

¿Es un sueño un sistema de alerta para mareas rojas?

Cotsikayala **Pacheco Ramírez**

Mi primer encuentro cercano con el mar y todas sus peculiaridades fue en 2007, cuando finalmente tomé la decisión de mudarme a Puerto Ángel, Oaxaca, para estudiar biología marina en la Universidad del Mar. Aprendí a distinguir los cambios que experimenta el mar a través de las estaciones del año, las tormentas, los huracanes, el estiaje, e incluso llegué a comprender el arduo trabajo de los pescadores ribereños. Durante esos años, descubrí que el color del mar puede cambiar a lo largo del tiempo y variar entre diferentes playas. Al vivir a pocos minutos del mar, se volvió fácil para mí identificar cuándo el olor del mar era diferente y cuándo cambiaba de color.

Los profesores de la universidad se referían a las manchas de color en el mar como “mareas rojas”, y explicaban que dicho color cambia según los componentes biológicos presentes en el agua. En particular, señalaban a las microalgas como las causantes de este cambio repentino. Aunque yo, inexperto en el tema, intentaba en vano ver dichas algas que nunca pude visualizar. Cuando ingresé al laboratorio de biología y utilicé un microscopio, por primera vez pude observar estas diminutas algas, moviéndose y viviendo con otras especies en comunidades en una sola gota de agua. A partir de ese día, observé incansablemente a través del microscopio, durante más de 4 años, un mundo que se ocultaba a simple vista, recordando las palabras que alguna vez leí en el libro *Cazadores de microbios*.

Después de vivir 12 años en la porción sur del Pacífico mexicano, llegué a comprender que las mareas rojas son conocidas para las comunidades. Cuando las playas se visten con este fenómeno, se convierten en el parque de diversiones para las prácticas de buceo durante el día, incluyendo pruebas de búsqueda y rescate, y por la noche ofrecen un espectáculo impresionante de bioluminiscencia que atrae tanto a buzos como a surfistas y pobladores. Pero nunca imaginé que en otras regiones del país, como en la bahía de La Paz, este mismo evento se considera nocivo para la salud y representa un riesgo para la economía.

Las mareas rojas, conocidas científicamente como florecimientos algales nocivos (FAN), son crecimientos de algas microscópicas con potencial nocivo. Estos eventos generan cambios en las propiedades ópticas del agua, reducen los niveles de oxígeno y dañan el tejido branquial de los peces, pudiendo ser nocivos para peces y mamíferos (Anderson, 1994). Los FAN tienen el potencial de impactar la pesca ribereña y la producción acuícola de la bahía de La Paz, además de representar un riesgo para la salud humana debido al consumo de especies contaminadas con toxinas. Esto puede tener un efecto negativo en la economía regional, ya que conlleva vedas en la extracción y comercialización de productos marinos, como Núñez-Vázquez *et al.*, (2016) han documentado.

La bahía de La Paz está localizada al suroeste del Golfo de California. Desempeña un papel esencial como refugio para la conservación del tiburón ballena, una especie emblemática y en peligro de extinción. Además, la bahía cuenta con dos sitios considerados en la Convención sobre los Humedales Ramsar de importancia internacional: Humedales Mogote Ensenada y Balandra. También alberga pesquerías que son de interés económico, se encuentran especies comerciales como el huachinango, el pargo lunarejo, la cabrilla, el jurel y la pierna.

En general, la Bahía de La Paz es el escenario de importantes desarrollos turísticos, pesquerías

y maricultura y es un refugio natural de especies. Los FAN se han convertido en un problema significativo a nivel regional, de acuerdo con la revisión histórica de FAN y considerando a las empresas acuicultoras locales. Por lo tanto, es importante proteger y cuidar este ecosistema para asegurar un crecimiento sostenible.

LA RECETA IDEAL NO EXISTE

En la década de 1970, renombrados expertos en FAN a nivel mundial como Anderson, Hallegraeff, Smayda y otros autores contemporáneos, reconocían la importancia en su estudio. Desarrollaron la hipótesis de que los FAN aumentan en proporción al crecimiento poblacional, especialmente en zonas costeras (Heisler *et al.*, 2008). Hoy en día sabemos que el aumento de los FAN en regiones costeras se debe principalmente a la eutrofización, que implica un incremento desigual de los niveles de material orgánico e inorgánico en el agua (Anderson *et al.*, 2015).

En este contexto, México ha enfrentado problemas de FAN principalmente en zonas costeras densamente pobladas desde 1979, cuando se registró el primer caso documentado de impacto en la salud pública. Este incidente ocurrió en Mazatlán, Sinaloa, donde 19 personas resultaron intoxicadas por consumo de moluscos, según lo señalado por el sistema de alerta FAN (SiAT: <https://siat-cicese.mx/>). Baja California Sur, seguido de Colima y Sinaloa, son los estados más afectados en este problema de salud pública, de acuerdo con los datos recopilados por la base de datos de FAN (<http://haedat.iode.org/>) (Figura 1).

