

# Sistema integrado para la vigilancia y gestión de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos, Cuba

## Integrated system for the surveillance and management of harmful algal blooms in coastal areas of the province of Cienfuegos, Cuba

Gabriel Liván Rojas-Abrahantes<sup>1\*</sup>, María Elena Castellanos-González<sup>1</sup>, Clara Elisa Miranda-Vera<sup>1</sup>, Lisbet Díaz-Asencio<sup>1</sup>, Olidia Hernández-Leyva<sup>2</sup>, Livan Rojas-Lantigua<sup>3</sup> y Ángel Ramón Moreira-González<sup>1</sup>



### RESUMEN

Las floraciones algales nocivas pueden tener consecuencias negativas en la salud, economía y diversidad biológica de los ecosistemas marinos. En la provincia de Cienfuegos, ubicada al centro-sur de Cuba, han ocurrido diferentes eventos de estas floraciones en su bahía de igual nombre, con impactos negativos en la salud pública y la economía del país, así como para la localidad. El objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema de vigilancia y gestión de esos eventos para la provincia de Cienfuegos, con vistas a disponer de mecanismos de acción intersectorial bien definidos, ante la aparición de tales microorganismos, basado en los principios del Manejo Integrado de Zonas Costeras. Durante el año 2021, se constató científicamente eventos de floraciones de las algas aludidas, por lo que se desarrolló un taller para el diseño y la propuesta de dicho sistema, utilizando el criterio de especialistas claves en la gestión de los eventos mencionados en el territorio. El sistema de vigilancia y gestión tuvo como principal característica garantizar la integración de los sectores relacionados con la problemática en la provincia. Este sistema fue dividido en cinco etapas: vigilancia, comunicación, activación del sistema, gestión directa y evaluación de impactos. En octubre de 2021, se logró implementarlo con resultados satisfactorios, tras la ocurrencia de una floración del dinoflagelado *Vulcanodinium rugosum*. Su puesta en práctica

- 1 Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba. [gabriel@ceac.cu](mailto:gabriel@ceac.cu)\*, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-8146>; [elena@gestion.ceac.cu](mailto:elena@gestion.ceac.cu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-6957>; [clarita@gestion.ceac.cu](mailto:clarita@gestion.ceac.cu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-3985>; [lisset@ceac.cu](mailto:lisset@ceac.cu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3566-2402>; [angel@gestion.ceac.cu](mailto:angel@gestion.ceac.cu); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9638-2602>
- 2 Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cienfuegos, Cuba. [olidiah@jagua.cfg.sld.cu](mailto:olidiah@jagua.cfg.sld.cu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2837-5245>
- 3 Dirección Provincial de Salud Cienfuegos, Cuba. [vdprimero@dps.cfg.sld.cu](mailto:vdprimero@dps.cfg.sld.cu); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6554-301X>

contribuyó a mitigar los impactos de las floraciones algales nocivas en diferentes sectores de desarrollo en la provincia de Cienfuegos.

**Palabras clave:** Floraciones Algales Nocivas, manejo integrado, zonas costeras, Cienfuegos, Cuba.



## ABSTRACT

Harmful algal blooms can have negative consequences on the health, economy, and biological diversity of marine ecosystems. In the province of Cienfuegos, located in south-central Cuba, different bloom events have occurred in the bay of the same name, with a negative impact on the health and economy of the locality, as well as of the country. The objective of this research project was to design and implement a surveillance and management system of these events in the province of Cienfuegos, with the purpose of having well-defined intersectoral action mechanisms for the occurrence of these microorganisms, based on the principles of Integrated Management of Coastal Zones. During 2021, bloom events of these algae were scientifically confirmed; consequently, a workshop was developed for the design and proposal of this system, using the criteria of key specialists in the management of these events in the territory. The main characteristic of the monitoring and management system was to guarantee the integration of the sectors in the province related to this problem. This system was divided into five stages: surveillance, communication, system activation, direct management, and impact assessment. In October 2021, the system was implemented with satisfactory results after a bloom of the dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum*. The implementation of this system contributed to mitigate the impacts of harmful algal blooms in different development sectors in the province of Cienfuegos.

**Keywords:** Harmful Algal Blooms, integrated management, coastal zones, Cienfuegos, Cuba.

## INTRODUCCIÓN

Las microalgas marinas son las principales contribuyentes en la generación primaria de energía y representan la base de las cadenas alimenticias en los mares. El crecimiento explosivo de las microalgas, conocido como floraciones algales, es un evento natural. Este fenómeno ayuda a mantener el desarrollo de varios elementos de la

fauna marina. No obstante, no todos esos florecimientos son beneficiosos; algunos pueden tener efectos perjudiciales en la salud humana, la acuicultura, el entorno natural y las actividades de ocio o recreación (Giussani *et al.* 2017). Tales proliferaciones son conocidas como Floraciones Algales Nocivas (FANs), término adoptado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO

y ampliamente aceptado en el nivel internacional, para referirse a cualquier propagación perjudicial de microalgas, independientemente de su densidad (Reguera *et al.* 2011).

Algunas especies de microalgas asociadas a FANs o “mareas rojas”, como comúnmente se conocen estos eventos, pueden producir compuestos tóxicos con consecuencias negativas para la salud pública, la industria pesquera, el sector turístico y los ecosistemas de las zonas donde ocurren (Anderson *et al.* 2021). Algunas microalgas marinas tóxicas causan mortalidad de peces, invertebrados y otras formas de vida marina; asimismo, otras pueden afectar a los seres humanos, ya sea por el contacto directo, la exposición a los aerosoles tóxicos o la ingestión de organismos contaminados (Sengco, 2009). Entre las principales intoxicaciones ocasionadas por la ingestión de mariscos y pescados contaminados con toxinas de microalgas marinas, se encuentran las producidas por ácido domoico (asociadas a la ASP, por sus siglas en inglés), la diarreica (DSP), la neurotóxica (NSP), la paralítica (PSP), la ocasionadas por azaspirácidos (AZP) y la ciguatera (CFP) (Anderson *et al.* 2021).

Además, la palitoxina y sus análogos se encuentran entre las toxinas marinas conocidas más tóxicas, provocadas por los dinoflagelados bénticos del género *Ostreopsis* spp. (Randall, 2005; Tartaglione *et al.* 2016). Del

mismo modo, algunas cianobacterias marinas y estuarinas son responsables de dermatitis por la producción de cianotoxinas, que se han asociado a diferentes especies (ej.: *Lyngbya majuscula* Harvey ex Gomont) y enfermedades gastrointestinales en humanos (ej.: *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault) (Moore *et al.* 1993). Finalmente, toxinas emergentes de dinoflagelados como iminas cíclicas, gimnodiminas (GYM), prorocentrólidos y espirólidos, generados por especies como *Karenia* spp., *Prorocentrum* spp. y *Alexandrium ostenfeldii* (Paulsen) Balech & Tangen, así como las pinnatoxinas (PnTX) y portiminas, procedentes de *Vulcanodinium rugosum* Nézan & Chomérat, pueden representar riesgos potenciales para la salud (Delcourt *et al.* 2019).

Por otra parte, es preciso considerar que ciertas especies de microalgas marinas no tóxicas pueden llegar a ser altamente nocivas y hasta letales para la biota marina, debido a su proliferación masiva, generalmente en áreas costeras semicerradas (Anderson *et al.* 2017). Algunas consecuencias de estas proliferaciones son el consumo del oxígeno del agua y el bloqueo o la reducción de la entrada de luz solar, con efectos devastadores para los ecosistemas, si el florecimiento es de larga duración (Van Dolah *et al.* 2001). A esto se le suma el impacto económico en las zonas donde ocurre, lo cual está relacionado, entre otras secuelas,

con el cierre de las pesquerías o de zonas turísticas-recreativas (Zohdi & Abbaspour, 2019). Debido a la globalización, el aumento de la temperatura y la tendencia humana al incremento de asentamientos costeros, se espera una subida en la intensidad, la frecuencia y el tiempo de permanencia de los eventos de FANs en los próximos años (Tester *et al.* 2020; Trainer, 2020).

