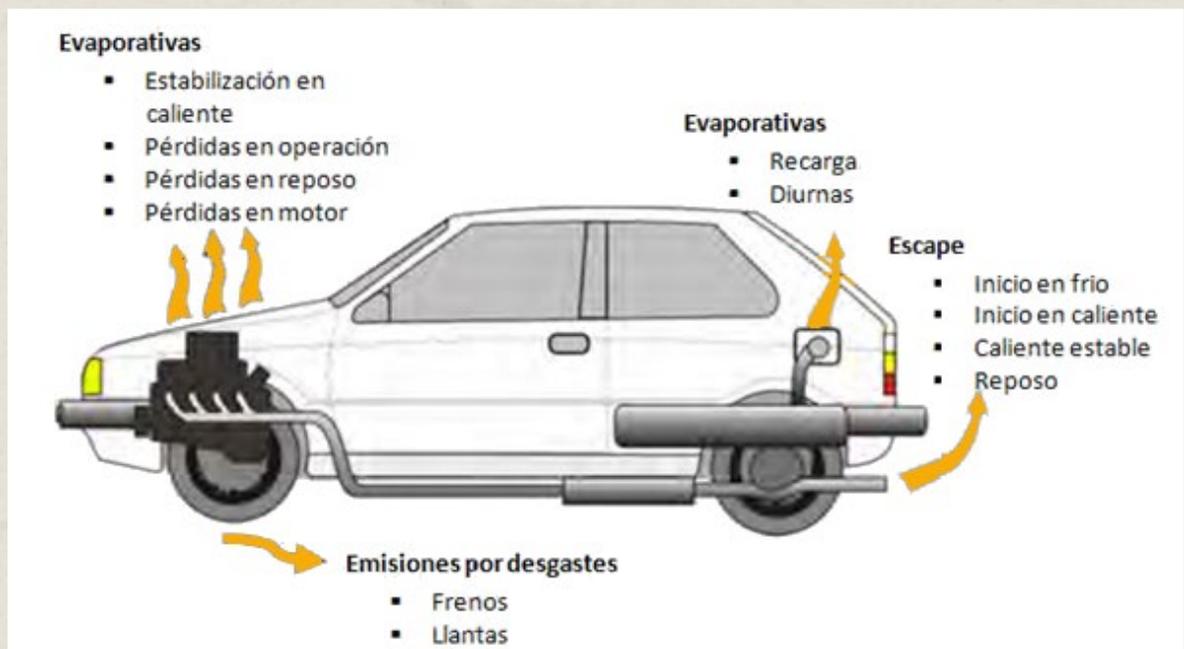


Figura 1. Tipos de emisiones al aire en un vehículo (IMT, 2009).

- *Otras variables:* recorridos anuales por tipo de vehículo, tipo de carretera, condiciones ambientales (temperatura y humedad) y ciclos de conducción.

Dada la cantidad de parámetros que impactan las emisiones generadas por las fuentes móviles, las complejas interacciones entre estos, y los altos costos de las mediciones reales, se utilizan los modelos matemáticos computarizados como técnica preferida de estimación. Esto se debe en parte a los altos costos de hacer mediciones reales para todos los contaminantes de interés. Entre los modelos más utilizados están:

- COPERT 5: desarrollado por la Agencia Ambiental Europea (EEA), es el modelo oficial en los países europeos y utilizado en la preparación de los inventarios de emisiones nacionales. Permite inventariar contaminantes criterio, tóxicos del aire y gases con efecto invernadero (GEI).
- *MOtor Vehicle Emission Simulator* (MOVES), es un modelo creado por la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y es el modelo oficial a nivel federal. Posee un alcance similar al COPERT en cuanto a los contaminantes que puede estimar.
- *International Vehicle Emissions* (IVE), fue desarrollado por el *International Sustainable Systems Research Center* (ISSRC) y la Universidad de California, con la intención

de ser utilizado en países en desarrollo. Tiene el mismo alcance que los modelos anteriores, pero es mucho más simplificado y limitado.

El COPERT 5 es uno de los modelos más utilizados porque publica actualizaciones periódicas de los factores de emisión, posee una interfaz amigable con el usuario, permite correr el modelo en 3 diferentes modos según la disponibilidad de información, y es más fácil de adaptar a condiciones de otros países fuera de la Unión Europea.

Si estos modelos son alimentados con la información correcta, tienen la capacidad de representar las emisiones tan reales como si fuesen medidas directamente. Esto permite, entre otras aplicaciones, realizar proyecciones de cuanto se incrementará la contaminación del aire y evaluar el impacto de propuestas de cambios en el sector transporte. Solamente a través de estimaciones confiables es posible tomar decisiones técnicas y políticas en pro de la mejora de la calidad del aire y, por ende, de la salud de las personas que habitan el país. Sin embargo, para lograr hacer una estimación exitosa se requiere una cantidad importante de datos relacionados al parque automotor. En la práctica mucha de esta información no está disponible en países para los que no fue desarrollado el modelo, o solo se encuentra parcialmente, lo que afecta la exactitud de las estimaciones. En esos casos, hay que valorar el grado de impacto sobre los resultados y llenar los vacíos

con suposiciones razonables o con datos de otros países que posean condiciones similares. Si bien en Costa Rica ya se han hecho esfuerzos para utilizar estos modelos, todavía queda mucho por trabajar

si queremos hacer mejores estimaciones ahora y en el futuro. En el **Cuadro 1** se mencionan las principales limitaciones de información, así como posibles soluciones.

Cuadro 1. Faltantes en la información necesaria para utilizar adecuadamente modelos de simulación.

| Limitante Actual | Impacto sobre la modelación | Propuesta de mejora |
|--|---|---|
| Falta de un criterio de homologación entre las categorías de vehículos del modelo y las establecidas en el país. | Sesgo en las emisiones al no haber correspondencia con las características tecnológicas de los vehículos. | Las importaciones de los vehículos nuevos y usados deben venir con cuál estándar ambiental cumplen. También se podría generar un criterio a partir de los datos de la revisión técnica vehicular. |
| No hay estudios específicos sobre la distribución de velocidades de circulación por tipo de vehículo y carretera en el país. | Los informes existentes sobre circulación vial no brindan detalles, por lo que se han utilizado valores idénticos para todas las categorías. | Se puede explotar la información recolectada por aplicaciones tecnológicas de movilidad como Waze y Google Maps. Esto mientras se realizan estudios más especializados. |
| No hay datos del contenido de metales pesados y otros contaminantes en los combustibles. | Actualmente solo se regula la presencia de manganeso, pero para poder modelar otros tóxicos del aire se requiere un perfil de metales. | Las universidades públicas cuentan con técnicas para medir metales pesados. Estas, junto a RECOPE, podrían iniciar un programa de monitoreo para medir al menos una vez al año. |
| Se necesitan desarrollar estudios recientes de los ciclos de conducción para cada tipo de vehículo. | Parte de esta información se ha abordado de manera fragmentada en algunos trabajos de graduación, pero se necesitan actualizar y completar para utilizar el modelo adecuadamente. | Se podría incentivar la ejecución de este tipo de proyectos en la academia. Además, estos estudios se van a requerir en revisiones técnicas vehiculares que pretendan medir NOx. |

Costa Rica debe apostar a la tropicalización de un modelo de emisiones vehiculares con el fin de contar con una herramienta más confiable y poderosa en la toma de decisiones por parte de las autoridades superiores. Así, para el 2030 se

podría valorar el grado de éxito ambiental de proyectos como la expansión del servicio de tren actual, la implementación del tren eléctrico, la venta de mezclas de gasolina con etanol o el impacto de mejoras en la red vial de la GAM. También podrían

evaluarse otras medidas como la sustitución parcial de la flota de autobuses por modelos más recientes o con estándares ambientales más estrictos, la introducción progresiva de vehículos eléctricos, la efectividad de la restricción vehicular, o la formalización del uso de catalizadores de tres vías.

Actualmente el Laboratorio se encuentra trabajando en la actualización del inventario de emisiones de contaminantes criterio y tóxicos del aire. Este tiene un énfasis especial en el sector transporte, con el fin de crear un nuevo programa de mejora de la calidad del aire con miras a los próximos 10 años, considerando que la movilidad urbana es un eje central del desarrollo.

Referencias

- Herrera, J. (2014). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 2011. *Revista de Ciencias Ambientales*, 1(48), 5. <https://doi.org/10.15359/rca.48-2.1>
- Instituto Mexicano del Transporte-IMT. (2009). Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. IMT. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>
- OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS. https://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oe_06_02/es/
- Organización Mundial de la Salud: OMS. (2018, 2 mayo). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado [Comunicado de prensa]. <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Programa Estado de la Nación. (2019). Informe Estado de la Nación 2019 [Libro electrónico]. PEN. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/7808>
- Riteve SyC. (2019). Anuario Revisión Técnica Vehicular. <https://www.rtv.co.cr/wp-content/uploads/Anuario2019.pdf>
- MINAE & PNUD. (2015). VII Plan nacional de energía 2015-2030. PNUD. <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>
- Sánchez Hernández, L. (2018). INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE 2018. Programa Estado de la Nación. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/2962>
- USEPA. (2020, 26 junio). Basic Information about NO2. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects>



Académico, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(manfred.murrell.blanco@una.ac.cr)



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(karla.vetrani.chavarría@una.ac.cr)

La importancia de la metrología en el desarrollo de indicadores de gestión ambiental



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ligia.bermudez.hidalgo@una.ac.cr)



Investigadora, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(sherryl.procame@gmail.com)

Manfred Murrell Blanco
Karla Vetrani Chavarría
Ligia Bermúdez Hidalgo
Sherryl Campos Morales
Ernesto Montero Sánchez



Investigador, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ernesto.procame@gmail.com)

El uso de indicadores ambientales —como herramienta para el monitoreo del desarrollo sostenible— es aplicado a las actividades humanas que inevitablemente provocan algún nivel de afectación en el entorno; esto requiere la caracterización y valorización de criterios como: frecuencia, severidad, extensión y persistencia de los impactos identificados. Los indicadores ambientales se utilizan para demostrar la mejora continua del comportamiento ambiental, mediante resultados medibles de evolución, centrándose en el lema de “medir para mejorar” (Ihobe, 2009).

Según la CONEVAL (2013), los indicadores ambientales contribuyen a simplificar, medir y comunicar eventos complejos o tendencias. La mayoría de la información obtenida parte de redes de monitoreo ambiental (útil para estudios académicos) que luego es transformada para uso en procesos políticos; con la presentación de indicadores sintéticos y finalmente índices, cuyos usuarios directos son personas tomadoras de decisiones y la población en general.

Por su relevancia e importancia, el desarrollo de indicadores se ha promovido rápida y extensivamente por

todo el mundo, combinando un fundamento científico claro en su base con un contenido social y político expresamente reconocido. Por otro lado, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2017) señala que, para informar correctamente sobre el desarrollo sostenible, es necesaria la recolección de datos ambientales para producir estadísticas básicas relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, así como la producción regular de estadísticas de este tipo como parte de las actividades de los Sistemas Estadísticos Nacionales (SENs).

En América Latina, por ejemplo, Castro (2015) evaluó el estado en algunos países de la región. Entre los temas tratados consideró: población (crecimiento, urbanización); economía (ingreso, pobreza); sociedad (educación, salud); ambiente (disponibilidad, uso y contaminación de agua, residuos, calidad de aire, biodiversidad, suelo), y cambio climático (en relación con emisiones de contaminantes, producción y consumo de energía, desastres naturales, agricultura y cambio de uso del suelo).

Los indicadores son útiles en la planeación y toma de decisiones tanto en el ámbito local como regional e internacional. Sin embargo, estos presentan restricciones y retos importantes entre los que destacan los siguientes (Perevochtchikova, 2013):

- *Restricciones institucionales:* bajo desarrollo de metodologías que aborden temas estadísticos e indicadores, así como el entrenamiento en

la construcción de indicadores; limitaciones en los recursos económicos, humanos e infraestructura; dificultades en la comparación de datos; y falta de sistemas de compilación de información.

- *Restricciones técnicas:* falta de datos básicos o de estadísticas en términos de calidad y cantidad; cobertura deficiente de redes de monitoreo, lo que resulta en vacíos de datos en las series de tiempo; lo que complica la comparación entre los países; dificultades técnicas y conceptuales de medición.

Como ejemplo, Fonseca *et al.* (2014) explican que para el cálculo de emisiones del programa País C-Neutralidad no se establecían en ese momento lineamientos orientados a determinar el valor máximo de incertidumbre de los inventarios de carbono que se presentaban, estimación que depende de múltiples factores que incluyen los equipos utilizados, su calibración y la forma de uso.

Así, Ramírez *et al.* (2012) afirman que siempre que existe medición, examen cuantitativo o ensayo, la metrología —entendida como la ciencia que estudia los sistemas de pesas y medidas— desempeña un papel fundamental relacionando los resultados obtenidos con las definiciones internacionales de unidades para las magnitudes determinadas; así pues, funciona como una herramienta para garantizar la calidad intrínseca, la trazabilidad y la exactitud de tales resultados. En este contexto, la metrología, junto con normas nacionales

fundamentadas y reconocidas internacionalmente, actúan como pilares que dan soporte a los mecanismos de evaluación.

Costa Rica fue pionera en la región con la publicación en el año 2002 de la Ley No. 8279, cuyo objetivo principal fue la creación de un Sistema Nacional para la Calidad, que incluye al Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), al Órgano de Reglamentación Técnica (ORT), al Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) y al Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Se reconoce la acreditación como un mecanismo que apoya el desarrollo de esquemas de evaluación de la conformidad, voluntarios o regulatorios, en los sectores privado, público y académico, mediante reglamentos, decretos y normas voluntarias que establecen los criterios y requerimientos que deben ser cumplidos por organizaciones de todo tipo que deseen demostrar cumplimiento con la calidad ambiental del bien o servicio que producen (CEPAL, 2011).

En el marco específico de las instituciones públicas, en el año 2007 se publica el decreto No. 33889, con el objetivo de que las instituciones públicas implementen un plan de gestión ambiental definido como: “Un documento técnico, por medio del cual se identifican los impactos ambientales que caracterizan la ejecución de la actividad productiva en el área del proyecto en el que se desenvuelve. Incluye, además, la identificación de los aspectos e impactos ambientales, la valoración de esos impactos, las medidas ambientales destinadas a

la prevención, corrección, restauración y compensación de aquellos calificados como negativos, el marco jurídico que los regula, los objetivos y metas para la atención de las medidas, los responsables y plazos de su ejecución y los compromisos ambientales para cada uno de los impactos identificados” (MINAE, 2007, p. 3).

Chavarría *et al.* (2015), agregan que el objetivo de la métrica es disponer de un conjunto de indicadores medibles, confiables y verificables que permitan el establecimiento de una línea base en todos los sectores, con el fin de evaluar la efectividad de las acciones implementadas y conocer la situación ambiental institucional. Al respecto, la gestión de la calidad ambiental tiene como fin la prevención, mitigación, restauración o compensación de los impactos ambientales propios del quehacer de la organización, lo cual mejora el desempeño y la conciencia ambiental. Un ejemplo es la gestión de la energía, la cual, MINAET y MS (2011) consideran medidas ambientales para asegurar la utilización más eficiente de los recursos energéticos en beneficio de un aprovisionamiento de demanda futura. Incluye temas de eficiencia energética y ahorro de energía, ya sea electricidad o combustible.

