














## Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), 25 años construyendo un puente al desarrollo sostenible

 Alejandro García Moya<sup>1</sup>,  Aniel Guillén Arruebarrena<sup>1</sup>,  Yoelvis Bolaños Álvarez<sup>1</sup>,  
 Yan Miguel Gallo<sup>1</sup>,  Yasser Morera Gómez<sup>2</sup>,  Yusmila Helguera Pedraza<sup>1</sup>,  
 Arianna García Chamero<sup>1</sup>,  Lisbet Díaz Asencio<sup>1</sup>,  Ángel R. Moreira González<sup>1</sup>,  
 Liana Beatriz Carballo Rosado<sup>1</sup>,  Carlos Manuel Alonso Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Carretera a Castillo de Jagua, 1,5 km Ciudad Nuclear. CP59350 Cienfuegos, Cuba.

<sup>2</sup> Instituto de Biodiversidad y Medioambiente BIOMA, Universidad de Navarra, Pamplona, España.

<sup>3</sup> Marine Environment Laboratories, Department of Nuclear Science and Application, International Atomic Energy Agency. 4 Quai Antoine 1er, 98000 Monaco, Mónaco.  
[garciamoya90@gmail.com](mailto:garciamoya90@gmail.com)

### Resumen

El Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) arribó a sus 25 años de fundado en 2024. Es un centro de investigación de referencia nacional e internacional, que contribuye con el estudio de procesos, evaluación y solución de conflictos ambientales, y a la sostenibilidad de recursos naturales, a través del uso de técnicas de avanzada y la excelencia de sus servicios analíticos, académicos, y de innovación tecnológica. En 2024 fue designado "Centro Colaborador del OIEA para la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas en el estudio de ecosistemas marino-costeros en la región de Latinoamérica y el Caribe". Esta reseña ofrece una panorámica general del trabajo y resultados fundamentales del CEAC en la aplicación de técnicas nucleares y conexas para el estudio de la vigilancia radiológica ambiental, la reconstrucción de procesos ambientales, la contaminación ambiental, la hidrología isotópica, los FANs y toxinas marinas, y el carbono azul.

**Palabras clave:** medio ambiente; Cuba; estudios marinos; contaminación; calidad ambiental.

# Cienfuegos Center for Environmental Studies (CEAC), 25 years building a bridge to sustainable development

## Abstract

The Environmental Studies Center of Cienfuegos (CEAC, in Spanish) arrived its 25<sup>th</sup> anniversary in 2024. It is a national and international reference research institution, which contributes to the study of processes, the evaluation and solution of environmental conflicts, and to the sustainability of natural resources, through the use of advanced techniques and the excellence of its analytical, academic, and technological innovation services. In 2024, was designated as an IAEA Collaborating Centre for the application of nuclear and isotopic techniques in the study of coastal-marine ecosystems in the Latin American and Caribbean region. This review offers an overview of CEAC's work and results on the application of nuclear and related techniques for the study of environmental radiological monitoring, the reconstruction of environmental processes, environmental contamination, isotope hydrology, marine toxins and HABs, and blue carbon.

*Key words: environment; Cuba; marine surveys; contamination; environmental quality.*

## Introducción

El Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) fue fundado el 3 de noviembre de 1999, como resultado de la integración del Laboratorio Algalógico de Cienfuegos y el Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Centro (LVRAC), como unidad de ciencia y técnica del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), para contribuir al estudio de los problemas ambientales del territorio cienfueguero. En el año 2024, arribó a su 25 aniversario, devenido como centro de investigación subordinado a la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), mediante las resoluciones del CITMA No. 208 del 2016 y No. 350 de 2019, respectivamente.

En su visión institucional el CEAC se proyecta como una entidad de referencia nacional e internacional, que contribuye con el estudio de procesos, evaluación y solución de conflictos ambientales, a la sostenibilidad de los recursos naturales, a través del uso de técnicas de avanzada y de la excelencia de sus servicios analíticos, académicos y de innovación tecnológica. Su accionar se dirige hacia el diseño, implementación, y ejecución de proyectos de investigación, innovación tecnológica e inversiones en sistemas medio ambientales; así como brindar servicios científico-técnicos ambientales especializados.

Entre sus áreas temáticas de investigación, están: 1) la reconstrucción temporal de procesos ambientales; 2) la contaminación ambiental; 3) la calidad de aguas naturales, residuales y de consumo humano; 4) la ecología y taxonomía de algas y cianobacterias; 5) la modelación de procesos ambientales; 6) el ordenamiento e impacto ambiental; 7) la percepción socioambiental; y 8) la inocuidad alimentaria; entre otros. Esta actividad científica se deriva de un único eje temático de investigación, enfocado hacia el estudio de problemas específicos y soluciones ambientales, a partir de la aplicación de técnicas nucleares y de avanzada, con enfoque en el manejo integrado de cuencas y áreas costeras.

Durante sus 25 años de historia y trabajo continuo en el estudio y solución de procesos ambientales utilizando técnicas nucleares y conexas, el CEAC ha sido reconocido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) como Centro de Referencia para la región de Latinoamérica y El Caribe (LAC) en la aplicación de técnicas nucleares para la solución de problemas específicos del Manejo Integrado Costero, desde el año 2007; y en junio de 2024 fue designado oficialmente como "Centro Colaborador del OIEA para la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas en el estudio de ecosistemas marino-costeros en la región de LAC".

Esta reseña pretende ofrecer una panorámica general del trabajo y resultados fundamentales que ha tenido el CEAC en la aplicación de técnicas nucleares y conexas en estudios ambientales.