La provincia de Cienfuegos, situada en el centro-sur de Cuba, contiene varios ecosistemas marinos con gran diversidad biológica. En la bahía de Cienfuegos, principal patrimonio natural de la región, ha sido frecuente la ocurrencia de FANs en los últimos años, asociadas con afectaciones a la biodiversidad, la salud pública y las actividades recreativas (Cuadro 1). Entre estos eventos, puede mencionarse una floración del dinoflagelado

*Vulcanodinium rugosum* en julio de 2015, que causó irritaciones en la piel a bañistas quienes frecuentaron algunas playas de la bahía (Moreira-González *et al.* 2021).

Floraciones del dinoflagelado *Margalefidinium polykrikoides* (Margalef) F. Gómez, Richlen & D. M. Anderson han estado asociadas a eventos de muerte de peces y otros organismos marinos en el área protegida Laguna Guanaroca, localizada en el lóbulo sur de la bahía (Moreira-González *et al.* 2016). Además, en áreas semicerradas de la bahía afectadas por la eutrofización, se han reportado floraciones de dinoflagelados tóxicos (ej.: *Heterocapsa circularisquama* Horiguchi) y no tóxicos (ej.: *Blixaea quinquecornis* (Abé) Gottschling, *Gonyaulax polygramma* F. Stein y *Prorocentrum* spp.), generalmente

Cuadro 1. Lista de eventos de Floraciones Algaes Nocivas en la bahía de Cienfuegos, Cuba, reportados en la literatura

Table 1. List of Harmful Algal Bloom events in Cienfuegos Bay, Cuba, reported in the literature

Fecha	Evento	Referencia
jul-2009	Mortalidad de peces por floración de <i>Heterocapsa circularisquama</i> en la bahía de Cienfuegos, Cuba	(Moreira-González, 2010)
ene-2014	Mortalidad de fauna marina por la floración de <i>Margalefidinium polykrikoides</i> en Laguna Guanaroca, Cienfuegos, Cuba	(Moreira-González <i>et al.</i> 2016)
jul-2015	Floración de <i>Vulcanodinium rugosum</i> en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. Provocó intoxicaciones en la piel de los bañistas.	(Moreira-González <i>et al.</i> 2021)
oct-2021	Floración de <i>Vulcanodinium rugosum</i> en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. Provocó intoxicaciones en la piel de los bañistas.	Reportado en este trabajo

relacionados con malos olores, alarma social o muerte de algunos peces (Moreira-González, 2010; Moreira-González *et al.* 2014). A su vez, históricamente los reportes de brotes de ciguatera han sido comunes en la provincia de Cienfuegos (Díaz-Asencio *et al.* 2019).

La identificación temprana de eventos de Floraciones Algales Nocivas (FANs) puede proporcionar a las autoridades reguladoras información valiosa y, de esta forma, tanto salvaguardar el bienestar de la población como minimizar los efectos económicos en las zonas de pesca y recreación. Dadas las complejas dinámicas que rodean estos fenómenos, es crucial que la vigilancia y el manejo de eventos de FANs se aborden de manera integrada y participativa, involucrando a todos los sectores de la sociedad. Con este enfoque, se podrán mitigar, notablemente, los daños potenciales de las FANs en los asentamientos costeros (Grattan *et al.* 2016; 2018).

Históricamente, los sectores de salud pública y de la ciencia han sido claves en la gestión de los eventos de FANs ocurridos en la provincia de Cienfuegos. Sin embargo, ante la ausencia de un sistema de trabajo que coordine las acciones entre aquellos y otros sectores, en ocasiones se ha evidenciado desorganización y demora en la respuesta a los sucesos ocurridos. Por lo tanto, se hace necesario establecer mejores mecanismos de integración, que permitan una respuesta

efectiva a los fenómenos mencionados y contribuyan a la mitigación de sus impactos perjudiciales en los diferentes ámbitos sociales y económicos de la provincia.

En Cuba, existen antecedentes de estudio y gestión de enfrentamiento a eventos de FAN (Gómez-Luna *et al.* 2021). No obstante, una adecuada gestión de ellos requiere atender las particularidades contextuales de cada realidad. Por lo tanto, es necesario establecer mecanismos de alerta y gestión de los sucesos de FANs en correspondencia con la situación específica de cada territorio. La finalidad de esta investigación fue diseñar e implementar un sistema para gestionar los eventos de floraciones algales nocivas en las costas de la provincia de Cienfuegos, Cuba, basado en la participación conjunta de los diferentes sectores que utilizan o gestionan los recursos en esas áreas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La provincia de Cienfuegos (Fig. 1) cuenta con numerosos asentamientos costeros dentro de su territorio político-administrativo; es la ciudad de Cienfuegos la principal concentración urbana. Esta urbe costera está situada junto a la bahía de Jagua, también conocida como la bahía de Cienfuegos, la cual es uno de sus principales atributos distintivos (Barcia-Sardiñas *et al.* 2017). La bahía es el recurso natural de

mayor valor de la provincia, debido al desarrollo de actividades como la industria, el transporte marítimo, la pesca, los parques naturales y el turismo.

La región tiene un clima tropical, con una estacionalidad húmeda y la influencia del mar. La temperatura media anual se sitúa en 24.7°C y la humedad relativa, en torno al 76%. Enero constituye el mes más fresco, con una media de 21.6°C; por su parte, julio es el mes más cálido, con 27.0°C. La precipitación

media anual es de 1 363.1 mm, con un período seco (noviembre-abril) y otro húmedo (mayo-octubre) (Castillo-Oliva & Barcia-Sardiñas, 2015).

### Bases metodológicas para el diseño de un sistema de vigilancia y gestión de FANs en la provincia de Cienfuegos

Desde el punto de vista metodológico, primeramente, los investigadores, sistematizaron, a partir de un análisis de documentos (Cortés-Cortés &

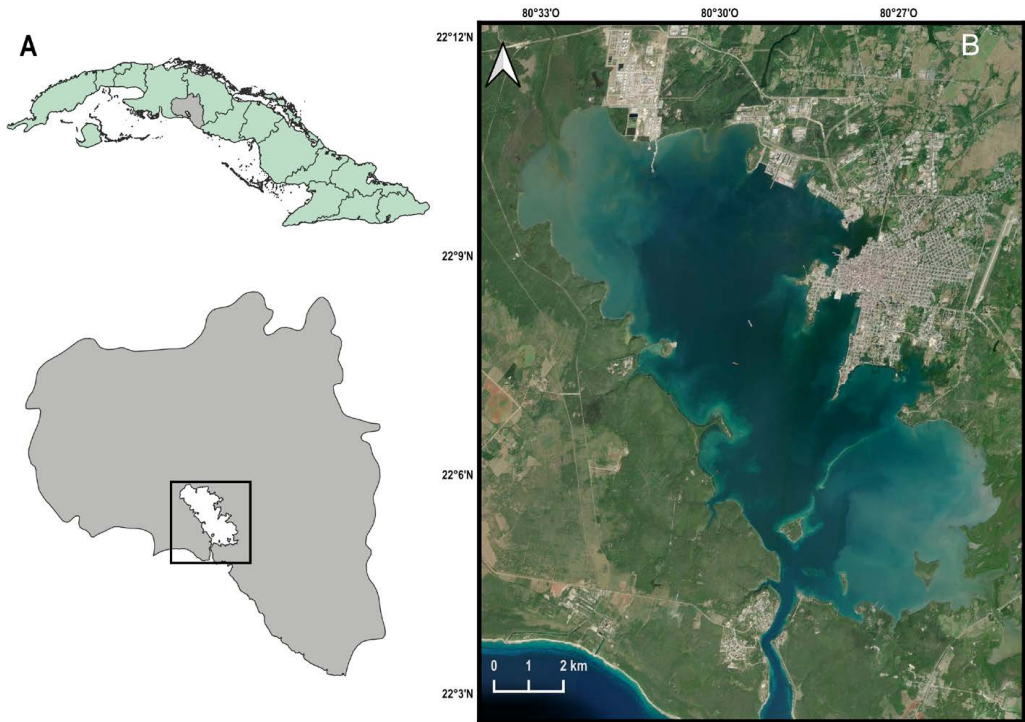


Fig. 1. Área de estudio designada para el diseño del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs, Provincia de Cienfuegos (A), ampliación de bahía de Cienfuegos (B)

Fig. 1. Study area designated for the design of the HAB event monitoring and management system, Province of Cienfuegos (A), Cienfuegos Bay extension (B)

Iglesias-León, 2004; Hernández *et al.* (2014), diversas referencias bibliográficas sobre los aspectos que debía contener un sistema de vigilancia y gestión de eventos de floraciones algales nocivas, informaciones brindadas por mapas en cuanto a localización de estos eventos en la bahía de Cienfuegos, su alcance, coloración y nocividad, según los datos de reportes realizados durante el estudio de eventos anteriores.

