



Presentación

Desde el 2011 se ha observado un crecimiento masivo y sostenido de las poblaciones de sargazo pelágico en el Atlántico tropical y subtropical, lo que provoca que éste arribe, también de manera masiva, a las costas de varios países de la Cuenca del Caribe [Gower et al. 2013]. Durante el proceso de descomposición en playa y aguas someras, estas algas producen gases tóxicos como el ácido sulfhídrico y amoníaco, así como lixiviados cargados de metales pesados y otras sustancias, los cuales pueden estresar y perturbar los ecosistemas marinos y costeros, así como amenazar la salud humana y la economía basada en el turismo [van Tussenbroek et al. 2017; Rodríguez-Martínez et al. 2019; Casas-Beltrán et al. 2020].

Un importante factor en el entendimiento y manejo de este fenómeno desde sus inicios ha sido el uso de imágenes satelitales, las cuales son un insumo valioso para analizar el movimiento del sargazo en altamar. Esta detección remota se ha dado a través del desarrollo de algoritmos que reciben y procesan imágenes satelitales de manera periódica [desde horas hasta semanas] a través de satélites de diferente resolución espacial [metros a kilómetros]. De estas imágenes, se extraen y analizan los píxeles que contienen sargazo a través de una serie de índices [FAI, NFAI, AFAI, MCI, entre otros; por sus iniciales en inglés: Floating Algae Index; Normalised Floating Algae Index; Alternative Floating Algae Index; Maximum Chlorophyll Index] que permiten diferenciar esta biomasa de su entorno [Qi et al. 2020]. A partir de esta identificación y usando un modelo de deriva que toma en cuenta las corrientes superficiales y los vientos, es posible anticipar los desplazamientos de las balsas de sargazo, durante varios días, hasta su llegada cerca de la costa [Hu 2009].

Asimismo, el monitoreo del sargazo *in situ*, ya sea por medidas de colecta o limpieza [cuantificando la biomasa recogida], a través de fotografías o imágenes tomadas por personas en playa o embarcaciones, o por medio de drones, avionetas, etc., es de vital importancia para validar los productos de la teledetección [monitoreo por satélites] y modelos de deriva.

Centros de investigación, universidades, y empresas, trabajan en afinar metodologías para generar sistemas de alerta robustos, es decir, el binomio de un monitoreo que alimente modelos numéricos de alta capacidad predictiva de la dirección y velocidad que llevan las balsas de sargazo en mar abierto para poder determinar la probabilidad de varamiento en playas. Estos sistemas de alerta son una herramienta primordial para la toma de decisiones en relación con estrategias de contención y colecta, así como para precisar los riesgos asociados a un varamiento masivo. Con esta información es factible iniciar una gestión integral efectiva [Hu et al. 2015; Gower y King 2020].

El presente documento brinda un panorama general e información sobre los sistemas de monitoreo nacionales disponibles. Se concluye con una reflexión sobre las necesidades que como país afrontamos para seguir caminando hacia la consolidación de un sistema de alerta temprana robusto y funcional para todos los actores involucrados en el manejo y aprovechamiento del sargazo.



Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT)

Institución sede: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Zona de observación: Área aproximada de 150 mil km² que comprende la región marítima de las costas de Quintana Roo y parte de la región marítima de Belice, Guatemala y Honduras

Operación:

- Sistema con algoritmo propio que utiliza imágenes de los satélites Sentinel-2, de la Constelación COPERNICUS de la Agencia Espacial Europea para generar un mosaico de 18 imágenes cada 5 días (tiempo que tardan los satélites en volver a la misma posición).
- Se utilizan datos de corrientes oceánicas proporcionadas por el modelo HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) y vectores de viento a través del modelo GFS (Global Forecast System) para generar estimaciones del movimiento de sargazo durante los 5 días en que no se obtienen datos de imágenes.
- Las imágenes resultantes muestran el área del sargazo en km², así como un estimado de su biomasa total.
- La información obtenida de manera remota es corroborada con observaciones directas en campo. Se emplean boyas de deriva que se fijan a las balsas de sargazo proporcionando información sobre su velocidad y posición hasta que arriban a las costas.

Visualizador disponible al público: Si. Integra las diferentes capas de información y brinda una aproximación de la superficie de sargazo presente. Además, se pueden realizar consultas sobre el sargazo arribado desde 2015.

Consulta más información:

- <http://sargazo.lanot.unam.mx/lanot/sargazo/visualizador/>
- <http://sargazo.lanot.unam.mx/lanot/sargazo/>



Sistema satelital de alerta temprana de Sargazo “SATsum”

Institución sede: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Zona de observación: Cuenca del Caribe.