Otro ejemplo, es el Sistema de Indicadores sobre Desarrollo Sostenible (SIDES) promulgado por el Ministerio de Plantificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), considerado como un instrumento de información estadística que se agrupa en módulos sobre

condiciones sociales, demográficas, económicas y ambientales, el cual registra en una base de datos actualizada el comportamiento de variables e indicadores estratégicos del país, en donde Mejía *et al.* (2017) recalcan que el conocimiento de la metrología es necesario para garantizar la confiabilidad y seguridad de las mediciones. Una muestra de los componentes del SIDES en materia ambiental, que están sujetos a algún tipo de procedimiento de verificación metrológica son: la extensión total de áreas silvestres protegidas, las hectáreas contratadas para Pago de Servicios Ambientales (PSA), el volumen autorizado para aprovechamiento de madera, la cobertura poblacional del servicio de acueducto según ente administrador y, la producción per cápita y las tasas de crecimiento de desechos sólidos en el cantón central de San José.

A partir de esta explicación, presentamos una serie de propuestas donde la metrología desempeñará un rol fundamental en el desarrollo de indicadores ambientales en la siguiente década:

- Establecer una comisión representada por múltiples actores, que defina criterios de calidad de la información y las correcciones técnicas que serían necesarias para alcanzar una mayor comparabilidad, confiabilidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos.
- Revisar y ajustar la normativa existente, de manera que se promueva la formación de redes de monitoreo

ambiental, la certificación de bienes y servicios, y la emisión de los informes técnicos aplicando criterios normalizados.

- Unificar hasta donde sea posible, las metodologías y técnicas en materia de cálculo de indicadores ambientales, con el desarrollo de guías específicas para diferentes tipos de sectores; consolidando así un sistema de información inter e intrainstitucional.
- Continuar el desarrollo de estudios, conceptos y la metodología para el diseño, el análisis y la interpretación de análisis de impacto. También, la metodología debe poder adaptarse en caso de que la información no esté disponible.
- Crear una plataforma o red activa de intercambio de experiencias, de problemas y soluciones para el desarrollo de estudios de impacto. La cooperación técnica internacional y el intercambio de experiencias constituyen una herramienta muy útil y deben ser promovidos.

En conclusión, el uso de indicadores ambientales como estrategia para el monitoreo del desarrollo sostenible es de enorme utilidad en la planeación y toma de decisiones. Por tanto, se deben superar ciertas limitaciones en la comparación de datos, la falta de sistemas de compilación de información, y en la ambigüedad de aspectos técnicos y conceptuales de medición. Así, la metrología es fundamental

para relacionar los resultados obtenidos con las definiciones internacionales de unidades para las magnitudes determinadas, funcionando como herramienta para garantizar de esta forma la calidad intrínseca, la trazabilidad y la exactitud de tales resultados.

Referencias

- Castro, E. (2015). Regional overview of sustainable development in Latin America. *Luna Azul*, (40), 195-212. <https://dx.doi.org/10.17151/luaz.2015.40.13>
- Chavarría, F., Garita, N., Gamboa, R. (2015). Indicadores de gestión ambiental: Instrumento para medir la calidad ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 49(1), 37-54. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.49-1.3>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2017). La situación de las estadísticas, indicadores y cuentas ambientales en América Latina y el Caribe. Serie. Estudios Estadísticos CEPAL, Santiago de Chile.
- CEPAL-PTB. (2011). Impacto de la Infraestructura de la Calidad en América Latina: instituciones, prácticas y desafíos para las políticas públicas. Gother, K. y S. Rovira (Eds.). CEPAL, Santiago de Chile.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2013). Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de Ciudad de México, México. https://www.coneval.org.mx/Informes/Coordinacion/Publicaciones%20oficiales/MANUAL_PARA_EL_DISENO_Y_CONTRUCCION_DE_INDICADORES.pdf
- MINAE. (2007). Decreto Ejecutivo No. 33889-MINAE. Reglamento para la elaboración de Planes de Gestión Ambiental en el sector público de Costa Rica. La Gaceta, 160.
- Fonseca, W., Herrera, J., Alice, F. (2014). Desafíos nacionales en materia de métricas de cara a la meta costarricense de alcanzar la carbono-neutralidad en el 2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 47(1), 16-31. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.47-1.2>
- Ihobe. (2009). Indicadores de gestión y medio ambiente. <http://www.ihobe.net/documentos/eventos/pro-2009-022-f-c-001.pdf>
- Mejías Y., González, E., Fernández A., Hernández, J., Toledo, A., Portuondo, M. (2018). Un acercamiento a la metrología a través de preguntas y respuestas. *INFODIR*, (26), 83-89. <http://www.revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/view/425>
- Ministerio de Ambiente; Energía y Telecomunicaciones [MINAET] y Ministerio de Salud [MS]. (2011). Guía para la elaboración de programas de gestión ambiental institucional (PGAI) en el sector público de Costa Rica. Documento de orientación para las Instituciones Públicas. San José; Costa Rica.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&tln=es.
- Ramírez, L., Cáceres, J., Monteiro, L., Ventura, R. (2012). Metrología científica y evaluación de la conformidad como herramientas de desarrollo económico. *Ingeniería*, 22 (1), 111-119. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/8397>



Gestora ambiental, investigadora y extensionista, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (alina.aguilar.arguedas@una.ac.cr)



Planificadora especialista en desarrollo local, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (vvalerio@una.ac.cr)



Ingeniero forestal especialista en economía y política ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (sergiomolina@una.ac.cr)



Ingeniera en gestión ambiental, estudiante asistente, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (fabirodriguez13@gmail.com)

Adaptación ante el cambio climático por entes operadores del servicio de agua potable: Casos en Barva y Quepos

Alina Aguilar Arguedas
Vanessa Valerio Hernández
Sergio A. Molina-Murillo
Fabiola Rodríguez Acosta



El agua tiene una importancia crucial en el desarrollo de las poblaciones y sus medios de vida. Por ello, la ciencia es clara en evidenciar su alta vulnerabilidad, provocada principalmente por variaciones en los patrones de precipitación y temperatura a consecuencia de la variabilidad y el cambio climático. Aunque el tipo e intensidad de los impactos en el recurso hídrico variarán según los países y sus características, en general se espera un aumento de las precipitaciones, ocasionando escorrentías superficiales que traerán como consecuencia la erosión del suelo, pérdida de cobertura vegetal y aumento de inundaciones, disminución en la recarga acuífera y daños a la infraestructura, una disminución en la calidad del recurso hídrico y una escasez para consumo humano, impactada principalmente por la presencia de episodios de sequía extrema y el aumento de la temperatura.

Centroamérica es una de las regiones más vulnerables al cambio climático por sus condiciones de vulnerabilidad socioeconómica, débil gestión del riesgo y alta exposición a amenazas naturales, lo que aumenta la posibilidad del riesgo

climático y la ocurrencia de desastres. Entre 1970 y 2011, el 69.7 % de los desastres ocurridos han sido originados principalmente por eventos hidrometeorológicos; de ese total, el 55 % fueron inundaciones, el 33 % tormentas y huracanes, el 10 % sequías, y sólo un 2 % fueron provocados por temperaturas extremas, generando pérdidas de al menos US\$ 9 801 millones (UNISDR, 2014). Se espera que el cambio climático provoque un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos, y consecuentemente un aumento en el gasto público y privado en la atención de desastres. Por tanto, apremia el diseño de políticas públicas que incorporen, promuevan y financien acciones de adaptación.

En Costa Rica, el servicio de abastecimiento de agua potable ha experimentado el impacto por eventos hidrometeorológicos. Por ejemplo, en el 2014 y 2015 en la zona norte del país se desabastecieron de agua potable 69 comunidades servidas por acueductos comunales, y el déficit de precipitaciones acumulado para el periodo 2018-2019 provocó históricos impactos en la producción agropecuaria. Los efectos del huracán Otto en el 2016 y la tormenta Nate en el 2017, causaron innumerables daños en infraestructura, servicios, vías de comunicación y producción, dejando sin agua potable al 10 % de la población del país. Según los escenarios climáticos evaluados para Costa Rica por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para el 2050 se espera una disminución de las precipitaciones en 35 % en algunas regiones,

pero en otras, se dará un aumento en la intensidad de las lluvias, hasta en un 50 % (IMN, 2012).

La historia reciente muestra que los desastres ocasionados por eventos hidrometeorológicos —amplificados por el cambio climático— podrían retroceder los avances del país en la construcción de una gestión integral del recurso hídrico. Por ello, es necesario que los gobiernos locales, en conjunto con la sociedad civil, se preparen y planifiquen su territorio, mediante la definición de estrategias, planes, programas y políticas públicas referentes al cambio climático, especialmente en temas de adaptación y gestión de riesgos. Para ello, es relevante el involucramiento de los diferentes entes operadores del servicio de agua potable y las instituciones que velan por el recurso.

A nivel nacional, se cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático (MINAET, 2009) donde se prioriza el recurso hídrico en el eje de adaptación y se considera la gestión integral del recurso hídrico como la principal medida de adaptación. Posterior a la ENCC, surgen otros instrumentos de planificación como la Política Hídrica Nacional 2008, el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico 2009, la Agenda del Agua 2013-2030 que abordan de manera específica el tema del recurso hídrico, y la Política Nacional de Adaptación 2018-2030 que orienta las acciones del país en temas de adaptación. Sin embargo, a pesar del instrumental y normativa en aras de una gestión integral del recurso hídrico (GIRH),

todavía existen brechas entre el marco normativo existente a nivel nacional y las acciones que se llevan a cabo en el ámbito local. A esto se le suma la complejidad del sector, formado por una gran variedad de entes operadores en los territorios, los cuales pueden ser públicos, municipales, comunales, privados o una mezcla de ellos, con desigualdad de condiciones de infraestructura, capacidad organizativa, gestión, atención a la demanda del recurso, continuidad del servicio, prevención y atención de las emergencias, lo que limita para trabajar de forma articulada en la construcción de una gobernanza del agua en el territorio.

Considerando la vulnerabilidad del sector de recurso hídrico, las debilidades y necesidades que experimentan los cantones en cuanto a su gestión, la falta de articulación entre los actores involucrados y la urgencia de trabajar localmente en adaptación al cambio climático y gestión de riesgos, el proyecto de investigación y extensión titulado: *Análisis de estrategias participativas de cambio climático a nivel local*, que se desarrolla desde la Escuela de Ciencias Ambientales de Universidad Nacional, apoyó la elaboración de Planes de Acción Climática local en los cantones de Barva y Quepos, estableciéndose el recurso hídrico como un eje prioritario. Se priorizó la articulación entre los múltiples operadores de agua potable de cada territorio y que estos incluyeran el tema de adaptación al cambio climático y la

gestión integral de riesgo de desastres en sus actividades.

En Quepos el servicio de agua potable es administrada por el AyA y por 20 ASADAS distribuidas en sus tres distritos. A pesar de que se tiene una cobertura del 90 % de agua potable, subsisten debilidades en la gestión técnica, calidad de infraestructura y vacíos de información para la toma oportuna de decisiones (Marín, 2017). Sumado a esto, las ASADAS han tenido que hacer frente a emergencias presentadas por eventos hidrometeorológicos, viéndose afectada la disponibilidad y continuidad del recurso. Con base en el análisis de datos obtenidos en DesInventar y de la Comisión Municipal de Emergencias (CME), en el periodo 1998-2017 se reportaron 117 situaciones de desastre o emergencias en su mayoría por desbordamientos de ríos ocasionando inundaciones y daños a la infraestructura. Sin embargo, no existe un levantamiento y registro de información robusto sobre los impactos que estos eventos han tenido en las ASADAS del cantón y cómo ellas los han enfrentado; tampoco se cuenta con estaciones ni equipos de medición, ni registros de variables climáticas que permitan una mejor toma de decisiones y planificación en el espacio local.

Por su parte, en el cantón de Barva la administración del recurso hídrico está dada por 16 operadores oficiales, bajo diferentes figuras como proveedores del recurso Asociaciones Usuarias del Agua y captadores del recurso hídrico en la zona (municipalidades de otros

cantones). Entre los proveedores del recurso hídrico en el cantón se encuentran: 9 asociaciones administradoras acueductos comunales (ASADAs), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y el Acueducto Municipal ([Comisión Especial Hídrica Barva, 2018](#)). En las mesas de trabajo realizadas sobre disponibilidad, gestión y gobernanza del recurso hídrico realizadas en el 2017 y 2018 con una amplia participación de personas tomadoras de decisiones, entidades públicas afines, operadores del recurso hídrico y otras, se identificaron varias problemáticas vinculadas con el cambio climático:

- *Disponibilidad, aprovechamiento y planificación del recurso:* a) falta de organización y comunicación entre operadores, lo que dificulta una planificación de acciones con una visión estratégica e integral del recurso en el cantón; b) escasez de datos e información precisa sobre la disponibilidad del recurso hídrico; c) falta de coordinación de las instituciones nacionales competentes como AYA,

Dirección de Aguas y SENARA con las entidades locales.

- *Políticas públicas de recurso hídrico:* a) se carece de una cultura cívica del agua; b) débil involucramiento de la sociedad civil en la toma de decisiones públicas; c) falta de una política pública del recurso hídrico con criterios climáticos e integral para todo el cantón.
- *Gestión integral del recurso hídrico:* a) ausencia de una estructura de gestión y administración municipal, con proyección para todo el cantón y con políticas para todos los operadores; b) falta de un plan integral del recurso hídrico con visión estratégica, articulado al Plan Regulador y al Plan de Acción por el Clima del cantón; c) se carece de estaciones hidrometeorológicas para la obtención y uso de información pertinente y confiable; d) limitada coordinación con redes de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, entre otros.



Figura 1. Taller con operadores del recurso hídrico del cantón de Barva. Fotografía: Sergio Molina-Murillo.

El acercamiento con los distintos entes operadores del agua potable de los cantones de Barva y Quepos se dio por medio de talleres de trabajo (**Figuras 1 y 2**), con la participación de 23 entes. El propósito de estos talleres fue generar espacios de reflexión sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico e identificar acciones de adaptación

claves para prevenir y atender de forma articulada los riesgos naturales y climáticos. Como un producto resultante de estos talleres participativos fue la identificación de medidas de adaptación de acuerdo con el contexto y dinámica de cada territorio (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Medidas de adaptación identificadas por entes operadores de agua potable en los cantones de Barva y Quepos, 2018

| Barva | Quepos | Barva y Quepos |
|--|--|--|
| Registros de memoria histórica de emergencias por eventos climáticos y registros sobre el caudal. | Protección fuentes hídricas con cobertura vegetal. | Compra de terrenos en las partes altas para la protección de zonas de recarga. |
| Gestión de estaciones meteorológicas que permitan contar con datos específicos para el territorio. | Elaboración de planes maestros del Acueducto con proyección a largo plazo. | Adecuar y mejorar las condiciones para la captación, almacenamiento y acceso al agua (infraestructura, insumos y equipos). |
| Construcción de capacidades en adaptación y organización como necesidad para trabajar en redes. | Desarrollo de planes de seguridad del agua para realizar una evaluación y gestión exhaustiva de los riesgos, desde la cuenca hasta quienes consumen, considerando criterios climáticos. | Contar con tanques de abastecimiento de agua de forma mancomunada considerando los fenómenos climáticos. |
| Identificar acuíferos subterráneos o posibles fuentes de abastecimiento de agua. | Promover la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales, técnicas de almacenamiento y conservación de agua, incluyendo sistemas para el uso eficiente tanto en las residencias como en los comercios. | |
| Realización de actividades de comunicación dirigidas a la población, para que conozcan sobre las acciones institucionales y civiles relacionadas con el agua y el clima. | | |

Fuente: Elaborado con información obtenida en los talleres con entes operadores de agua potable de los cantones de Quepos y Barva, 2018.