De igual manera, este grupo identificó y fundamentó los principios del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), acorden con Cicin-Sain *et al.* (1998), que a su vez están estrechamente relacionados con los principios del desarrollo sostenible (Abad-Salazar *et al.* 2015) y que es indispensable tener presentes en la construcción de este sistema, para darle el carácter integral y preventivo que debía caracterizarlo. Dichos principios fueron: la integración intersectorial, la integración ciencia-manejo, toma de decisiones participativa basada en una actuación racional (prevención, precaución) y de responsabilidad compartida (co-manejo, mediante la participación comunitaria).

Una vez identificados los aspectos fundamentales del sistema, así como su enfoque integrador y preventivo, fueron sometidos a criterios de especialistas, a través de un taller participativo en abril de 2021, para poner en discusión, validación y aprobación

la propuesta final del sistema (Ørngreen & Levinsen, 2017).

Para la validación, fueron seleccionados todos los especialistas posibles (un total de 11 personas) que cumplieran los siguientes requisitos:

- Ser actores claves de los sectores más importantes en la vigilancia para la gestión de eventos de FANs en la provincia como: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), específicamente, del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Subdelegación de Medio Ambiente, Oficina de Regulación y Seguridad Ambiental (ORSA), Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología (CPHEM) y Dirección Provincial de Salud del Ministerio de Salud Pública del territorio.
- Tener como mínimo 10 años de experiencia profesional en el desempeño de funciones en su sector.
- Haber participado en la gestión de los eventos de floraciones algales nocivas ocurridos con anterioridad en la provincia.

La validación del sistema diseñado, a través de este taller participativo, se constituyó en un espacio para el ejercicio de la profesión con carácter interdisciplinario, para valorar la factibilidad, aplicabilidad y viabilidad de la propuesta en las condiciones actuales del contexto.

## Procedimiento para el monitoreo durante el episodio de FANs

En octubre de 2021, ocurrió un episodio de dermatitis asociado a una floración de microalgas, en un área de baño de la bahía de Cienfuegos, por lo que se procedió al monitoreo del evento, como parte de una aplicación práctica del sistema diseñado. La floración se observó específicamente en el área de baño “Círculo Juvenil” (22.124237’ N, -80.452863’ O) y en el tramo costero aledaño popularmente conocido como “muelle de la T”

(22.123382’ N, - 80.453024’ O). El monitoreo *in situ* fue llevado a cabo por especialistas del CEAC, en conjunto con funcionarios de la inspección sanitaria estatal del Centro Provincial de Higiene y Epidemiología (CPHEM). El muestreo del fitoplancton fue realizado según la metodología propuesta por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental para el monitoreo del fitoplancton (Reguera *et al.* 2016). Los sitios de muestreo fueron ubicados y se aseguraron las coordenadas usando un GPS (Fig. 2).

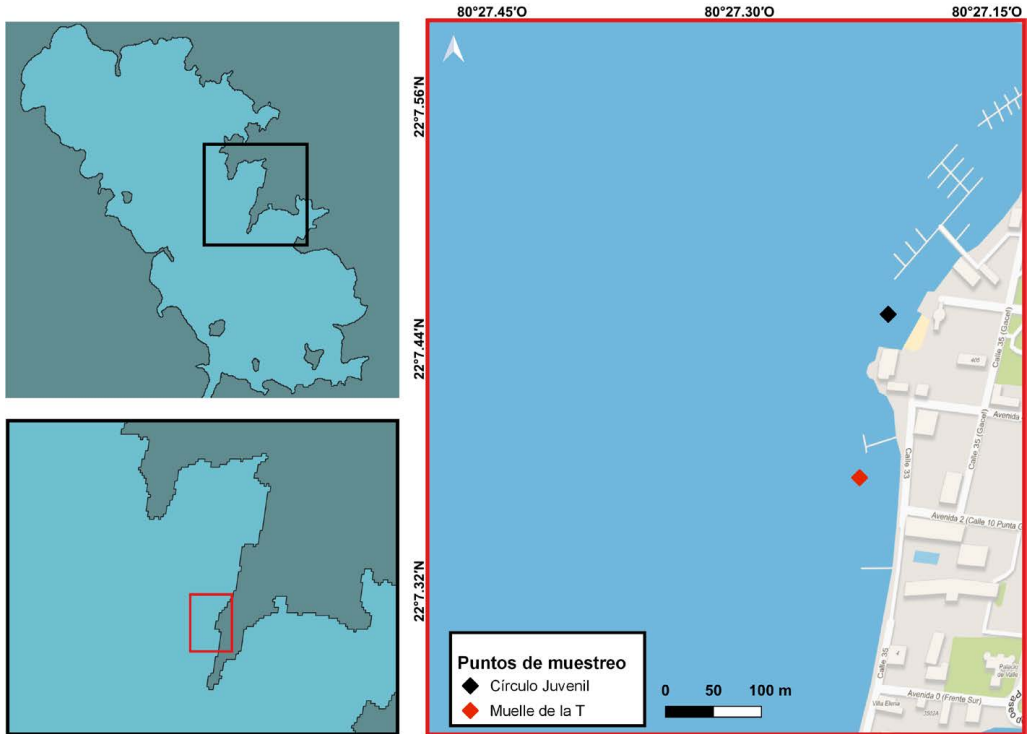


Fig. 2. Tramo costero donde ocurrió un florecimiento de algas nocivas en octubre de 2021, en bahía de Cienfuegos, Cuba

Fig. 2. Coastal segment where a harmful algal bloom occurred in October 2021, in Cienfuegos Bay, Cuba



Para el análisis cualitativo, se tomaron muestras con una red de fitoplancton de 20  $\mu\text{m}$ ; el contenido de la red se vertió a una botella y se fijó con formalina a una concentración final del 4%. Se tomaron, además, tres muestras de agua de la subsuperficie (0.5 m), utilizando frascos de 250 mL; estas fueron preservadas con 1.5 mL de Lugol neutro. Posteriormente, todas las muestras fueron transportadas y almacenadas en el laboratorio hasta el momento del análisis. Una vez en el laboratorio, la identificación y recuento de las células fitoplanctónicas se efectuó usando un microscopio invertido (Axiovert 40 CFL, Zeiss), con una magnificación de 100 x, siguiendo diversos criterios morfológicos de listas y catálogos de especies disponibles en la literatura (Espinoza *et al.* 2013; Hoppenrath, 2017; Omura *et al.* 2013).

Para llevar a cabo el análisis cuantitativo, se agitó cada muestra fijada, con el fin de homogenizar su contenido, y posteriormente se transfirió una porción de 1 mL a una cámara de conteo Sedgewick-Rafter. Este procedimiento se repitió en tres ocasiones para cada muestra. La abundancia de las células se determinó teniendo en cuenta el promedio de los conteos de las tres muestras y el volumen total, aplicando los factores de conversión volumétricos apropiados. El resultado final se expresó en células  $\text{L}^{-1}$  (cél.  $\text{L}^{-1}$ ).

Junto al análisis de las muestras biológicas se realizó una colecta del agua circundante a la floración, para determinar los valores de otras variables ambientales o parámetros fisicoquímicos de interés en el estudio del evento. Debido a la cercanía entre ambos sitios (menos de 100 m de distancia entre ellos) y por cuestiones logísticas, se colectaron muestras de aguas solamente en el “Círculo Juvenil”, al nivel subsuperficial de la columna de agua (0.5 m). Las muestras cuyo análisis no se realizó *in situ* fueron preservadas a 4°C hasta su posterior examen en el laboratorio.

Los parámetros ambientales determinados en el agua fueron: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes (amonio, nitratos, nitritos y fosfatos). Se obtuvo la salinidad y la temperatura en el sitio de muestreo, mediante el uso de una sonda digital modelo YSI-30. Para el análisis del pH, se empleó un pH-metro digital (HANNA). El oxígeno disuelto fue examinado a través del método Winkler, con las modificaciones propuestas por Carriet y Carpenter (1966). Los nutrientes se determinaron gracias a las metodologías propuestas por la UNESCO (1983) y la UNEP (1991). Toda la información obtenida a partir de estos ensayos se utilizó para complementar los análisis biológicos.

