

Indicadores de cambio climático para el GEM PACA

pH

La información sobre el comportamiento y la variabilidad en el pH para la región del POT es escasa, hay desde estudios sobre tendencias globales de acidificación (Lida *et al.* 2020), sobre la variabilidad espacio-temporal de la concentración de CO₂ de 1981 a 2015 (Yasunaka *et al.* 2019), o sobre la variación regional en la acidificación por eventos de surgencias o afloramientos (Ishii *et al.* 2020) hasta observaciones sobre la reducción en la concentración de CO₂ de la capa de agua superficial inducidas por la precipitación (Ho y Schanze 2020). Sin embargo, estos análisis presentan una escala amplia para la región del POT que no permite detectar las variaciones a una escala nacional, subnacional y menos local. Para Costa Rica la información es escasa, se colecta de acuerdo con el uso y la necesidad, no hay mandato institucional para darle seguimiento y las instancias del sector público con rectoría sobre los recursos marinos no cuentan con la capacidad instalada (equipo y personal). La información disponible está basada principalmente en datos tomados para el golfo de Papagayo asociados al fenómeno de surgencia del Domo térmico (Rixen *et al.* 2012; Sánchez Noguera *et al.* 2018) o resultados de expediciones oceanográficas cuyos informes y resultados son de difícil acceso. Los efectos en cascada y las sinergias con otros estresores climáticos no están del todo bien estudiados, lo que aumenta la incertidumbre sobre la magnitud y alcance de los impactos de la acidificación en los recursos marino-costeros del Pacífico de Costa Rica.

Temperatura superficial del mar

Los océanos han aumentado su temperatura desde 1970 absorbiendo más del 90 % del exceso de calor en el sistema climático (IPCC 2019a). Los registros observados para la región del pacífico tropical son consistentes con una respuesta al aumento de las concentraciones de CO₂ (Seager *et al.* 2019). La tendencia de la TSM según los registros históricos y modelos climáticos es positiva, aunque no concluyentes sobre dónde está ocurriendo a mayor velocidad este aumento en la temperatura (An *et al.* 2012; Lee *et al.* 2023). La variabilidad climática y las variaciones naturales en la circulación oceánica son lentas, las series actuales de datos disponibles son de corta duración y no permiten identificar con claridad las señales de calentamiento global en el océano (IPCC 2019b). Para Costa Rica la información publicada es escasa, basada en campañas oceanográficas recientes (Mora Escalante *et al.* 2020) y en datos puntuales para bahía Culebra al norte del país (Alfaro *et al.* 2012). El Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), de la Universidad de Costa Rica presenta boletines trimestrales con gráficas y estadísticas que incluyen esta variable. Sin embargo, la información no es depositada en bases de datos y trimestralmente se está actualizando. No hay un registro sistemático para esta variable.

Aumento del nivel del mar

El calentamiento del océano incide en el aumento del nivel del mar por un proceso denominado “expansión térmica” que resulta en la ocupación de un mayor espacio (IPCC 2013; IPCC 2019b). Este aumento en el nivel del mar no es uniforme, presenta variaciones regionales hasta de un 30% (Oppenheimer 2019). Para esta región se ha identificado una característica zonal con un aumento del nivel del mar superior al promedio en el Pacífico tropical oeste y un aumento del nivel del mar inferior al promedio en el Pacífico tropical este y noreste (Meyssignac *et al.* 2012; Piecuch *et al.* 2019; Hamlington *et al.* 2020).

Costa Rica cuenta con un Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino costeras frente al cambio climático que contempla el aumento del nivel del mar (BIOMARCC SINAC GIZ 2013), estudios de caso por aumento del nivel del mar en playa Grande (Drews y Fonseca 2009a), en Paquera de Puntarenas (Ross Salazar *et al.* 2018) y publicados en revistas científicas para el Cocal de Puntarenas (Lizano Araya y Lizano Rodríguez 2020) y playas del Coco, Tamarindo y Sámara (Lizano Araya y Lizano Rodríguez 2023). Algunos estudios sobre la erosión costera y su impacto sobre la infraestructura vial han sido desarrollados para la Ruta Nacional 160 (Aragón Valle *et al.* 2019) y Ruta Nacional 23 (Ruiz *et al.* 2019). Se estima que la red de caminos está expuesta al aumento del nivel del mar en un 17 % para el Pacífico y un 27 % para el Caribe, principalmente en los ramales que comunican comunidades costeras y puertos con las carreteras principales (BIOMARCC SINAC GIZ 2013a). Una proporción del 70 % de la población costera para el Pacífico está expuesta al aumento del nivel del mar (BIOMARCC SINAC GIZ 2013a). El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza el monitoreo, estudios y proyecciones de las condiciones climáticas para el país, aunque los reportes y publicaciones oficiales de la institución sobre Escenarios regionalizados para el país (Alvarado *et al.* 2012) y sobre Proyecciones regionalizadas (Alvarado Gamboa 2021) para cambio climático no contemplan variables para el ámbito marino.