## Investigación y desarrollo científico.

Desde su fundación en 1999, el CEAC ha mantenido una estrategia de desarrollo científico enfocada en ser centro de referencia en la investigación e innovación tecnológica de procesos ambientales, cubriendo estudios de la zona costera a nivel de país y la región del Gran Caribe. A partir de 2019 esta estrategia se alineó con las prioridades internacionales para el desarrollo sostenible reflejadas en la Agenda 2030 [1], así como con las políticas nacionales de desarrollo económico y social del país [2-4], y de enfrentamiento al cambio climático [5], para contextualizarla a las principales necesidades de investigación vinculadas al alcance del trabajo científico de la institución, dentro y fuera del territorio nacional.

Un sello distintivo durante todo este período ha sido la incorporación y fortalecimiento de capacidades tecnológicas y de recursos humanos en técnicas nucleares y conexas, aplicadas al estudio de problemas específicos y soluciones ambientales de cuencas y áreas costeras. El soporte fundamental para la creación y sostenibilidad de estas capacidades es la colaboración internacional, a través de proyectos anclados al programa de coope-

ración técnica del OIEA, fundamentalmente en la esfera “Agua y Medio Ambiente” [6, 7].

### 2.1. Vigilancia Radiológica Ambiental

La vigilancia radiológica ambiental es una de las actividades que la institución ha mantenido desde sus inicios como LVRAC. Esta actividad, coordinada por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), se sostiene actualmente en el marco de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental (RNVRA) como un servicio especializado que incluye el monitoreo de deposiciones atmosféricas totales, pastos y forrajes, leche de vaca, arenas de playas, tasa de dosis gamma de forma integrada con TLD [8].

Con este servicio se asegura la vigilancia ante el posible impacto de un accidente nuclear en el territorio cubano, siendo el CEAC una de las 4 postas activas en el país. Entre sus principales resultados ha estado el monitoreo ininterrumpido, desde el 2010, de los flujos de  $^{210}\text{Pb}$  y  $^7\text{Be}$ , no solo desde el punto de vista de la vigilancia radiológica ambiental, sino además como trazador de los procesos de transporte y deposición de la contaminación atmosférica [8, 9]. Adicionalmente, ha incluido el monitoreo puntual de la radiactividad en alimentos, chatarra, y materiales de la construcción.

### 2.2. Reconstrucción de procesos ambientales

La reconstrucción de procesos ambientales utilizando técnicas nucleares y conexas es una capacidad tecnológica del CEAC, que se ha implementado y fortalecido desde 2005, a través de la colaboración con el OIEA. El proyecto regional RLA/7/012<sup>1</sup>, contribuyó significativamente a consolidar las capacidades del CEAC para la determinación de radionúclidos ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , y  $^{226}\text{Ra}$ ) en sedimentos marinos, por espectrometría alfa y gamma, y a partir de ello implementar la determinación de tasas de acumulación y fechado de sedimentos [11]. Estas técnicas constituyen una valiosa herramienta para reconstruir tendencias temporales en procesos naturales y evaluar cambios antropogénicos inducidos [12 -14], constituyendo la base para una amplia gama de aplicaciones y resultados del CEAC, descritos en lo adelante [15 -19].

### 2.3. Contaminación ambiental

La contaminación ambiental es un fenómeno complejo, que demanda de un enfoque interdisciplinario para comprender su origen, destino, tendencias temporales, y efectos en los ecosistemas. El uso de técnicas de avanzada no solo permite cuantificar con precisión y veracidad sus niveles, sino que aporta valiosa información para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y gestión, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud humana.

### 2.3.1. Metales pesados

Desde hace más de dos décadas el CEAC cuenta con las técnicas para la caracterización de metales pesados en matrices ambientales. Entre ellas: la espectroscopía de absorción atómica, y la determinación directa de mercurio [20], ampliamente utilizadas en diversos estudios de agua, sedimentos marinos y biota a nivel nacional y regional [21 - 24]; la espectrometría de fluorescencia de rayos-X, utilizada para la caracterización cualitativa y cuantitativa de elementos metálicos y no metálicos en suelos, sedimentos y matrices atmosféricas [25]. Estas herramientas han sido esenciales para comprender el comportamiento, movilidad e impactos de los metales pesados y metaloides como contaminantes ambientales, con un enfoque en la seguridad e inocuidad alimentaria, además de su utilidad para la caracterización geoquímica de suelos y sedimentos.

La cooperación internacional a través del programa de cooperación técnica con el OIEA, así como el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, han sido el soporte fundamental para la financiación de proyectos y el fomento de la colaboración científica, propiciando el desarrollo, sostenibilidad y aplicación de estas capacidades analíticas en estudios ambientales. Recientemente, con el proyecto MERGE, la Secretaría de la Convención de Minamata está impulsando avances significativos en la identificación de fuentes contaminantes, cuantificación, transporte y bioacumulación del mercurio en la atmósfera, suelos y biota, a nivel de Cuba y la región del Caribe. Lo anterior contribuye con evidencia científica a evaluar la eficacia de las medidas de control implementadas bajo dicha convención a mayor escala.

### 2.3.2. Contaminantes orgánicos

Los estudios de la contaminación orgánica realizados por el CEAC, comenzaron en 2006, evaluando la contaminación por hidrocarburos, policlorobifenilos y pesticidas organoclorados en la bahía de Cienfuegos [26,27]. Estudios similares se realizaron en organismos marinos bioconcentradores como la *Perna viridis*, por constituir una potencial fuente de alimento para consumo humano, evaluando los niveles de pesticidas organoclorados, e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) [28, 29]. Este tipo de estudios no se circunscribe solo al ambiente marino, pues en el marco del proyecto PNUMA-SAICM se evaluaron compuestos orgánicos persistentes (COPs) en aire como contaminantes atmosféricos en zonas urbanas. Estas técnicas se han utilizado además para evaluar HAPs en sedimentos del Embalse Hanabanilla, una de las principales fuentes de abasto de las provincias Villa Clara y Cienfuegos [30].