## RESULTADOS

### Sistema de vigilancia y gestión de FANs

El sistema diseñado en este trabajo para la vigilancia y gestión de eventos de FANs en la provincia de Cienfuegos es un proceso continuo, compuesto por cinco etapas: vigilancia, comunicación, activación del sistema, gestión directa del evento y evaluación de los impactos (Fig. 3). En este, se prevé la participación de todos los sectores de la sociedad, fundamentalmente, de aquellos más relacionados, como el turismo, la pesca, el Gobierno, Salud Pública, las ciencias, la prensa y las comunidades; cada uno juega un papel esencial en las diferentes etapas del proceso.

### Vigilancia, comunicación y activación del sistema

El enfoque en la vigilancia ambiental consiste en el monitoreo constante de los cuerpos de agua costeros, el cual incluye el estudio de las muestras tanto de microalgas como ambientales. Mediante la evaluación del fitoplancton, se puede identificar la presencia y concentración de microalgas potencialmente nocivas. Para cumplir este objetivo, el CITMA desarrolla proyectos y servicios científico-técnicos enfocados en el monitoreo de la bahía y el litoral costero de la provincia, El CEAC, entidad subordinada a la Delegación Territorial del CITMA en la provincia de Cienfuegos, es la responsable de llevar a cabo dichos proyectos y servicios.

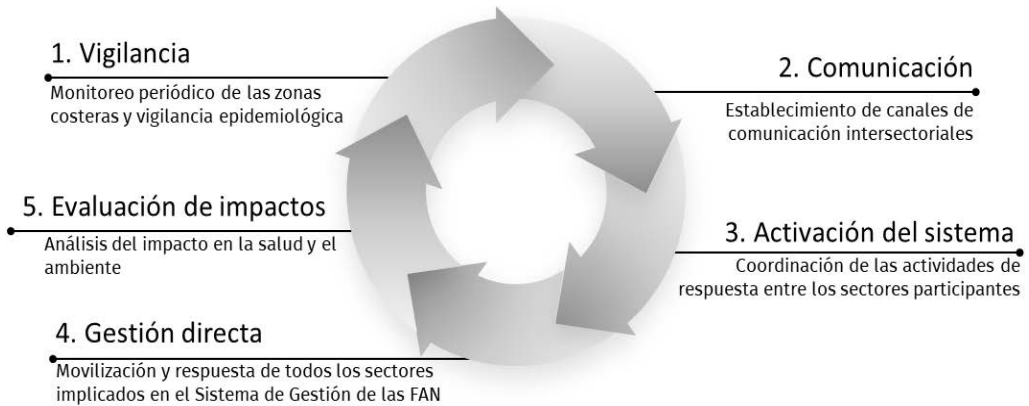


Fig. 3. Etapas del sistema de vigilancia y gestión de eventos de floraciones algales nocivas propuesto para las zonas costeras de la provincia de Cienfuegos, Cuba

Fig. 3. Stages of the monitoring and management system for harmful algal bloom events proposed for the coastal areas of province of Cienfuegos, Cuba

Otras entidades del CITMA tienen participación en la vigilancia ambiental de FANs, desempeñan un papel importante en la detección temprana de un evento de FAN en el territorio. La subdelegación de Medio Ambiente del CITMA cuenta con el departamento de Recursos Naturales, Ecosistemas Priorizados y Cambio Climático, encargado de la preservación ambiental y de áreas protegidas. Esta entidad es la responsable de la vigilancia y gestión de todas las áreas protegidas, así como de parques naturales del territorio; reporta cualquier situación adversa que ocurra, como la mortalidad de peces o cambios de coloración o viscosidad del agua en los recursos marinos, lo cual está ligado a la posible ocurrencia de un suceso de FANs.

Por su parte, la ORSA también puede verse involucrada en la vigilancia de eventos de FANs en la provincia. La misión de esta institución es asegurar el cumplimiento de las regulaciones existentes, en relación con la defensa ambiental en el país, y supervisar el cumplimiento de los acuerdos internacionales sobre protección del medio ambiente adquiridos por el Estado de Cuba. La entidad es encargada de que se cumplan las regulaciones ambientales en los movimientos portuarios, la pesca y otras actividades ligadas al uso de los recursos marino-costeros. Esto permite que a través de sus inspecciones periódicas se obtenga información sobre la posible ocurrencia de

floraciones algales. En general, ambas organizaciones (Subdelegación de Medio Ambiente y ORSA) tienen un papel fundamental en la vigilancia, la comunicación oportuna de la información sobre una posible floración algal (enlazada con afectaciones al medio ambiente y la biodiversidad marina) y la consecuente activación del sistema.

Otra forma de vigilancia la constituye la participación de las comunidades costeras, sobre todo de aquellas cuyas actividades económicas fundamentales estén ligadas al uso de los recursos marinos. Es por ello que este sistema incluye su participación como entes activos en la vigilancia ambiental. Para esto, se han realizado trabajos de intervención comunitaria, como talleres y entregas de materiales de divulgación y educación ambiental, relacionados con la identificación de eventos de FANs en las zonas costeras (AENTA, 2021).

El CPHEM es responsable de la vigilancia epidemiológica en salud pública del sistema de gestión de FAN propuesto. Cada área de salud de la provincia, incluyendo los centros hospitalarios, cuenta con un departamento de higiene y epidemiología, que concibe entre sus funciones la comunicación al CPHEM sobre cualquier evento epidemiológico detectado que se relacione con las FANs. De esta forma, se mantiene una vigilancia epidemiológica que abarca todo el territorio provincial.

Una vez detectado el evento de FAN, corresponde la etapa de comunicación interinstitucional, intersectorial o desde las comunidades costeras con las instituciones ambientales o de salud pública del territorio. Para complementar las vías comunicativas existentes (teléfono, correo electrónico) se han creado grupos de respuesta en las redes sociales (WhatsApp, Telegram y Facebook), que permiten una interacción directa entre las instituciones y con integrantes de las comunidades.

Por cualquiera de las vías antes explicadas, puede generarse una información de riesgo potencial que lleve a la activación del sistema, la cual dependerá siempre de la naturaleza de la floración y desde dónde fueron detectados los datos de riesgo. Si sucedió desde las instituciones del CITMA, los reportes siempre se enviarán a la Delegación Territorial del CITMA en la provincia, encargada de la comunicación intersectorial. En caso de que el riesgo sea descubierto por una institución de salud, los reportes siempre llegarán al CPHEM, institución con la facultad de comunicar a otros sectores como el CITMA y el Gobierno. Para la participación ciudadana en la vigilancia, se han colocado carteles con información relevante, que insten a avisar en caso de la detección de posibles eventos de FANs (cambio de coloración del agua, viscosidad, mortalidad de peces, etc.). Es importante, en esta etapa, la inmediatez de la comunicación entre los sectores involucrados, para que la

respuesta al evento sea lo más oportuna posible. Posterior a esta etapa comunicativa, el sistema se considerará activado una vez que todos los sectores involucrados hayan sido notificados y comiencen las actividades de coordinación para la gestión del evento.

### ***Gestión directa y evaluación de los impactos***

La gestión directa es una etapa compuesta por un conjunto de actividades que constituyen la movilización y respuesta de todos los actores implicados. Los pasos principales propuestos en esta etapa incluyen tomar muestras *in situ* (de microalgas y agua), determinar la especie responsable de la floración y su impacto tóxico o nocivo, evaluar el nivel de riesgo, llevar a cabo estudios epidemiológicos, si es necesario, informar al Gobierno e implementar medidas para reducir el impacto. Entre estas medidas, se encontrarán siempre la divulgación al público en general sobre la ocurrencia de la floración algal, mediante la prensa y vías alternativas de comunicación, así como la vigilancia continua del evento hasta que sea determinado el fin del estado de alerta.