Operación:

- Como parte del Sistema de Información y Análisis Marino Costero (SIMAR), se desarrolló un sistema satelital de alerta temprana de sargazo, empleando algoritmos bio-ópticos, que permitan el monitoreo de las balsas de sargazo pelágico.
- Emplea una antena de recepción satelital virtual (VirSAT), a partir de la cual se obtienen imágenes diariamente de los satélites AQUA y TERRA de la NASA, con 1 km de resolución espacial a partir del año 2010.
- Mediante estas imágenes se obtiene un Índice Alternativo de Algas Flotantes (AFAI) que es el promedio diario aproximado de la biomasa algal presente; así como un promedio de la biomasa para los 7 días previos usando los datos diarios del AFAI.
- También se recolectan imágenes diariamente de los satélites Sentinel-3 de la Agencia Espacial Europea, con 300 m de resolución espacial desde junio de 2023. Por medio de estas imágenes se obtiene un Índice Máximo de Clorofila diario (MCI), que además de permitir detectar sargazo, identifica otras macroalgas pardas, verdes y floraciones de cianobacterias, basado en sensores OLCI/Sentinel 3.
- Para incentivar a las comunidades locales y turistas en la participación de esta problemática, se desarrolló el “SATsum-Collect” como un proyecto de ciencia ciudadana que permite documentar el sargazo arribado mediante fotografías tomadas por los ciudadanos a través de sus dispositivos móviles.
- Las fotografías se pueden subir a través de la página web o aplicación móvil “Epicollect5”, o bien en Naturalista México en la sección de Monitoreo de Sargazo pelágico en el Atlántico mexicano.

Visualizador disponible al público: Si. Integra las diferentes capas de información sobre el promedio de biomasa algal. Se produce un boletín diario (descargable en formato PDF) con datos sobre la extensión estimada de sargazo (km²) y del peso húmedo estimado (toneladas).

Consulta más información:

- <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/>
- <https://simar.conabio.gob.mx/explorer/?satsum=mean-7day-afai>
- <https://five.epicollect.net/project/sargazo-en-el-gran-caribe>
- <https://www.naturalista.mx/projects/monitoreo-de-sargazo-pelagico-en-el-atlantico-mexicano>



Sistema de Monitoreo de Sargazo Recolectado (SIMSAR)

Institución sede: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Zona de observación: Municipios de Quintana Roo (hasta ahora: Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, Othón P. Blanco, Puerto Morelos, Solidaridad y Tulum)

Operación:

- Sistema que reporta las cantidades de sargazo recolectado a lo largo del año en las costas mexicanas.
- Diferentes actores pertenecientes a hoteles, empresas, organizaciones civiles, municipios, la SEMAR, pueden registrarse en el sistema para capturar detalladamente los datos que deseen reportar.
- Este sistema no solo permite la estandarización de los datos, sino que también permite relacionar la cantidad de sargazo con otras variables in situ como calidad del agua, presencia de plásticos, fauna asociada, entre otros.

Visualizador disponible al público: Si. En la página web se puede realizar una consulta de los datos reportados hasta el momento, consultar estadísticas de tonelaje por mes/año, así como aplicar filtros por temporalidades, estado, municipios, instituciones y tipo de registro.

Consulta más información:

- <https://app.semarnat.gob.mx/sargazo/#/reporteador>



Observatorio Ciudadano de Sargazo

Institución sede: Sin información.

Zona de observación: Principales playas de Cancún y la Riviera Maya.

Operación:

- Proyecto de organización civil dedicado a informar sobre la afluencia de sargazo a las costas del Caribe mexicano a través de medios como Facebook, Instagram, página web y aplicación móvil.
- Se presentan datos provenientes de instituciones como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el Laboratorio de Oceanografía Óptica de la Universidad del Sur de la Florida, y la Secretaría de Marina y del SIMAR de la Conabio.
- Usuarios locales, turistas y autoridades contribuyen a la actualización de datos *in situ* mediante el aporte diario de fotografías a través de redes sociales.

Visualizador disponible al público: Si. Su plataforma web presenta un semáforo, mapa y reporte del sargazo en Quintana Roo. Se puede consultar un resumen estadístico de las playas monitoreadas, así como un visor con la cobertura de masa algal en el estado.

Se presenta el pronóstico de sargazo para los próximos días, playas aptas para nadar, noticias, fotos y vídeos recientes del sargazo.

Consulta más información:

- <https://www.viajefest.com/sargazo-en-quintana-roo/>



Red de Monitoreo del Sargazo de Quintana Roo

Institución sede: Sin información.

Zona de observación: Principales playas de Cancún y la Riviera Maya.