Las primeras menciones de FAN en la Bahía de La Paz datan de la década de 1970. Sin embargo, no fue sino hasta agosto de 1984 que se reportó el primer evento de mortandad de peces en la Ensenada de La Paz (Gárate-Lizárraga y colaboradores 2001). A partir de 1997, el estudio de los FAN se intensificó con reportes anuales en la bahía y regiones aledañas (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2016).

En 2023 se inició un programa piloto del sistema de alerta temprana de FAN en Baja California (SiAT). El esfuerzo estatal y la experiencia acumulada de

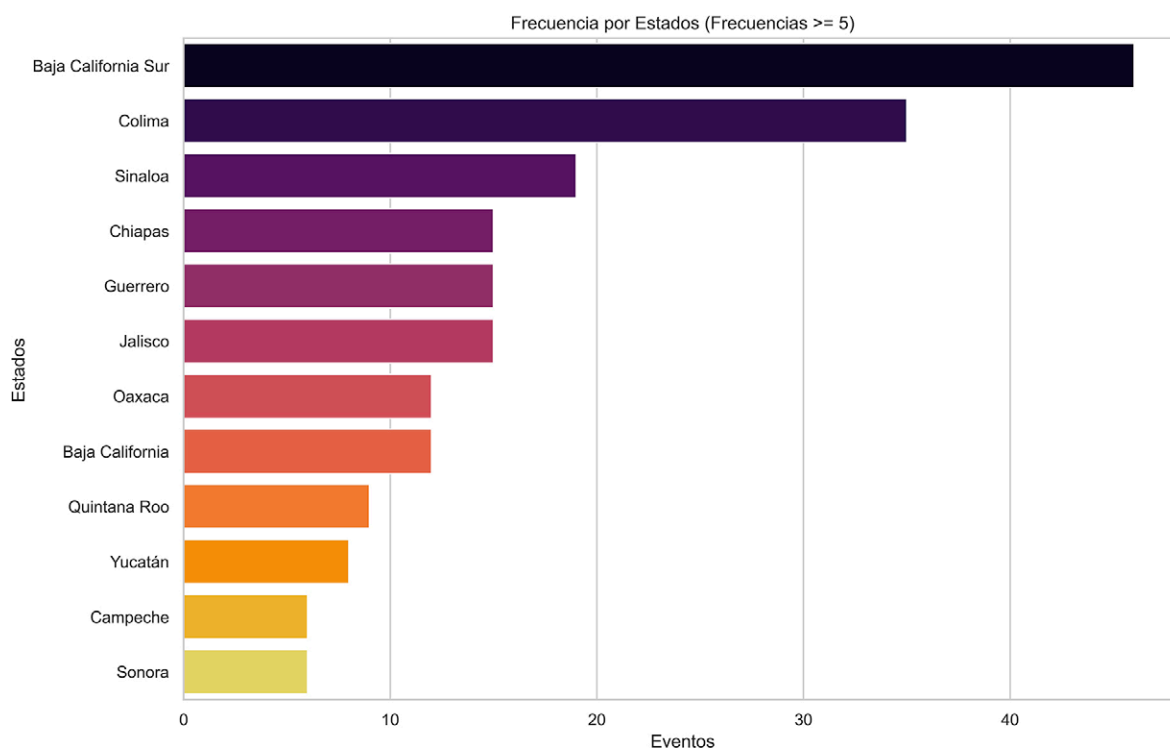


Figura 1. Frecuencia de FAN por estados con mayor incidencia. En el eje vertical se muestran los estados y en el eje horizontal se indica el número de eventos registrados.

científicos con más de 20 años de trayectoria en la región dieron frutos, convirtiéndose en recursos invaluable para enfrentar este desafío. En sus inicios, el SiAT atenderá de manera prioritaria las zonas de Ensenada-San Quintín, en el Pacífico mexicano, así como las de San Felipe y bahía de La Paz, en el Golfo de California.

La presencia de investigadores especializados en FAN resulta fundamental, ya que contribuyen activamente al desarrollo del SiAT en La Paz. En esta labor colaboran centros de investigaciones públicas, instituciones, prestadores de servicio y empresas acuicultoras. El enfoque de su trabajo se centra en monitorear sitios cercanos a La Paz para identificar especies causantes de FAN, toxinas diarreicas y paralizantes, así como pigmentos asociados.

Aunque la creación de este sistema representa una gran noticia y ha logrado un alto nivel de colaboración y madurez en la porción norte de la península, todavía queda un largo camino por recorrer en la porción sur. Sin embargo, este avance no solo contribuirá significativamente a preservar la salud del ecosistema local, sino que también traerá

beneficios a las comunidades que dependen de sus recursos marinos.