Por ejemplo, si ocurriese una floración de microalgas con afectaciones para la salud humana, los sectores del CITMA (a través del CEAC) y de Salud Pública (por medio del CPHEM) serán los responsables de la supervisión y coordinación de la vigilancia y respuesta al evento (Fig. 4). La primera

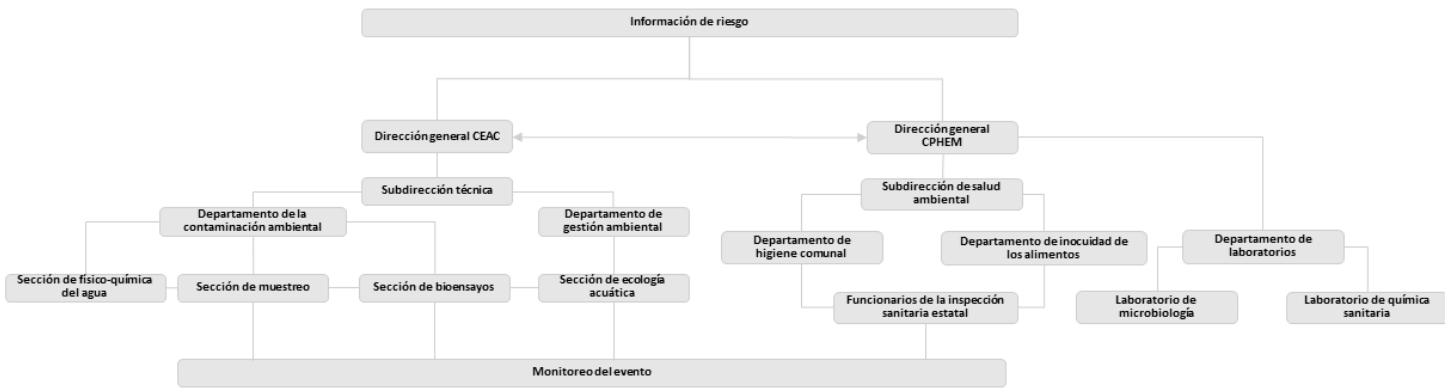


Fig. 4. Flujo de información y estructura de respuesta del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos y el Centro de Higiene, Epidemiología y Microbiología, ante un evento de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos

Fig. 4. Information flow and response structure of the Center for Environmental Studies of Cienfuegos and the Center for Hygiene, Epidemiology and Microbiology in case of a harmful algal bloom event in the province of Cienfuegos

fase de trabajo estará dirigida al monitoreo para determinar el organismo causante y las condiciones ambientales que acompañan la floración algal. Si la floración ocurrida es provocada por alguna especie tóxica (ej.: las intoxicaciones ocurridas en bañistas en el verano del 2015), será necesario un estudio epidemiológico (coordinado por el CPHEM) que permita conocer el alcance del suceso y si ha habido otras zonas afectadas en la provincia. Si el estudio arroja la presencia de otras áreas de baño o de uso de recursos costeros potencialmente afectadas por especies de FANs, debe realizarse un muestreo en cada una de ellas, en aras de definir el alcance de la floración.

Con toda la información obtenida de los muestreos iniciales, se elaborará un informe conjunto firmado por las máximas autoridades provinciales de ambos sectores (CITMA y Salud Pública), que contendrá, además, una propuesta de medidas por aplicar para mitigar los potenciales impactos negativos del evento. De forma general, las medidas son propuestas por especialistas del CEAC, los cuales tienen mayor experiencia con casos de FANs entre las instituciones ambientales, y por personal del CPHEM, máxima institución reguladora de higiene y epidemiología en la provincia. Tales datos serán presentados a las autoridades del Gobierno, que determinará las acciones por seguir. El gobierno provincial o municipal (según el alcance y

la magnitud del evento) será la entidad encargada de ejecutar las medidas propuestas. Una vez implementadas las medidas de mitigación, se debe mantener un monitoreo periódico del evento cuya frecuencia dependerá del tipo de floración ocurrida, lo cual será determinado por especialistas del CEAC y del CPHEM. Este monitoreo periódico es preciso mantenerlo hasta que la floración desaparezca. A medida que se vaya monitoreando el evento, nuevas medidas o acciones correctivas podrán ir proponiéndose al Gobierno, así como la modificación de las ya implementadas.

Si la especie causante de una floración no tiene efecto demostrado en la salud, el CPHEM no participaría en la gestión directa del evento; sin embargo, los canales de comunicación entre ambas entidades (CEAC-CPHEM) deben mantenerse mientras perdure el estado de alerta. En estos casos, el CITMA sería el responsable de la respuesta a lo ocurrido y desde la Delegación Territorial se enviará toda la información necesaria a las autoridades locales para que se implementen medidas de mitigación.

Una vez terminado el estado de alerta tras la ocurrencia de un evento de FANs es importante hacer una evaluación de sus impactos en la salud pública y el ecosistema, así como del funcionamiento práctico del sistema propuesto. Esto permitirá definir el alcance real del acontecimiento en la

sociedad y evaluar la relevancia de las medidas de mitigación aplicadas. Por otra parte, posibilitará perfeccionar el propio sistema de gestión, a partir de las experiencias adquiridas en cada evento de FAN.

### ***Aplicación práctica del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs en la provincia de Cienfuegos***

Durante un evento de FANs en el territorio, ocurrido el 7 de octubre de 2021, la presente propuesta de sistema se implementó de forma práctica. La puesta en práctica del sistema permite la evaluación de cada una de sus etapas y la identificación de posibles mejoras en los mecanismos de comunicación intersectoriales, por lo que se considera que el sistema sugerido estará en constante perfeccionamiento. En este caso, el sistema se activó, tras la detección por instituciones de Salud Pública, de un brote de intoxicaciones dérmicas en bañistas (muchos de ellos niños) en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. La comunicación de las instituciones de salud implicadas (fundamentalmente, el Hospital pediátrico de la ciudad) al CPHEM fue casi inmediata, lo cual forma parte del Sistema de Vigilancia de Salud de la provincia y para lo que se utilizan canales comunicativos bien establecidos y prácticos (L. Rojas-Lantigua, comunicación personal, 17 de marzo de 2022). El contacto entre el CPHEM y el CITMA se dio tras un periodo aproximado de 24 h, en este caso, mediante

llamada telefónica directa entre los directores de cada entidad. Es de notar que los eventos de FANs en las áreas de baño de la ciudad de Cienfuegos son relativamente nuevos, han ido intensificándose en los últimos años (Moreira-González *et al.* 2021), pero aún no existe una conciencia social sobre el peligro que esto trae consigo, a pesar de que se han realizado algunas actividades como exposiciones y talleres al respecto. Por otro lado, Cienfuegos es una ciudad turística, por lo que muchos foráneos suelen desconocer la existencia de tales eventos.

Tras una reunión de emergencia, el CITMA, a través del CEAC y en conjunto con el CPHEM, realizó el muestreo en las áreas de baño reportadas el 8 de octubre y los resultados estuvieron listos en 24 h, por lo que se redactó y envió al Gobierno el informe conjunto CITMA-Salud Pública, en un tiempo total de 48 h, hecho que posibilitó la toma y aplicación de las acciones de mitigación de manera rápida y precisa. En este caso, el suceso de FANs estuvo bien localizado y no ocupaba una gran extensión, por lo que prohibir el acceso a las áreas afectadas y mantener la vigilancia clínica, epidemiológica y ambiental fueron las medidas fundamentales acordadas. Esto limitó los casos de intoxicaciones dérmicas en el área durante la presencia del florecimiento.

Los tramos costeros visiblemente afectados por el florecimiento los

constituían la playa conocida como “Círculo Juvenil” y el tramo costero aledaño a la sede de la delegación territorial del CITMA, conocido como “Muelle de la T”. En el área “Círculo Juvenil”, se observaron cambios de color del agua (color carmelita-naranja) en los extremos de la playa más cercanos a la orilla, con una extensión aproximada de 20 metros a lo largo de la línea costera y 10 metros hacia el mar. En el tramo costero del “Muelle de la T”, las modificaciones de color del agua (naranja) fueron más intensas, aunque la extensión de la floración fue menor, aproximadamente 6 metros a lo largo de la línea costera y 5 metros hacia el mar.