Figura 2. Taller con ASADAs del cantón de Quepos. Fotografía: Warren Umaña.

Los espacios de diálogo y de construcción conjunta entre los diferentes entes operadores del agua potable en el espacio local han permitido, por un lado, brindar información sobre la importancia de transversalizar el tema de cambio climático, y, por otro lado, reconocer la necesidad de fortalecer sus capacidades organizativas para mejor administrar e incidir en la gestión integral de riesgos naturales sobre el recurso hídrico. Cabe resaltar que la identificación de las medidas de adaptación son un aporte hacia la construcción de una gobernanza del agua en estos cantones, para hacer frente a los retos esperados por el cambio climático; sin embargo, queda pendiente el análisis de cada medida para su posible ejecución, trabajo que deberá realizarse de forma conjunta entre los entes operadores de cada cantón, las Comisiones de Cambio Climático y de recurso hídrico, junto con los gobiernos locales y apoyados por otras instituciones de

carácter nacional. La diversidad de entes operadores no debe ser impedimento para el desarrollo de acciones articuladas, si se considera el objetivo común de resguardar y garantizar la disponibilidad del servicio del recurso de agua potable a la población.

Referencias

- Comisión Especial Hídrica. (2018). Disponibilidad del Recurso hídrico y perspectivas con el cambio climático en el cantón de Barva y su contexto territorial. Informe II Mesa de trabajo.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2012). Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EscenariosCambioClimatico/escenariosC-Regionalizados2012.pdf>
- Marín, N. (2017). Análisis de vulnerabilidad de las ASADAs en el marco del Plan de Adaptación del cantón de Quepos, Costa Rica (Tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- MINAET. (2009). Estrategia Nacional de Cambio Climático (1 ed). San José, CR: Editorial Calderón y Alvarado S. A.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). (2014). Informe Regional del Estado de la Vulnerabilidad y Riesgos de Desastres en Centroamérica. Disponible en <https://www.undrr.org/publication/informe-regional-del-estado-de-la-vulnerabilidad-y-riesgos-de-desastres-en>



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (maria.alvarez.jimenez@una.ac.cr)



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (ligia.solis.torres@una.ac.cr)



Académico, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (pablo.ramirez.granados@una.ac.cr)

Aspectos técnicos importantes en la gestión de cuencas hidrográficas

María Álvarez Jiménez
Ligia Dina Solís Torres
Pablo Ramírez Granados

La gestión de cuencas hidrográficas se realiza en diferentes escalas (regional, nacional o local) con la finalidad de mejorar las condiciones de los recursos naturales, aplicando un conjunto de técnicas para analizar, proteger, rehabilitar, y conservar dichos recursos (Souza *et al.*, 2012). El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA, 2017) también plantea que la gestión busca reforzar capacidades de gobernabilidad en territorios delimitados naturalmente, dirigido a implementar acciones (planes y programas) para la búsqueda de mecanismos financieros para el aprovechamiento y protección de los recursos naturales de la cuenca.

Igualmente, dentro de la estructura de los planes de manejo en cuencas, la identificación de problemáticas es uno de los primeros pasos para conocer el estado actual que permita posteriormente proponer soluciones. En este proceso se contemplan herramientas o aspectos tecnológicos plasmadas dentro de una determinada estrategia de trabajo —sea ésta— plan de manejo, de acción, programa o proyecto. Dichas herramientas son necesarias y requieren de conocimiento técnico y de personal capacitado aplicables al



Figura 1. Capacitación a personal de ASADAs en Cartago para realizar pruebas de infiltración en cobertura forestal. Fotografía: María Álvarez.

manejo de cuencas; por tanto, al trabajar con este enfoque, se deben tener sólidas bases ecológicas, técnicas y socioeconómicas (Carrie, 2004).

Además de aspectos técnicos, se suma la gestión compartida con las comunidades. De acuerdo con Carrie (2004), es importante visualizar la capacitación técnica como un incentivo que pueden recibir las personas beneficiarias de la cuenca (**Figura 1**).

En la gestión de cuencas intervienen múltiples disciplinas (p.ej., hidrología, geografía, biología, química, ingeniería forestal, agronomía, planificación), que cumplen funciones indispensables y requieren el uso de tecnologías de software, hardware, dispositivos para evaluar el estado de un cuerpo superficial, subterráneo, áreas degradadas, estudio de avenidas, planificación territorial, uso del suelo, por mencionar algunos (**Figura 2**). Por tanto, la información generada por medio de estas herramientas aplicadas, son utilizadas para contribuir a la solución de problemáticas en diferentes zonas de intervención como laderas, valles, cauces, riberas, entre otros (Carrie, 2004).

Los instrumentos modernos como modelización en cuencas y los sistemas de información geográfica (SIG) juegan un rol importante para futuros manejo en cuencas. Estos permiten resolver diferentes problemáticas como: cambio de uso del suelo, contaminación de aguas, invasión zonas de protección. Muchos instrumentos disponen de una gran cantidad de sistemas comerciales en el mercado (Morad y Pérez, 2001), y en los últimos años se han estado utilizando diferentes programas gratuitos y versátiles que permiten su uso a una población más amplia, para realizar análisis de morfometría, modelado, priorización de zonas.

Dentro de las aplicaciones que brindan los SIG, se encuentra la delimitación de las cuencas y la estimación de la cantidad total de agua que podría drenar un área (Steube y Johnston, 1990; citado por Morad y Pérez, 2001), que posteriormente pueden ser plasmarlas en un plan de manejo. Cuando un usuario de SIG estudia la cuenca, reconocer que los conceptos de la geodesia son fundamentales (Olaya, 2011). A partir de datos de campo confiables, estas herramientas técnicas permiten diseñar análisis de rehabilitación, elaboración de diagnósticos, evaluación de impactos a largo plazo, generar información biofísica y socioeconómica, de manera que los aspectos se expresan en mapas con una interpretación cualitativa y cuantitativa sobre el manejo de los recursos (Carrie, 2004).



Figura 2. Uso de equipo (caudalímetro) para medir la velocidad del caudal. Fotografía: María Álvarez.

También en el campo de la modelación hidrológica existen variedad de aplicaciones técnicas utilizadas en las cuencas. Rojas (2009) señala que un modelo representa los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca desde la caída de la lluvia, su transformación en escorrentía y su pasaje por el punto de medición. López *et al.* (2010) también destaca la utilidad de contar con modelos que reproduzcan el comportamiento de las cuencas hidrográficas ante la ocurrencia de lluvias intensas que provocan

inundaciones y contribuye a predecir las afectaciones en el sector socioeconómico.

Otro campo de acción en la gestión de cuencas es el uso de tecnologías orientada al racionamiento del agua potable, actividades productivas y comerciales. Por ejemplo, el AyA (2017) refiere a la importancia en proporcionar recursos financieros para apoyar la capacitación y la transferencia de tecnología en países en vías de desarrollo, y poder suministrar servicios seguros de agua y saneamiento.

Paralelamente en la gestión de cuencas se determinan indicadores, y uno de ellos es el análisis de la calidad del agua. En él se contemplan aspectos técnicos al evaluar los cuerpos de agua superficial, debido a que son los más afectados por el efecto antropogénico. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se señalan 5 clases, las cuales —debido a la afectación al ser humano— se han dividido según el uso de los cuerpos de agua superficial. Los clasificados como 1 pueden fácilmente ser utilizados para consumo humano, pero no deberán ser navegables.

Cuadro 1. Clasificación de cuerpos de agua superficial

| Uso | Clase | | | | |
|----------------|---|------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Consumo humano | Con tratamiento simple con desinfección | Con tratamiento convencional | Con tratamiento avanzado | No utilizable | No utilizable |
| Acuicultura | Utilizable | Utilizable | No utilizable | No utilizable | No utilizable |
| Navegación | No utilizable | No utilizable | Utilizable | Utilizable | Utilizable |
| Riego | Utilizable | Utilizable | No utilizable | No utilizable | No utilizable |

Fuente: Adaptación del Decreto N° 33903-MINAE-S

Dicha clasificación surge de la evaluación de diversos parámetros químicos asociados a contaminantes que inciden en este uso que se le quiere dar. Así mismo en el **Cuadro 2** se indican algunos de esos parámetros a evaluar, con el nivel que debe tener. Una vez evaluado con base en los parámetros, se verifica □según la clasificación— el uso apropiado que éste pueda tener. La cantidad de parámetros a evaluar depende del uso que se vaya a dar debiendo tenerse especial rigurosidad

si se va a utilizar para consumo humano. El nivel de pH determina la acidez o alcalinidad de una disolución; la turbiedad es un indicativo de la presencia de partículas (sólidos o microorganismos) en suspensión; la demanda química de oxígeno (DQO) se refiere a la necesidad de oxígeno que se requiere para depurar el agua de forma química; y la demanda biológica de oxígeno permite conocer ese detalle para una degradación natural (**Figura 3**).

Cuadro 2. Parámetros de calidad de cuerpos de agua superficial

| Uso | Clase | | | | |
|---|-----------|------------|---------------|---------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| pH | 6.5 – 8.5 | 6.5 – 8.5 | 6.0 – 9.0 | 5.5 – 9.5 | 5.5 – 9.5 |
| Turbiedad (NTU) | > 25 | 25–100 | 100 – 300 | > 300 | > 300 |
| Coliformes fecales (NMP/100 ml) | < 20 | 20 a 1 000 | 1 000 a 2 000 | 2 000 a 5 000 | > 5 000 |
| DQO (mg/L) | <20 | 20 a <25 | 25 a <50 | 50 a 100 | > 100 |
| DBO (mg/L) | ≤ 3 | 3.1 – 6.0 | 6.1 – 9.0 | 9.1 – 15 | > 15 |
| Porcentaje de saturación de oxígeno (%) | 91 – 100 | 71 – 90 | 51 – 70 | 31 – 50 | ≤ 30 |
| Sólidos disueltos (mg/L) | < 250 | 250 a 500 | 500 a 1 000 | > 1 000 | > 1 000 |
| Nitratos, NO ₃ (mg N/L) | < 5 | 5 a 10 | 10 a 15 | 15 a 20 | > 20 |
| N-NH ₄ ⁺ (mg/L) | < 0.50 | 0.50 – 1.0 | 1.1 – 2.0 | 2.1 – 5.0 | > 5.0 |

Fuente: Adaptación del Decreto N° 33903-MINAE-S

Así, el agua para consumo humano debe tener resultados bajos, con una turbiedad menor a 25 NTU y un DQO menor a 25 mg/L. Pero el agua para actividades como navegación, tiene un componente intrínseco asociado a la contaminación, ya sea por el combustible o por la misma embarcación; esas aguas tienen turbiedades superiores a 300 NTU y DQO superiores a 100 mg/L.

Algunos de estos parámetros pueden monitorearse con equipos sencillos de campo que permiten mejor comprender el cuerpo de agua con el que se está trabajando y así monitorear el desempeño de las gestiones de manejo. El pH, la turbiedad y el porcentaje de saturación de oxígeno son algunos de esos parámetros. En el mercado existen equipos sencillos, no muy costosos que permiten desarrollar



Figura 3. Capacitación a personal de ASADAs en la provincia de Cartago para evaluar la calidad del agua en la subcuenca del río Birris. Fotografía: María Álvarez.

esas mediciones. Ahora bien, para establecer una conclusión respecto de la clasificación de los cuerpos de agua, deben medirse los parámetros en laboratorios químicos guardando procedimientos de muestreo y análisis rigurosos.

Finalmente, para asegurar una buena gestión en las cuencas hidrográficas, es necesario el uso y aplicación de herramientas técnicas —tales como las mencionadas— para identificar posibles afectaciones. De acuerdo con [Carrie \(2004\)](#), también es conveniente promover mecanismos de apoyo institucional, con la población, personas usuarias y productoras, para lograr una eficiente adopción de las técnicas de manejo de cuencas y así asegurar la sostenibilidad de la cuenca.

En este sentido, el uso de las geotecnologías asegura la implementación de un banco de datos, la compilación y el almacenamiento de la información, la

manipulación, el procesamiento, la cartografía, la cuantificación de las áreas y el análisis de los resultados, todos estos elementos base para la conservación de cuencas ([Moreira et al., 2020](#)).

Referencias

- AyA. (2017). Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030. San José. Costa Rica.
- Carrie, J. (2004). Manual de manejo de cuencas. Editorial World Vision, El Salvador.
- Decreto No. 33903-MINAE-S. Diario Oficial La Gaceta No. 178 (17 setiembre 2007). <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>
- Morad, M., & Pérez, A. T. (2001). Sistemas de Información Geográfica y modelizaciones hidrológicas: Una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (31).
- Moreira Braz, A., Mirandola García, P. H., Luiz Pinto, A., Salinas Chávez, E., & José de Oliveira, I. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía*, 29(1), 69–85. <https://doi-org.una.idm.oclc.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Rojas, R. (2009). Hidrología aplicada al manejo de cuencas. Universidad de los Andes, Facultad Ciencias Forestales y Ambientales, 6-22.
- Rodríguez, Y., Marrero de León, N., & Gil, L. (2010). Modelo lluvia-escorrentamiento para la cuenca del río Reno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 31-37.
- Víctor, O. (2011). Sistemas de Información Geográfica. *Libro SIG*.
- Stuebe, M. M., & Johnston, D. M. (1990). Runoff volume estimation using gis techniques 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 26(4), 611-620.
- Souza, A. C. M., da Silva, M. R. F., & da Silva Dias, N. (2012). Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). *Irriga*, 1(01), 280-296.



Académico, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(manfred.murrell.blanco@una.ac.cr)



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(karla.vetrani.chavarría@una.ac.cr)

Modelo nacional para la gestión de factores de estrés ambiental: olores y ruido



Académica, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ligia.bermudez.hidalgo@una.ac.cr)



Investigadora, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(sherryl.procame@gmail.com)

Manfred Murrell Blanco
Karla Vetrani Chavarría
Ligia Bermúdez Hidalgo
Sherryl Campos Morales
Ernesto Montero Sánchez



Investigador, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional
(ernesto.procame@gmail.com)

El acelerado incremento de la población, la industria y la urbanización ocurrido en las últimas décadas, ha provocado preocupación entorno a la cantidad de contaminantes emitidos al ambiente (Brancher *et al.*, 2016). Algunos contaminantes, como el olor, el ruido, las vibraciones y la luz son clasificados como factores de estrés ambiental, y pueden ocasionar molestia, así como efectos perjudiciales para la salud humana cuando la exposición es frecuente y repetida (ECOTEC, 2013).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que tanto los olores como el ruido son elementos perturbadores de la salud humana, entendida ésta como el completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades (OMS, 2006). La exposición a niveles no deseados de ambos factores provoca un malestar y fastidio, que puede conducir a un incremento del estrés (ECOTEC, 2013). Asimismo, puede dar lugar a manifestaciones fisiológicas en la salud de la población expuesta relacionadas con síntomas respiratorios, auditivos, cardiovasculares, gastrointestinales, irritación fisiológica, entre otros (ECOTEC, 2013; Abad *et al.*, 2011).