<sup>1</sup> RLA/7/012 “Aplicación de técnicas nucleares en la solución de problemas específicos del Manejo Integrado de Zonas Costeras en el Caribe” (2007-2012)

<sup>2</sup> RLA/MERGE “Fortalecimiento del marco nacional de gestión para la implementación del Convenio de Minamata en Cuba, enfocados en las mediciones de las existencias de mercurio, así como en la evaluación de los sitios contaminados” (2024-2026).

<sup>3</sup> PNUMA-SAICM “Creación de capacidades para Laboratorios de COPs en Cuba” (2013-2015)

En 2018 tras el vertimiento de hidrocarburos a la bahía de Cienfuegos, provocado por la tormenta subtropical Albert, se creó un proyecto de emergencia del OIEA para dar respuesta al monitoreo ambiental de HAPs en agua y sedimentos superficiales de la bahía. En este marco se fortalecieron capacidades analíticas de Fluorimetría *in situ* y de Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS). Estas capacidades han contribuido al monitoreo de impacto ambiental de otras situaciones de emergencia, como la explosión de la Base de Supertanqueros de Matanzas en 2022, donde se evaluó la contaminación por HAPs en aire, agua, suelos y alimentos asociados al área de incidencia de las deposiciones atmosféricas.

### 2.3.3. Contaminación atmosférica

El estudio de la contaminación atmosférica es una de las líneas de trabajo que acompañaron al CEAC desde sus inicios como LVRAC. No obstante, se debilitó considerablemente durante la primera década de este siglo. En 2014, la colaboración científica internacional con la Universidad de Navarra en España contribuyó a revitalizar el Servicio Estatal para el estudio de la contaminación atmosférica en Cienfuegos. A partir de entonces, comenzaron los estudios de cuantificación y la composición química del material particulado atmosférico, siendo pioneros en Cuba en el empleo del modelo receptor *Positive Matrix Factorization* (PMF). El empleo de isótopos estables y relaciones elementales en estos estudios permitió evaluar de forma integrada la calidad del aire [31], a partir de la identificación y cuantificación del aporte de fuentes de contaminación atmosférica [32 - 36]. Estos resultados propiciaron la colaboración científica en estudios multidisciplinarios a escala global [37- 39], y nacional [40].

Una de las metodologías implementadas durante este período, fue el empleo de *Tillandsia recurvata* L. como biomonitor de la calidad del aire [41]. Al ser una especie de amplia distribución en el territorio nacional, ha sido empleada exitosamente en varias urbes cubanas como Cienfuegos y Santa Clara [42]. Esta metodología constituye una de las fortalezas incorporadas a las capacidades del CEAC para el estudio de la contaminación del aire hoy en Cuba. Su aplicación denota especial significancia ante el actual deterioro de la infraestructura disponible en el país para este tipo de estudios, sobre todo por su efectividad, sencillez, bajo costo, bajo consumo de recursos y por su aplicabilidad a amplias zonas (urbanas o rurales) en tiempos relativamente cortos.

### 2.3.4. Microplásticos

El estudio de microplásticos (MPs) es una de las temáticas incorporadas recientemente a las líneas de investigación del CEAC. Los primeros estudios sobre este contaminante iniciaron en 2016 con la identificación y cuantificación de MPs en agua de mar, sedimentos y organismos marinos en la Bahía de Cienfuegos [43, 44].

A partir de 2018, los proyectos nacionales y regionales de cooperación científica internacional con el

OIEA (RLA/7/022, RLA/7/025, CUB/7/010 y RLA/7/028), contribuyeron significativamente al fortalecimiento de capacidades científico-técnicas del CEAC para el desarrollo de esta línea de investigación. La colaboración internacional, dentro de la Red de Investigación de Estresores Marinos - Costeros en Latinoamérica y El Caribe (REMARCO), propició la integración y estandarización de protocolos regionales para el monitoreo de MPs en arenas de playa [45] y aguas marino costeras superficiales, sirviendo de antesala para potenciar esta línea de investigación en la región de LAC. Durante este período se implementó en el CEAC un proyecto nacional enfocado en el monitoreo de microplásticos entre 300  $\mu\text{m}$  y 5 mm en playas de la región centro-sur y centro-norte de la isla [46] y arrecifes de corales alrededor de la plataforma cubana. Adicionalmente se realizaron las primeras determinaciones de microplásticos en deposiciones atmosféricas [47] resultados que marcaron pauta en el estudio de este contaminante emergente en el país y la región.

Los esfuerzos en curso apuntan hacia el estudio de partículas inferiores a 300  $\mu\text{m}$ , la presencia de MPs en agua de consumo humano, el movimiento de estos contaminantes a través de las cadenas tróficas y la evaluación de tendencias temporales utilizando los sedimentos como registros ambientales.

### 2.4. Hidrología Isotópica

Desde el año 2015 el CEAC ha estado directamente involucrado al estudio y monitoreo de isótopos en las precipitaciones de Cuba, así como de sistemas hídricos de interés para el territorio Cienfueguero. Con la implementación del proyecto nacional CUB/7/009, se logró establecer una Red Nacional de Hidrología Isotópica en Precipitaciones (RNHIP) [48, 49]; y un laboratorio con capacidad para la determinación de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  en agua [50];  $\delta^{13}\text{C}$  en el carbono inorgánico disuelto [51];  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en matrices sólidas (suelo, sedimentos y material biológico) [52]; y concentración de  $^{222}\text{Rn}$  en agua [53].