La subregión del Pacífico central cuenta con información sobre este indicador: “..la variación del nivel del mar muestra una tendencia al aumento de hasta 2,0-2,8 mm/año, dependiendo de la morfología y de los procesos tectónicos de las costas. Para el 2040 (escenario RCP8.5) se espera un aumento de 0,30 m lo que afectaría la Península y las islas del Golfo, también Punta Morales, Chomes y Puntarenas, Jacó, Parrita y Quepos” (DCC MINAE 2022b).

El país cuenta también con el Sistema Nacional de Monitoreo de Tsunamis (SINAMOT). Dentro de este sistema operan los mareógrafos de Costa Rica. En la actualidad la información disponible sobre el SINAMOT menciona la existencia de tres mareógrafos que monitorean el nivel del mar (y llevan registro de la temperatura superficial del mar), dos en la costa del Pacífico: Quepos e isla del Coco¹. Quepos es el más antiguo y cuenta con registros digitales desde 1999. La información es de acceso público y se puede ver en la plataforma de la UNESCO para monitoreo del nivel del mar: (vínculo de acceso) [Quepos](#).

¹ Mareógrafos de Costa Rica. Disponible en: <https://www.sinamot.una.ac.cr/index.php/nuestro-trabajo/mareografos-costarica>

Índice de riesgo climático

Costa Rica ha realizado análisis de riesgo climático a nivel cantonal para evaluar la vulnerabilidad de los territorios ante los efectos del cambio climático. Estos análisis de riesgo climático cantonal forman parte del "Plan A: Territorios Resilientes ante el Cambio Climático" implementado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica y la Dirección de Cambio Climático (DCC). El objetivo es emprender un proceso de evaluación del riesgo climático, principalmente enfocado en el nivel administrativo cantonal. Los cantones costeros de la provincia de Guanacaste que cuentan con análisis de riesgos son La Cruz, Liberia, Carrillo, Santa Cruz, Nicoya, Hojancha, Nandayure, Abangares y Cañas (Retana *et al.* 2020). El cantón de Puntarenas cuenta con un análisis de riesgos (Retana *et al.* 2020) que profundiza en los distritos de Lepanto, Paquera y Cóbano (Retana y Calvo 2020). No hay información sobre la aplicación de este índice en el resto de los cantones costeros del Pacífico.

Nawrotzki y colaboradores (2023) han construido un índice de vulnerabilidad al cambio climático a escala cantonal para Costa Rica. Las capas de información reflejan cambios en los extremos climáticos, el riesgo de inundaciones, la cobertura vegetal, el acceso a la infraestructura (densidad de carreteras) y a los servicios de salud (distancia a los hospitales), así como diversas características socioeconómicas (nivel de riqueza, tasas de empleo, remesas, tasa de alfabetización) y demográficas (mortalidad infantil). De acuerdo con los resultados, siete cantones costeros del Pacífico presentan una vulnerabilidad moderada, nueve una alta y solo un cantón baja vulnerabilidad (Nawrotzki *et al.* 2023).

Índice de Niño Oceánico

El Índice del Niño Oceánico (ONI) es utilizado para medir y monitorear las anomalías (desviaciones de la media) de la temperatura superficial del mar (SST) en una región específica del océano Pacífico ecuatorial (región Niño 3.4) (NOAA 2024). Esta información es utilizada para identificar si un Evento de Oscilación del Sur presenta condiciones de Niño o de Niña. En general, este índice se utiliza para la predicción y monitoreo de los impactos climáticos asociados con el ENOS (NOAA 2024). En Costa Rica el IMN lo utiliza para desarrollar pronósticos y estrategias de adaptación climática. Sin embargo, su uso está poco extendido y son escasas las publicaciones que hagan evidente este uso.