Un factor de estrés —o también nombrado estresor— es aquel que causa irritación a una o más personas y que, por lo tanto, requiere de una reacción de ajuste (Schleenstein, 2018). Según Murguía (2007), son percibidos como factores negativos que ponen en riesgo la calidad de vida, pero por lo general no son atendidos inmediatamente, ya que no se consideran temas urgentes. Sin embargo, cuando un estresor ambiental se convierte en una molestia para un individuo o una comunidad es difícil revertir el proceso, de manera que, lo que antes se percibía como un olor o ruido suave, ahora representa fastidio. Bajo este escenario, cuando se recibe la primera queja o denuncia el problema se vuelve mucho más crítico a nivel de salud pública.

Al referirnos a olor se debe comprender que este se define como una propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando se inspiran determinadas partículas volátiles (EN 13725, 2003). Su generación diaria proviene de actividades como industria, agricultura, ganadería, tratamiento y transporte de aguas residuales y residuos sólidos (Brancher *et al.*, 2017). Sin embargo, la sola presencia de un olor no lo hace necesariamente ofensivo, pues diversos factores influyen en su percepción, entre ellos la subjetividad del receptor, la dispersión del olor debido a las condiciones meteorológicas locales, las variaciones en la generación del olor a causa de las materias primas y las operaciones del proceso (IAQM, 2018).

Pepino *et al.* (2017) expone que un olor molesto es el resultado de una serie de episodios de exposición experimentados por uno o más individuos. La exposición a dicho evento está determinada por un conjunto de factores conocidos como FIDOL (IAQM, 2018):

- Frecuencia: corresponde a que tan comúnmente se está expuesto a un olor.
- Intensidad: es la percepción individual sobre la fuerza del olor.
- Duración: es el período de exposición total a lo largo del tiempo.
- Ofensividad: describe el carácter de un olor que puede ser agradable, neutro o desagradable, a una concentración e intensidad determinada.
- Localización: encierra las características del receptor y su sensibilidad, y el medio socioeconómico.

Por su parte, el ruido se define como cualquier sonido no deseado o perturbador que afecta al ser humano en el plano físico y psicológico (Ministerio de Salud, 2016). Su emisión al ambiente está relacionada al tráfico vehicular, ferroviario y aéreo, así como las actividades industriales (Directiva 2002/49/CE). De acuerdo con Segúes (2009), las molestias ocasionadas por el ruido dependen de los siguientes factores:

- Energía sonora: entre mayor energía tenga un sonido mayor la molestia.
- Tiempo de exposición: período al que se está expuesto al ruido.
- Características del ruido: el espectro de frecuencias y el ritmo.

- Receptor: sensibilidad auditiva y cultura por parte de individuos, pues lo que para alguien es un ruido muy molesto, para otro puede no serlo.
- Actividad del receptor: dependiendo de ésta, el sonido puede ser considerado o no como un ruido.
- Expectativa y calidad de vida: las percepciones de algunas personas sobre que consideran buena calidad ambiental.

Respecto a la regulación, a diferencia del ruido que es un denominador común en las legislaciones nacionales de muchos países, los olores recién se han convertido en un punto de agenda de los entes estatales de ambiente y salud. Sin embargo, la exposición de ambos contaminantes a niveles no deseados implica afectaciones muy parecidas para el ser humano (ECO-TEC, 2013). Asimismo, acarrear conflictos y restricciones para usos recreativos, turísticos, comerciales y de vivienda, que hacen necesaria su gestión gubernamental, social y científica (Pepino *et al.*, 2017).

En el ámbito nacional, el marco regulatorio para el ruido ambiental está fundamentado en el reglamento para el control de la contaminación por ruido, cuyo objetivo es la protección de la salud de las personas y del ambiente contra el ruido. El mismo establece un control de la contaminación acústica mediante el cumplimiento de límites de niveles de ruido en decibeles, según la clasificación de la zona receptora: residencial, comercial, industrial, agrícola o pecuaria, mixta o de tranquilidad; y el

horario de exposición: diurno o nocturno (Decreto Ejecutivo No. 39428). No obstante, no se incluye ningún mecanismo en materia de prevención y seguimiento, que permita integrar las emisiones de ruido a la planificación del territorio.

En correspondencia, normativas europeas como la Ley 37/2003 del Ruido en España y la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental en la Unión Europea, incorporan los mapas acústicos como instrumentos estratégicos para la planificación de medidas preventivas y correctivas de la contaminación acústica. En ese sentido, la reglamentación costarricense presenta vacíos asociados a la elaboración de mapas que permitan cuantificar y visualizar los niveles de contaminación acústica existentes o predictivos por ciudad, distrito o cantón, tomando en cuenta sus variaciones a través del espacio geográfico en función de la localización de la fuente de ruido, el receptor y obstáculos como terreno, infraestructura, vegetación y otras barreras. Si estos se lograran incorporar como requisito reglamentario, se facilitaría la identificación de las poblaciones expuestas al estrés ambiental resultante del ruido y sus efectos (EEA, 2014; Murphy & King, 2014).

La regulación de los olores ha enfrentado dificultades debido a la subjetividad del problema, ya que la mayoría de los olores son mezclas complejas de compuestos, y el conocimiento de los compuestos químicos presentes en la mezcla no es necesariamente una indicación de la respuesta que provocará en un receptor

humano (Pagans, 2012, citado por Caimanque y Recordon, 2013). Adicionalmente, se debe tener en cuenta que los olores son difíciles de reconocer debido a que pueden estar compuestos de una sola sustancia o una combinación de ellas; en combinación con otras sustancias pueden ser modificados al punto de ser irreconocibles; pueden resultar agradables mientras están diluidos y desagradables cuando están concentrados; y pueden resultar o no agradables para una persona según el grado de sensibilidad del individuo (UPB, 2019).

Por tanto, las emisiones de olores han despertado el interés de diferentes partes interesadas, especialmente la comunidad científica y política, pues cada vez son menos toleradas por la ciudadanía debido a sus efectos sobre la calidad de vida (De Melo, 2009). Su adecuada reglamentación requiere herramientas para cuantificar, regular y fiscalizar límites para emisiones de olores. Sin embargo, mientras ciertos análisis químicos o métodos instrumentales pueden proveer valores de concentraciones para compuestos químicos aromáticos seleccionados, una cuantificación detallada solo puede lograrse por la nariz humana (Dames & Moore, 1997 citado por Caimanque y Recordon, 2013). De esta forma, la olfatometría dinámica, por tratarse de un método analítico sensorial en el que se emplea el propio olfato humano como sistema de detección, se presenta como la técnica analítica de mejor elección para la cuantificación de los olores y base para una posterior regulación.

A nivel internacional, las normativas están orientadas al control, la mitigación, la medición y la determinación del nivel de molestia de los distintos olores o fuentes generadoras de los mismos. Por ejemplo, países como Japón han basado su regulación en análisis químicos, para lo cual definen 22 compuestos generadores de olores molestos, mientras que los Países Bajos basan sus análisis en olfatometría dinámica (Nilo, 2009). En el ámbito de la Comunidad Europea no existe legislación específica para el control de contaminación por olores; sin embargo, existen normativas técnicas para la medición de olores, elaboradas por el Comité Europeo de Normalización, entre las cuales destaca la EN 13725:2003 Calidad del aire: Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. Los países más avanzados en términos normativos son los Países Bajos, Italia, Francia, Reino Unido, Alemania, España, Australia, Nueva Zelanda y Canadá. Estos no establecen valores límites de emisión sino valores objetivo de inmisión, para lo cual utilizan unidades de olor europeas ou_E/m^3 al percentil 98, con límites horarios de percepción, mediante frecuencias de horas de olor o mediante el establecimiento de distanciamiento (Brancher, 2016).

En Costa Rica, aunque existe una propuesta de marco normativo presentado por el Ministerio de Salud que está en el proceso de consulta pública, de momento no existe una estrategia para la gestión

del tema de olores ([Ministerio de Salud, 2020](#)). Las áreas regionales de salud — distribuidas por todo el país— no cuentan con instrumentos para ejercer su función de monitoreo, evaluación y análisis del estado de salud poblacional. En el tema específico de olores ofensivos, se requiere adicionalmente el desarrollo de mecanismos de investigación y control del riesgo, así como del fortalecimiento de la capacidad institucional de planificación y el manejo en la salud pública, junto con capacitación y desarrollo de recursos humanos para la atención de esta problemática.

Personal vinculado al Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME) de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, llevaron a cabo un estudio con el objetivo de identificar las zonas críticas de contaminación odorífera a partir de las denuncias de la ciudadanía interpuestas mediante el Sistema Integrado de Denuncias Ambientales (SITADA), del Ministerio de Ambiente y Energía. Los resultados exponen que durante el período 2013-2018 hubo un total de 304 reportes relacionados con aguas residuales (34 %), combustión (17 %), residuos sólidos (16 %) y animales (13 %). Algunas de las fuentes de emisión identificadas corresponden a plantas de tratamiento de aguas residuales, cuerpos de agua, chimeneas, quemas, rellenos sanitarios, vertederos de residuos y granjas. Además, el análisis espacial realizado determinó que un 74 % de los cantones del país registran al menos una denuncia, siendo Alajuela,

Grecia, San Carlos, Pococí, Desamparados, Escazú y San José, las zonas con mayor conflictividad por contaminación odorífera ([Campos et al., 2019](#)).

[Quadros et al. \(2008\)](#) evidencian la problemática de los olores como una variable ambiental legalmente indefinida. Los resultados del estudio de [Campos et al. \(2019\)](#) en Costa Rica, evidencian que en la actualidad las denuncias por olores son resueltas cuando la fuente emisora se relaciona a algún tipo de contaminación reglamentada, por ejemplo: vertido y reúso de aguas residuales, emisión de contaminantes atmosféricos, y gestión de residuos sólidos. Por tanto, si persona presenta una denuncia contra una planta de tratamiento de aguas residuales aduciendo que percibe un olor desagradable, el Ministerio de Salud —a través del personal del Área Regional de Salud respectiva— verifica que la planta esté cumpliendo parámetros de vertido, pero no puede abordar el conflicto bajo un enfoque de control de olores puesto que no cuenta con instrumentos específicos para tal fin.

Esta situación en Costa Rica confirma la existencia de actividades productivas y de servicio que emiten sustancias olorosas y que producen molestias en el entorno, afectando la calidad de vida y dando lugar a conflictos que podrían agudizarse hasta inclusive causar impactos económicos y en el bienestar de la ciudadanía. La falta de antecedentes en esta problemática no permite establecer criterios para su atención integral. Otra limitación, es la escasez de profesionales

especializados en el tema, pues actualmente el mercado académico nacional no ofrece este tipo de formación.

En conclusión, la adecuada gestión de los factores de estrés ambiental que se generan como parte de las actividades humanas, debe ser una prioridad de las instancias que participan en la búsqueda de estrategias de corto, mediano y largo plazo para dar respuesta a los impactos negativos en la salud de grupos o individuos que se ven expuestos a fuentes generadoras de contaminantes ambientales. Para esto, es fundamental el fortalecimiento de los canales de comunicación existentes entre los habitantes, los entes reguladores y las fuentes emisoras, para una adecuada toma de decisiones; en especial prestando atención a elementos que puedan sugerir una sobrestimación de la molestia, por ejemplo: disputas entre vecinos acerca de otros temas, preocupación por otros aspectos ambientales, preocupación por enfrentar represalias, depreciación del valor de viviendas, u otras consecuencias adversas derivadas de las denuncias.

Finalmente, las estrategias que se planteen para la gestión de olores y ruido deben ser concebidas desde un modelo nacional que facilite a las partes interesadas un manejo integral de ambas variables. Esto incluye el desarrollo de acciones para el levantamiento de información en tiempo real, el mapeo dinámico (modelación), el diseño de un sistema de monitoreo con alcance nacional, la

capacitación de profesionales del sector público y privado interesados en el tema, y la atención y solución de denuncias en todo el territorio costarricense.

Referencias

- Abad, L., Colorado, D., Martín, D., y Retana, M. (2011). Ruido ambiental: seguridad y salud. *Tecnología y desarrollo*, 8, 1-24.
- Brancher, M., Schauburger, G., Franco, D., y De Melo, H. (2016). Odour impact criteria in South American regulations. *Chemical Engineering Transactions*, 54, 169-174.
- Brancher, M., Griffiths, K., Franco, D., y De Melo, H. (2017). A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*, 168, 1531-1570.
- Caimanque, D., y Recordon, J. (2013). Estrategia para la gestión de olores en Chile (2014-2017). Santiago, Chile: División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente.
- Campos, S., Vetrani, K., Murrell, M., Montero, E., Bermúdez, L. 2019. Análisis de las denuncias interpuestas en el Sistema Integrado de Trámite y Atención de Denuncias Ambientales (SITADA) como indicador de la contaminación por olores molestos en Costa Rica. Conferencia Olores 19, Santiago, Chile.
- De Melo, H., Page, T., y Guy, C. (2009). Gestão de odores: fundamentos do Nariz Eletrônico. *Eng Sanit Ambient*, 14, 9-18.
- Directiva 2002/49/CE. Evaluación y gestión del ruido ambiental. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Unión Europea, 25 de junio de 2002.
- ECOTEC. (2013). Estudio: Antecedentes para la regulación de olores en Chile. Santiago, Chile: ECOTEC Ingeniería Ltda. Subsecretaría del Medio Ambiente.
- European Environment Agency (EEA). (2014). Noise in Europe 2014. Luxembourg: Publications Office.

- EN 13725:2003. Air quality. Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. European Committee for Standardization (CEN).
- Institute of Air Quality Management (IAQM). (2018). Guidance on the assessment of odour for planning. Londres, Reino Unido: IAQM.
- Ley 37/2003 Ley del Ruido. Boletín Oficial del Estado, España, 18 de noviembre de 2003. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-20976-consolidado.pdf>
- Ministerio de Salud. (2020). Aviso MS-AJ-CB-577-2020 Reglamento para el control de olores ofensivos. San José, Costa Rica: Ministerio de Salud.
- Ministerio de Salud. (2016). Decreto N° 39428-S Reglamento para el control de la contaminación por ruido. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=81011
- Murphy, E. y King, E. A. (2014). Environmental noise pollution: noise mapping, public health, and policy (First edition). Amsterdam: Elsevier.
- Murguía, W. (2007). Contaminación por olores: el nuevo reto ambiental. *Gaceta Ecológica*, 82, 49-53.
- Nilo, P. (2009). Actividad 4.2.6: Actualización de la información para la gestión de olores a nivel nacional. Santiago, Chile: Centro Nacional del Medio Ambiente, Universidad de Chile.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Constitución de la Organización Mundial de la Salud. *Documentos básicos*, 45, 1-18.
- Pepino, R., Fonseca, J., Slythie, J., Fernández, J., López, E., y Torres, J. (2017). Gestión de olores y su análisis en calidad de aire. En Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina. Buenos Aires.
- Quadros, M., Nagel, W., y De Melo, H. (2008). A olfatometría como ferramenta na verificação da eficácia deneutralizador de odor industrial. *Ambiência*, 4, 367-382.
- Schleenstein, G. (2018). Estudios de seguimiento ambiental de olor mediante panelistas y encuestas para PTAS ESSBIO año 2018. Santiago, Chile: ECOTEC INGENIERÍA SPA.
- Segúes, F. (2009). Conceptos básicos del ruido ambiental. España: Ministerio de Medio Ambiente. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). (2019). Método para el monitoreo de olores ofensivos. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Federación Nacional de Avicultores de Colombia.