UN GRANITO DE ARENA

El SiAT ha marcado el camino para establecer un sistema con características específicas para los usuarios de la bahía de La Paz, siguiendo el ejemplo de Florida en Estados Unidos.

Este último cuenta con un sistema de alerta que se estructura en cuatro pilares fundamentales para abordar los FAN: Detección; Monitoreo y predicción; Evaluación del impacto económico y social; Prevención y control (<https://coastalscience.noaa.gov/science-areas/habs/>).

Como parte del primer pilar, que es la detección, se está llevando a cabo un estudio en el laboratorio de sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados (SERVANT). Este estudio se centra en desarrollar un sistema de alerta basado en sensores remotos para detectar FAN en etapas tempranas.

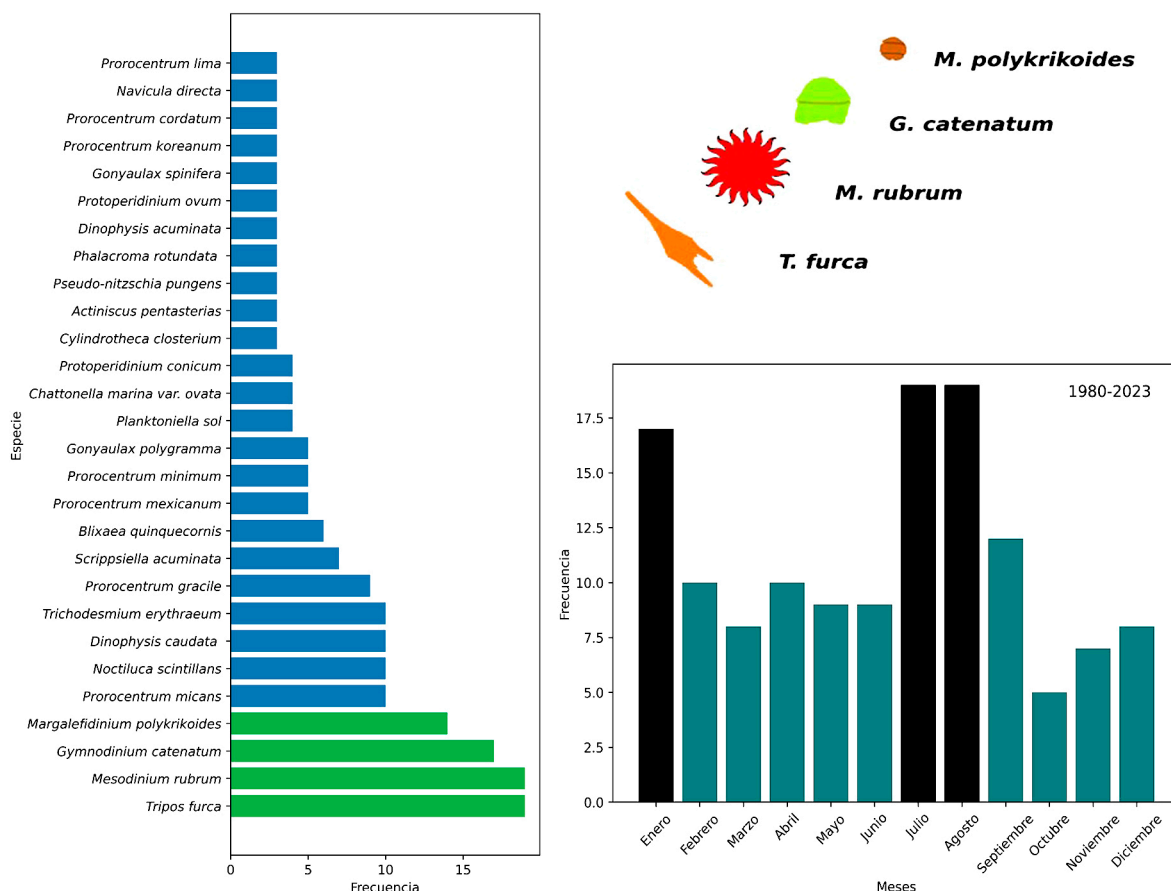


Figura 2. En el lado izquierdo se observan las 28 especies con mayor frecuencia de 1980 a 2023. Las barras en color verde son las especies con frecuencia mayor a 10 eventos. En el lado derecho, el promedio de todos los meses de 1980 a 2023. Las barras en color negro son los meses con mayor frecuencia de FAN. Datos recabados en la bibliografía, de registros oficiales COFEPRIS y análisis de laboratorio de empresas locales.

El objetivo principal es identificar las firmas espectrales de las especies responsables de los FAN y caracterizar la variabilidad ambiental para desarrollar algoritmos predictivos.