### Descripción de la floración

Los resultados obtenidos tras el muestreo inicial arrojaron que se trataba de un florecimiento causado por el dinoflagelado tóxico *Vulcanodinium rugosum*, con una concentración media de  $7.40 \times 10^5$  cél.  $L^{-1}$  en “Círculo Juvenil” y de  $2.67 \times 10^6$  cél.  $L^{-1}$  en el tramo costero del “Muelle de la T”. Se

observó la presencia de otros géneros de dinoflagelados como *Prorocentrum micans* Ehrenberg y *P. rathymum* A. R. Loeblich III, Sherley & R. J. Schmidt, en el orden de  $10^3$  cél.  $L^{-1}$ . Respecto a los parámetros físico-químicos del agua, la salinidad registró un valor de 28.28 UPS y la temperatura de 30°C. Las concentraciones de nutrientes (P- $PO_4$ , N- $NO_2$ , N- $NO_3$ , N- $NH_4$ ) fueron bajas de forma general con valores siempre inferiores a  $1.61 \mu\text{Mol/L}$  (Cuadro 2).

### Elaboración de informe conjunto

Con los resultados iniciales obtenidos, se conformó un informe conjunto entre CITMA y Salud Pública que fue enviado a las autoridades del gobierno provincial. Este propuso como medidas de mitigación el cierre de las áreas de baño afectadas y mantener la vigilancia clínica, epidemiológica y ambiental, para decidir nuevos mecanismos protectores en conjunto con la máxima dirección de la provincia. Por su parte, el Gobierno aprobó lo propuesto y autorizó su implementación inmediata.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de calidad del agua en el área afectada por el evento de FANs ocasionado por el dinoflagelado *Vulcanodinium rugosum* en octubre de 2021, en la bahía de Cienfuegos

Table 2. Results of water quality analyses in the area affected by the HABs event caused by the dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum* in October 2021, in Cienfuegos Bay

Indicadores	pH (u)	T (°C)	Sal. (UPS)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Sat OD (%)	P- $PO_4$ ( $\mu\text{Mol/L}$ )	N- $NO_2$ ( $\mu\text{Mol/L}$ )	N- $NO_3$ ( $\mu\text{Mol/L}$ )	N- $NH_4$ ( $\mu\text{Mol/L}$ )
Valores	7.51	30	28.28	1.6	2.2	113	< 1.61	< 0.36	< 1.0	< 0.71



Además, los medios de comunicación locales como la radio y la televisión informaron sobre la incidencia del evento. Las áreas de recreación/turismo, empresas y comercios establecidos en las cercanías de las áreas de baño afectadas fueron alertados y contribuyeron con la difusión de la alerta entre los posibles bañistas que acudían al lugar, aún no enterados de la presencia del evento de FANs. La ocurrencia de fuertes lluvias en la provincia solo tres días después de detectar la floración de *V. rugosum* incitó su disipación rápida y, con ello, el CITMA estableció el fin del estado de alerta, tras un muestreo de comprobación realizado posterior a las lluvias. Con el estado de alerta finalizado, las autoridades del Gobierno levantaron las medidas impuestas sobre el cierre de las áreas de baño afectadas.

## DISCUSIÓN

Este trabajo aporta una herramienta para la gestión con carácter integrador de un importante problema ambiental, económico y social, el cual se ha intensificado en todo el planeta (Wells *et al.* 2015). El sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs propuesto fue elaborado teniendo en cuenta el enfoque de Manejo Integrado de Zonas Costeras y se consideraron los principios que lo rigen, orientan y caracterizan. Uno de estos principios

reflejados es el comanejo, pues se ha reconocido que la zona costera no puede ser gestionada exitosamente sin la cooperación y participación de los usuarios del recurso (Abad-Salazar *et al.* 2015). Según Miranda-Vera *et al.* (2019), en la provincia se ha evidenciado dicho principio en otras experiencias relacionadas con el cambio climático y la contaminación, donde se ha integrado a los integrantes de las comunidades en la gestión de los recursos costeros. El sistema aquí sugerido incluye y confiere un peso importante a esta inclusión comunitaria en todas sus etapas, aunque su participación más activa sería durante la vigilancia ambiental, dado que los usuarios de los cuerpos de agua intervendrían en la generación de los posibles datos de riesgo y el estado de alerta (Borbor-Córdova *et al.* 2018).

Principios del MIZC se ven reflejados claramente en el sistema propuesto, entre ellos, la integración intersectorial, ya que se prevé la participación de diferentes sectores de uso económico, político y social en la zona costera y la armonización entre estos, al responder a un potencial evento de FAN ocurrido en el territorio provincial. Actualmente, en la práctica se ha logrado una sinergia muy trascendente entre los sectores ciencia (CITMA), salud pública y gobierno provincial, con resultados muy favorables en la gestión de los últimos sucesos de FANs ocurridos en la provincia. Sin

embargo, falta aún trabajar en la inclusión más activa de otros sectores claves como las comunidades, la pesca, el turismo y la prensa local. La integración del conocimiento científico es también un principio del MIZC, fundamental en el estudio de las FANs y en su gestión (Loeffler *et al.* 2021). Este tipo de integración permite garantizar una investigación con enfoque inter- y multidisciplinario, como una base de la capacitación holística de profesionales en el manejo de eventos de FAN e igual como eje para el conocimiento más completo y compuesto de la realidad costera (Abad-Salazar *et al.* 2015).

Durante la gestión de un evento de FANs y con el objetivo de mitigar sus posibles efectos perjudiciales en las comunidades, la divulgación y socialización a través de la prensa es fundamental. Se puede generar un estado de alerta en la población, utilizando los distintos medios de comunicación existentes (radio, televisión, redes digitales, etc.), con el propósito de evitar el contacto directo de los habitantes y usuarios costeros con la floración algal (Rashidi *et al.* 2021). Por otra parte, las autoridades del Gobierno, a partir de la información generada desde la etapa de vigilancia y el monitoreo directo, son las encargadas de implementar medidas de control, deteniendo o limitando el uso de cuerpos de agua en la zona costera, así como ejecutando otras medidas, según la naturaleza del evento ocurrido (Grattan *et al.* 2016).

La divulgación del acontecimiento al público debe ser consistente, en especial cuando se trata de una especie perjudicial para la salud. Para ello, será fundamental la prensa provincial y deben utilizarse todos los canales de comunicación necesarios que permitan llegar a la población, con el fin de aumentar su conocimiento y comprensión del riesgo asociado al evento en cuestión (Rashidi *et al.* 2021). A los esfuerzos de la prensa se unen los propios habitantes de la zona, quienes pueden apoyar en difundir la información desde las comunidades o mediante el uso de redes digitales. Debido a ello, es sustancial potenciar la participación de este sector en todas las etapas del sistema propuesto. En la provincia de Cienfuegos, la prensa local e incluso nacional ha constituido un apoyo clave en la divulgación de los eventos de FAN y en las actividades que se realizan para su gestión en la provincia (Agencia Cubana de Noticias, 2020; Barbieri-López, 2021; Ojeda-Cabrera, 2022).

Los eventos de floraciones algales nocivas muchas veces ocurren de manera espontánea y pueden transcurrir en cualquier área con las condiciones adecuadas para el desarrollo explosivo de alguna especie. Debido a esto, la mayoría de las ocasiones es imposible predecir dónde pudiera ocurrir un evento de FANs (Griffith & Gobler, 2020); por lo tanto, se debe mantener una constante vigilancia de los cuerpos

de agua, fundamentalmente de aquellos que por sus características ambientales sean más propensos a la ocurrencia de una floración. Por otra parte, la vigilancia epidemiológica posibilita detectar brotes o casos que desde un enfoque epidemiológico podrían estar conectados a un evento de FANs (Berdalet *et al.* 2017; Grattan *et al.* 2018). Tomando en cuenta lo anterior, resulta relevante la integración entre los diferentes sectores clave de la vigilancia y el manejo de las FANs en la provincia de Cienfuegos, como son los ministerios de Ciencia y Salud Pública.

La etapa de vigilancia ambiental del sistema propuesto en este trabajo incluye la colaboración de las comunidades y empresas vinculadas al uso constante de los recursos en las zonas costeras. La provincia de Cienfuegos cuenta, en su sistema de salud pública (MINSAP), con diferentes programas de vigilancia de salud. En estos programas, existen enfermedades relacionadas con las FANs que, según el Sistema de Información Estadística del MINSAP, son de declaración obligatoria por las instituciones de salud, entre ellas, la ciguatera y brotes de intoxicaciones dérmicas relacionados con bañistas (L. Rojas-Lantigua, comunicación personal, 15 de febrero de 2022).