Gestora ambiental,
investigadora y
extensionista, Escuela de
Ciencias Ambientales,
Universidad Nacional
(alina.aguilar.arguedas@una.ac.cr)

Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia

Alina Aguilar Arguedas



El manejo de los residuos sólidos ordinarios es un tema que aún se aborda con prioridad e interés, debido a su inadecuada gestión desde la fuente de origen como en la disposición final, último eslabón de la jerarquización de residuos (Aguilar, 2015). Esto ocasiona efectos negativos al ambiente, sus ecosistemas, al calentamiento global, y consecuentemente, al bienestar y calidad de vida de las poblaciones humanas.

Los residuos sólidos de tipo ordinario provenientes de viviendas y comercios pueden estar conformados por diferentes materiales tanto orgánicos como inorgánicos. El mayor porcentaje corresponde a los residuos rápidamente putrescibles conocidos como orgánicos (p. ej., cáscaras de frutas, verduras, restos de comida y jardín). Específicamente en Costa Rica, los estudios de caracterización y composición en municipios como San Carlos, Alvarado, Oreamuno, Cartago, Goicochea y Alajuela indican que la materia orgánica constituye aproximadamente el 55 % de todos los residuos domiciliarios generados (Soto, 2012, citado por Aguilar, 2015). Este alto porcentaje incentiva a los gobiernos locales



Figura 1. Recolección de residuos orgánicos con apoyo de miembros de la Comisión de Cambio Climático y la Municipalidad de San Rafael. Fotografía: Alina Aguilar.

a desarrollar alternativas de gestión integral, permitiendo así generar beneficios económicos, sociales y ambientales.

Una consecuencia de la no valoración y disposición adecuada en rellenos sanitarios de los residuos orgánicos es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), producidos por la actividad microbiológica del proceso de descomposición. Datos de inventarios mundiales de GEI afirman que el sector residuos es el responsable de entre 3 % y 4 % de todas las emisiones antropogénicas a nivel mundial, igualando rubros de emisiones por aviación internacional y transporte marítimo (Rojas, 2014). Lo anterior evidencia la urgencia de implementar sistemas que permitan su valorización y por consiguiente la mitigación de GEI.

Desde el año 2011, la Municipalidad de San Rafael de Heredia, en conjunto con

la Comisión de Cambio Climático, han venido desarrollando iniciativas para disminuir los GEI del cantón dentro del marco de la *Estrategia Participativa de Cambio Climático* del territorio. Según el inventario de emisiones de GEI (Rodríguez y Rodríguez, 2011) de San Rafael, con año base 2008, una de las principales fuentes emisoras corresponde al sector de manejo de residuos sólidos, específicamente los orgánicos (22 %). Con el fin de atender

esta fuente, se vio la necesidad de investigar sobre una alternativa baja en emisiones que permitiera el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos, estableciéndose así una opción diferente a la práctica de disposición final en relleno sanitario. Por ello, se propuso analizar el compostaje aerobio como tecnología limpia para la reducción de GEI en el manejo de los residuos orgánicos del distrito de San Rafael. Como proyecto piloto se evaluaron y analizaron tres tipos de compostaje: compostaje sin un fermento agregado, compostaje con agregado de microorganismos eficientes (*EM one*) y compostaje *takakura*.

Los datos analizados corresponden al periodo 2012-2014. Previo a la medición de los parámetros durante el composteo de los residuos orgánicos, se llevó a cabo una caracterización general del manejo y composición de los residuos sólidos ordinarios en viviendas y comercios del distrito de San

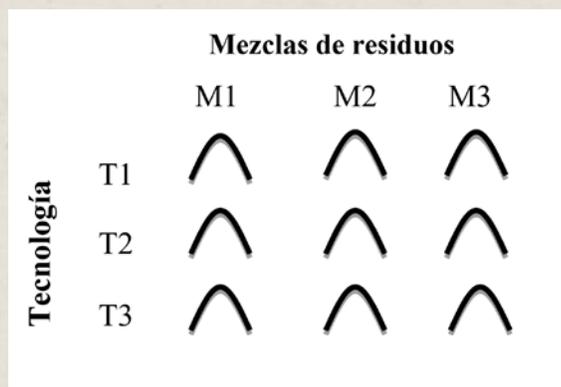


Figura 2. Diseño del primer experimento (E1) para la aplicación de 3 tecnologías con 3 mezclas en el manejo de los residuos orgánicos, 2014.

Rafael con el propósito de conocer la percepción de la población en cuanto a su manejo, la tasa de generación por sectores, así como la composición de los residuos generados por medio de la separación y pesaje. En el periodo 2013-2014, se realizó la recolección de residuos orgánicos de viviendas y comercios (**Figura 1**) para aplicar las tecnologías de compostaje y llevar a cabo la medición y análisis de los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH (concentración de iones de hidronio), porcentaje de humedad, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), dióxido

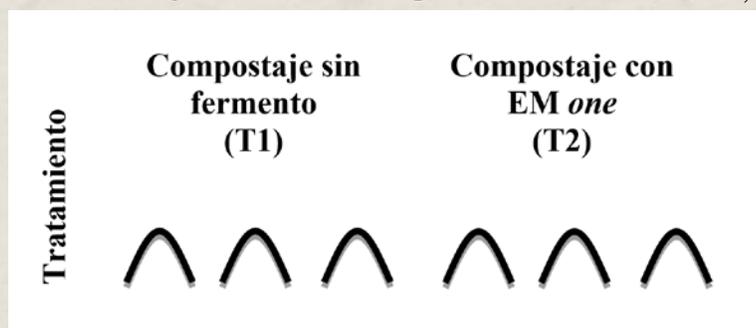


Figura 3. Diseño del segundo experimento (E2) para la aplicación de 2 tecnologías (T1 y T2) en el manejo de los residuos orgánicos con 3 repeticiones, 2014.

de carbono (CO₂), relación carbono/nitrógeno (C/N), durante el proceso de conversión de la fracción orgánica. Para el análisis de las emisiones de gases se contó con el apoyo del Laboratorio de Análisis Ambiental de Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional.

Dentro de los residuos orgánicos verdes se incluyeron residuos de frutas, cáscaras de verduras, restos de alimentos cocinados, residuos de carnes y huesos, y otros. Los residuos secos como hojas secas y madera triturada o burucha, que provenían de la corta y poda de árboles, fueron donados por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH).

Para el método *takakura*, el material seco consistió en el lecho de fermentación, generado de la mezcla de soluciones elaboradas con cascarilla de arroz, según la *Guía del Instituto de Estrategias del Medio Ambiente Global (IGES, 2010)*.

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se establecieron dos etapas que se llevaron a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, con un solo aporte de residuos orgánicos. El experimento 1 (E1) contó con la aplicación de 3 tecnologías: compostaje sin fermento agregado (T1), compostaje con agregado de ME one (T2) y compostaje *takakura* (T3), utilizando las siguientes mezclas (**Figura 2**): 50 % (100 kg) de residuos secos y 50 % (100 kg) de residuos verdes (Mezcla 1); 30 % (60 kg)

de residuos secos y 70 % (140 kg) de residuos verdes (Mezcla 2); 70 % (140 kg) de residuos secos y 30 % (60 kg) de residuos verdes (Mezcla 3).

Luego se realizó un experimento adicional (E2), el cual consistió en la aplicación de dos tecnologías: compostaje sin fermento (T1) y compostaje con microorganismos eficientes (T2) (**Figura 3**).

Cada tecnología constó de 3 repeticiones con una sola proporción de residuos, donde se utilizó el criterio de experto: 50 % (143 kg) de residuos orgánicos y 50 % (143 kg) de residuos secos, para un peso por montículo de 286 kg. Debido a costos y tiempo, no se pudo incluir el compostaje *takakura*. A diferencia del E1, en el E2 se midió el CO₂ (**Figura 4**).

Como resultado del experimento 1 (E1), al tercer día de medición de las tres tecnologías, se dio un aumento de la temperatura evidenciando el inicio de la actividad microbológica de las pilas, pasando de la fase mesófila a la termófila en un lapso de 5 días. Para la tercera semana, a pesar del volteo que se realizó, las temperaturas bajaron acercándose a valores de temperatura ambiental (25 °C), sin observarse de nuevo un incremento considerable. El descenso en la temperatura pudo estar relacionado a limitantes como el tamaño



Figura 4. Equipo utilizado durante las mediciones de CO₂. Fotografía: Alina Aguilar.

(200 kg) de las pilas ocasionando con esto cambios bruscos de temperatura.

El registro de la humedad promedio de los tratamientos osciló dentro del 30 % y 58 %, siendo el E1.T3.M2 y el E1.T3.M3 los más bajos con un 30 %, lo cual puede significar un porcentaje no adecuado por el decrecimiento de la actividad biológica (Moreno y Moral, 2011, citado por Aguilar, 2015). El bajo porcentaje de humedad presentado en el compostaje *takakura* pudo deberse a la alta temperatura que se manifestó al inicio del proceso de compostaje y a las características del sustrato utilizado, ya que la cascarilla de arroz tiene una gran capacidad como material secante (Román *et al.*, 2013) y baja capacidad de retención de humedad (Peña *et al.*, 2013). Nótese como la humedad y la aireación del compostaje tienen una estrecha relación con la temperatura.

En los tratamientos E1.T1.M3, E1.T2.M1 y E1.T2.M2 se obtuvo mayor emisión de metano, lo cual pudo deberse

a una mayor temperatura y humedad alcanzada. La emisión de metano se genera durante la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos en las primeras etapas del proceso de compostaje, que por lo general toma lugar en sitios anóxicos o anaeróbicos, incluso en las pilas de compostaje bien gestionadas (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010, citado por Aguilar, 2015). El E1.T3, que corresponde al *takakura* en las tres diferentes mezclas de residuos, fue donde se generó una menor emisión de metano, con menor temperatura en los días de medición y menor humedad durante el proceso de conversión de la fracción orgánica; sin embargo, la emisión de óxido nitroso fue la mayor, lo cual pudo deberse al pH alcalino y las temperaturas dadas por debajo de los 40 °C durante la fase de maduración o estabilización (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010 citado por Aguilar, 2015). Con las otras dos tecnologías, el E1.T1.M3 y el E1.T2.M3 se obtuvo la menor emisión de N₂O, probablemente por la proporción de residuos (70 % secos y 30 % verdes), debido a que el mayor carbono por el residuo seco produce una inmovilización del óxido nitroso por la deficiente disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos.

Para el experimento 2, las dos tecnologías aplicadas presentaron en las dos primeras semanas un aumento de temperatura de forma similar, registrándose datos inicialmente de 26 °C y aumentando hasta los 55 °C, evidenciando la actividad microbiana. El tratamiento sin fermento

(E2.T1) fue el que alcanzó una temperatura media más elevada, de 55 °C, en comparación al tratamiento con microorganismos (E2.T2), el cual registró 46 °C, sin lograr la temperatura media óptima, pero igualmente encontrándose dentro del rango aceptable ($p=0.05$). Adicionalmente, las dos tecnologías estuvieron dentro del rango de humedad promedio óptimo del 40 % y el 60 % señalado por Colomer (2007), lo que permitió la circulación del oxígeno. La humedad obtenida (50 % y 51 % respectivamente) muestra que la mezcla del 50 % de residuos orgánicos y 50 % de burucha (residuos secos) pudo tener una buena retención de la humedad para realizar un adecuado proceso biodegradativo. Por tanto, se puede indicar que hay una estrecha relación del porcentaje de humedad con la mezcla inicial.

En el E2.T1 se obtuvo la mayor emisión de metano (3 891 189 mg \pm 10 248), debido a que la zona central (sitio anóxico de la pila) presentó una mayor temperatura y alta humedad promedio durante las mediciones, favoreciendo con esto las bacterias metanogénicas. En cuanto a la emisión de óxido nitroso, el E2.T1 obtuvo la mayor emisión (192 409 mg \pm 49) lo cual pudo deberse al pH promedio ligeramente más alcalino que el E2.T2 y por las temperaturas dadas por debajo de los 40 °C durante la fase de maduración o estabilización. En cuanto al CO₂, el E2.T1 también mostró una mayor emisión (2 364 748 g \pm 614), lo que pudo deberse a la alta temperatura promedio obtenida (55 °C), en comparación con el E2.T2 (46 °C),

por su estrecha relación durante el proceso de compostaje (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010, citado por Aguilar, 2015).

La tecnología de compostaje aerobio ya sea sin agregar un fermento, con *ME one* o *takakura*, por ser un proceso de degradación microbiológica, siempre va generar emisiones de CH₄, N₂O y CO₂, no obstante, estas variarán de acuerdo a factores como composición inicial del material, temperatura de la pila, pH, humedad, entre otros, por esto la importancia de una buena gestión de los mismos. De acuerdo a la valoración de los parámetros analizados y a la viabilidad técnica y económica se obtiene como la tecnología baja en emisiones el compostaje aerobio sin fermento, con una proporción de 1:1 (50% residuos verdes y 50% de residuos secos), dando el mismo resultado para los dos experimentos mencionados, sin embargo, utilizar *EM one* puede ayudar a la eficiencia del proceso y controlar otro tipo de factores como olores, empero el proyecto debe incurrir en un costo adicional por la compra del mismo.

Los resultados obtenidos de esta investigación dieron la base a lo que hoy día es el proyecto de tratamiento de residuos orgánicos que gestiona la Municipalidad de San Rafael, ubicado en el Paradero Monte de la Cruz. El mismo cuenta con infraestructura y condiciones necesarias para dar seguimiento a la recolección y tratamiento de residuos orgánicos de algunos sectores del cantón, obteniendo incluso, como subproducto del proceso,

abono orgánico, el cual se comercializa. Se agradece a la Municipalidad y la Comisión de Cambio Climático de San Rafael, quienes apoyaron con materiales y recurso humano para poder desarrollar la investigación, así como también al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales y la Finca Experimental en Santa Lucía de la Universidad Nacional, quienes colaboraron con el préstamo de las instalaciones para la recolección y análisis de las muestras de gases.

Referencias

- Aguilar, A. (2015). Compostaje como tecnología para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en el manejo de los residuos orgánicos, San Rafael de Heredia, Costa Rica (tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Colomer, F.J. y Gallardo, A. (2007). Tratamiento y gestión de los residuos sólidos. Editorial Limusa: Universidad Politécnica de Valencia.
- Institute for Global Environmental Strategies (IGES). (2010). Compostaje para la reducción de residuos. Trad. Jica. Kitakyushu, JP
- Peña, M.Y.; Casierra, F.; Monsalve, O. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 7(2): 217 –227.
- Rodríguez, D. & Rodríguez, L. (2011). Propuesta de Aplicación de Tecnologías Limpias para la Reducción de Emisiones de CO₂ equivalente en el Cantón de San Rafael de Heredia (tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Rojas, J. (2014). Residuos sólidos y calentamiento global – Parte 1. CEGESTI no.254: 1-3.
- Román, P.; Martínez, M.M.; Pantoja, A. (2013). Manual del compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina. CL.s.n.t. 112 p.