Durante este período se desarrollaron herramientas para aplicar la hidrología isotópica a escala nacional y contribuir a la gestión integrada y sostenible de recursos hídricos. Entre los principales resultados alcanza-

<sup>4</sup> RLA/7/022 "Fortalecimiento de la vigilancia y respuesta regional para entornos marinos y costeros sostenibles (ARCAL CXLV)" (2018-2019)

<sup>5</sup> RLA/7/025 "Fortalecimiento de las capacidades en el manejo marino y costero mediante la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas" (2020-2023)

<sup>6</sup> CUB/7/010 "Fortalecimiento de la salud de los ecosistemas marinos para el desarrollo sostenible en Cuba: un enfoque integral mediante técnicas nucleares e isotópicas" (2020-2023)

<sup>7</sup> RLA/7/028 "Fortalecimiento de las capacidades regionales de aplicación de técnicas nucleares e isotópicas para aumentar los conocimientos sobre los factores de estrés que afectan a la gestión marina y costera sostenible (ARCAL CLXXXIX)" (2024-2027).

<sup>8</sup> CUB/7/009 "Fortalecimiento de las capacidades de hidrología isotópica para contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos en Cuba" (2016-2019)

dos: 1) se caracterizó la variabilidad espacial y temporal de la composición isotópica en las precipitaciones para Cuba [54, 55]; 2) se evaluó la incorporación de nutrientes a sistemas hídricos superficiales y subterráneos [56]; 3) se evaluaron el origen y transformaciones del nitrógeno atmosférico precipitable [57, 58]; 4) se caracterizó la composición isotópica de las precipitaciones asociadas a tormentas y ciclones tropicales en el contexto nacional y regional [59 - 61]; 5) se cartografió el potencial de radón en suelo y aguas subterráneas en una cuenca de interés territorial [62]; y 6) se desarrollaron herramientas para evaluar el origen de la salinización en aguas subterráneas [63].

## 2.5. Floraciones de Algas Nocivas y toxinas marinas

En 2009, el CEAC se vinculó a un programa regional de investigaciones en el marco del proyecto regional RLA/7/014, enfocado al diseño e implementación de Sistemas de Alerta Temprana para evaluar el potencial tóxico derivado de las Floraciones de Algas Nocivas (FANs) en países de LAC [64]. Como resultado de las experiencias durante más de 15 años de trabajo sostenido en esta línea, en el CEAC se han creado capacidades técnicas para: 1) la identificación morfológica de géneros y especies de microalgas causantes de FANs; 2) el aislamiento y cultivo de microalgas potencialmente tóxicas; 3) la extracción de toxinas y la evaluación de la toxicidad en organismos marinos mediante el Ensayo de Unión del radioligando al Receptor (r-RBA) [65]; 4) la identificación molecular de especies de microalgas y cianobacterias potencialmente tóxicas.

El r-RBA es un bioensayo funcional que utiliza toxinas marcadas con  $^3\text{H}$  como estándares. Esta técnica fue implementada y optimizada en el CEAC para el análisis primario de muestras potencialmente contaminadas con ciguatoxinas [66]. Su uso rutinario pudiera contribuir a la futura revisión y actualización de la información sobre especies marinas sometidas a regulación pesquera en Cuba. La incorporación de herramientas moleculares para la identificación de las especies de microalgas es una estrategia de fortalecimiento en curso, que contribuirá a una mejor comprensión de las interacciones ecológicas que se manifiestan en las áreas de mayor incidencia de ciguatera y, a la postre, al diseño de programas de monitoreo más efectivos que contribuyan a disminuir el riesgo asociado a esta intoxicación.

## 2.6. Carbono azul

El término carbono azul refiere a todas las formas de carbono almacenado en la biomasa y los sedimentos de ecosistemas marino-costeros [67]. Este enfoque determina la relevancia de estos hábitats como sumideros de carbono, esenciales para la captura de  $\text{CO}_2$  atmosféricos y como solución basada en naturaleza para mitigar

el cambio climático [68]. Estudios globales y regionales confirman que más del 70 % del carbono capturado por este tipo de hábitats (manglares, marismas y pastizales marinos) se encuentra almacenado en los sedimentos [69,70]. En tal sentido, y aprovechando las capacidades generadas para la reconstrucción de procesos ambientales y el estudio de los sedimentos en la zona costera, el CEAC ha definido esta como una de sus líneas temáticas de desarrollo científico.

En 2019, con la participación del CEAC en el proyecto ECOVALOR, se realizaron los primeros estudios de secuestro de carbono en sedimentos de manglares y herbazales del humedal Ciénaga de Zapata. En estos estudios se incorporaron las metodologías de Kauffman et. al. 2013 [71] y Howard et al. 2014 [72], y se integra la técnicas nucleares e isotópicas ya establecidas en el CEAC para la reconstrucción de procesos ambientales, referidas en la sección 2.1.

Este trabajo se ha potenciado recientemente con el proyecto nacional CUB/7/010, considerando su relevancia para las estrategias nacionales de adaptación y mitigación al cambio climático “Tarea Vida” [5], así como para las Contribuciones Nacionalmente Determinadas [73], y sus potencialidades para insertar a Cuba en los mercados de carbono [74]. Actualmente este esfuerzo se ha consolidado a nivel nacional, con la integración de las instituciones involucradas en el estudio, conservación y manejo de estos hábitats, a partir de la definición de una estrategia nacional para la contabilización del carbono azul en Cuba [75].

## CEAC, Centro Colaborador del OIEA

Como resultado del trabajo realizado en sus 25 años de historia, así como de los avances obtenidos, capacidades de infraestructura tecnológica y recursos humanos, en junio de 2024 el CEAC fue designado como “Centro Colaborador del OIEA para la Aplicación de Técnicas Nucleares e Isotópicas en el Estudio de Ecosistemas Costeros-Marinos en la Región de Latinoamérica y el Caribe” [76].