Operación:

- Proyecto de organización no gubernamental creado en 2018, dedicado a informar y alertar sobre arribazones masivos de sargazo a través de su página en Facebook. Este semáforo está basado en un análisis de imágenes satelitales procedentes de la Laboratorio de Oceanografía Óptica de la Universidad del Sur de la Florida.

Visualizador disponible al público: Si. Las actualizaciones diarias en la plataforma de Facebook se dan por medio de un boletín. Éste incluye un mapa y semáforo para 80 playas en Quintana Roo, así como información sobre diferentes variables como clima, temperatura, viento y oleaje.

Consulta más información:

- <https://www.facebook.com/RedSargazo>



ERISNet: Detección del sargazo en las costas del Caribe mexicano

Institución sede: El Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal.

Zona de observación: Costa de Quintana Roo.

Operación:

- Sistema de detección de sargazo que emplea imágenes satelitales junto con técnicas de inteligencia artificial como aprendizaje profundo, para generar una herramienta de alerta temprana que informe sobre arribos masivos de sargazo.
- Empleando inteligencia artificial se desarrolló un sistema que se compone de diferentes tipos de redes neuronales como:

Redes neuronales convolucionales [CNN]: detectan patrones en imágenes o datos.

Redes neuronales recurrentes [RNN]: predicen qué va a ocurrir de acuerdo con series de datos temporales.

- El conjunto de estas redes es capaz de detectar cambios en la información satelital recibida para localizar zonas con sargazo.
- En el diseño de este sistema se emplearon imágenes MODIS recibidas del satélite Aqua de la NASA. Se seleccionaron 948 píxeles con 1 km de resolución espacial.
- Con base en información oficial del estado de Quintana Roo y trabajo de campo, las imágenes se catalogaron con presencia/ausencia de sargazo de forma supervisada.
- Se empleó el software Seadas para conjuntar las redes neuronales y la selección de píxeles, con información validada desde 2015 al 2018 para generar un algoritmo capaz de reconocer sargazo.
- El programa ERISNet tiene una precisión de 90.08% en la identificación de imágenes con sargazo.

Visualizador disponible al público: No. Este sistema cuenta con una App llamada Collective View para la recopilación de imágenes a través de ciencia ciudadana.

Consulta más información:

- <https://www.ecosur.mx/erisnet-deteccion-del-sargazo-en-las-costas-del-caribe-mexicano/>



Seguimiento de sargazo en el Mar Caribe: Pronóstico del sargazo

Institución sede: Instituto Mexicano de Tecnología y Agua [IMTA], Morelos.

Zona de observación: Caribe mexicano, Florida y Puerto Rico.

Operación:

- A través de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), se obtiene el Índice Alternativo de Algas Flotantes [AFAI] con imágenes satelitales diarias, para determinar la posición geográfica y cobertura algal por píxel.
- Se aplica un modelo lagrangiano de partículas, (los pixeles con sargazo son considerados como una partícula) que se ajusta de acuerdo con las condiciones oceanográficas y atmosféricas, para hacer un pronóstico de sargazo en el Caribe mexicano.
- Se consideran los datos generados por Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) para los pronósticos de corriente, y National Centers for Environmental Prediction (NCEP) para viento. El arrastre de sargazo es contemplado bajo un 2% de intensidad de viento.

Visualizador disponible al público: Si. En el portal de internet se ofrecen diferentes visualizaciones de las trayectorias de sargazo con la difusión, corrientes y/o viento. Se pueden realizar consultas por regiones en cada proyección.

Consulta más información:

- <https://sargazo.imta.mx/sargazo/#deteccion>



Sargassum Monitoring

Institución sede: Sin información.

Zona de observación: Cuenca del Caribe

Forma de operación:

- Sistema destinado a informar sobre la abundancia de sargazo, en playas caribeñas. La información es publicada mediante sus distintas redes sociales como YouTube, Facebook, Instagram y página Web.
- A través de imágenes satelitales [obtenidas corresponden a un intervalo de 7 días] se obtiene un Índice Alternativo de Algas Flotantes (AFAI), el cual muestra puntos rojos en un visualizador, correspondientes a manchas de sargazo. Estos puntos se ponen en movimiento en el visualizador dado que las balsas de sargazo son afectadas por corrientes marinas y vientos de acuerdo con el lugar donde se encuentran.
- Se realizan previsiones de corrientes de acuerdo con los datos del Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) y de vientos mediante el National Centers for Environmental Prediction (NCEP), para estimar la posible trayectoria del sargazo y su llegada a las costas.

Visualizador disponible al público: En su portal de internet muestra información general acerca del fenómeno de sargazo. Ofrece diferentes mapas interactivos mostrando varamientos de sargazo desde 2018 a la fecha. En su canal de Youtube se suben videos diariamente, grabados mediante cámaras instaladas en diferentes playas, que advierten sobre la cantidad de sargazo presente.