En la provincia de Cienfuegos, los principales eventos de FANs ocurridos se dividen en afectaciones a la salud pública (ej.: dermatitis e intoxicación por ciguatera), con los

respectivos daños colaterales a la sociedad (ej.: el turismo), y afectaciones a la fauna y biodiversidad marina, que inciden negativamente en los recursos pesqueros del territorio. Cada evento de FANs constituye una experiencia que permite ir perfeccionando los mecanismos de coordinación y respuesta conjunta de todos los sectores, en aras de armonizar la gestión integrada en la provincia. El sistema propuesto en este trabajo sienta las bases para la gestión intersectorial de los eventos de FANs, pero puede ir actualizándose y adaptándose a la realidad contextual de cada territorio de Cienfuegos u otro del país. De igual forma, se deben realizar talleres de intercambio, así como brindar educación ambiental sobre la problemática de las FANs si es que se pretende la participación e inclusión objetiva de los diferentes sectores relacionados con el uso de las zonas costeras en el sistema (Berdalet *et al.* 2017).

Vinculado con la aplicación práctica del sistema de vigilancia ante un evento de FAN (dermatitis) ocurrido en octubre de 2021, se pudo corroborar a *V. rugosum* como el agente causante. Esta especie fue responsable de un brote de intoxicación en bañistas, en el 2015, con al menos 60 hospitalizaciones, y desde entonces su presencia ha sido más frecuente en los últimos años. La especie se ha asociado a la producción de pinnatoxinas y portiminas, lo que se cree está ligado a las

intoxicaciones en los bañistas (Moreira-González *et al.* 2021).

Los resultados relacionados con la calidad del agua obtenidos durante este evento concuerdan con las condiciones estuarinas que caracterizan la bahía para ese periodo del año (Seisdedo *et al.* 2005). La salinidad de 28.28 ups fue inferior al valor detectado en el evento del verano del 2015 (34.9-35.4 UPS) (Moreira-González *et al.* 2021); sin embargo, se acerca a los valores de salinidad de crecimiento óptimo obtenidos por Abadie *et al.* (2016) en cepas de esta especie tomadas en el mar Mediterráneo (30-40 UPS). A pesar de que las concentraciones de nutrientes fueron bajas de manera general, *V. rugosum* es capaz de asimilar rápidamente las formas orgánicas de nitrógeno en el ambiente (Abadie *et al.* 2015); además, las concentraciones de amonio pudieron haber estimulado el desarrollo de la especie. La temperatura elevada (30°C) de la superficie del agua también pudo influir en el crecimiento explosivo de la especie (Moreira-González *et al.* 2021).

## CONCLUSIONES

La aplicación práctica de un sistema integrado de vigilancia y gestión de eventos de FANs en ecosistemas marinos constituye uno de los primeros pasos, en la provincia de Cienfuegos, para la armonización intersectorial en la respuesta de eventos

de FANs marinos. Durante el presente estudio, quedó evidenciado que la participación integrada de todos los sectores relacionados con las zonas costeras es esencial para el funcionamiento del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs aquí propuesto, lo que se ha evidenciado en otras experiencias vinculadas al cambio climático y la contaminación. Esto hace que resulte fundamental establecer canales de comunicación funcionales para coordinar la respuesta conjunta a dichos eventos en la provincia. La aplicación continua de tal sistema de vigilancia y gestión en futuros eventos de FANs permitirá mejorar los mecanismos de acción en cada una de sus etapas e incorporar otros actores sociales en la vigilancia y respuesta a ellos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el proyecto territorial del CITMA “Floraciones algales nocivas (FANs) en las principales playas de la provincia de Cienfuegos, centro-sur de Cuba (FANsPlayas)”, el proyecto sectorial de la AENTA “Fortaleciendo la vigilancia de FANs y la evaluación de riesgo por ciguatera en Cuba, a través del uso y desarrollo de técnicas isotópicas y nucleares (MICATIN-FANs)” y el proyecto regional RLA7025 del Organismo Internacional de Energía Atómica. Los autores agradecen el

apoyo del personal del Centro de Estudios Ambientales y del Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de la provincia de Cienfuegos, implicados en la respuesta a eventos de FANs ocurridos durante la realización del trabajo. Se agradece, también, la labor de los evaluadores en la confección de la versión final del documento.

## REFERENCIAS

- Abad-Salazar, M. A., Beatón-Soler, P. A., Angulo-Valdés, J. A., Cabrera-Hernández, J. A., Carballo-Díaz, Y., Castellanos-González, M. E., ... & Monzón-Bruguera, Y. (2015). *Manejo Integrado de Zonas Costeras en Cuba. Estado actual, retos y desafíos*. Cuba. Imagen Contemporánea.
- Abadie, E., Kaci, L., Berteaux, T., Hess, P., Sechet, V., Masseret, E., ... & Laabir, M. (2015). Effect of nitrate, ammonium and urea on growth and pinnatoxin G production of *Vulcanodinium rugosum*. *Mar. Drugs*, 13(9), 5642-5656. <https://doi.org/10.3390/md13095642>
- Abadie, E., Muguet, A., Berteaux, T., Chomé-rat, N., Hess, P., D'Orbecastel, E. R., ... & Laabir, M. (2016). Toxin and growth responses of the neurotoxic dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum* to varying temperature and salinity. *Toxins*, 8(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/toxins8050136>
- AENTA. Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada. (2021). Instruyen a pescadores de Cienfuegos contra las floraciones algales nocivas. <https://aenta.cu/instruyen-a-pescadores-de-ci-enfuegos-contra-las-floraciones-algales-nocivas>
- enfuegos-contra-las-floraciones-algales-nocivas
- Agencia Cubana de Noticias. ACN. (2020). Cienfuegos por el control de floraciones algales nocivas. <http://www.acn.cu/medio-ambiente/68935-cienfuegos-por-el-control-de-floraciones-algales-nocivas>
- Anderson, D. M., Boerlage, S. F. E. & Dixon, M. B. (2017). *Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: A guide to impacts, monitoring and management*. Francia. Sin editorial.
- Anderson, D. M., Fensin, E., Gobler, C. J., Hoeglund, A. E., Hubbard, K. A., Kullis, D. M., ... & Trainer, V. L. (2021). Marine harmful algal blooms (HABs) in the United States: History, current status and future trends. *Harmful Algae*, 102(101975), 1-37. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101975>
- Barbieri-López, D. (2021). Desarrollan proyecto contra floración de algas nocivas en la Bahía de Cienfuegos. <http://www.5septiembre.cu/desarrollan-proyecto-floracion-algas-nocivas-la-bahia-cienfuegos/>
- Barcia-Sardiñas, S., Castro-Conrado, Y., Caballero-Reyes, E., Angulo-Romero, R., Cordero-López, R., Delgado-Álvarez, R. & Viera-González, E. (2017). Estudio preliminar de la isla de calor estival de la ciudad de Cienfuegos y su relación con la forma urbana. *Rev. Cubana Meteorol.*, 23(3), 276-289.
- Berdalet, E., Tester, P. A., Chinain, M., Fraga, S., Lemée, R., Litaker, W., ... & Zingone, A. (2017). Harmful algal blooms in benthic systems: Recent progress and future research. *Oceanography*, 30(1), 36-45. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.108>
- Borbor-Córdova, M. J., Pozo-Cajas, M., Cedenno-Montesdeoca, A., Saltos, G. M., Kislik, C., Espinoza-Celi, M. E., ... &