Este Acuerdo de Colaboración entre instituciones tiene como objetivo fundamental contribuir a la integración y fortalecimiento de las capacidades regionales, apoyando a países miembros mejorar sus capacidades, conocimientos, y habilidades para evaluar impactos antropogénicos en ecosistemas marino-costeros, y evaluar potenciales estrategias de mitigación. El papel del CEAC en este convenio será funcionar como centro regional de capacitación; contribuir con la experticia de sus especialistas para la aplicación de estas técnicas en la región; así como ofrecer sus servicios científico-técnicos especializados y de análisis de laboratorio. El plan de trabajo acordado (2024-2028), cubre diversas áreas temáticas como: el monitoreo de la acidificación

<sup>9</sup> RLA/7/014 “Diseñando e Implementando Sistemas de Alerta Temprana y Evaluación de la Toxicidad de Brotes de Algas Dañinas en la Región del Caribe, Aplicando Técnicas Nucleares Avanzadas, Evaluaciones Radioecológicas y Bioensayos (ARCAL CXVI)” (2009-2014)

<sup>10</sup> ECOVALOR “Incorporando consideraciones ambientales múltiples y sus implicaciones económicas, en el manejo de los paisajes, bosques y sectores productivos en Cuba” (2018-2024)

oceánica, la reconstrucción de procesos ambientales, la evaluación de la contaminación (metales pesados, compuestos orgánicos, y microplásticos); la eutrofización costera; la ocurrencia de FANs y la cuantificación de toxinas marinas; y el carbono azul como solución basada en naturaleza.

## Conclusiones

Durante sus 25 años de historia en el estudio y solución de procesos ambientales utilizando técnicas nucleares y conexas, el CEAC ha tenido resultados concretos sobre la base del fortalecimiento la infraestructura tecnológica institucional, no solo de la instrumentación analítica, sino también de sus recursos humanos. A día de hoy se consolida como un centro de investigación de referencia nacional e internacional, con una marcada presencia en la región de LAC, en lo concerniente a la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas en estudios ambientales y en particular en ecosistemas marino-costeros. La diversidad de temáticas que han desarrollado y mantienen hoy dentro de su campo de acción, así como el enfoque integrador del trabajo científico alineado con las prioridades nacionales e internacionales, hacen de su labor un puente al desarrollo sostenible.

## Reconocimientos

Los autores de esta reseña reconocen en especial, el aporte de todos los trabajadores y amigos del CEAC, dentro y fuera de Cuba, que han contribuido y contribuyen cada día con su accionar, a que este centro sea y se mantenga como el exitoso ejemplo del proyecto institucional de una gran familia. Reconocen en particular el significativo apoyo brindado por el OIEA y la AENTA para sustentar la actividad y desarrollo científico técnico del CEAC durante sus 25 años y para el futuro.

## Referencias bibliográficas

- [1]. Naciones Unidas. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Naciones Unidas, 2015.
- [2]. Cuba. Partido Comunista de Cuba (PCC). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. PCC, 2011.
- [3]. Cuba. Ministerio de Economía y Planificación (MEP). Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el año 2030 (PNDES 2030). MEP, 2019.
- [4]. Cuba. Partido Comunista de Cuba (PCC). Conceptualización Del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista. Lineamientos de La Política Económica y Social Del Partido y La Revolución Para El Período 2021-2026. 2020.
- [5]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Enfrentamiento al cambio climático en la República de Cuba. Tarea Vida. CITMA, 2017.
- [6]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). El programa de cooperación técnica del OIEA. Resultados en favor de la paz y el desarrollo.
- [7]. Cuba. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Marco Programático Nacional 2024-2030. CITMA-OIEA, 2024.
- [8]. WALWYN SALAS G, GONZÁLEZ MESA JE, MOLINA PÉREZ D, et. al. CPHR: 35 Años al servicio de la protección radiológica. La salud y el medio ambiente. Nucleus.2020; (67): 6-13.
- [9]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, MORERA GÓMEZ Y, CARTAS ÁGUILA H, GUILLÉN ARRUEBARRENA A. Atmospheric deposition patterns of 210Pb and 7Be in Cienfuegos, Cuba. Journal of Environmental Radioactivity. 2014; 138: 149-155. Available in: doi:10.1016/j.jenvrad.2014.08.023.
- [10]. MORERA GÓMEZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, CARTAS ÁGUILA HA. 10-Years assessment of 7Be and 210Pb in atmospheric bulk depositions in Cienfuegos (Cuba). Journal of Environmental Radioactivity. 2022; 246: 106831. Available in: doi:10.1016/j.jenvrad.2022.106831.
- [11]. SÁNCHEZ CABEZA JA, DÍAZ ASENCIO M, RUIZ FERNÁNDEZ AC. Radiocronología de sedimentos costeros utilizando 210Pb: modelos, validación y aplicaciones. Viena: OIEA, 2012.
- [12]. HU J, ZHANG G, LI K, PENG, P. Increased eutrophication offshore Hong Kong, China during the past 75 years: evidence from high-resolution sedimentary records. Marine Chemistry. 2008; 110(1-2): 7-17. Available in: doi:10.1016/j.marchem.2008.02.001.
- [13]. RUIZ FERNÁNDEZ AC, HILLAIRE MARCEL C. 210Pb-Derived ages for the reconstruction of terrestrial contaminant history in the Mexican Pacific coast: potential and limitations. Marine Pollution Bulletin. 2009; 59: 134-145.
- [14]. JIANJUN J, JIAN HUA G, YI FEI L, et. al. Environmental changes in Shamei Lagoon, Hainan Island, China: interactions between natural processes and human activities. Journal of Asian Earth Sciences. 2012; 52: 158-168.
- [15]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, PÉREZ SANTANA S, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. Historical trends in heavy metal pollution in the sediments of Cienfuegos bay (Cuba), Defined by 210Pb and 137Cs Geochronology. Nucleus. 2005; (37): 20-26.
- [16]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, DÍAZ ASENCIO M, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. Recent changes in sedimentation regime in Cienfuegos bay, Cuba, as inferred from 210Pb and 137Cs vertical profiles. Continental Shelf Research. 2006; 26: 153-167.
- [17]. DÍAZ ASENCIO M, ALONSO HERNÁNDEZ CM, BOLAÑOS ÁLVAREZ Y, et. al. One Century sedimentary record of Hg and Pb pollution in the Sagua Estuary (Cuba) derived from 210Pb and 137Cs chronology. Marine Pollution Bulletin. 2009; 59: 108-115.
- [18]. DÍAZ ASENCIO M, ALVARADO JAC, ALONSO HERNÁNDEZ CM, et. al. Reconstruction of metal pollution and recent sedimentation processes in Havana bay (Cuba): a tool for coastal ecosystem management. Journal of Hazardous Materials. 2011; 196: 402-411.
- [19]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, GARCÍA MOYA A, TOLOSA I, et. al. Stable carbon and nitrogen isotope ratios as tools to evaluate the organic matter sources and carbon burial in a tropical lagoon of the Caribbean Sea. Continental Shelf Research. 2017; 148. Available in: [10.1016/j.csr.2017.08.001](https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.08.001).
- [20]. BOLAÑOS ÁLVAREZ Y, COS NEGRET K, GUILLÉN ARRUEBARRENA A, TORRES MARTÍN A. Mercury determination method in sediment and biological tissue using direct mercury analyzer (DMA-80). Revista Cubana de Química. 2016; 28(3): 784-792.
- [21]. DÍAZ ASENCIO M, SÁNCHEZ CABEZA JA, BOLAÑOS ÁLVAREZ Y, et. al. Un siglo de sedimentación y contaminación por Hg en la desembocadura del río Sagua La Grande (Cuba). Ciencias Marinas. 2014; 40: 321-337. Disponible en: doi:10.7773/cm.v40i4.2472.
- [22]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, MARTÍN PÉREZ J, GASCO C, et. al. Vertical distribution and inventories of 239+240Pu and mercury in Sagua la Grande estuary, Cuba. Journal of Environmental Radioactivity. 2012; 112: 23-28. Available in: doi:10.1016/j.jenvrad.2012.03.004.
- [23]. OLIVARES RIEUMONT S, LIMA L, RIVERO S, et. al. Mercury levels in sediments and mangrove oysters, Crassostrea Rizophorae, from the North Coast of Villa Clara, Cuba. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2012; 88: 589-593, Available in: doi:10.1007/s00128-012-0544-8.
- [24]. BOLAÑOS ÁLVAREZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, MORABITO R, et. al. Mercury contamination of riverine sediments in the vicinity of a mercury cell chlor-alkali plant in Sagua River, Cuba. Chemosphere. 2016; 152: 376-382. Available in: doi:10.1016/j.chemosphere.2016.03.025.
- [25]. MORERA GÓMEZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, JIMÉNEZ GONZÁLEZ Y, et. al. Variabilidad anual de los flujos atmosféricos de elementos trazas y mayoritarios en Cienfuegos en los últimos 11 años (2011-2021). Universidad y Sociedad. 2022; 14.