Fuentes para consultar más información:

- <https://sargassummonitoring.com/es/>



Conclusiones

La detección de sargazo y la cuantificación del sargazo en altamar presentan varias limitaciones [Hu et al. 2015]. Por ejemplo, la información satelital se ve limitada por la nubosidad. Lo anterior implica que puede perderse la información sobre la presencia y seguimiento de sargazo por varios días. Otra limitación es la resolución espacial y temporal que proveen los satélites. Los satélites de alta resolución [ej. Sentinel-2, Landsat-8, Planet] no recopilan datos sobre áreas extensas, sino que generalmente se enfocan a zonas costeras y su resolución temporal puede ser baja a comparación de satélites de menor resolución espacial. Los satélites de baja resolución espacial [ej. MODIS, Sentinel-3] limitan la correcta detección de pequeños y aislados manchones de sargazo y no son los adecuados para la detección en zonas costeras [Duffy et al. 2019]. Además, los satélites permiten medir la longitud de los manchones de sargazo, pero no su profundidad, por lo que estimar volúmenes en altamar representa un reto. La integración reciente de nuevos sensores remotos [ej. radares] y técnicas de detección que proveen una mayor resolución, una mayor penetrabilidad y un mejor reconocimiento de la biomasa del sargazo, han comenzado a proveer de soluciones a estas limitaciones [Yu et al. 2020].

En el caso del monitoreo *in situ*, es necesario seguir impulsando las herramientas que proveen de registros confiables y sistemáticos de la ocurrencia del fenómeno a escalas temporales y espaciales finas. Lo anterior es necesario para determinar con precisión la cantidad de sargazo que llega a las costas mexicanas y para comprender su dinámica poblacional costera.

Uno de los mayores retos para el monitoreo de sargazo en México es la actual descoordinación de acciones y grupos de trabajo que, en su meta, van dirigidos al mismo lugar [p. ej. contar un sistema de monitoreo robusto]. Es importante coordinar esfuerzos nacionales que permitan un avance eficaz hacia el desarrollo de un sistema de alerta temprana que permita determinar con mayor precisión los sitios de arribo de sargazo pelágico en determinada época del año para establecer una logística adecuada de contención y manejo. Para lograr esta meta, el Conahcyt seguirá articulando e impulsando diversos grupos e iniciativas en una estrategia de vinculación virtuosa entre los diferentes sectores de la población.

Referencias

- Casas-Beltrán, D.A., Gallaher, C.M., Hernández-Yac, E., Febles-Moreno, K., Voglesonger, K., Leal-Bautista, R.M., y Lenczewski, M. 2020. Seaweed invasion! Temporal changes in beach conditions lead to increasing cenote usage and contamination in the Riviera Maya. *Sustainability*. 12[6]: 2474.
- Duffy, J. E., Benedetti-Cecchi, L., Trinanes, J., Muller-Karger, F. E., Ambo-Rappe, R., Boström, C., et al. 2019. Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science*. 6: 317.
- Gower, J., y King, S. 2020. The distribution of pelagic *Sargassum* observed with OLCI, International Journal of Remote Sensing. 41:15, 5669-5679.
- Gower, J., Young, E., King, S. 2013. Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sensing Letters*. 4: 764-773.
- Hu, C. 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113[10], 2118-2129.



- Hu, C., Feng, L., Hardy, R.F., y Hochberg, E.J. 2015. Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic *Sargassum* macroalgae. *Remote Sensing of Environment*. 167: 229-246.
- Pendleton, L., Krowicki, F., Strosser, P., y Hallett-Murdoch, J. 2014. Assessing the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Report 14-05. 47 pp.
- Qi, L., Hu, C., Mikelsons, K., Wang, M., Lance, V., Sun, S., Barnes, B.B., Zhao, J., y Van der Zande, D. 2020. In search of floating algae and other organisms in global oceans and lakes. *Remote Sensing of Environment*. 239: 111659.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Medina-Valmaseda, A.E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L.V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., et al. 2019. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine pollution bulletin*. 146: 201-205.
- Van Tussenbroek, B.I., Arana, H.A.H., Rodríguez-Martínez, R.E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H.M., González-Godoy, C.E., Barba-Santos, M.G., Vega-Zepeda, A., y Collado-Vides, L. 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine pollution bulletin*. 122[1-2]: 272-281.
- Yu, H., Wang, C., Sui, Y., Li, J., y Chu, J. 2020. Automatic extraction of green tide using dual polarization Chinese GF-3 SAR images. *Journal of Coastal Research*. 102[SI]: 318-325.