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jose.rojas.marin@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (victor.beita.guerrero@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (tomas.soto.murillo@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (minor.vargas.rojas@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (julio.murillo.hernandez@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jorge.herrera.murillo@una.ac.cr)

Impacto de los polvos del Sahara en la calidad del aire en la GAM

José Félix Rojas Marín
 Víctor Hugo Beita Guerrero
 Tomás Soto Murillo
 Minor Vargas Rojas
 Julio Murillo Hernández
 Jorge Herrera Murillo

.....

Durante la semana del 21 al 27 de junio del presente año, el país se vio afectado por la presencia de la Capa de Aire del Sahara (SAL, por sus siglas en inglés), alcanzando la máxima intensidad entre los días 25 y 26. Condiciones como menor visibilidad, disminución de las precipitaciones, temperaturas más cálidas, atardeceres más brillantes e incluso irritaciones oculares y en las vías respiratorias, fueron parte de las manifestaciones percibidas por la población como consecuencia de este fenómeno.

SAL consiste en una masa de aire caliente y muy seca cargada de polvo que se forma sobre el desierto del Sahara debido al efecto de los fuertes vientos del jet oriental africano, cuya intensidad máxima se alcanza entre mediados de junio y hasta mediados de agosto y que se mueve sobre el Atlántico Norte Tropical llegando a afectar regiones del Caribe, América Central, México e incluso algunas regiones de los Estados Unidos como Florida y Texas (NOAA, 2020).

Este fenómeno es una de las fuentes naturales de material particulado más importantes donde se producen cerca de 2×10^8 toneladas de aerosoles anualmente, los cuales son

transportados hacia el Océano Atlántico, el Mar Mediterráneo y el Sur de Europa (Kabatás *et al.*, 2014). Este es una de las principales fuentes biogénicas de partículas suspendidas con diámetros menores a 10 μm y 2.5 μm (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), así como la principal fuente de polvo atmosférico.

En cuanto a la composición de este material particulado, Poleo & Briceño (2014) y Rizzolo *et al.* (2016) señalan que contiene bacterias, hongos y virus, así como algunos nutrientes, entre ellos nitratos y fosfatos inorgánicos, hierro (II y III), sodio, calcio y magnesio, entre otros macro y micronutrientes.

La facilidad del transporte de estas partículas de polvo se debe a que las mismas tienen tamaños inferiores a los 100 μm , siendo pequeñas y de poco peso. Las características anteriores hacen posible que el viento y las corrientes de aire ascendente las dispersen sobre áreas bastante extensas, alcanzando alturas de entre 5 km y 7 km. Asimismo, esta masa de aire se mueve confinada entre dos capas de inversión, lo que le brinda estabilidad y le permite recorrer grandes distancias de escala planetaria en tiempos relativamente cortos (Mojena *et al.*, 2006).

La Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés) es un factor que contribuye con la estacionalidad en los patrones de transporte. Durante el verano la SAL se desplaza predominantemente hacia el norte y en el invierno se mueve más hacia el hemisferio sur (Van der Does *et al.*, 2016).

Otros eventos determinantes en los patrones de emisión y transporte son los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), Oscilación del Norte Atlántico (NAO), precipitaciones Sahelianas y la temperatura superficial en el desierto. En el verano boreal, este evento es más intenso producto del aumento en la diferencia de temperatura que promueven células convectivas, facilitando la mayor emisión de polvo de estas zonas (Evan *et al.*, 2016).

La SAL desempeña un papel ecológico importante de fertilización en los suelos del Amazonas y los bosques de América, gracias al transporte de los nutrientes antes mencionados, compensando el efecto erosivo natural de las zonas tropicales producto de las fuertes precipitaciones que caracterizan a estas regiones (Gutro, 2020). Este efecto ecológico también se percibe en los océanos, ya que hay un aporte de nutrientes con la deposición de fracciones más gruesas que mejora el ciclo de carbono, estimulando el crecimiento de fitoplancton (Van der Does *et al.*, 2016)

Además, las condiciones secas, cálidas y ventosas asociadas con este fenómeno suprimen la intensificación y formación de ciclones tropicales y coinciden con el periodo del Veranillo sobre América Central (Gutro, 2020), ya que al ser un aire extremadamente seco (hasta 50 % menos húmedo que la atmósfera tropical) promueve la formación de corrientes descendentes alrededor de las tormentas, debilitándolas. De igual manera, los fuertes vientos en la SAL, que

pueden alcanzar los 10 m/s a 25 m/s, aumentan la cizalladura vertical del viento en y alrededor de las tormentas, lo que puede provocar la inclinación del vórtice del ciclón con la altura, interrumpiendo su motor térmico interno. En tercera instancia, las altas temperaturas de esta capa de aire hacen que se sitúe por encima del aire oceánico, relativamente más frío y denso, estabilizando la atmósfera, y suprimiendo la formación de nubes (NOAA, 2020).

La emisión y transporte de material particulado de origen desértico producto de la SAL ocasiona una degradación de la calidad del aire, ya que se suma a la contaminación del área afectada. Así mismo, de manera indirecta se documenta una acumulación de contaminantes antropogénicos locales, ya que este material crea núcleos de condensación favoreciendo la formación de nuevas partículas finas y la concentración de otros contaminantes que afectan la salud (Querol *et al.*, 2019). Los aerosoles pueden tanto contribuir con el calentamiento o enfriamiento de la capa atmosférica de superficie, dependiendo de sus diámetros aerodinámicos. Al haber más presencia por la SAL, la dinámica de calentamiento y enfriamiento se acelera, y los perfiles térmicos se aumentan en la ciudad, aumentando la vorticidad en superficie.

Otro aspecto relevante relacionado con la SAL es la afectación que pueden tener sobre la salud humana. Aunque existe poca investigación en este ámbito, la

Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que la contaminación con partículas, entre ellas el polvo, tiene efectos nocivos incluso en concentraciones bajas (Poleo & Briceño, 2014). Las partículas de PM_{10} cuentan con un diámetro lo suficientemente pequeño como para depositarse en las vías respiratorias, lo que puede generar complicaciones en personas con padecimientos respiratorios previos como asma, además de poder generar otras condiciones como infecciones respiratorias. Las partículas de $PM_{2.5}$ al poseer un diámetro aún más pequeño logran llegar hasta los alveolos ocasionando problemas cardiovasculares (Sandstrom & Forsberg, 2008).

El impacto en la calidad del aire que tuvo este evento en nuestro país fue monitoreado gracias a la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire, la cual se coordina a través de esfuerzos entre distintas instituciones como el Ministerio de Salud, ente rector del tema, la Refinadora Costarricense de Petróleo, la Municipalidad de San José, la Municipalidad de Belén, la Municipalidad de Escazú, Municipalidad de Desamparados y la Universidad Nacional. Este último, a través del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, brinda el soporte técnico en las mediciones ejecutadas, incluyendo el aseguramiento de la calidad de los datos y elaboración de los informes técnicos. A continuación, se muestran las variaciones observadas en las concentraciones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en algunas de las estaciones de monitoreo de

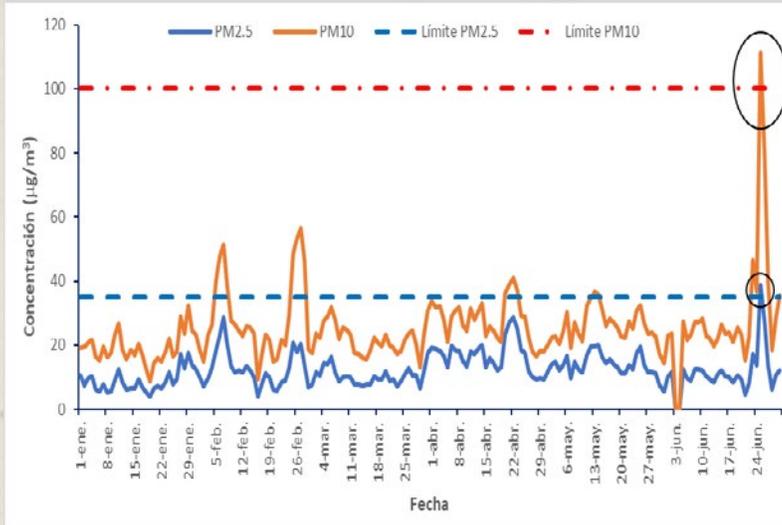


Figura 1. Concentraciones diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Desamparados para el 2020.

partículas ubicadas en la GAM, tanto de la red automática (tiempo real) como manual (muestreos integrados de 24 horas).

La **Figura 1** muestra el comportamiento promedio diario, tanto de partículas PM_{10} como $PM_{2.5}$, observado en la estación automática ubicada en Desamparados, para el período comprendido entre el 1° de enero al 30 de junio del presente año.

Los resultados indican la presencia de un pico considerable de partículas el jueves 25 de junio. Para ese día el máximo de PM_{10} y $PM_{2.5}$ estuvo en $111.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $38.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. De acuerdo con las imágenes de satélite, ese día se dio la afectación más importante por parte de la nube de polvo proveniente del Desierto del Sahara. Como consecuencia, los niveles de partículas superaron los límites establecidos

en nuestra legislación: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$ (Decreto Ejecutivo No. 39951-S). Al analizar los datos horarios para la semana específica en la que se dio el evento (22 al 26 de junio), se pudo observar claramente que se dieron tres picos horarios: 23, 25 y 26 de junio (**Figura 2**). Evidentemente el pico del 25 de junio es el más importante en magnitud y duración lo que demuestra

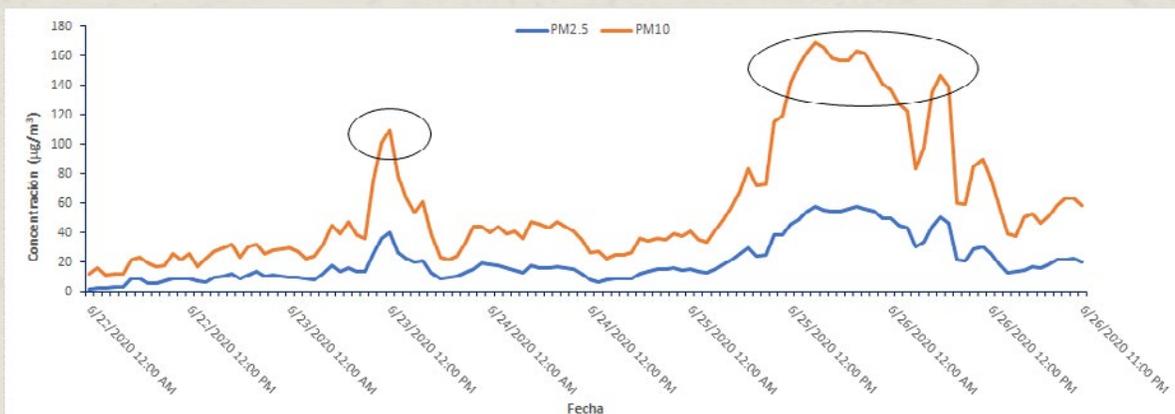


Figura 2. Concentraciones horarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Desamparados, del 22 al 26 de junio del 2020.

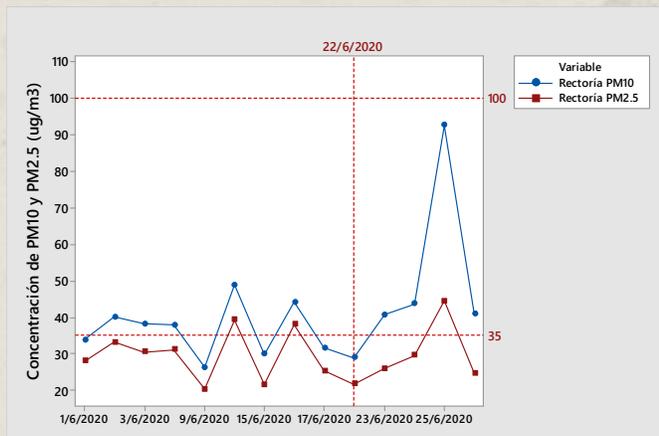


Figura 3. Concentraciones diarias de PM₁₀ y PM_{2.5} en Heredia, para junio 2020.

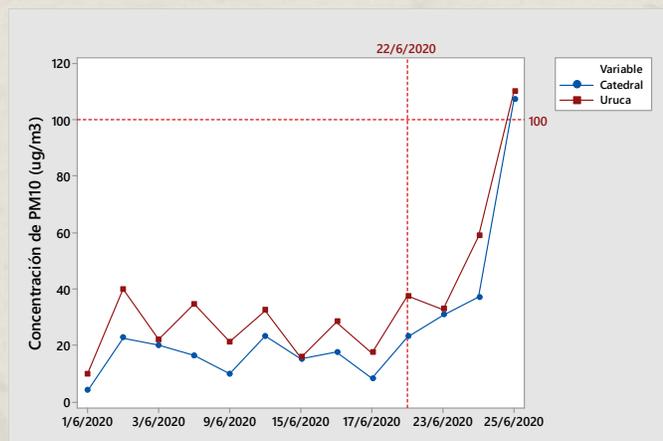


Figura 4. Concentraciones diarias de PM₁₀ en Catedral y Uruca, para junio 2020.

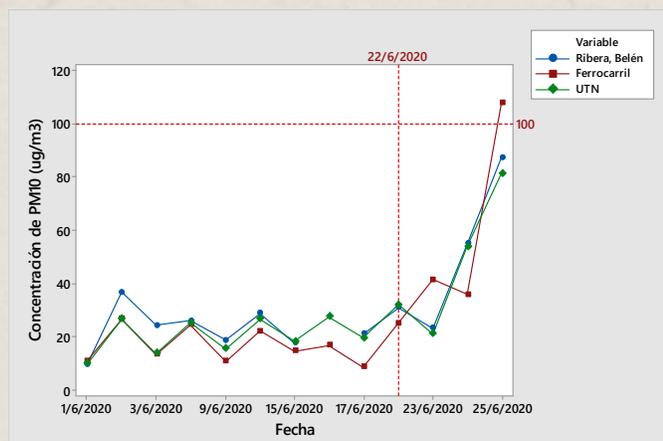


Figura 5. Concentraciones diarias de PM₁₀ en Belén, Cartago y UTN, para junio 2020.

que la afectación se dio prácticamente en todo el día.

En la **Figura 3** se observan las concentraciones promedio diarias en el mes de junio en Rectoría-UNA (Heredia); además se marca con una línea vertical el inicio de la semana bajo la influencia de la SAL, y con líneas horizontales indicando los límites máximos de exposición. Los valores fueron en aumento conforme se fue acercando la masa de partículas al país, y se alcanzó el máximo entre jueves y viernes, con 92.3 y 41.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente; superando la norma para este último.

En el centro de la capital, donde se ubica la Catedral Metropolitana, se tiene una estación de medición PM₁₀, en donde también se observó el aumento en la concentración de partículas (**Figura 4**). Igualmente, el valor máximo se alcanzó entre jueves a viernes, con 107.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual triplicó las concentraciones de días anteriores. En la estación de PM₁₀, ubicada en La Uruca, el valor máximo obtenido fue 110.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que denota un incremento similar al anterior. Ambos sitios sobrepasaron la norma.

En la **Figura 5** se muestra el comportamiento en 3 sitios de monitoreo de la GAM: La Ribera de Belén en Heredia; la Estación del Ferrocarril en Cartago y la Sede

Central de la Universidad Técnica Nacional en Alajuela. En todos estos sitios, el aumento de las concentraciones entre jueves y viernes fueron de 50 a 200 % mayores que las del día anterior (23 de junio). Sin embargo, solo en Cartago se dio un incumplimiento de la norma.