- [26]. TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Organochlorine contamination (PCBs, DDTs, HCB, HCHs) in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*. 2010; 60: 1619-1624.
- [27]. TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Inputs and sources of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*. 2009;58: 1624-1634.
- [28]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, GÓMEZ BATISTA M, CATTINI C, VIL-LENEUVE JP. Organochlorine pesticides in green mussel, *Perna Viridis*, from the Cienfuegos bay, Cuba. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012; 89: 1.
- [29]. MIGUEL GALLO Y, GÓMEZ BATISTA M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in perna viridis in Cienfuegos bay, Cuba. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2019; 39: 139-147. Available in: doi:10.1080/10406638.2017.1293697.
- [30]. RIBOT V, DIAZ ASENCIO M, MIGUEL GALLO Y. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) acumulados en sedimentos del embalse Hanabaniilla, Villa Clara, Cuba. *Revista Infociencia*. 2018; 22(1): 1-13.
- [31]. Norma Cubana. Calidad del aire -contaminantes- concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. NC 1020:2014. 2014.
- [32]. MORERA GÓMEZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, WIDORY D, et. al. Contents, distribution and sources of lanthanoid elements in rural and urban atmospheric particles in Cienfuegos (Cuba). *Atmospheric Pollution Research*. 2020; 11(7). Available in: doi:10.1016/j.apr.2020.04.004.
- [33]. MORERA GÓMEZ Y, SANTAMARÍA JM, ELUSTONDO D, et. al. Carbon and nitrogen isotopes unravels sources of aerosol contamination at caribbean rural and urban coastal sites. *Science of The Total Environment*. 2018; 642: 723-732. Available in: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.106.
- [34]. MORERA-GÓMEZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, CARTAS ÁGUILA HA, et. al. Elucidating the sources and dynamics of PM10 aerosols in Cienfuegos (Cuba) using their multi-stable and radioactive isotope and ion compositions. *Atmospheric Research*. 2020; 243: 105038. Available in: doi:10.1016/j.atmosres.2020.105038.
- [35]. MORERA GÓMEZ Y, ELUSTONDO D, LASHERAS E, et. al. Chemical characterization of pm10 samples collected simultaneously at a rural and an urban site in the Caribbean coast: local and long-range source apportionment. *Atmospheric Environment*. 2018; 192: 182-192. Available in: doi:10.1016/j.atmosenv.2018.08.058.
- [36]. MORERA GÓMEZ Y. Chemical composition and sources of particulate matter across urban and rural sites in the Caribbean region of Cienfuegos (Cuba) [tesis de doctorado]. University of Navarra: Pamplona, Spain, 2019. Disponible en: <https://dadun.unav.edu/server/api/core/bitstreams/94d95fd8-d904-4f96-9545-910d3d380ec2/content>.
- [37]. LU L, LI L, RATHOD S, et. al. Characterizing the atmospheric Mn cycle and its impact on terrestrial Biogeochemistry. *Global Biogeochemical Cycles*. 2024; 38(4): e2023GB007967. doi:10.1029/2023GB007967.
- [38]. RATHOD SD, HAMILTON DS, NINO L, et. al. Constraining present-day anthropogenic total iron emissions using model and observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2024; 129: e2023JD040332. Available in: doi:10.1029/2023JD040332.
- [39]. WONG MY, RATHOD SD, MARINO R, et. al. Anthropogenic perturbations to the atmospheric molybdenum cycle. *Global Biogeochemical Cycles*. 2021; 35: e2020GB006787. Available in: doi:https://doi.org/10.1029/2020GB006787.
- [40]. ÁLVAREZ CRUZ A, SCHALM O, MORERA HERNÁNDEZ LE, et. al. Benchmarking low-cost particulate matter sensors: evaluating performance under controlled environmental conditions using low-cost experimental setups. *Atmosphere*. 2025; 16: 172. Available in: doi:10.3390/atmos16020172.
- [41]. MORERA GÓMEZ Y, ARMAS CAMEJO A, SANTAMARÍA JM, et. al. Chemical and C and N stable isotope compositions of three species of epiphytic tillandsia in a Caribbean coastal zone: air pollution sources and biomonitoring implications. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2024; 60: 141-161. Available in: doi:10.1080/10256016.2024.2304756.