Dentro de esta metodología, como antiguamente se utilizaban las lupas para ver con gran detalle los mapas, se consideró utilizar una cámara con múltiples bandas espectrales acoplada a un dron para analizar las propiedades ópticas del mar. Porque las alteraciones de las propiedades ópticas del agua conllevan un cambio de coloración del mar, pero este cambio a veces es difícil detectar para el ojo humano.

El propósito es desarrollar una biblioteca de firmas espectrales que facilite el monitoreo del color del mar y optimizar los recursos disponibles.

Para construir el segundo pilar de las estrategias de monitoreo, es crucial desarrollar una revisión exhaustiva de todos los eventos históricos y de las especies responsables, ya que constituye la base para desarrollar detecciones específicas y dirigidas. La revisión de los eventos históricos ha develado dos aspectos claves: por un lado, que las especies persistentes son: *Tripos furca*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium catenatum* y *Margalefidinium polykrikoides*, y por el otro lado, dos patrones temporales de ocurrencia: el primero durante verano, con una concentración significativa en julio-agosto, y el segundo, en menor medida, en invierno, específicamente en enero (Figura 2).

Además, el muestreo sinóptico proporcionado por los sensores remotos aumentará significativamente la eficiencia del monitoreo de FAN en la región (Blondeau-Patissier *et al.*, 2014, Klemas 2011).



© José Kuri Breña. *Ensimismada*. Mármol negro Monterrey, 1976.



© José Kuri Breña. *Mestiza III*. Mármol negro Monterrey, 1977.

Este segundo pilar se complementa en gran medida con el muestreo de las condiciones oceanográficas. Este enfoque multidisciplinario para detectar FAN involucra a usuarios, empresas acuícolas y expertos en fitoplancton, dado que es un problema complejo en un mundo cambiante, como afirma Anderson (2005).

Aquí termina un sueño que no ha llegado a su estado más profundo, pero que se está convirtiendo en realidad para muchos científicos. Sin embargo, el camino por delante implica la construcción de los pilares restantes que integran un sistema de alerta temprana de FAN: predicción; evaluación del impacto económico y social; prevención y control. Estos desafíos marcarán el rumbo de los próximos años para los expertos en este campo.

REFERENCIAS

- Anderson CR, Moore SK, Tomlinson MC, Silke J and Cusack CK (2015). Living with Harmful Algal Blooms in a Changing World: Strategies for Modeling and Mitigating Their Effects in Coastal Marine Ecosystems. En Shroder JF, Ellis JT y Sherman DJ. (Eds.), *Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters* (pp: 495-561). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396483-0.00017-0>.
- Anderson DM (1994). Red Tides. *Scientific American* 271:52-58.
- Anderson DM (2005). The ecology and oceanography of harmful algal blooms multidisciplinary approaches to research and management. *IOC Technical Series* 74, UNESCO.
- Blondeau-Patissier D, Gower FR, Dekker AG, Phinn SR and Brando VE (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in Oceanography* 123:123-144.
- Gárate-Lizárraga I, Hernández-Orozco ML, Band-Schmidt C and Serrano-Casillas G (2001). Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). *Oceánides* 16(2):127-134.
- Gárate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G. y Okolodkov YB (2016). Florecimientos algales nocivos en la costa occidental de Baja California Sur. En García-Mendoza E, Quijano-Scheggia SI, Olivos-Ortiz A y Núñez-Vázquez EJ (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (pp: 45-59). CICESE Ensenada, México.
- Heisler J, Gilbert PM, Burkholder JM, Anderson DM, Cochlan W, Dennison WC, Dortch A, Gobler CJ, Heil CA, Humphries E, Lewitus A, Magnien R, Marshall HG, Sellner K, Stockwell DA, Stoecker DK and Suddleson M (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae* 8(1):3-13.
- Klemas V (2011). Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: an overview. *Journal of Coastal Research* 27(1):2-17.
- Núñez-Vázquez EJ, Band-Schmidt CJ, Hernández-Sandoval FE, Bustillos-Guzmán, JJ, López-Cortés DJ, Cordero-Tapia A, Heredia-Tapia A, García-Mendoza E, Peña-Manjarréz JL, Ruíz de la Torre MC y Medina-Elizalde J (2016). Impactos de los FAN en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el Golfo de California En García-Mendoza E, Quijano-Scheggia SI, Olivos-Ortiz A y Núñez-Vázquez EJ (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (pp: 197-201). CICESE Ensenada, México.

Cotsikayala Pacheco Ramírez
Centro de Investigación Científica y de Estudios
Superiores de Ensenada (CICESE)
Unidad La Paz
cotsikayala@cicese.edu.mx



© José Kuri Breña. *Ciudad dividida*. Escultura, bronce a la cera perdida, 1986.