- Torres, G. (2018). Risk perception of coastal communities and authorities on harmful algal blooms in Ecuador. *Front. Mar. Sci.*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00365>
- Carrier, D. & Carpenter, J. H. (1966). Comparison and evaluation of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater. *Jour. Mar. Res.*, 24(3), 286-318.
- Castillo-Oliva, C. S. & Barcia-Sardiñas, S. (2015). Sensaciones térmicas en la provincia Cienfuegos (Cuba). *Invest. Geográf.*, 64, 25-35. <https://doi.org/10.14198/ingeo2015.64.02>
- Cicin-Sain, B., Knecht, R. W., Jang, D. & Fisk, G. W. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management. Concept and Practices*. EE. UU. Island Press.
- Cortés-Cortés, M. E. & Iglesias-León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodologías de la Investigación*. México. Universidad Autónoma del Carmen.
- Delcourt, N., Lagrange, E., Abadie, E., Fessard, V., Frémy, J. M., Vernoux, J. P., ... & Mattei, C. (2019). Pinnatoxins' deleterious effects on cholinergic networks: From experimental models to human health. *Mar. Drugs*, 17, 425, 1-13. <https://doi.org/10.3390/md17070425>
- Díaz-Asencio, L., Clausing, R. J., Vandersea, M., Chamero-Lago, D., Gómez-Batista, M., Hernández-Albernas, J. I., ... & Bottein, M.-Y. D. (2019). Ciguatera occurrence in food-web components of a cuban coral reef ecosystem: Risk-assessment implications. *Toxins*, 11(12), 1-20. <https://doi.org/10.3390/toxins11120722>
- Espinoza, J., Amaya, O. & Quintanilla, R. (2013). *Atlas de fitoplancton marino* (1.ª ed.). El Salvador. LABTOX-UES.
- Giussani, V., Asnagli, V., Pedroncini, A. & Chiantore, M. (2017). Management of harmful benthic dinoflagellates requires targeted sampling methods and alarm thresholds. *Harmful Algae*, 68, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.07.010>
- Gómez-Luna, L., Zapata-Palanqué, A., Corona-Ochoa, Z. C., Álvarez-Arencibia, Y., Bouza-Alonso, J. A. & Eyriz-Mazar, A. (2021). Implementación de un protocolo de gestión de riesgo por presencia de ficotoxinas en la laguna de Baconao, Santiago de Cuba. *Bol. Investigaciones Mar. Cos.*, 50(1), 43-78. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2021.50.1.980>
- Grattan, L. M., Holobaugh, S. & Morris, J. G. (2016). Harmful algal blooms and public health. *Harmful Algae*, 57, 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.003>
- Grattan, L. M., Schumacker, J., Reich, A. & Holobaugh, S. (2018). Public Health and Epidemiology. In S. E. Shumway, J. M. Burkholder & S. L. Morton, (eds.), *Harmful Algal Blooms: A Compendium Desk Reference* (pp. 355-376). EE. UU. Wiley-Blackwell.
- Griffith, A. W. & Gobler, C. J. (2020). Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems. *Harmful Algae*, 91, 101590. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.008>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª ed.). México. McGrawHill.
- Hoppenrath, M. (2017). Dinoflagellate taxonomy - a review and proposal of a revised classification. *Mar. Biodivers.*, 47(2), 381-403. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0471-8>
- Loeffler, C. R., Tartaglione, L., Friedemann, M., Spielmeyer, A., Kappenstein, O. & Bodi, D. (2021). Ciguatera mini review: 21st century environmental challenges and the interdisciplinary research efforts rising to meet them.

- Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(6), 1-27. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063027>
- Miranda-Vera, C. E., Ramos-Palenzuela, M., Alomá-Oramas, R. M. & Castellanos-González, M. E. (2019). Percepción social del cambio climático. Estudio en comunidades costeras de la provincia de Cienfuegos. *Rev. Cub. Met.*, 25(1), 1-20.
- Moore, R. E., Ohtani, I., Moore, B. S., De Koning, C. B., Yoshida, W. Y., Runnegar, M. T. C. & Carmichael, W. W. (1993). Cyanobacterial toxins. *Gazz. Chim. Ital.*, 123, 329-336.
- Moreira-González, A. (2010). Dinoflagellates blooms in eutrophic zones of Cienfuegos Bay, Cuba. *Harmful Algae News*, 41, 1-2.
- Moreira-González, A., Comas-González, A., Valle-Pombrol, A., Seisdedo-Losa, M., Hernández-Leyva, O., Fernandes, L. F., ... & Mafra Jr., L. L. (2021). Summer bloom of *Vulcanodinium rugosum* in Cienfuegos Bay (Cuba) associated to dermatitis in swimmers. *Scien. Total Environ.*, 757(143782), 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143782>
- Moreira-González, A., Comas, A., Valle, A., Sosa, D. & Muñoz, A. (2016). Cochlo-dinium polykrikoides in southern Cuba during anomalous hot dry seasons. *Harmful Algae News*, 54, 3-4.
- Moreira-González, A., Seisdedo-Losa, M., Muñoz, A. & Comas-González, A. (2014). Spatial and temporal distribution of phytoplankton as indicator of eutrophication status in the Cienfuegos Bay, Cuba. *J. Integr. Coastal Zone Manage.*, 14(4), 597-609. <https://doi.org/10.5894/rgci506>
- Ojeda-Cabrera, M. (2022). Analiza Proyecto Territorial Floraciones Algas Nocivas en playas de Cienfuegos. <https://www.radiorebelde.cu/noticia/analiza-proyecto-territorial-floraciones-algas-nocivas-en-playas-de-cienfuegos-audio--20220311/>
- Omura, T., Iwataki, M., Borja, V. M., Haruyoshi, T. & Fukuyo, Y. (2013). *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Japan. Nippon Suisan Gakkaishi.
- Ørngreen, R. & Levinsen, K. (2017). Workshops as a research methodology. *Electron. J. E-Learn.*, 15(1), 70-81.
- Randall, J. E. (2005). Review of clupeo-toxism, an often fatal illness from the consumption of clupeoid fishes. *Pac. Scien.*, 59(1), 73-77. <https://doi.org/10.1353/psc.2005.0013>
- Rashidi, H., Baulch, H., Gill, A., Bharadwaj, L. & Bradford, L. (2021). Monitoring, Managing, and Communicating Risk of Harmful Algal Blooms (HABs) in Recreational Resources across Canada. *Environ. Health Insights.*, 15(38), 570-586. <https://doi.org/10.1177/11786302211014401>
- Reguera, A. R., Moreira, A. & Méndez, S. B. (2011). *Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas*. Austria. IAEA.
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira-González, A., Méndez, S. & Dechraoui-Bottein, M. (2016). *Guide for designing and implementing a plan to monitor toxin-producing microalgae* (2.<sup>a</sup> ed.). Austria. UNESCO & IAEA.
- Seisdedo, M., Castellanos, M. E. & Muñoz, A. (2005). Propuesta de integración de los resultados del programa de monitoreo hidrológico de la bahía de Cienfuegos al manejo integrado de las zonas costeras (MIZC). *Rev. Invest. Mar.*, 26(1), 73-78.
- Sengco, M. (2009). Mitigation of effects of harmful algal blooms. In E. S. Sandra & E. Gary (eds.), *Shellfish Safety and Quality* (pp. 175-199).

- EE. UU. Woodhead Publishing Series in Food Science. <https://doi.org/10.1533/9781845695576.2.175>
- Tartaglione, L., Dell'Aversano, C., Mazzeo, A., Forino, M., Wieringa, A. & Ciminiello, P. (2016). Determination of Palytoxins in Soft Coral and Seawater from a Home Aquarium. Comparison between Palythoa- and Ostreopsis-Related Inhalatory Poisonings. *Environ. Scien. Technol.*, 50(2), 1023-1030. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05469>
- Trainer, V. L. (Ed.) (2020). *GlobalHAB: Evaluating, Reducing and Mitigating the Cost of Harmful Algal Blooms: A Compendium of Case Studies*. Canadá. Pices Scientific Report.
- Tester, P. A., Litaker, R. W. & Berdalet, E. (2020). Climate change and harmful benthic microalgae. *Harmful Algae*, 91(101655). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101655>
- UNEP. (1991). *Standard chemical methods for marine environmental monitoring*. Austria. IOC & IAEA.
- UNESCO. (1983). *Chemical methods for use in marine environmental monitoring*. Austria. IOC & IAEA.
- Van Dolah, F. M., Roelke, D. & Greene, R. M. (2001). Health and ecological impacts of harmful algal blooms: Risk assessment needs. *Hum. Ecol. Risk Assess.*, 7(5), 1329-1345. <https://doi.org/10.1080/20018091095032>
- Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S. O., Trick, C. G., Kudela, R. M., ... & Cochlan, W. P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, 49, 68-93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.07.009>
- Zohdi, E. & Abbaspour, M. (2019). Harmful algal blooms (red tide): a review of causes, impacts and approaches to monitoring and prediction. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 16(3), 1789-1806. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2108-x>