- [42]. MORERA GÓMEZ Y, ALONSO HERNÁNDEZ CM, ARMAS CAMEJO A, et. al. Pollution monitoring in two urban areas of Cuba by using *Tillandsia recurvata* (L.) L. and top soil samples: spatial distribution and sources. *Ecological Indicators*. 2021; 126:107667. Available in: doi:10.1016/j.ecolind.2021.107667.
- [43]. GARCÍA CHAMERO A, ALONSO HERNÁNDEZ CM, CHAMERO LAGO D. First evidence of microplastics in Cienfuegos bay, Cuba. *ECOSISTEMAS*. 2020; 29(3): 2085. Available in: doi:10.7818/ECOS.2085.
- [44]. REYES NOA D. Presencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Bahía de Cienfuegos, Cuba [tesis en opción al título académico de Lic. en Biología]. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba, 2019.
- [45]. ALONSO HERNÁNDEZ CM, BARRIENTOS EE, CARRASCO PALMA D, et. al. Determinación de la abundancia de microplásticos en arenas de playa. Red de Investigación de Estresores Marino-Costeros de América Latina y el Caribe (REMARCO), 2024. Disponible en: <https://remarco.org/wp-content/uploads/2025/02/MP-P-01-Determinacion-de-Microplasticos-en-Arenas-de-Playa-FEB-2025.pdf>.
- [46]. GARCÍA VARENS MA, ALONSO HERNÁNDEZ CM, GARCÍA CHAMERO A, et. al. Assessment of microplastics particles (0.3–5 Mm) in Sandy beaches of Cuba. *Marine Pollution Bulletin* 2025; 214: 117786. Available in: doi:10.1016/j.marpolbul.2025.117786.
- [47]. PESCOYO TORRES BM, GARCÍA VAREN S M, HELGUERA M, PEDRAZA Y, MORERA GÓMEZ Y. Microplásticos en deposiciones atmosféricas en Cienfuegos, Cuba. *Universidad y Sociedad*. 2023; 15: 407-414.
- [48]. GARCÍA MOYA A, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Descripción de la Red Nacional de Hidrología Isotópica en Precipitaciones (RNHIP). *Informes Proyecto ISOAGUA*. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), 2017. p. 28;.
- [49]. GRÖNING M, LUTZ HO Z, ROLLER LUTZ M, et. al. Simple rain collector preventing water re-evaporation dedicated for d18O and d2H analysis of cumulative precipitation samples. *Journal of Hydrology*. 2012; 448-449: 195-200.
- [50]. GARCÍA MOYA A. Procedimiento para la determinación de isótopos estables ( $\delta^{18}\text{O}$  Y  $\delta^2\text{H}$ ) en aguas naturales. Cienfuegos, 2020.
- [51]. GARCÍA MOYA A. Procedimiento para la determinación de  $\delta^{13}\text{C}$  del carbono inorgánico disuelto en aguas naturales. Cienfuegos, 2022.
- [52]. CARBALLO ROSADO L. Procedimiento para la determinación de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en suelos, sedimentos, material biológico y material particulado. Cienfuegos, 2020.
- [53]. CARTAS ÁGUILA H. Procedimiento para la determinación de la concentración de actividad de Rn-222 en agua. Cienfuegos, 2020.
- [54]. GARCÍA MOYA A, ALONSO HERNÁNDEZ CM, ORTEGA L, et. al. RNHIP Data set on the isotopic composition of meteoric waters in Cuba "IsotopeDataBaseCubaPrecip10.06.2024." 2024. Available in: doi:10.6084/m9.figshare.26061526.v1.
- [55]. GARCÍA MOYA A, ALONSO HERNÁNDEZ CM, SÁNCHEZ MURILLO R, et. al. Spatiotemporal characterization of the isotopic composition of meteoric waters in Cuba. *Sci Data*. 2024; 11: 1398. Available in: doi:10.1038/s41597-024-04178-z.
- [56]. MATIATOS I, WASSENAAR LI, MONTEIRO LR, et. al. Global patterns of nitrate isotope composition in rivers and adjacent aquifers reveal reactive nitrogen cascading | communications earth & environment. *Communications Earth & Environment*. 2021;2:Available in: doi:10.1038/s43247-021-00121-x.
- [57]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Monitoring stable nitrogen and oxygen isotope compositions of nitrate in atmospheric precipitation. IAEA-TECDOC-2050. Vienna: IAEA, 2024. pp. 1-44.
- [58]. GARCÍA MOYA A, MORERA GÓMEZ Y. Evaluada la composición isotópica de los nitratos disueltos en agua de lluvia. Proyecto ISOAGUA: mejora de la gestión sostenible de los Recursos Hídricos en Cuba con el fortalecimiento de la Capacidad Nacional de Hidrología Isotópica. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC): Cienfuegos, Cuba, 2024. p. 26.
- [59]. DÍAZ PÉREZ RA. Estudio de las precipitaciones asociadas a los ciclones tropicales Elsa e Ida a partir de isótopos estables [tesis de grado]. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana (Instec-UH): La Habana, Cuba, 2022.
- [60]. SÁNCHEZ MURILLO R, DURÁN QUESADA AM, ESQUIVEL HERNÁNDEZ G, et. al. Deciphering key processes controlling rainfall isotopic variability during extreme tropical cyclones. *Nat*