A partir de estos resultados podemos concluir que este evento natural generó condiciones momentáneas de disminución en la calidad del aire, principalmente el día 25 de junio del 2020. Desde el punto de vista de afectación a la salud, estos aumentos en las concentraciones de partículas respirables pudieron ocasionar problemas respiratorios a la población vulnerable. Tomando este fenómeno como ejemplo, es importante que las instituciones competentes fortalezcan la red de monitoreo de calidad del aire y promuevan el establecimiento de alertas y medidas de prevención, con el fin de proteger la salud de la población. En un futuro cercano se debe contar con información epidemiológica para hacer asociaciones del incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares con la calidad del aire. Finalmente, el impacto de este último fenómeno pudo ser menor, considerando que las medidas sanitarias de confinamiento por la Covid-19, posiblemente ayudaron a disminuir la exposición de la población a las partículas durante este evento.

Referencias

- Evan, A., Flamant, C., Gaetani, M., & Guichard, F. (2016). The past, present and future of African dust. *Nature*, 531, 493-496. <https://doi.org/10.1038/nature17149>
- Gutro, R. (2020). NASA-NOAA's Suomi NPP Satellite Analyzes Saharan Dust Aerosol Blanket. NASA's Goddard Space Flight Center: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-noaa-s-suomi-npp-satellite-analyzes-saharan-dust-aerosol-blanket>
- Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R., Kindap, T., & Pozzoli, L. (2014). The contribution of Saharan dust in PM10 concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Science of the Total Environment*, 488-489, 413-421.
- Mojena, E., Pérez, R., Ortíz, P., Ortega, A., & Rivero, A. (2006). Tormentas de Polvo del Sahara. Su impacto en el Atlántico, Mar Caribe, y el Golfo de México. *Tecnologías Espaciales, Desastres y Agricultura en Iberoamérica*, 88-93.
- NOAA. (2020). The Saharan Air Layer. NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory: <https://www.aoml.noaa.gov/saharan-air-layer/>
- Poleo, D., & Briceño, J. (2014). La intrusión de polvo del Sahara y del Sahel en la capa límite atmosférica del Mar Caribe: episodio agosto 2013. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 68-89.
- Querol, X., Tobías, A., Pérez, N., Karanasiou, A., Amato, F., Stafoggia, M., . . . Alastuey, A. (2019). Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environmental International*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.061>
- Rizzolo, J., Baboza, C., Borillo, G., Godoi, A., Souza, R., Andreoli, R., . . . Taylor, P. (2016). Mineral nutrients in Saharan dust and their potential impact on Amazon. *Atmospheric, Chemistry and Physics Discussions*, 1-43. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-557>
- Sandstrom, T., & Forsberg, B. (2008). Desert Dust: An unrecognized source of dangerous air pollution? *Epidemiology*, 19(6), 808-9.
- Van der Does, M., Korte, L., Munday, C., Brummer, G., & Stuut, J. (2016). Particle size traces modern Saharan dust transport and deposition across the equatorial North Atlantic. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-344>



Académico en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, directivo de la Sociedad Mesoamericana y del Caribe de Economía Ecológica (sergiomolina@una.ac.cr)

Pandemia, reactivación económica y calidad ambiental en Costa Rica

..... || Sergio A. Molina-Murillo ||

 La crisis de salud y económica inducida por la pandemia actual representa una oportunidad sin precedentes para ir más allá de las respuestas de emergencia, y abordar defectos estructurales de nuestras economías. Es una gran oportunidad para combatir la crisis civilizatoria, que considera la crisis económica, política, social, ambiental, y la de valores que sufre el planeta en la actualidad.

Muchos países, al igual que el nuestro, ya están dando forma al futuro por medio de sus políticas de reactivación económica y de resguardo social. Sin embargo, se corre el peligro de que dichas políticas dejen al margen la calidad ambiental con recorte de recursos ya comprometidos, un debilitamiento de la aplicación normativa, o por el redireccionamiento del financiamiento en inversiones cortoplacistas menos sustentables. Este es un momento histórico, de inflexión, y de oportunidad hacia un mundo y un país más próspero, más equitativo, y en general, más sustentable.



La pandemia provocada para el coronavirus. Fotografía: pixbay.com

En las últimas décadas, la globalización, caracterizada por la desregulación, la apertura de fronteras comerciales y la privatización, han provocado una gran expansión comercial y un progreso tecnológico que han contribuido al crecimiento económico, pero también al desequilibrio ambiental y social.

Por el lado ambiental, un reciente informe del Foro Económico Mundial (WEF, 2020) indica que estamos llegando a puntos irreversibles, poniendo en riesgo más de la mitad de los USD 44 trillones de la economía mundial. Sectores como la agricultura, la rápida expansión del

área construida y la demanda energética, amenazan gravemente la extinción de la mayoría de especies y el equilibrio de los ecosistemas en todo el mundo.

Por el lado social, recientemente, el Secretario General de las Naciones Unidas, mencionó que es un mito de que todo el mundo está en el mismo barco, porque “mientras todos estamos flotando en el mismo mar, algunos están en super yates, mientras que otros se aferran a escombros a la deriva”. En Latinoamérica se proyecta que para finales del 2020 la pobreza llegue al 37.3 %, afectando a 231 millones de personas (CEPAL, 2020).

Las personas poco calificadas son las que llevan el peso: para esta gran mayoría, el futuro es incierto si consideramos sus limitadas habilidades tecnológicas y la desaparición o el debilitamiento de organizaciones laborales que protegen sus derechos básicos.

En Costa Rica se ha experimentado por más de medio siglo un crecimiento económico, con la excepción de la crisis del petróleo en la década de 1980 y la crisis financiera del 2009 (**Figura 1**). A pesar de dicho crecimiento, se ha identificado un deterioro social, evidenciado en la distribución de los ingresos, subempleo y desempleo, y niveles de pobreza. Recientemente el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo ([PNUD, 2020](#)), señaló que con los efectos de la crisis provocada por la enfermedad COVID-19, Costa Rica deberá proteger a los grupos más vulnerables de la población y evitar el riesgo de afrontar problemas futuros ante la falta de sostenibilidad de

sus finanzas públicas. Si consideramos que en el aparato productivo compiten de manera dispar las grandes empresas con alta capacidad productiva y las pequeñas y medianas empresas con baja y dispersa productividad, la situación se torna aún más compleja ([BID, 2020](#)).

Ante el agresivo modelo neoliberal imperante, el Estado, ya debilitado, continúa perdiendo fortaleza y capacidad de cumplir sus funciones por el bien común. Por un lado, carece de capacidad para aplicar la normativa y así prevenir impactos ambientales como contaminación o pérdida de biodiversidad, e impactos sociales como condiciones injustas de trabajo. Por otro lado, el Estado concede privilegios empresariales o es laxo en la gestión fiscal, lo cual limita luego las inversiones en protección social, educación, atención sanitaria, y calidad ambiental.

Costa Rica se ha destacado con políticas ambientales progresivas y exitosas en ciertas dimensiones como el establecimiento de áreas protegidas o la producción eléctrica con fuentes renovables. No obstante, el antecedente de las últimas dos décadas evidencia un estancamiento social, una mayor deuda ecológica, y una menor calidad ambiental ([Programa Estado de la Nación, 2019](#); [Wending et al., 2020](#)). Si continuamos esa trayectoria, se crearán condiciones menos propicias para vivir y

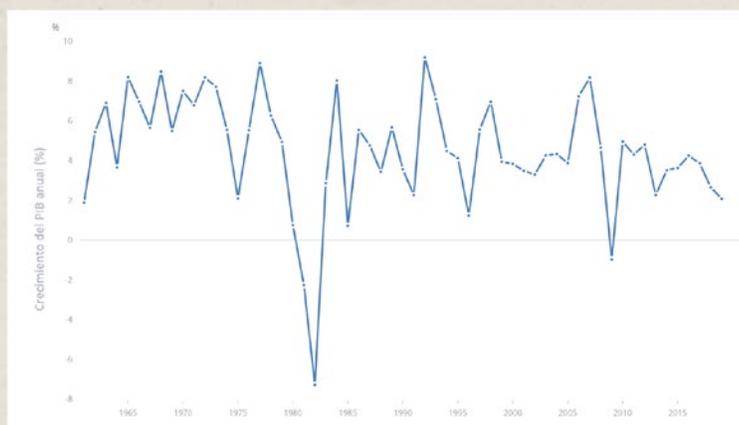


Figura 1. Tasa de crecimiento anual porcentual del PIB en Costa Rica a precios constantes de mercado en moneda local. Fuente: Datos reportados por el Banco Mundial.



Parque Solar Miravalles del Instituto Costarricense de Electricidad. Fotografía: Sergio Molina.

participar en el desarrollo próspero de nuestra nación; entonces, preocupa regresar a la vieja normalidad.

En temas forestales y de biodiversidad, destaca la creación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación con un mecanismo democrático de gobernanza regionalizado y representativo. Esta agenda fue fortalecida con instrumentos financieros como el programa de pago por servicios ambientales, un mecanismo —en su tiempo novedoso— que ha contribuido a la recuperación de la cobertura forestal de un 40 % a mediados de la década de 1990 hasta un 52.4 % en años recientes (SINAC *et al.*, 2013). Los servicios de estos ecosistemas permiten sostener el resto la sociedad costarricense. El turismo, nuestra principal exportación, es un ejemplo de ello. Un estudio de la UNA (Moreno y Villalobos, 2020), indica que de todos

los beneficios generados por los Parques y Reservas biológicas en Costa Rica (3.44 % del PIB), el 83.5 % los recibe el sector turismo. Casi todo el resto del beneficio económico lo recibe el sector hidroeléctrico (13.16 %), con agua de calidad y cantidad como insumo para su producción. Este encadenamiento es muy valioso para lograr la matriz eléctrica renovable de la cual gozamos; sin embargo, los beneficios económicos de los servicios ecosistémicos no se reciben por igual, ya que los cantones con mayor área protegida

son los que reportan los mayores índices de pobreza.

Con respecto al recurso hídrico, también hemos tenido un importante avance en términos de acceso al agua potable y la protección de acuíferos y zonas de recarga; pero el tratamiento de aguas residuales residenciales e industriales con la consecuente contaminación de aguas superficiales es un desafío (Mora y Portu-guez, 2019; Wendeling *et al.*, 2020). Digno de resaltar, es la reciente modificación de la Constitución Política para incluir el acceso al agua como un derecho humano, básico e irrenunciable, como bien esencial para la vida (Ley No. 9849).

Si miramos la calidad del suelo, aún tenemos problemas por pérdida de fertilidad, por deforestación y prácticas agropecuarias insostenibles, como el uso intensivo de agroquímicos.

Adicionalmente, tenemos un reto de ordenar el territorio urbano, primordialmente en la Gran Área Metropolitana (GAM); acá vive poco más del 60 % de la población costarricense, y el espacio ambiental de poblaciones marginales es cada vez más limitado, con impactos por ruidos, residuos, efluentes y emisiones.

La calidad del aire ha venido en disminución, también en la GAM, producto del crecimiento población y las actividades económicas. Acá resalta el transporte con combustibles fósiles y las actividades económicas como su principal causa. La Estrategia Nacional de Cambio Climático y la Política Nacional de Adaptación, así como el Plan Nacional de Descarbonización son las principales políticas para su abordaje junto con un sin número de normativas y potenciales reformas institucionales, como por ejemplo, el de la Refinadora Costarricense de Petróleo para transicionar a una economía sin petróleo. No obstante, las inversiones en monitoreo e investigación deben también fortalecerse para la toma de decisiones eficaces.

El aseguramiento a una buena calidad ambiental está cementado en la Constitución Política. Esta aboga por un ambiente sano para todos. Los padres de la patria pudieron reconocer que sin un ambiente sano no hay democracia, sin un ambiente sano vivimos al margen de una sociedad de progreso y bienestar. Sin embargo, la atención recibida en esta dimensión es con frecuencia limitada, marginal y rezagada. Lo lamentable y peligroso es que la crisis

provocada por la pandemia del COVID-19 amplifique lo que ya se veía como un panorama difícil para el ambiente.

La consecuente retracción económica producida por la pandemia está provocando de manera temporal una disminución en la contaminación y la recuperación de ciertos espacios silvestres. Empero, lo cierto es que también se han anunciado importantes recortes de recursos para financiar el programa de pago por servicios ambientales y la institucionalidad para la conservación. A esto se le suman conductas delictivas como deforestación y extracción de oro y otros bienes de áreas con cobertura forestal producto de la precaria situación económica que viven muchas familias en las zonas rurales marginales.

Esto es lamentable, ya que la economía se sustenta en una sociedad democrática y productiva, y esta sociedad no se logrará sin un ambiente sano y vital. Mucha literatura existe sobre el valor que la naturaleza nos brinda; por ejemplo, el [WWF \(2018\)](#) reportaba recientemente que la naturaleza nos brinda de manera gratuita hasta USD 125 000 millones al año en servicios ecosistémicos como agua fresca, polinización para la producción de alimentos o protección contra el cambio climático. Por tanto, es estratégico aprovechar los beneficios que nos brinda la naturaleza de manera sostenible (p.ej., [Moreno y Villalobos, 2020](#)) y al mismo tiempo generar soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar la crisis económica y climática de manera sustentable. Dichas

soluciones son con frecuencia más baratas y sustentables en comparación con soluciones alternativas.

La actual crisis presenta signos globales no experimentados desde la II Guerra Mundial y que podrán sentirse con fuerza en Costa Rica durante la próxima década, al igual como ocurrió en todo Latinoamérica durante la década perdida de 1980. Para una transición post pandemia de manera exitosa, se requiere el aseguramiento de la calidad ambiental y el bienestar social junto con la recuperación económica; por tanto, es importante revisar los débiles mecanismos de gobernanza y de incentivo productivo propuestos desde la década de 1990. También se debe fortalecer el aparato estatal y transversalizar la dimensión ambiental en todas sus instituciones. Costa Rica no puede ni debe perder esta oportunidad de invertir en una economía para la prosperidad, es un reto de desarrollo que merece la atención inmediata.