- Commun. 2019; 10: 432. Available in: doi:10.1038/s41467-019-12062-3.
- [61]. SÁNCHEZ MURILLO R, HERRERA DA, FARRICK KK, et. al. Stable isotope tempestology of tropical cyclones across the North Atlantic and Eastern Pacific Ocean basins. *Annals of the New York Academy of Sciences*.2024;n/a. Available in: doi:10.1111/nyas.15274.
- [62]. CEDEÑO FERNÁNDEZ ID. Evaluación del potencial de gas radón en la cuenca hidrográfica Damují en la provincia de Cienfuegos, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”: La Habana, Cuba, 2024.
- [63]. GARCÍA MOYA A, ALONSO HERNÁNDEZ C, BOZA RAMÓN M. Evaluación de la salinización en acuíferos costeros utilizando técnicas hidroquímicas convencionales e hidrología isotópica. Caso de Estudio Acuífero CF-2, Cienfuegos, Cuba. Proyecto ISOVIDA 2022. Resultado 4, salida 4.1. Departamento de Estudios de la Contaminación Ambiental. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC): Cienfuegos, Cuba, 2022. pp. 1-23.
- [64]. REGUERA B, ALONSO R, MOREIRA GONZÁLEZ A, MÉNDEZ S. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas 2011. Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000214510\\_eng](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000214510_eng).
- [65]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Detection of harmful algal toxins using the radioligand receptor binding assay. A manual of methods. 2013.
- [66]. DÍAZ ASECIO L, CHAMERO LAGO D, ROJAS ABRAHANTES GL, et. al. Establishing a receptor binding assay for ciguatoxins: challenges, assay performance and application. *Toxins (Basel)*. 2024; 16: 60. Available in:doi:10.3390/toxins16010060.
- [67]. SHEEHY J, PORTER J, BELL M, KERR S. Redefining blue carbon with adaptive valuation for global policy. *Science of the Total Environment*. 2023; 908: 168253. Available in: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168253.
- [68]. BENNETT M, MARCH A, RAGUAIN J, FAILLER P. Blueprint for blue carbon: lessons from Seychelles for small island states. *Oceans*. 2024; 5(1): 81-108. Available in: doi:10.3390/oceans5010006.
- [69]. TAILLARDAT P, FRIESS DA, LUPASCU M. Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology Letters*. 2018; 14: 20180251. Available in: doi:10.1098/rsbl.2018.0251.
- [70]. HATJE V, COPERTINO M, PATIRE VF, et. al. Vegetated coastal ecosystems in the southwestern atlantic ocean are an unexploited opportunity for climate change mitigation. *Communications Earth & Environment*. 2023; 4(1). Available in: doi:<https://doi.org/10.1038/s43247-023-00828-z>.
- [71]. BOONE KAUFFMAN J, DONATO DC, ADAME MF. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. 2013.
- [72]. HOWARDJ, HOYT S, ISENSEE K,et. al. Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves.Tidal Salt Marshes, and Seagrasses. 2014.
- [73]. República de Cuba. Contribución Nacionalmente Determinada 3.0. Febrero, 2025. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/2025-02/REPUBLICA%20DE%20CUBA%20CND3.0.pdf>.
- [74]. GAUTREAU S & CORREA V. Blue Economies and nature-based solutions for enhanced climate action in Latin America and Caribbean small island developing states 2023. United Nations Development Programme (UNDP), 2023. Available in: <https://www.undp.org/latin-america/publications/blue-economies-and-nature-based-solutions>.
- [75]. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Fundamentos científicos para la elaboración de la hoja de ruta para contabilizar el carbono azul en Cuba. CITMA, 2024.
- [76]. MCDONALD E. IAEA’s First cuban collaborating centre for coastal and marine health. IAEA Newsletter 2024. Available in: <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaeas-first-cuban-collaborating-centre-for-coastal-and-marine-health>.

**Recibido:** 18 de septiembre de 2024

**Aceptado:** 31 de octubre de 2024

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

**Credit / Conceptualización:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Fuentes:** Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Análisis formal:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández, Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez; Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Supervisión:** Carlos Manuel Alonso Hernández. **Adquisición de fondos:** Alejandro García Moya; Carlos Manuel Alonso Hernández; Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Investigación:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández, Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Visualización:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Metodología:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández, Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Administración de proyecto:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández, Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado. **Escritura – borrador original:** Alejandro García Moya. **Redacción, revisión y edición:** Alejandro García Moya, Carlos Manuel Alonso Hernández, Aniel Guillén Arruebarrena, Yoelvis Bolaños Álvarez, Yan Miguel Gallo, Yasser Morera Gómez, Yusmila Helguera Pedraza, Arianna García Chamero, Lisbet Díaz Asencio, Ángel R. Moreira González, Liana Beatriz Carballo Rosado.