Referencias

- BID. (2020). ALC Post Covid-19. Retos y Oportunidades para países de Centroamérica, Haití, México, Panamá, y República Dominicana. <http://dx.doi.org/10.18235/0002375>
- CEPAL. (2020). Enfrentar los efectos cada vez mayores del COVID-19 para una reactivación con igualdad: nuevas proyecciones. Informe Especial COVID-19 No. 5. CEPAL, Santiago de Chile. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45782/1/S2000471_es.pdf
- Moreno, M., Villalobos, C. (2020). Análisis de las contribuciones de los Parques Nacionales y Reservas Biológicas al desarrollo socioeconómico de Costa Rica 2017. CINPE-UNA.
- Mora, D. y Portuguez, C. (2019). Agua para consumo humano por provincias y saneamiento por regiones manejados en forma segura en zonas urbanas y rurales de costa Rica al 2018. San José: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA. <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20agua%20potable%20y%20saneamiento%202019%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf>
- PNUD. (2020). Evaluación económica inicial de los efectos de COVID-19 y alcance de las opciones de política en Costa Rica., Síntesis para la discusión y el análisis de políticas. https://www.cr.undp.org/content/dam/costa_rica/docs/undp_cr_evaluacion_economica_efectos_COVID19_20.pdf
- Programa Estado de la Nación. (2019). Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. CONARE, Costa Rica. <https://estadonacion.or.cr/informes/>
- SINAC, SIREFOR & MINAE. (2013). Reporte estadístico forestal 2013/SINAC, SIREFOR,MINAE. San José: GIZ. <https://minae.go.cr/recursos/documentos/cobertura-forestal/cobertura-forestal-2010.pdf>
- World Economic Forum (2020). The Future of Nature and Business: New Nature Economy Report II. http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Future_Of_Nature_And_Business_2020.pdf
- Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A., Esty, D. C., *et al.* (2020). 2020 Environmental Performance Index. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/country/cr>
- WWF. (2018). The Living Planet Report 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland. https://wwf.panda.org/knowledge_hub/all_publications/living_planet_report_2018/



Abogada ambiental,
académica en la
Escuela de Ciencias
Ambientales,
Universidad Nacional
(maria.cajiao.jimenez@una.ac.cr)

Derecho humano de acceso al agua potable: Reforma del artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica

..... || **María Virginia Cajiao** ||

La Constitución Política de Costa Rica, establece sus propios procedimientos de reforma, diferenciando cuando se trata de una reforma parcial o una reforma general. En atención y cumplimiento de lo establecido en el artículo 195 constitucional (sobre reformas parciales), la Asamblea Legislativa conoce y aprueba en tercer debate el proyecto de ley tramitado bajo el expediente legislativo número 21 382. Dicho texto una vez aprobado, es publicado en La Gaceta del 2 de julio del 2020 bajo la Ley número 9849 que adiciona un párrafo al artículo 50 para reconocer y garantizar el derecho humano de acceso al agua potable.

Dicha reforma, data del 2002, cuando se quiso introducir en el artículo 121 de la Constitución, el rango constitucional del agua; sin embargo, muchas mociones y la advertencia de que una posible interpretación sobre el otorgamiento las concesiones de agua demoraron la discusión del proyecto. En atención a ello, se presenta una nueva propuesta de incluir un artículo 50 bis, pero por eventuales problemas de conexidad al texto original, se archiva y se elabora un nuevo proyecto de ley para reformar directamente el

artículo 50, el cual, a pesar de estar muy avanzado en sus negociaciones, cumple el plazo cuatrienal de vigencia de los expedientes legislativos debiéndose archivar.

Es así, como el 1 de mayo del 2019, se presenta el nuevo proyecto No. 21 382 con la misma intención de reconocer el derecho humano al agua, convirtiéndose hoy en ley de la República No. 9839, firmada el pasado 5 de junio del 2020 y que adiciona un último párrafo al artículo 50 constitucional.

Artículo 50. El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado.

El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes.

Toda persona tiene el derecho humano, básico e irrenunciable de acceso al agua potable, como bien esencial para la vida. El agua es un bien de la Nación, indispensable para proteger tal derecho humano. Su uso, protección, sostenibilidad, conservación y explotación se regirá por lo que establezca la ley que se creará para estos efectos y tendrá prioridad el abastecimiento de agua potable para consumo de las personas y las poblaciones.

Esta reforma constitucional cumple con el objetivo de incorporar en la Carta Magna la protección y reconocimiento del acceso al agua potable para toda la ciudadanía como un derecho humano; con la notable distinción de que dicho recurso es un bien que pertenece a la Nación, a la colectividad y que no podrá salir definitivamente de su dominio.

Bajo el capítulo de Derechos y Garantías Sociales, se incorpora el derecho fundamental e irrenunciable de acceso al agua de toda persona en condiciones adecuadas de cantidad y calidad para satisfacer las necesidades básicas. Para mayor detalle visitar: <https://www.imprentanacional.go.cr/gaceta/?date=02/07/2020>.

Normas mínimas para la presentación de artículos a *Ambientico*

1. Pertinencia de artículos

Aunque la mayoría de artículos de la revista *Ambientico* son solicitados por invitación, se podrán considerar otros artículos altamente pertinentes a la realidad ambiental nacional, y en donde las opiniones estén claramente sustentadas (usar bibliografía en los casos necesarios). De manera general se reciben artículos cortos (2 000 palabras), claros (entendibles e informativos para una audiencia general no científica), y coherentes (que el escrito siga un flujo ordenado de ideas).

2. Modo de entrega

El artículo ha de ser presentado en Word y entregado al correo ambientico@una.ac.cr

3. Tamaño, formato, elementos gráficos y separaciones internas

- El artículo no debiera exceder las 2 000 palabras.
- Escribir a espacio sencillo en letra Calibre tamaño 11.
- Cada párrafo inicia con una sangría y no requiere agregar renglones entre párrafos. Además, *Ambientico* no usa subtítulos para destacar apartados, sino que, donde claramente se cierra o suspende un tema para pasar a otro, se deja un doble espacio antes del párrafo siguiente.
- Incluir los cuadros en formato Word y no como imágenes o capturas de pantalla.
- Cada figura (fotos, ilustraciones, mapas, gráficos, etc.) puede ser incluida en el mismo documento de Word cerca de donde se espera ser presentadas, pero asegurarse de que sean en alta resolución (300 dpi o mayor a 2Mb). Enviar en Excel los gráficos elaborados en ese programa para su más fácil edición. Si las figuras —incluyendo

fotografías— no son propiedad del autor, deben indicar el nombre de la persona autora.

4. Sobre las personas autoras

- Se requiere una fotografía del rostro del autor en alta resolución (300 dpi o mínimo 2Mb).
- Solamente incluir el puesto (p. ej. Consultor independiente, Ministro de Ambiente, Profesor de economía), la organización para la que labora, y el correo electrónico.
- En caso de varias personas autoras, la anterior información debe ser provista para cada una de ellas.

5. Uso de cursivas y de comillas

Se usará cursivas —nunca negritas ni subrayado— para enfatizar conceptos. Vocablos en otras lenguas no aceptados por la Real Academia Española de la Lengua, y neologismos, han de escribirse también en cursivas. Asimismo, irán en cursivas nombres de obras de teatro y cinematográficas, de libros, de folletos, de periódicos, de revistas y de documentos publicados por separado. Capítulos de libros y artículos de publicaciones periódicas se pondrán entrecomillados.

6. Uso de números y unidades de medida

Cuando las cantidades sean escritas numéricamente ha de usarse un espacio para separar los grupos de tres dígitos (p.ej., 1 320). Para los decimales ha de usarse punto (p.ej., 1.5 ¡atención en los cuadros!). Las unidades de medida, en caso de consignarse abreviadamente, habrán de escribirse en singular y en minúsculas, y separadas por un espacio del número (p.ej., 50 % o 18.3 mm)

7. Uso de acrónimos

Los acrónimos lexicalizados que son nombres comunes (como ovni, oenegé y mipyme, por ejemplo) se escriben con todas las letras minúsculas. Los acrónimos no lexicalizados y que, por tanto, se leen destacando cada letra por separado (como UCR y EU, por ejemplo), se escriben con todas las letras mayúsculas.

8. Palabras clave

Si bien *Ambientico* no publica las palabras clave de cada artículo, se le solicitan al autor no más de cinco para usarlas en el buscador del sitio web.

9. Citas textuales

Las citas textuales, que se ruega no excedan las 40 palabras, no han de ponerse en cursivas, ni usando sangría ni en párrafo aparte, sino entrecomilladas, y entreveradas en el texto.

10. Comunicaciones personales o entrevistas

La mención en el texto de comunicaciones personales o entrevistas se hará así: luego de una apertura de paréntesis se consigna la inicial del nombre de pila del entrevistado, después se coloca un punto y, enseguida, el apellido del entrevistado. A continuación, se pone una coma y, posteriormente, la frase “comunicación personal”; luego se coloca el nombre del mes y el día, que se separa con una coma del año en que se efectuó la comunicación; finalmente, se pone el paréntesis de cierre. Ejemplo: “... (L. Jiménez, comunicación personal, septiembre 28, 1998) ...”. Las comunicaciones personales no se consignan en la sección de Referencias.

11. Notas a pie de página

Podrá usarse notas a pie de página para aclarar o ampliar información o conceptos, pero solo en los casos en que, por su longitud, esos contenidos no puedan insertarse entre paréntesis en el texto.

12. Citas bibliográficas

A partir del *Manual de la American Psychological Association (APA)* (2010), seguimos los siguientes lineamientos respecto a citación de fuentes bibliográficas. Hay dos modalidades de presentación de las referencias bibliográficas intercaladas en el texto. En una, la persona autora citada es el sujeto de la oración; en la otra, la persona autora citada, no es parte de la oración, sino que lo que es parte de la oración es solo lo dicho o aportado por ella. Ejemplo del primer caso: “... Acuña (2008) asegura que el sistema de áreas protegidas...”. Ejemplo del segundo: “... Los problemas ambientales han resultado el principal foco de conflicto (Morales, 2009)...”.

Obra con un autor

Entre paréntesis, se coloca el apellido del autor al que se hace referencia, separado por una coma del año de publicación de la obra. Ejemplo: “... (Pacheco, 1989) ...”.

Obra con más de un autor

Cuando la obra tiene dos autores, se cita a ambos, separados por la conjunción “y”. Ejemplo: “... (Núñez y Calvo, 2004) ...”.

Cuando la obra es de más de dos autores, se cita a todos en la primera referencia pero, posteriormente, solo se coloca el apellido del primer autor seguido de “*et al.*”, sin cursiva y con punto después de la contracción “*al.*”. Ejemplo: “... (Pérez, Chacón, López y Jiménez, 2009) ...” y, luego: “... (Pérez *et al.*, 2009) ...”.

Obra con autor desconocido o anónimo

Si la obra carece de autor explícito, hay que consignar en vez de él, y entre comillas, las primeras palabras del título (entre paréntesis). Ejemplo: “... (“Onu inquieta”, 2011) ...”; o, alternativamente, el nombre de la obra y, después de una coma, la fecha de publicación. Ejemplo: “... *La Nación* (2011) ...”. Solo cuando se incluye una cita textual debe indicarse la/s página/s. Ejemplo: “... (Pérez, 1999, p. 83) ...”.

13. Presentación de las obras referenciadas

Al final del artículo, debajo del subtítulo **Referencias**, habrá de consignarse todas las obras referenciadas en orden alfabético.

Libro

Primero se anotará el apellido del autor, luego, precedido de una coma, la inicial de su nombre; después, e inmediatamente luego de un punto, el año de publicación de la obra entre paréntesis; seguidamente, y en cursivas, el título de la obra; posteriormente, y después de un punto, el lugar de publicación de la obra (si la ciudad es internacionalmente conocida no hace falta señalar el país, pero, si no, solo se consigna el país), y, finalmente, antecedido por dos puntos, el nombre de la editorial. Ejemplo: Pérez, J. (1999). *La ficción de las áreas silvestres*. Barcelona: Anagrama.

Artículo contenido en un libro

En este caso, se enuncia el apellido del autor seguido de una coma, luego se pone la inicial del nombre de pila seguida de un punto; inmediatamente, entre paréntesis, la fecha. Enseguida ha de ponerse la preposición "En", y, luego, el apellido seguido de una coma y la inicial del nombre de pila del editor o compilador de la obra; indicando a continuación entre paréntesis "Ed." o "Comp.", como sea el caso; inmediatamente se señala el nombre del libro en cursivas y, entre paréntesis, las páginas del artículo precedidas por la abreviatura "p." o "pp." seguido de un punto; posteriormente, el lugar de publicación de la obra, y, antecedido por dos puntos, la editorial. Ejemplo: Mora, F. (1987). Las almitas. En Ugalde, M. (Ed.) *Cuentos fantásticos* (pp. 12-18). Barcelona: Planeta.

Artículo contenido en una revista

En este caso, se indica el apellido del autor y, luego precedido por una coma, se coloca la letra inicial de su nombre de pila; luego de un punto, y entre paréntesis, la fecha; después el título del artículo y un punto. Enseguida,

va el nombre de la revista, en cursivas; inmediatamente, se indica el número de la edición o del volumen separado por una coma de las páginas que constituyen el artículo, luego se coloca el punto final. Ejemplo: Fernández, P. (2008). Las huellas de los dinosaurios en áreas silvestres protegidas. *Fauna prehistórica* 39, 26-29.

Artículo contenido en un periódico

Si la referencia fuera a un diario o semanario, habría de procederse igual que si se tratara de una revista, con la diferencia de que la fecha de publicación se consignará completa iniciando con el año, separado por una coma del nombre del mes y el día, todo entre paréntesis. Antes de indicar el número de página, se coloca la abreviatura "p." o "pp.". Ejemplo: Núñez, A. (2017, marzo 16). Descubren vida inteligente en Marte. *La Nación*, p. 3A.

Material en línea

En caso de que el artículo provenga de un periódico o una revista en línea, se conserva el formato correspondiente y, al final, se coloca la frase "Disponible en" seguido de la dirección electrónica, sin punto al final. Ejemplo: Brenes, A. y Ugalde, S. (2009, noviembre 16). La mayor amenaza ambiental: dragado del río San Juan afecta el río Colorado y los humedales de la zona. *La Nación*. Disponible en: http://www.nacion.com/ln_ee/2009/noviembre/16/opinion2160684.html

Autores múltiples

Cuando el texto referenciado tenga dos autores, el apellido de cada uno se separa con una coma de la inicial de su nombre de pila; además, entre un autor y otro se pondrá la conjunción "y". Ejemplo: Otárola, A. y Sáenz, M. (1985). *La enfermedad principal de las vacas*. San José: Eunod.

Tratándose de tres o más autores, se coloca el apellido de cada autor separado por una coma de la inicial de su nombre de pila, luego de la que va un punto; y, entre uno y otro autor media una coma. Antes del último autor se coloca la conjunción "y". Ejemplo: Rojas,

A., Carvajal, E., Lobo, M. y Fernández, J. (1993). *Las migraciones internacionales*. Madrid: Síntesis.

Sin autor ni editor ni fecha

Si el documento carece de autor y editor, se colocará el título del documento al inicio de la cita. Al no existir una fecha, se especificará entre paréntesis “s.f.” (sin fecha). La fuente se indica anteponiendo “en”.

En caso de que la obra en línea haga referencia a una edición impresa, hay que incluir el número de la edición entre paréntesis después del título. Ejemplo: Heurístico. (s.f.). En diccionario en línea Merriam-Webster's (ed. 11). Disponible en <http://www.m-w.com/dictionary/heuristic> . Otro ejemplo: Titulares Revista Voces Nuestras. (2011, febrero 18). *Radio Dignidad*, 185. Disponible en http://www.radiodignidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=355&Itemid=44

Puede utilizarse corchetes para aclarar cuestiones de forma, colocándolos justo después del título, y poniendo en mayúscula la primera letra: [Brochure] , [Podcast de audio], [Blog], [Abstract], etcétera. Ejemplo: Cambroner, C. (2011, marzo 22). La publicidad y los cantos de sirena. *Fusil de chispa* [Blog]. Disponible en <http://www.fusildechispas.com>

También disponible desde la Escuela de Ciencias Ambientales
la publicación científica internacional



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Revista científica, internacional e
interdisciplinaria con trayectoria desde 1980



www.revistas.una.ac.cr/ambientales



revista.ambientales@una.ac.cr



UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA