ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Schling, Maja et al.

Working Paper

El impacto económico del sargazo: Evidencia de la costa Mexicana

IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-01384

Provided in Cooperation with:
Inter-American Development Bank (IDB), Washington, DC

Suggested Citation: Schling, Maja et al. (2022) : El impacto económico del sargazo: Evidencia de la costa Mexicana, IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-01384, Inter-American Development Bank (IDB), Washington, DC,
https://doi.org/10.18235/0004470

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/290028

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

DOCUMENTO DE TRABAJO DEL BID Nº IDB-WP-01384

El Impacto económico del sargazo: Evidencia de la costa mexicana

Maja Schling
Roberto Guerrero Compeán
Nicolás Pazos
Allison Bailey
Katie Arkema
Mary Ruckelshaus

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres

Septiembre 2022

El Impacto económico del sargazo: Evidencia de la costa mexicana

Maja Schling
Roberto Guerrero Compeán
Nicolás Pazos
Allison Bailey
Katie Arkema
Mary Ruckelshaus

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres

Septiembre 2022

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo
El impacto económico del sargazo: evidencia de la costa mexicana / Maja Schling, Roberto Guerrero Compeán, Nicolás Pazos, Allison Bailey, Katie Arkema, Mary Ruckelshaus.
p. cm. — (Documento de trabajo del BID ; 1384)
Incluye referencias bibliográficas.
1. Sargassum-Economic aspects-Mexico. 2. Coastal zone management-Mexico.
3. Geographic information systems-Mexico. I. Schling, Maja. II. Guerrero Compeán, Roberto. III. Pazos, Nicolás. IV. Bailey, Allison. V. Arkema, Katie. VI. Ruckelshaus, Mary. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. VIII. Serie.
IDB-WP-1384

Códigos JEL: C23; C52; N56; O44; Q56; R11; Z32

Palabras claves: sargazo, crecimiento económico, datos de luces nocturnas, manejo de zonas costeras, México

http://www.iadb.org

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Después de un proceso de revisión por pares, y con el consentimiento previo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), una versión revisada de esta obra puede reproducirse en cualquier revista académica, incluyendo aquellas indizadas en EconLit de la Asociación Americana de Economía, siempre y cuando se reconozca la autoría del Banco y el autor o autores del documento no hayan percibido remuneración alguna derivada de la publicación. Por lo tanto, la restricción para recibir ingresos de dicha publicación sólo se extenderá al autor(s) de la publicación. Con respecto a dicha restricción, en caso de cualquier incompatibilidad entre la licencia Creative Commons IGO 3.0 Atribución-No comercial - NoDerivatives y estas declaraciones, prevalecerán estas últimas.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

El impacto económico del sargazo:

Evidencia de la costa mexicana

Maja Schling[†], Roberto Guerrero Compeán[‡], Nicolás Pazos[§], Allison Bailey[¤], Katie Arkema[¬], Mary Ruckelshaus[**]

Septiembre de 2022

Resumen

Este estudio evalúa el impacto económico local del alga de sargazo pelágico, arrastrada por el mar a las zonas costeras de alto flujo turístico en el estado mexicano de Quintana Roo. El estudio se basa en un conjunto de datos de sistemas de información geográfica (SIG) cuidadosamente diseñados con observaciones mensuales para 157 segmentos de playa de 2016 a 2019. El conjunto de datos comprende una medida innovadora de la presencia de algas de sargazo, la intensidad de la luz nocturna por teledetección como un indicador del crecimiento económico, así como información sobre infraestructura clave, características sociodemográficas y de la playa. Aplicamos un modelo de regresión de efectos fijos que controla las tendencias temporales generales y las diferencias inobservables y que no varían en el tiempo entre observaciones. Estimamos que la presencia de sargazo en un segmento de playa reduce la intensidad de la luz nocturna en un 17.5%, lo que supone una disminución aproximada del 11.6% en el producto bruto local. Teniendo en cuenta que los impactos del sargazo en la actividad económica local pueden retrasarse debido a los efectos reputacionales, nuestro análisis encuentra que se pueden encontrar efectos retardados significativos hasta 12 meses después de haber detectado el sargazo en la línea costera. Estos tamaños del efecto oscilan entre un 5.9% y un 9.9% de reducción del producto bruto local. Varias pruebas de robustez, que incluyen una medición ajustada de sargazo y la consideración de la posible correlación espacial entre segmentos de playa, indican que los impactos estimados son consistentemente significativos y negativos en numerosas especificaciones. Para una de las regiones más dependientes del turismo en el mundo, la afluencia recurrente de sargazo es una de las manifestaciones más amenazantes del cambio climático. Nuestra investigación es la primera en cuantificar sólidamente el impacto económico del sargazo, y destaca hasta qué punto la actividad económica se ve afectada negativamente por la acumulación de algas, y cómo estos efectos persisten en el tiempo. El próximo paso importante es que, tanto el sector público como el privado inviertan en sistemas de pronóstico y estrategias de contención, y que también se comprometan con esfuerzos de limpieza para mitigar las acumulaciones severas, promoviendo la resiliencia económica en las comunidades costeras.

Códigos JEL: C23; C52; N56; O44; Q56; R11; Z32

Palabras Clave: sargazo, crecimiento económico, datos de luces nocturnas, manejo de zonas costeras, México

[†] majas@iadb.org, Banco Interamericano de Desarrollo
[‡] rguerrero@iadb.org, Banco Interamericano de Desarrollo
[§] nicolaspa@iadb.org, Banco Interamericano de Desarrollo
[¤] allison.bailey@stanford.edu, Universidad de Stanford
[¬] katiearkema@gmail.com, Laboratorio Nacional del Noroeste del Pacífico
[**] mary.ruckelshaus@stanford.edu, Universidad de Stanford

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a Borja Reguero y Valeria Chávez Cerón por apoyar los esfuerzos de recopilación de datos y proporcionar conocimientos específicos de la región, así como también por sus comentarios generales sobre la investigación. Asimismo, agradecemos los comentarios recibidos de Alexei Abrahams, Esteban Amaro, Matias Cattaneo, Luis Espinosa Carrasco, Juan Li y Nathan Torbick durante el seminario de lanzamiento de la investigación realizado en diciembre de 2020. También agradecemos a Rosa Rodríguez Martínez por apoyar los esfuerzos de recopilación de datos sobre los volúmenes de sargazo y los esfuerzos de limpieza en las playas locales de Quintana Roo. Agradecemos las contribuciones de Andre Joseph-Witzig, quien brindó importantes aportes del modelo InVEST CV. Por último, agradecemos a Allen Blackman por su orientación a lo largo de este proyecto de investigación.

1 Introducción

La región de América Latina y el Caribe (ALC) tiene un rico capital natural costero que incluye más de 64,000 km de costa. La franja costera alberga una alta concentración de áreas urbanas y es un centro de actividad económica (Maldonado et al., 2020). Se estima que más de 23 millones de personas en el Caribe y las Américas viven a menos de 10 metros de la costa (ibíd.). Las áreas costeras están inextricablemente vinculadas al crecimiento reciente de la región, tanto del Producto Interno Bruto (PIB) como de la población, ya que los ecosistemas costeros sustentan economías y comunidades con bienes y servicios importantes, como la pesca, el turismo y las materias primas (Schueler, 2017). México, en particular, alberga una alta concentración de áreas urbanas a lo largo de sus más de 12,000 km de costa, donde se estima que viven más de 30 millones de personas (CONABIO, 2019). León (2004), en su evaluación económica de la costa mexicana, estima que aproximadamente el 3.7% del PIB de México proviene de las actividades económicas que tienen lugar en su costa.

En 2011, el sargazo pelágico comenzó a llegar a las costas del mar Caribe y el Golfo de México en cantidades sin precedentes, cubriendo playas enteras con algas, y afectando directamente a las empresas y comunidades locales que dependen del turismo y otras actividades económicas dentro de las zonas costeras de la región. Desde entonces, los brotes de sargazo se han vuelto comunes en las costas aledañas al mar Caribe. Una de las regiones más golpeadas por el excedente de sargazo es Quintana Roo, uno de los principales motores de la economía costera mexicana y el estado más oriental de México, ubicado en la península de Yucatán. A lo largo de sus 920 km de costa se encuentran el centro económico de Cancún, así como las localidades de Playa del Carmen y Tulum, los puertos de Cozumel e Isla Mujeres, y la Riviera Maya. Sus playas atrajeron a más de 15 millones de turistas en 2019, generando más de USD 16 mil millones en ingresos y capturando más del 43% de las divisas extranjeras provenientes del turismo en México (Secretaría de Turismo de Quintana Roo, 2019). El turismo es la actividad económica más importante de Quintana Roo, representando más de una quinta parte del PIB del estado en 2019 (INEGI, 2019). El 2018 fue el primer año donde se registraron por primera vez brotes de sargazo durante todo el año en el mar Caribe (Burrowes et al., 2019), y más de medio millón de toneladas del alga asfixiaron la costa de Quintana Roo durante ese período (Robledo & Vázquez-Delfín, 2019).

Las posibles causas de estos brotes de algas varían, pero un desencadenante comúnmente identificado son las cargas cada vez más altas de nutrientes que la agricultura y el mal uso de la tierra arrojan al mar, tanto en las cuencas de los ríos Amazonas y Congo, como en la del río Misisipi. Además, el aumento de hierro y fosfato del polvo del Sahara que cae sobre el Atlántico medio también se ha sugerido como una posible causa (Huffard et al, 2014; Amaral-

Zettler et al., 2016; Smetacek & Zingone, 2013; Johnson et al, 2013). Las proliferaciones intensificadas de sargazo también se han vinculado al cambio climático global y océanos más cálidos, en donde temperaturas más altas de lo normal favorecen el crecimiento de algas (Louime et al., 2017; Wang et al., 2019). Aunque el impacto económico de los brotes de sargazo se ha evaluado solo de manera anecdótica, existe una amplia literatura sobre el impacto económico del cambio climático y las crisis de los recursos naturales. Basándose en los métodos y datos de Deschênes y Greenstone (2007), Fisher et al. (2012) utilizan información sobre producción agrícola y fluctuaciones climáticas aleatorias, y concluyen que las predicciones sobre los impactos económicos del cambio climático son negativas en todas las especificaciones excepto en una. De manera similar, utilizando técnicas de econometría espacial para modelos de datos de panel, Felbermayr et al. (2022) muestran que las anomalías climáticas reducen el crecimiento de los ingresos locales. Guerrero Compeán (2013) demuestra que las condiciones climáticas severas conducen a fuertes caídas en consumo y bienestar, particularmente entre los pobres. Tol (2020) revisa 27 estimaciones publicadas del impacto económico del cambio climático, y argumenta que un aumento de la temperatura media global de 2.5 grados centígrados haría que la persona promedio sintiera como si hubiera perdido el 1.3 por ciento de sus ingresos, y que el impacto económico relativo del cambio climático disminuye a medida que aumenta el ingreso per cápita. Asimismo, Maddison y Rehdanz (2011) indican que los países más pobres y cálidos son más vulnerables al cambio climático. Porter et al. (2014) encuentran que el cambio climático reduce los rendimientos agrícolas hasta en un 50%, mientras que Dell, Jones y Olken (2009) y Hallegatte (2005) proporcionan evidencia de que el cambio climático también afecta la tasa de crecimiento de la economía.

Si bien la evidencia anecdótica (Louime et al., 2017; Ramlogan et al., 2017; Schell et al., 2015; Solarin et al., 2014) sugiere que estos eventos de sargazo sin precedentes han llevado no solo a una disminución de los ingresos económicos, sino también a problemas inmediatos para las industrias de la pesca, el transporte y el turismo de las economías costeras, por no hablar de los graves impactos ecológicos, aún no se ha realizado un análisis riguroso para cuantificar el efecto causal en la actividad económica. Hasta ahora, los esfuerzos se han centrado en cuantificar la frecuencia y el volumen de la afluencia de sargazo a lo largo de la costa del Caribe (*e. g.*, Putman et al, 2018; Wang et al, 2019; Wang & Hu, 2017) e identificar el origen y los desencadenantes de los brotes de algas (*e. g.*, Gower et al., 2013; Oviatt et al., 2019; Cabanillas-Terán et al., 2019), y sus efectos ecosistémicos (van Tussenbroek et al., 2017). La evidencia sobre los impactos ambientales y económicos del sargazo encontrada hasta la fecha es en gran parte de naturaleza cualitativa. Por ejemplo, un estudio de la FAO (2017) señala los efectos negativos en los criaderos de peces de bajura, mientras que Gavio y Santos-Martínez (2018) documentaron la reducción de la probabilidad de que las crías de tortuga

lleguen con éxito a mar abierto. Ramlogan, McConney y Oxenford (2017) documentan los impactos de la abundancia de sargazo en la cadena de valor de la pesca, incluidos los daños en los equipos, las interrupciones en las operaciones y los cambios en los ingresos disponibles y la productividad. Los brotes de sargazo han creado una gran mancha que se extiende a ambos lados del Atlántico, disminuyendo significativamente la velocidad de navegación transatlántica (UNEP-CEP, 2021). También se ha informado que la descomposición del sargazo provoca la corrosión de los aparatos y equipos eléctricos a lo largo de la línea costera (Méndez Tejeda & Rosado Jiménez, 2019).

Sin embargo, dados los desafíos metodológicos para identificar un estado contrafactual en el que el sargazo no hubiera estado presente a lo largo de la costa, hasta la fecha no se ha realizado una estimación causal del impacto de las algas en la actividad económica. Además, a pesar de que los países han realizado esfuerzos de limpieza masivos para combatir los efectos económicos y ambientales negativos del sargazo, hay poca información disponible sobre los costos y beneficios de estas soluciones. En la industria turística existe la preocupación no solo por los efectos estéticos negativos del sargazo en las playas (Burrowes et al., 2019), sino también por el costo que implica su limpieza, ya que a veces es asumido directamente por los hoteles y negocios de la costa (Rodríguez Martínez et al., 2016). Se ha estimado que el costo potencial de limpiar el sargazo invasivo en el Caribe supera los USD120 millones anuales (Milledge y Harvey, 2016), sin embargo, es difícil justificar el gran gasto de fondos públicos sin evidencia empírica que pueda respaldar la efectividad de estas inversiones.

Para llenar este vacío de investigación, evaluamos el impacto económico del sargazo en la actividad económica en esta región, utilizando herramientas de medición novedosas, tanto de la presencia de sargazo como de la actividad económica local. Para hacerlo, compilamos un conjunto integral de datos SIG de más de 157 segmentos de playa en Quintana Roo, México, que contiene cuatro años de imágenes satelitales, de 2016 a 2019, utilizando técnicas innovadoras de recopilación de datos para medir la afluencia estacional de sargazo, y la intensidad de la luz nocturna como indicador del crecimiento económico. Para estimar un efecto causal de la presencia de sargazo en la actividad económica a nivel de la playa, utilizamos un modelo de regresión de efectos fijos que controla tendencias temporales generales y diferencias inobservables y que no varían en el tiempo entre observaciones. Además, la metodología nos permite controlar la correlación espacial y temporal entre los sitios de playa adyacentes.

Nuestros hallazgos sugieren que la presencia de sargazo tiene un efecto negativo en la actividad económica local. También encontramos que estos impactos son duraderos, siendo observables incluso después de un año de la detección del sargazo. Éste es conocimiento relevante, ya que los gobiernos y el sector privado se han preocupado cada vez más por los efectos adversos del sargazo en las zonas dependientes del turismo, así como por su alto costo

de remoción para las autoridades locales, aunado a los numerosos problemas ambientales. Comprender la magnitud de las consecuencias económicas adversas de la presencia de sargazo puede informar la toma de decisiones de las partes interesadas en términos de dirigir los fondos para apoyar su eliminación en donde el impacto económico podría ser más severo.

En la siguiente sección, examinamos la importancia económica de las zonas costeras y presentamos una caracterización general del Caribe mexicano. Discutimos cómo comenzó el desarrollo económico en Quintana Roo, y su transición de una economía costera basada en la pesca de pequeña escala a un destino turístico reconocido mundialmente, contribuyente preeminente del crecimiento económico de México. Luego describimos el problema de la creciente afluencia de sargazo pelágico a lo largo de las costas del Caribe y el Golfo de México, su origen y posibles consecuencias, particularmente en la costa de Quintana Roo, que por su gran dependencia del turismo de playa y los eventos recurrentes de sargazo, la convierten en un área de estudio apropiada. Luego procedemos a describir los datos y nuestra estrategia empírica para evaluar el impacto del sargazo en la actividad económica. A continuación, discutimos nuestros principales resultados y llevamos a cabo una serie de pruebas de robustez. Finalmente, la última sección de este estudio resume nuestros hallazgos y observaciones finales.

1.1 La importancia económica de las zonas costeras

La costa es un componente crucial de la mayoría de las economías, incluida la de México y, específicamente, la de Quintana Roo. La zona costera y los recursos del estado representan activos estratégicos, y muchas de sus comunidades buscan vigorosamente inversiones privadas en turismo costero y transporte marítimo, considerándolas como oportunidades prometedoras para la diversificación e integración de sus economías. Las comunidades costeras se están expandiendo rápidamente en respuesta al crecimiento de estos sectores, así como la urbanización y la intensificación de las redes de transporte a lo largo de los corredores costeros en la Península de Yucatán.

Casi 1.9 millones de personas viven en Quintana Roo (INEGI, 2020). Azuz-Adeath y Rivera (2019) estiman que más de 1.4 millones (aproximadamente 78%) de los habitantes del estado viven en municipios costeros. Entre 2000 y 2015, el crecimiento anualizado de la población en los municipios costeros más poblados de Quintana Roo fue de 3.9%, un porcentaje más alto que el de la tasa estatal de 3.7%, y sustancialmente superior a la tasa nacional de 1.4% (INEGI, 2015). En consecuencia, a medida que Quintana Roo crece, también se vuelve más costero. La concentración de personas en las zonas costeras está acompañada de una parte similarmente desproporcionada de la actividad económica del estado, que, en su mayoría depende de la

costa y requiere un sitio en, o en proximidad a ella. De hecho, Torres y Momsen (2005) evalúan que casi el 90% del producto bruto estatal se genera en las zonas costeras.

La base económica del estado ha evolucionado dramáticamente en los últimos 40 años. La pesca y otras actividades primarias constituían el 2% de la economía de Quintana Roo en 1980, porcentaje que se ha reducido hasta llegar a un 0.7% del producto bruto estatal en 2019. El rol de la manufactura también se ha reducido, pasando del 17% de la producción económica del estado en 1980 al 11% en 2019. Sin embargo, durante el mismo período, la participación del sector servicios, que tiende a generar un crecimiento del PIB más marginal, aumentó del 81% al 88%. Particularmente, el turismo por sí solo representa aproximadamente la mitad de la economía del estado, lo que explica la tasa acelerada de crecimiento económico de la entidad, pasando del 1.9% en la década de los 80 al 4.6% en la década de 2010. En general, el producto estatal bruto de Quintana Roo se ha más que cuadruplicado en 40 años, pasando de 67 mil millones de pesos mexicanos de 2013 en 1980, a 290 mil millones en 2019 (INEGI, 2021). Los usos del océano y el acceso marítimo han estado en el centro del desarrollo económico de Quintana Roo. La pesca se aboca a la captura de especies de alto valor comercial, como langosta, pulpo y camarón. La pesca da empleo a aproximadamente 2,000 pescadores, de los cuales más del 90% se encuentran en el sector artesanal (CONAPESCA, 2012).

La costa de Quintana Roo también sirve como un nodo importante en el flujo de mercancías. El volumen de carga manejado en Puerto Morelos superó las 21,900 toneladas métricas en 2020. Los niveles de tonelaje total previos a la pandemia duplicaron este volumen (APIQROO, 2021), habiendo aumentado gradualmente en los últimos 20 años, con indicios de que la actividad portuaria en el estado ha vuelto a acelerarse en 2021. Además de ser reconocidos por el transporte de cabotaje o costero, y el transporte intercontinental, Cozumel, Playa del Carmen, Isla Mujeres, Punta Sam y Chetumal son reconocidos como puertos para turistas, con más de 14.3 millones de pasajeros en 2019 (*íd.*).

Por sus playas de arena blanca y mar azul turquesa, Quintana Roo es también uno de los destinos turísticos más importantes de América Latina y el Caribe. El turismo es fundamental para la economía de Quintana Roo, pues el sector turístico emplea más trabajadores en el estado que en cualquier otro; con más del 50% de la fuerza laboral dedicada a actividades turísticas y casi el 60% del producto bruto generado por el turismo, Quintana Roo es el estado más dependiente del turismo de la nación (Secretaría de Turismo de México, 2020), mientras que Cancún es considerada la zona urbana más dependiente del turismo en el mundo (WTTC, 2018). Esto es el resultado directo de la participación del gobierno mexicano en la creación de Cancún como un nuevo destino turístico, desarrollando su infraestructura aeroportuaria, sistemas de agua, energía e infraestructura turística, así como la revitalización de sitios arqueológicos, en la que era, en la década de los 70, una de las zonas más pobres y aisladas

de México. La provisión de esta infraestructura fue financiada principalmente por el Banco Interamericano de Desarrollo, y ocurrió en el contexto de la meta de desarrollo regional de México de iniciar y supervisar su industria turística (BID, 1972; Bennett & Sharpe, 1985; Clancy, 2001).

1.2 *El surgimiento de sargazo en el Caribe mexicano y su impacto*

El sargazo pertenece al grupo de algas pardas (Phaeophyceae) que habitan en los océanos del mundo. El subgrupo pelágico Sargassum, es decir, el que flota libremente en el océano, está compuesto por dos especies: Sargassum natans y Sargassum fluitans, siendo la primera la más abundante en el Océano Atlántico. El sargazo presenta un crecimiento óptimo a temperaturas entre 24° y 30°C, y bajo condiciones adecuadas de luz, salinidad y temperatura, puede duplicar su masa en menos de dos semanas (Hanisak & Samuel, 1987).

El sargazo llega de forma natural a todas las playas tropicales y semitempladas del Océano Atlántico, con variaciones estacionales provocadas por las condiciones atmosféricas y oceanográficas regionales y locales. La presencia natural de sargazo en la costa es una fuente de vivienda, alimento y nutrientes en los ecosistemas costeros, ya que proporciona hábitat y recursos directos a los organismos intermareales, que son esenciales para la vida de las aves. De manera similar, el sargazo en descomposición se incorpora a los sedimentos costeros, proporcionando nutrientes para la vegetación de las dunas, lo que a su vez promueve la estabilización de las playas y previene la erosión costera (Williams & Feagin, 2010).

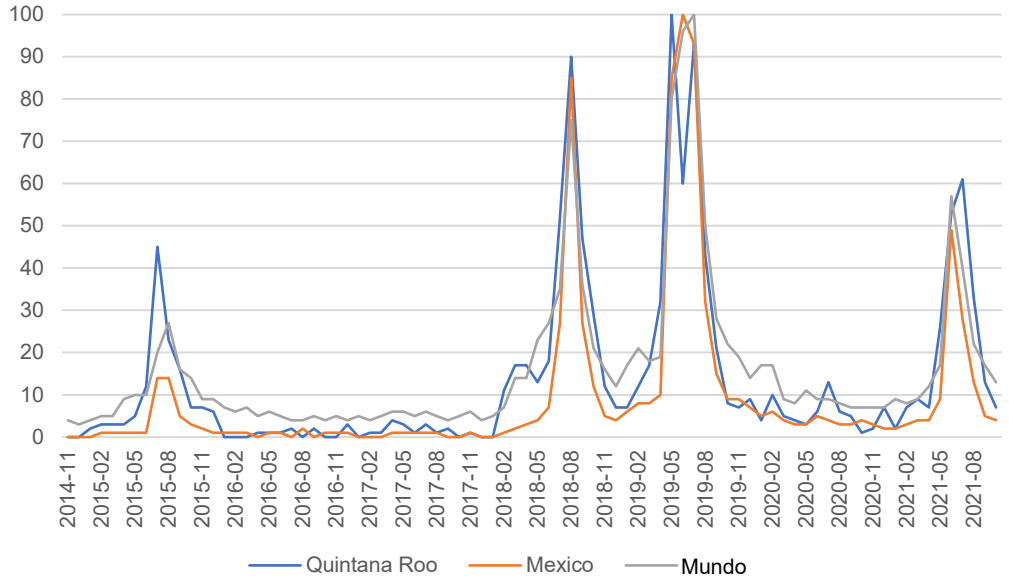
Desde el verano de 2011, un gran volumen de sargazo ha llegado de forma recurrente a lo largo de las costas del Caribe, África Occidental y el noreste de Brasil (Franks et al., 2016; Wang et al., 2019). Gower, Young y King (2013) informan que un satélite de color captura líneas de sargazo extendidas, con numerosos eventos de varamiento en playas en todo el Atlántico norte. Desde hace varios años, las acumulaciones de sargazo en el Caribe mexicano han sido continuas (Chávez et al., 2014). El megabrote de sargazo de 2015 fue lo suficientemente masivo que se convirtió en un tema de preocupación, tanto para Quintana Roo como para el gobierno nacional, debido particularmente a su potencial impacto adverso en el turismo (Espinosa & Li Ng, 2020). Una comisión interministerial coordinada por la Secretaría de Turismo y la Secretaría de Medio Ambiente de México lideró las labores de limpieza y monitoreo aéreo a lo largo de más de 180 km de costa en Quintana Roo para ese año (Gobierno de México, 2015).

Gráfico 1. Volumen de sargazo (en toneladas), Quintana Roo

Año	Toneladas recolectadas
2015	1,400
2016	1,500
2017	1,000
2018	522,226
2019	85,495
2020	19,054
2021	44,943
2022	29,243

Fuente: Rodríguez Martínez et al. (2016), Gobierno de Quintana Roo (2019), Correspondencia personal con la Secretaría de Medio Ambiente de Quintana Roo, e informe de Ángeles y Sánchez (2017).

Gráfico 2. Interés público en el sargazo por región, medido por la búsqueda web del término



Nota: Los números representan el interés de búsqueda en relación con el punto más alto del gráfico para la región y el tiempo seleccionados. Un valor de 100 es el pico de popularidad del término "sargazo" para Quintana Roo y México, y "sargazo" para búsquedas en todo el mundo, mientras que un valor de 50 significa que el término es la mitad de popular.

Fuente: Google Trends (2021).

En el verano de 2018 Quintana Roo experimentó acumulaciones extraordinarias de sargazo, y, a la fecha sigue siendo el año con la mayor afluencia de algas registrado (ver **Gráfico 1**). El interés público por el sargazo alcanzó su punto máximo entre los ciudadanos de Quintana

Roo y los mexicanos en general, en las temporadas de verano de 2018 y 2019 (ver **Gráfico 2**). De igual forma, 2018 también fue el primer año registrado con brotes de sargazo en el mar Caribe durante todo el año (Burrowes et al., 2019). En el período enero-septiembre de 2022 se recolectaron aproximadamente 29,000 toneladas de sargazo en la costa de Quintana Roo.

El resto del estudio está organizado de la siguiente manera. La Sección 2 describe las múltiples fuentes de datos que utilizamos para construir nuestras medidas y covariables de resultado. La Sección 3 proporciona la estrategia empírica que utilizamos para responder a dos preguntas de investigación: (i) ¿tiene el sargazo un efecto adverso sobre la actividad económica en las zonas costeras? y (ii) ¿es este efecto inmediato, o más bien se desarrolla y persiste en el tiempo? Las respuestas a estas preguntas distan de ser obvias, incluso si existe evidencia anecdótica de que la acumulación de sargazo está relacionada con una disminución en el turismo. Proponemos una estrategia de regresión de efectos fijos para datos de panel para estimar el impacto del sargazo en la actividad económica. Como analizamos en detalle en esta sección, la premisa de dicho modelo es que podemos controlar el sesgo de variable omitida debido a la heterogeneidad inobservable que es constante a lo largo del tiempo. La Sección 4 presenta nuestros principales resultados, así como varias pruebas de robustez. La sección 5 ofrece observaciones finales.

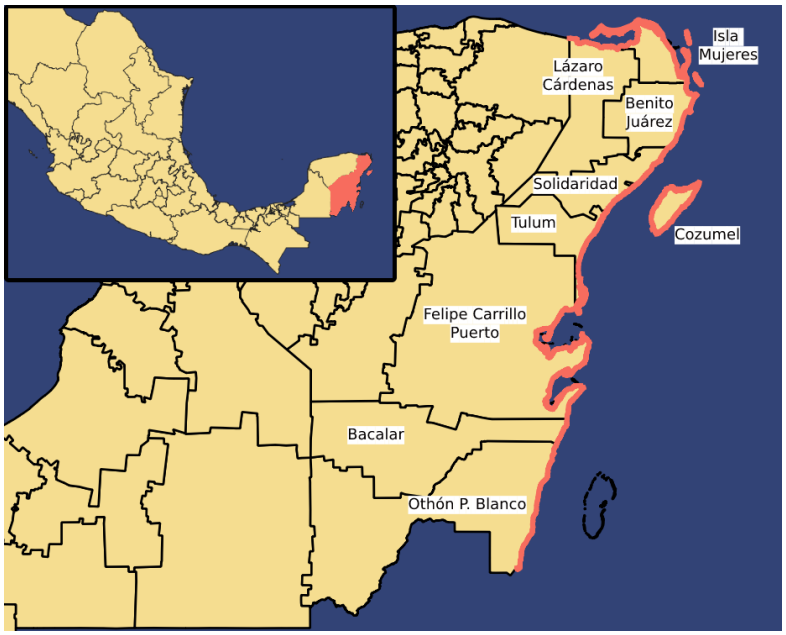
2 Descripción de datos

2.1 Diseño general del conjunto de datos

Dado que la estimación del impacto del sargazo en la actividad económica a nivel de playa está vinculada de manera crucial a la ubicación de las playas en cuestión, un diseño lógico del método de evaluación es estructurar los datos en un sistema de información geográfica (SIG). Esta estructura permite la combinación de información espacial para las características relevantes de la playa con otros tipos de información, incluidos los datos de intensidad de luz nocturna. El SIG ha demostrado ser un instrumento útil para realizar análisis económicos de problemas espaciales al incorporar características contextuales en el diseño de la evaluación, lo que permite a los investigadores combinar características relevantes basadas en observaciones de datos sistemáticos en un solo mapa con múltiples capas geográficas. En una revisión exhaustiva, Avtar et al. (2020) describen los múltiples usos que pueden tener los SIG y la teledetección en el contexto de medir el progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS), destacando que los avances científicos que se han hecho en el desarrollo de diferentes resoluciones espaciales, espectrales, radiométricas y temporales de datos geoespaciales, permiten un uso cada vez mayor de dichos datos en la investigación y la formulación de políticas.

En este contexto, una condición clave del análisis espacial es identificar la unidad de observación del conjunto de datos SIG. Geográficamente, el área de estudio está restringida a la costa de alto flujo turístico del estado de Quintana Roo, en la península de Yucatán en México, que representa aproximadamente 1,000km de costa entre la isla Holbox en el noreste y Chetumal en el sur. Dado que este estudio se enfoca en el impacto de sargazo en las áreas costeras y específicamente en el turismo de playa, una elección lógica para la unidad de observación es la playa individual dentro del área de estudio. El **Gráfico 3** representa nuestra área de estudio: el estado de Quintana Roo, que está resaltado en rojo dentro del territorio mexicano en la esquina superior izquierda del mapa. Los municipios en que se divide, y su línea costera, están representados con una línea roja en el mapa más grande a la derecha de la figura. Como solo nos interesa la línea costera, nuestro estudio se centra exclusivamente en los municipios costeros que se muestran por nombre en el mapa.

Gráfico 3: Mapa de Quintana Roo y sus municipios costeros



Ya que no existen límites administrativos establecidos que dividan la línea de costa en unidades de playa individuales, el análisis se basa en el fraccionamiento de las playas en "segmentos" mediante la aplicación de la metodología desarrollada por Cruz et al. (2019) para la segmentación geomórfica costera. Con el fin de evaluar la antropización costera en función de las variables ambientales, morfológicas y demográficas locales, los autores identificaron segmentos de la línea costera según el tipo predominante de material, dentro

de los que se incluyen arena, grava, acantilados, rocas, lodos e infraestructura artificial. Luego se establecieron los límites entre los segmentos mediante la identificación de ríos, entradas de lagunas, estructuras costeras o cambios abruptos en la alineación de la costa. Para el análisis, eliminamos cualquier segmento de la línea costera dentro de ensenadas grandes y pequeñas dado que la detección de sargazo en estos ecosistemas no era confiable. También eliminamos segmentos que delimitaban islas pequeñas y deshabitadas. De acuerdo con la caracterización geomorfológica y otros criterios, nuestra área de estudio contiene 157 segmentos de costa, con una longitud promedio de 4.2 km y una longitud total de 656 km. El **Gráfico 4** presenta dos ejemplos de segmentación de la línea costera según Cruz et al. (2019) dentro de nuestra área de estudio.

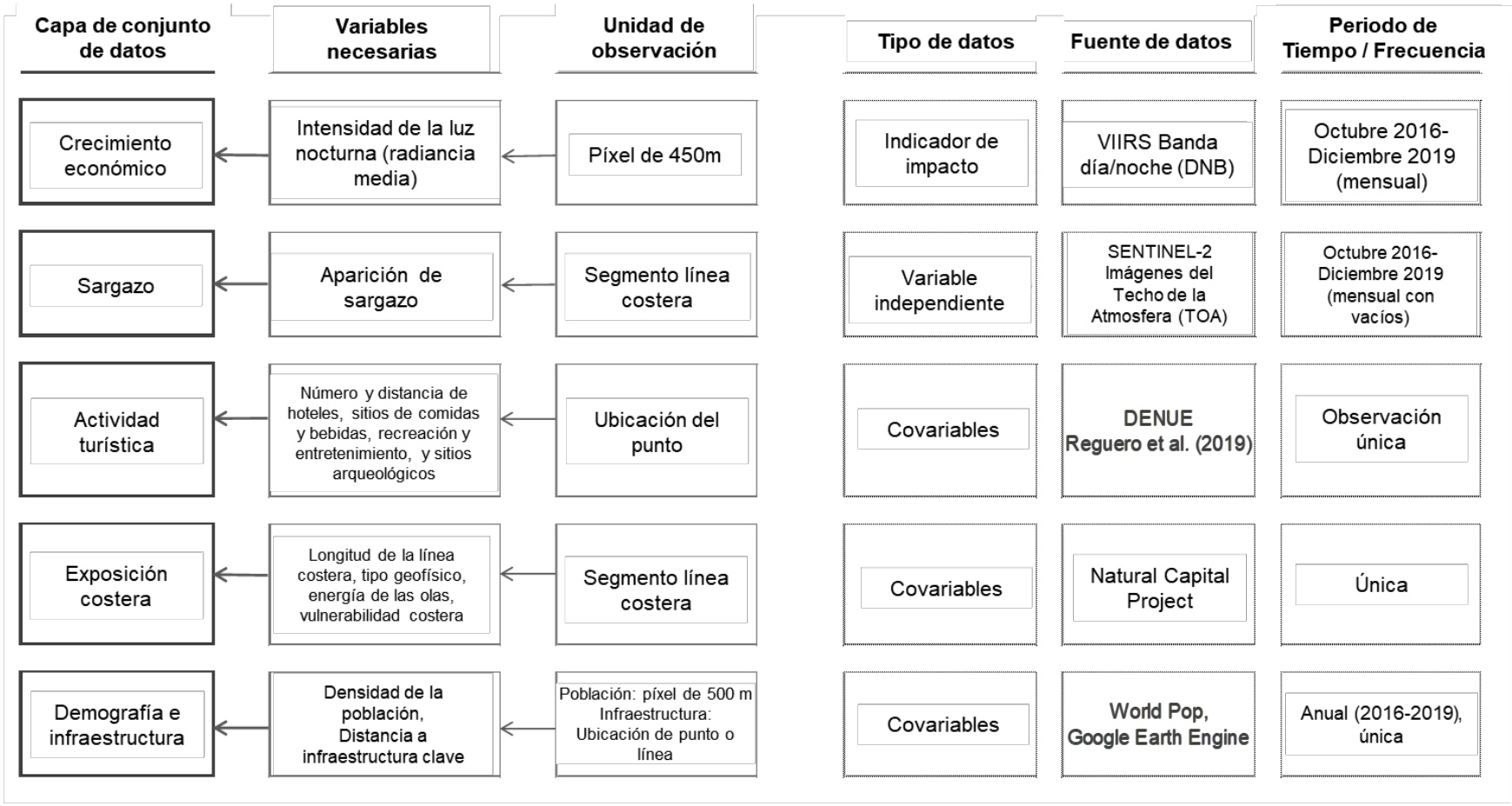
Gráfico 4. Ejemplos de segmentación de la línea costera en el área de estudio

Como se muestra en la **Tabla 1**, el 60% de los segmentos de la línea costera identificados consisten en arena, lo cual está en línea con la naturaleza turística de las playas arenosas de Quintana Roo. Aproximadamente el 30% de los segmentos consisten en acantilados o material rocoso, mientras que solo una pequeña porción (5%) es infraestructura artificial.

Tabla 1. Tipología de los segmentos de línea costera

Tipo geomórfico	Número de segmentos de línea costera
Infraestructura artificial	9
Acantilado o rocoso	49
Arena	99
Total	157

Gráfico 5. Diseño del conjunto de datos SIG



Nota: Las capas del conjunto de datos están organizadas por categoría de los datos requeridos (indicador de impacto o categoría de variables de control). La unidad de observación varía según el tipo de indicador de impacto (específicamente para los datos de intensidad de las luces nocturnas), pero todos los datos son agregados al segmento de playa individual.

Luego de esta división espacial del área de estudio en segmentos de playa, se llevó a cabo un esfuerzo exhaustivo de recopilación de datos para identificar y cuantificar varios atributos clave, como la exposición de la playa, y las características de la infraestructura y la demografía circundantes. Esto se hizo con el objetivo de asegurar que se pueda identificar un contrafactual válido para playas con sargazo y que se estime el impacto con atribución. Siguiendo la estrategia propuesta por primera vez por Corral y Schling (2017), el **Gráfico 5** presenta el diseño del conjunto de datos SIG, que consta de cinco capas geográficas que contienen la información relevante para este análisis espacial y temporal.

Debido a que la longitud del segmento de la línea costera es muy variable, con un rango de 200m a 40km, calculamos la mayoría de las métricas espaciales utilizando un conjunto de puntos espaciados regularmente, separados por 50m, a lo largo de la línea costera. Estos puntos se usaron para calcular métricas como distancias a la infraestructura, y luego los valores de los puntos se resumieron por segmento utilizando un cálculo de agregación apropiado, como media o mínimo, según la métrica.

2.2 Sargazo

Nuestra principal variable de interés es la detección de sargazo a lo largo de la costa de Quintana Roo, donde su presencia y acumulación en las playas puede afectar negativamente el turismo y la actividad económica en general. La detección y el monitoreo satelital de sargazo se han llevado a cabo con éxito desde hace al menos una década. Muchos estudios han aplicado índices de teledetección directos, como el Índice de Algas Flotantes (FAI) (Hu, 2009), el Índice Máximo de Clorofila (MCAI) (Gower et al., 2006) y el Índice Alternativo de Algas Flotantes (AFAI) (Wang & Hu, 2016; Wang et al., 2019), que aprovechan la mayor reflectancia de las plantas en la banda espectral del infrarrojo cercano en relación con los elementos circundantes, como el agua o el sustrato de la playa. Los datos que utilizan estos métodos para detectar y monitorear la distribución, densidad y cobertura del sargazo oceánico están disponibles públicamente. Por ejemplo, el Sargassum Watch System (SaWS) [Sistema de Vigilancia del Sargazo] de la Universidad del Sur de Florida produce mapas de sargazo en todo el mar Caribe (y otras regiones del mundo) utilizando el FAI derivado del satélite espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) (NOAA, 2019), e imágenes satelitales VIIRS y Landsat 8 OLI.

Tabla 2. Conteo de días de imágenes únicas de Sentinel-2 que alcanzan el umbral máximo de porcentaje de píxeles nublados por año

Año	Conteo días imágenes únicas S-2
2015	2
2016	6
2017	18
2018	40
2019	41
Todos los años combinados	107

A pesar de los avances significativos en la teledetección y el monitoreo de sargazo flotante[1], la mayoría de estos estudios y esfuerzos se centran en el monitoreo y pronóstico de sargazo casi en tiempo real en aguas abiertas, y utilizan imágenes de escala gruesa (500-1,000m para MODIS), aunque con tiempos de revisita frecuentes (~1 día). Para los propósitos de este estudio, que se enfoca en las tendencias históricas de sargazo, y no en el contexto de aguas abiertas sino a lo largo de una línea costera geomorfológicamente diversa, es necesario contar con imágenes de mayor resolución para mapear los eventos históricos de sargazo en playas y cerca de la costa para los segmentos individuales designados. Por lo tanto, se adoptó un enfoque novedoso de procesamiento de datos para generar un conjunto de datos completo de observaciones históricas de sargazo a frecuencia media y resolución espacial más alta.

Desarrollamos una serie de tiempo de teledetección de la distribución de sargazo a lo largo de las playas de Quintana Roo utilizando imágenes satelitales de Sentinel-2 MSI desde finales de 2016 hasta 2019. Las imágenes de Sentinel-2 MSI tienen un tamaño de píxel de 10 metros en las bandas espectrales visibles, que permiten una discriminación espacial razonable de las acumulaciones de sargazo medianas y grandes que ocurren cerca de la costa en Quintana Roo. Sentinel-2 tiene un tiempo de revisita de 5 días, pero debido a la nubosidad en la región, la disponibilidad de imágenes aceptables es menos frecuente y en un intervalo de tiempo irregular.

[1] Véase Hu et al. (2015) para una revisión exhaustiva de los enfoques de medición que se han desarrollado utilizando varios sensores con diferentes requisitos espectrales y espaciales.

Tabla 3. Conteo de días de imágenes únicas de Sentinel-2 que alcanzan el umbral máximo de porcentaje de píxeles de nube por mes a través de los años

Mes	Conteo días imágenes únicas S-2
1 – enero	3
2 – febrero	12
3 – marzo	11
4 – abril	10
5 – mayo	10
6 – junio	8
7 – julio	9
8 – agosto	8
9 – septiembre	9
10 – octubre	7
11 – noviembre	9
12 – diciembre	11

Accedimos a imágenes Sentinel-2 de nivel 1C de Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017). Debido a la naturaleza dinámica de la aparición de sargazo a lo largo de la costa, es necesario analizar imágenes que cubran completamente el área de estudio por fecha para capturar la variabilidad espaciotemporal de la presencia y cobertura de las algas. Nuestra área de estudio está cubierta por seis gránulos o *tiles* (baldosas) Sentinel-2. Para nuestro análisis, seleccionamos imágenes solo de las fechas que tienen menos del 30% de porcentaje de píxeles nublados para al menos cinco de los seis *tiles* de la región de estudio. Este criterio resultó en un rango de intervalos de tiempo entre la fecha de la imagen y un número variable de imágenes por año (**Tabla 3**).

De manera similar a Cuevas et al. (2018), utilizamos un algoritmo supervisado de clasificación de bosque aleatorio (Brieman, 2001) para clasificar los píxeles de la imagen en sargazo frente a otras clases de cubierta terrestre (otra vegetación, nubes, playa sin vegetación y edificios). Antes de la clasificación, la región a clasificar se enmascaró para excluir áreas de la imagen que definitivamente no eran sargazo, incluyendo aguas abiertas, áreas terrestres y nubes. Estas máscaras preliminares no son perfectas, especialmente el enmascaramiento de nubes, por lo que algunas de estas características permanecen en las imágenes preclasificadas, y por lo tanto, se incluyen como categorías de cobertura terrestre para entrenar el modelo de bosque aleatorio. Las categorías que no son de sargazo se

agrupan en la categoría de "sargazo ausente" después de la clasificación de bosque aleatorio.

Los datos de entrenamiento y prueba para las clases de sargazo y no sargazo se interpretaron visualmente para una sola fecha (2019-05-07), guiados por imágenes de mayor resolución (PlanetScope) y ubicaciones de puntos de presencia/ausencia de Sargassum Monitoring. Se evaluaron una variedad de bandas e índices espectrales para optimizar los insumos para el modelo de bosque aleatorio para la detección de sargazo cerca de la costa. El conjunto final de bandas e índices se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Conjunto optimizado de bandas e índices espectrales utilizado para la clasificación de sargazo cerca de la costa

Banda espectral	Descripción	Longitud de onda central	Tamaño del píxel
B2	Banda azul	493 nm	10 m
B5	Banda de borde rojo	704 nm	20 m
B8A	Banda de infrarrojo cercano (NIR)	865 nm	20 m
B12	Banda de infrarrojo de onda corta	2,190 nm	20 m
Índice	**Descripción**		
FAI	Índice de Algas Flotantes (*Floating Algae Index)*		
SEI	Índice de Mejora de Algas Marinas *(Seaweed Enhancing Index)*		
NDVI	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado		
NDVI medio	NDVI mediana anual		
NDVI mínimo	NDVI mínimo anual		
NDVI diferencia de la mediana	Diferencia entre el NDVI de una sola fecha y el NDVI medio anual		

El **Gráfico 6** muestra una representación visual de cómo se detectó y clasificó el sargazo utilizando la estrategia aplicada. El panel (a) presenta una imagen Sentinel-2 de muestra en color falso para una fecha con sargazo mínimo (2021-12-03); El panel (b) muestra la misma región en una fecha con una gran afluencia de sargazo (2021-05-07); y el Panel (c) muestra el resultado de la clasificación de imágenes para la segunda fecha, con los píxeles de sargazo detectados resaltados en magenta. La comparación de dos fechas demuestra el valor de incluir una entrada multitemporal en la clasificación (es decir, la diferencia de NDVI) junto con bandas e índices individuales de la fecha de interés. Debido a que la presencia de sargazo es dinámica, una comparación entre períodos de tiempo puede resaltar las áreas con sargazo.

Gráfico 6. Ejemplo visual de detección y clasificación de sargazo

Panel (a) *Panel (b)* *Panel (c)*

El resultado de la clasificación de bosque aleatorio se probó con puntos de validación adicionales seleccionados al azar de seis fechas de imágenes en todas las estaciones, representados en un rango de abundancia de sargazo de baja a alta. La precisión general para la clasificación de sargazo vs. no sargazo para todas las fechas, como porcentaje de polígonos correctamente clasificados, osciló entre el 74% y el 99%. La **Tabla 6** muestra que la precisión es generalmente mejor para los períodos de tiempo de mayor abundancia, pero las precisiones ligeramente más bajas en septiembre, noviembre y diciembre son aceptables y pueden ser un artefacto de la menor cantidad de polígonos de sargazo disponibles para la validación.

Para los datos finales, todos los píxeles dentro de los 100 metros de la línea costera se clasifican en una de estas tres categorías: sargazo presente, sargazo ausente y sin datos (píxeles nublados). El conteo de píxeles para cada una de las tres categorías se asigna al segmento de la línea costera adyacente por fecha. Este conjunto de datos final muestra la variabilidad espacial y temporal de la distribución de sargazo a lo largo de las playas de Quintana Roo durante un período de cuatro años, desde octubre de 2016 hasta diciembre de 2019.

Para el propósito de este estudio, la presencia de sargazo en un segmento de playa se mide como una variable dicotómica que toma el valor 1 si se detectó sargazo en el segmento de playa b en el mes t. Teniendo en cuenta que se necesita una cantidad bastante grande de sargazo para que sea detectado a través de satélites, consideramos que el nivel detectable de sargazo es suficiente para tener un impacto en la actividad económica local[2].

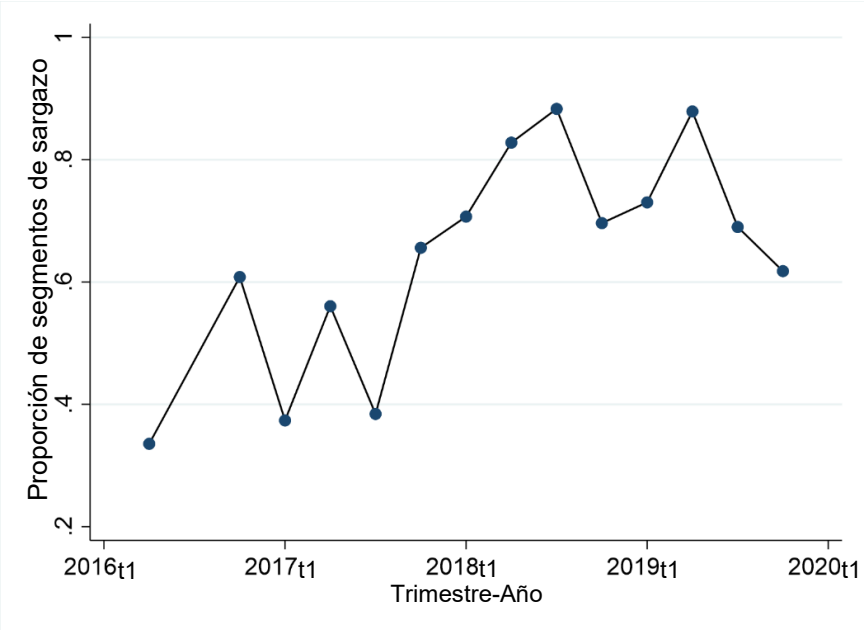
Tabla 5. Precisión general de la clasificación de presencia/ausencia de sargazo para siete fechas de imágenes en 2019

Fecha	Precisión general presencia / ausencia de sargazo % polígonos correctos
2019-02-26	93%
2019-04-02	90%
2019-05-07 ***(fecha de entrenamiento)***	99%
2019-06-26	92%
2019-09-14	81%
2019-11-18	83%
2019-12-03	74%
Todas las fechas combinadas	88%

El **Gráfico 7** muestra el porcentaje de segmentos de playa de la muestra por trimestre, en donde se detectó la presencia de sargazo, tal como se define en el párrafo anterior. Se puede observar que este indicador sigue una tendencia similar a la reportada en el **Gráfico 2**. Siguiendo esta tendencia, es interesante notar que durante el primer semestre de 2018 y el primer trimestre de 2019, se detectó sargazo en más del 80% de segmentos de playa de la muestra.

[2] Cabe señalar que los segmentos de playa para los que se detectó la presencia de sargazo en cada período de tiempo observado se excluyen automáticamente del análisis (consulte la Sección 3), ya que la falta de variación impide la estimación de un efecto para tales ubicaciones. Esto representa un total de 7 segmentos de playa (4% de la muestra).

Gráfico 7. Tendencia trimestral de presencia de sargazo



2.3 Intensidad de la luz nocturna como indicador de la actividad económica

El principal impacto que evaluamos es el efecto de la presencia de sargazo en la actividad económica a nivel del segmento de la línea costera. Para el estado de Quintana Roo, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) proporciona variables que se utilizan tradicionalmente para medir la actividad económica, como el producto interno bruto (PIB) y la tasa de empleo o la tasa de inversión, pero lo hace solo a nivel estatal, o en el mejor de los casos a nivel municipal, que es una agregación espacial demasiado grande para captar los cambios en la actividad económica como resultado de los impactos del sargazo. Dada la falta de disponibilidad de medidas tradicionales de actividad económica en segmentos de playa pequeños, cuya desagregación es necesaria para el propósito de esta evaluación de impacto, nos basamos en datos de la intensidad de luz nocturna obtenidos por teledetección para aproximarnos a la actividad económica.

La intensidad de la luz nocturna o luminosidad ha sido registrada por sensores satelitales desde la década de los 70. Entre 1992 y 2013, el Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (DMSP, por sus siglas en inglés) utilizó los llamados sensores OLS (*Operational Linescan System* [Sistema de Escaneo Lineal Operativo]) para detectar luces terrestres (Henderson et al., 2012). En 2012, el sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* [Radiómetro de Imágenes en el Infrarrojo Visible]) del satélite de la Asociación Nacional de Orbita Polar Suomi (NPP) comenzó a registrar observaciones globales sobre la intensidad de la luz y reemplazó los

DMSP-OLS. Entre 22 bandas espectrales, el NPP-VIIRS proporciona la Banda Día/Noche (DNB por sus siglas en inglés) que permite la medición de la intensidad de las luces nocturnas con una resolución espacial de 15 arcosegundos, lo que se traduce en una malla de latitud-longitud de píxeles rectangulares de un tamaño de aproximadamente 500m^2 (Iván et al., 2020). Usando estas imágenes, el Earth Observations Group (EOG) en los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) pone a disposición del público compuestos mensuales de radiancia promedio libre de nubes (EOG, 2021)[3]. Usamos Google Earth Engine (GEE) para obtener el compuesto de radiancia promedio mensual generado por EOG (GEE, 2021). Para cada píxel de la malla, la intensidad de la luz nocturna se mide en nanovatios por centímetro cuadrado por estereorradián, o nW/(cm2·sr)[4] (Cao & Bai, 2014). Cabe señalar que en comparación con los sensores DMSP-OLS anteriores, los datos NPP-VIIRS más nuevos tienen la ventaja de proporcionar imágenes de mayor resolución (en comparación con la resolución espacial de 13 arcosegundos de DMSP-OLS), mayor frecuencia (con imágenes diarias disponibles en lugar de solo compuestos mensuales), se benefician de las capacidades de calibración a bordo de los satélites que permiten la consistencia en las mediciones a lo largo del tiempo, tienen una mayor sensibilidad a los niveles de luz más bajos y no sufren de sobresaturación en regiones brillantes, lo que permite una mayor precisión en la estimación de la actividad socioeconómica (Jing et al., 2016; Levin et al., 2020).

Numerosos estudios (*e. g.*, Elvidge et al., 1997; Sutton y Costanza, 2002; Ghosh et al., 2010; Henderson et al., 2012; Kyba et al., 2017) han establecido que existe una relación lineal positiva entre crecimiento económico y un mayor consumo de energía por persona. Una ventaja clave sobre la mayoría de los indicadores socioeconómicos que normalmente se basan en datos censales o datos administrativos similares, es que la emisión de luz se puede medir de manera instantánea, objetiva y sistemática con una resolución considerablemente alta (Cauwels et al., 2014; Levin et al., 2020). Teniendo en cuenta la escasez de datos socioeconómicos confiables, particularmente en los países en vías de desarrollo, múltiples estudios se han basado en datos de intensidad de luz nocturna como un *proxy* del crecimiento económico para llevar a cabo análisis empíricos que requieren de una alta desagregación espacial. En un estudio centrado en el desarrollo económico dentro

[3] Elvidge et al. (2017) proporcionan una descripción detallada de cómo se construye la métrica de luces nocturnas a partir de imágenes VIIRS.

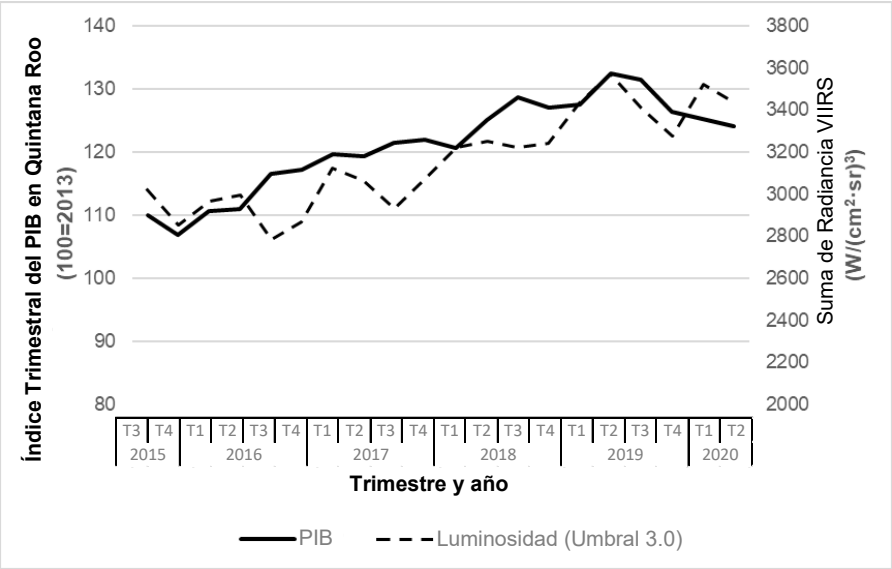
[4] El rango dinámico de radiancia se encuentra entre 5 × 10−11 W/cm2·sr1 y 0.02 W/cm2·sr.

de la ciudad, Agnew et al. (2008) evalúan el efecto de la oleada militar estadounidense en barrios específicos de Bagdad en 2007 sobre los niveles de violencia, y, en consecuencia, sobre la calidad de vida. Storeygard (2013) utiliza la intensidad de la luz nocturna para investigar el efecto de los costos del transporte interurbano en la actividad económica urbana en el África subsahariana. Alesina et al. (2016) emplean datos de intensidad de luz nocturna combinados con la ubicación histórica de grupos etnolingüísticos para construir un índice de desigualdad de ingresos étnicos en más de 150 países. En un estudio reciente, Corral y Schling (2017) emplean la intensidad de la luz nocturna para evaluar el impacto económico local de un programa de estabilización de la línea costera en Barbados, mientras que otro estudio por Corral et al. (2018) se basa en la intensidad de la luz nocturna para estimar el impacto económico del proyecto de hidrocarburos más grande de Perú a nivel departamental.

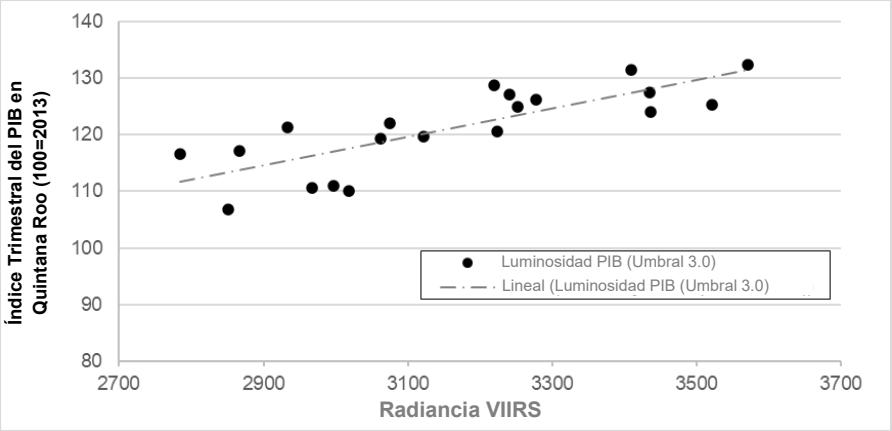
Si bien no podemos evaluar directamente la relación entre la intensidad de la luz nocturna y la actividad económica a nivel del segmento de playa, examinamos qué tan cerca se correlacionan las dos medidas en el nivel más pequeño posible de resolución geográfica. En nuestro caso, esto sucede a nivel estatal, ya que el INEGI proporciona datos trimestrales sobre el producto interno bruto (PIB) de Quintana Roo y todos los demás estados mexicanos[5]. El **Gráfico 8** presenta una visualización de esta relación.

[5] Debido a que la Banda Día/Noche VIIRS (DNB) tiene una mayor sensibilidad a niveles de luz más bajos, está sujeta a la detección de fuentes de luz tenue que no son antropogénicas (Coesfeld et al., 2020) o dispersas de otras áreas (Miguel et. al. 2020). El efecto de esta sensibilidad se exacerba cuando se calcula la suma de luces en grandes áreas con iluminación antropogénica mínima o nula, como Quintana Roo. Por lo tanto, una estrategia común es establecer un umbral mínimo de radiancia para calcular métricas adicionales a partir de los píxeles de radiancia para evitar que muchos valores pequeños, pero potencialmente falsos, eclipsen patrones importantes de actividad económica. Para nuestro análisis de correlación con el PIB, establecemos el umbral mínimo de radiancia en 3.0 nW/cm2/sr.

Gráfico 8. Intensidad de la luz nocturna como medida de la actividad económica



(i) PIB e intensidad de la luz nocturna a lo largo del tiempo

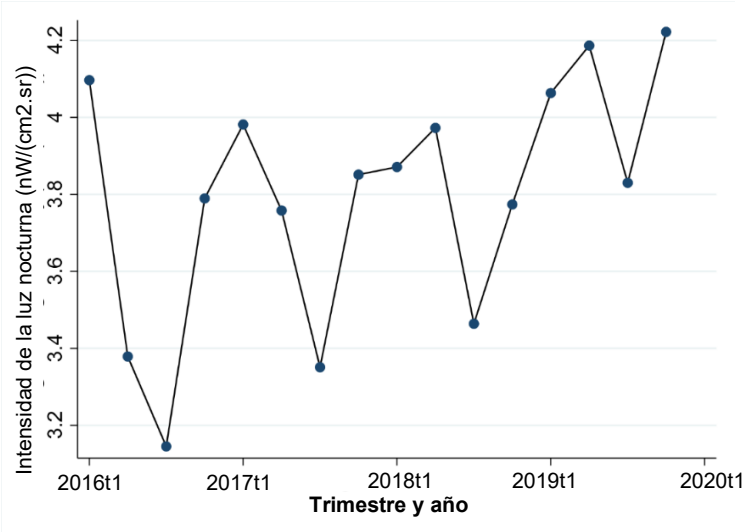


(ii) Representación gráfica del PIB vs. intensidad de la luz nocturna

En el Panel (i), observamos la tendencia de la radiancia VIIRS y el PIB a nivel estatal en el tiempo, para el período de estudio de la segunda mitad de 2015 hasta el segundo trimestre de 2020. Como se puede ver, hay un aumento gradual tanto en el crecimiento económico como en la radiancia VIIRS para el estado en su conjunto, sugiriendo que una tendencia paralela se mantiene para ambas medidas. El panel (ii) ilustra esta estrecha relación al graficar el PIB frente a la intensidad de la luz nocturna, lo que indica que se mantiene una clara relación lineal y positiva para las dos medidas. Cuantitativamente, esta relación se puede confirmar estimando el coeficiente de correlación de Pearson, con un valor robusto de 0.839. De manera similar, el R^2 para la regresión lineal muestra un valor de 0.703, lo que confirma aún más que la intensidad de la luz nocturna puede representar

una parte significativa de la variación observada en la actividad económica trimestral. Por último, para determinar cuantitativamente cómo un cambio en la intensidad de la luz nocturna se traduce en un cambio en el PIB, la elasticidad es también, un tema de interés. Estudios realizados por Elvidge et al. (1997), Henderson et al. (2012) y otros, han encontrado que, según el contexto del país, la elasticidad del PIB con relación a la intensidad de la luz nocturna tiende a ser de magnitud 1. Como se presenta en el Apéndice A, en el caso de Quintana Roo, una regresión log-log simple indica una elasticidad de 0.66. Por supuesto, al interpretar los resultados de este estudio, será importante tener en cuenta que la relación entre el producto bruto local y la intensidad de la luz nocturna puede diferir a nivel de playa, por lo que la estimación exacta de los cambios en la intensidad de la luz nocturna presentará una aproximación de cambios en el producto bruto local a este nivel.

Gráfico 9. Tendencia trimestral de la intensidad de luz nocturna



En resumen, el conjunto de datos final de intensidad de luz nocturna que se utilizará para realizar el análisis consiste en observaciones mensuales para el período comprendido entre octubre de 2016 y diciembre de 2019, para 157 segmentos de la línea costera del estado de Quintana Roo en México**.** El **Gráfico 9** presenta el promedio trimestral de la intensidad de la luz nocturna a nivel del segmento de playa. Como era de esperar, la intensidad de la luz nocturna presenta cierta estacionalidad de acuerdo con los altibajos de la actividad turística, que alcanza su punto máximo durante el invierno y principios de la primavera en Quintana Roo, y que generalmente es menor durante los calurosos meses de verano.

2.4 Covariables adicionales

Además de las principales variables de interés, obtuvimos una serie de variables para caracterizar cada segmento de la línea costera como se presenta en el Gráfico 5. El primer grupo de estas características consiste en infraestructura básica e información demográfica sobre el área de estudio, incluida la ubicación y la distancia desde el segmento de playa hasta los sitios de infraestructura crítica, como las carreteras principales, los aeropuertos y puertos. Los datos de infraestructura se compilaron a partir de una variedad de fuentes disponibles de manera gratuita (incluidas Natural Earth, Humanitarian Data Exchange, and MapCruzin.com) y se complementaron con información de expertos locales. Para vincular estos datos al segmento de playa individual, medimos las distancias a estos elementos desde cada punto de 50 m a lo largo de la costa y calculamos la distancia mínima y media por segmento. Además, incluimos la densidad de población anual obtenida de WorldPop, que basa sus estimaciones en la información censal disponible para proyectar los cambios anuales en la población, y utiliza conjuntos de datos geoespaciales para desagregarlos en conteos de malla de 100m x 100m (WorldPop, 2020). Para acomodar las diferencias entre la ubicación de la línea costera y el *raster* de WorldPop, agregamos los píxeles de 100m sumándolos en píxeles de 500m. Luego, sumamos todos los conteos de población en cada segmento de la costa para los años 2016-19.

El siguiente grupo recopila información sobre la geomorfología de la playa, la exposición a las olas y la vulnerabilidad costera de los segmentos de la costa, un determinante crucial en el contexto de este análisis dada la relevancia del turismo de playa en el área de estudio y el impacto potencial que puede tener la presencia de sargazo en él. Los atributos de la playa incluyen la longitud total del segmento de la línea costera y el tipo de playa geofísica (arena, roca, lodo, artificial) (Cruz et al. 2019). Además, las métricas adicionales desarrolladas por el Proyecto de Capital Natural de la Universidad Stanford brindan una medida de la dinámica de las olas que puede afectar, tanto la entrada de sargazo, como el atractivo de la costa desde una perspectiva recreativa. Estas métricas incluyen la exposición relativa a las olas y el índice de exposición costera derivado del modelo InVEST Coastal Vulnerability (CV por sus siglas en inglés) (Sharp et al. 2020) que se ha aplicado en todo el mundo para evaluar el riesgo de los peligros costeros (Arkema et al. 2013, Cabral et al. 2017, Silver et al. 2019). La exposición relativa a las olas se calcula a partir de la velocidad histórica del viento, la altura y la potencia de las olas; la distancia al punto de tierra más cercano; y profundidad media del fondo en 16 direcciones cardinales. Un tramo dado de la costa generalmente está expuesto a olas oceánicas u olas generadas

localmente impulsadas por el viento. El índice de exposición costera sintetiza múltiples variables biofísicas clasificadas, incluida la geomorfología, el relieve, los hábitats naturales, la exposición a las olas, la exposición al viento y el potencial de oleaje, en un solo valor calculado como la media geométrica de todos los rangos de las variables. Los rangos van desde 1 (exposición muy baja) a 5 (exposición muy alta).[6]

El último conjunto de covariables caracteriza el alcance de las actividades turísticas que tienen lugar cerca de cada segmento de playa. Para este propósito, incluimos información sobre la cantidad de hoteles (con una medida separada para la cantidad de hoteles de cinco estrellas) y otras instalaciones de alojamiento, así como la cantidad de instalaciones de alimentos y bebidas ubicadas a menos de 1km de la costa. Esta información fue extraída del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Mexicano de Estadística, que proporciona datos de infraestructura para el período 2010-2020 (INEGI, 2020) y la información sobre hoteles de cinco estrellas se obtuvo de un estudio de Reguero et al. (2019). También incluimos las distancias medias y mínimas al alojamiento o establecimiento de alimentos y bebidas más cercano desde cada segmento de playa, agregadas a partir de los puntos de 50m espaciados regularmente a lo largo de la línea costera. Además, incluimos el conteo dentro de 1km y la distancia a los centros de recreación y entretenimiento más cercanos, y a los sitios arqueológicos del segmento de playa. Este último se incluye dada su prevalencia y atractivo turístico a lo largo de la costa de Quintana Roo. Con base en la hipótesis de que la disponibilidad de alojamiento y actividades recreativas afectan la actividad económica y turística general a nivel local, estas covariables serán relevantes para controlar otros factores que determinan la actividad económica local en cada segmento de playa.

La Tabla 6 presenta las variables a nivel de segmento incluidas en nuestros datos. Para presentar la variedad de segmentos de playa en nuestra muestra, agrupamos los segmentos de playa por municipio, como la división administrativa de segundo nivel en México, por debajo del nivel estatal. De acuerdo con las divisiones a nivel de municipio a lo largo de la costa de Quintana Roo, clasificamos los segmentos de playa según su ubicación en los municipios con una gran concentración de actividades turísticas, a saber: Benito Juárez (incluyendo Cancún), Solidaridad (incluyendo Playa del Carmen), Tulum y Cozumel. Los segmentos de playa restantes fueron asignados a la categoría de “Islas pequeñas”, que incluían todas las islas excepto Cozumel, y “resto del estado” para aquellos segmentos de playa ubicados fuera de los municipios antes mencionados.

[6] Consulte la guía del usuario del modelo InVEST CV (Sharp et al., 2020) para obtener más detalles sobre cómo se miden los indicadores de vulnerabilidad costera.

Tabla 6. Estadísticas de resumen por municipio

	Benito Juárez (Cancún)	Solidaridad (Playa del Carmen)	Tulum	Cozumel	Islas pequeñas	Resto del estado	Total
Número de segmentos de playa	17	50	24	33	13	20	157
Infraestructura básica e información demográfica							
Densidad de población (2018)	3.48 (4.13)	1.29 (2.55)	1.01 (1.24)	1.47 (4.11)	3.46 (9.01)	0.55 (1.99)	1.55 (4.16)
Distancia media a la carretera más cercana (km)	0.96 (0.96)	1.17 (0.47)	0.76 (0.74)	4.99 (5.30)	17.46 (11.65)	15.62 (14.46)	6.96 (10.80)
Distancia media al aeropuerto más cercano (km)	13.29 (5.72)	28.40 (6.27)	56.38 (17.50)	13.46 (7.22)	16.38 (13.34)	47.94 (43.12)	31.23 (27.88)
Distancia media al puerto más cercano (km)	5.58 (5.76)	10.40 (5.68)	10.43 (5.36)	14.19 (7.51)	16.04 (12.68)	20.74 (17.55)	13.68 (11.74)
Geomorfología de la playa, exposición al oleaje y vulnerabilidad costera							
Longitud del segmento (km)	3.49 (4.25)	1.40 (1.49)	6.47 (10.75)	3.84 (4.73)	8.86 (8.89)	14.67 (20.90)	6.62 (12.55)
Índice de vulnerabilidad costera: exposición	2.77 (0.34)	2.07 (0.31)	2.45 (0.31)	1.97 (0.42)	2.89 (0.62)	2.70 (0.32)	2.33 (0.50)
Índice de vulnerabilidad costera: intensidad del oleaje	22.05 (9.17)	7.09 (7.16)	21.35 (7.94)	17.24 (14.85)	20.47 (14.83)	31.75 (6.16)	17.32 (13.03)
Actividades turísticas							
Número de hoteles en un radio de 1km	12.22 (18.59)	16.42 (45.66)	5.14 (6.89)	3.80 (9.61)	8.77 (15.34)	1.09 (3.27)	7.91 (25.60)
Número de hoteles de 5 estrellas en un radio de 1km	0.61 (0.95)	0.16 (0.88)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.15 (0.63)	0.13 (0.64)
Número de alojamientos dentro de 1km	12.44 (16.67)	12.16 (39.46)	7.79 (14.52)	4.59 (12.21)	19.27 (30.13)	1.48 (5.26)	8.56 (24.87)
Número de sitios de alimentos y bebidas en un radio de 1km	25.28 (29.00)	31.36 (98.48)	5.34 (8.58)	28.34 (85.91)	42.61 (77.55)	2.14 (9.86)	21.29 (69.09)
Número de sitios entretenimiento y recreación dentro de 1km	4.61 (6.11)	3.82 (9.00)	1.65 (1.98)	5.21 (14.33)	2.67 (6.17)	0.37 (1.77)	2.92 (8.31)
Distancia media al alojamiento más cercano (km)	0.49 (0.46)	1.29 (1.19)	1.44 (1.50)	6.61 (5.97)	13.32 (12.09)	14.67 (11.59)	6.64 (9.44)
Distancia media a alimentos y bebidas más cercano (km)	1.08 (1.11)	2.61 (2.36)	2.70 (3.65)	2.88 (3.58)	9.60 (10.07)	19.08 (17.05)	7.17 (11.57)
Distancia media al entretenimiento y rec. más cercano (km)	1.41 (1.30)	1.37 (1.20)	5.99 (10.05)	5.16 (3.86)	15.20 (13.41)	28.37 (20.48)	10.51 (15.78)
Distancia media al sitio arqueológico más cercano (km)	10.39 (10.36)	10.82 (6.10)	10.24 (8.27)	9.38 (4.09)	41.48 (22.12)	52.35 (21.94)	23.60 (23.34)

Para vincular los segmentos de playa con los municipios, utilizamos datos geoespaciales sobre los límites administrativos subnacionales mexicanos obtenidos del INEGI. Cabe señalar que estas agrupaciones a nivel de municipio varían en número de segmentos, así como en sus características. Por ejemplo, los segmentos de playa asignados a la categoría "resto del estado" son considerablemente más largos que los de Solidaridad. Sin embargo, los segmentos de playa en Solidaridad tienen en promedio casi 16 veces más hoteles dentro de un radio de 1km que los del resto del continente. Otra diferencia notable viene en términos de densidad de población en 2018, ya que segmentos de playa como los de Benito Juárez están muy densamente poblados, mientras que los del resto del estado no lo están. Esto, por supuesto, tendrá un impacto en la intensidad de la luz nocturna percibida y, por lo tanto, es importante controlarlo.

3 Estrategia empírica

3.1 Modelo básico

Dado que esperamos que la presencia de sargazo varíe con el tiempo y de una manera que no sea uniforme en todos los segmentos de playa, proponemos utilizar una estrategia de regresión de efectos fijos para datos de panel para estimar el impacto del sargazo en la intensidad de la luz nocturna. Vale la pena mencionar que como se revisó en la Sección 1, la presencia de sargazo tiene un componente cíclico en el área de Quintana Roo. Sin embargo, la afluencia de sargazo en una playa específica y en un momento determinado, no debería estar relacionada con la actividad económica o la intensidad de la luz nocturna, ya que depende totalmente de las características geomorfológicas del segmento, así como de la dinámica del oleaje en alta mar que no están correlacionadas con la actividad económica local. Por lo tanto, para un segmento de playa dado en un período de tiempo determinado, la exposición al sargazo debe considerarse exógena.

El método de efectos fijos propuesto permite controlar la heterogeneidad inobservable en un sistema que no varía en el tiempo entre los segmentos de playa (Stock y Watson, 2011). Por lo tanto, la regresión debe tomar la siguiente forma:

$$y_{bmt} = \alpha Sarg_{bt} + \boldsymbol{x}'_{bt}\boldsymbol{\beta} + \gamma_t + \delta_m + \varepsilon_{bt} \qquad (1)$$

donde $\boldsymbol{y_{bt}}$ representa la intensidad de la luz nocturna en la playa en el mes t y el segmento de playa b ubicado en el municipio m, $\boldsymbol{Sarg_{bt}}$ representa una variable binaria que toma el valor 1 si se detecta sargazo en el segmento de playa b durante el mes t, y $\boldsymbol{x'_{bt}}$ es un vector de covariables a nivel de segmento de playa. Los controles a nivel de segmento incluyen

las siguientes covariables que se describieron en la Sección 2: longitud de la playa, vulnerabilidad costera, intensidad de las olas, densidad de población, número de hoteles dentro de un radio de 1km, y número de hoteles de 5 estrellas dentro de un radio de 1km, así como como la distancia en kilómetros al sitio arqueológico, puerto, aeropuerto, carretera, centro de entretenimiento y alojamiento más cercanos. El parámetro $\boldsymbol{\gamma_t}$ refleja efectos fijos temporales mensuales y el parámetro $\boldsymbol{\delta_m}$ refleja efectos fijos a nivel municipal. El vector $\boldsymbol{\beta}$ y el coeficiente $\boldsymbol{\alpha}$ son los parámetros a estimar. $\boldsymbol{\varepsilon_{bt}}$ es el término de error.

El coeficiente $\boldsymbol{\alpha}$, debería ser entonces, una estimación insesgada del efecto de la presencia de sargazo en la intensidad de la luz nocturna a nivel del segmento de playa. Cabe señalar que, para los datos de panel, es posible que los errores de regresión estén correlacionados en el tiempo dentro de una entidad, que al igual que la heterocedasticidad, afectaría de la estimación de los errores estándar. Para tener en cuenta el potencial de autocorrelación entre los errores, empleamos errores estándar agrupados a nivel de municipio, que permiten la heterocedasticidad y la autocorrelación dentro de una entidad (en nuestro caso, el municipio), pero no entre entidades (Moulton, 1986).

3.2 Efectos reputacionales

Nuestra hipótesis plantea que el sargazo tiene un efecto adverso sobre la actividad económica en los segmentos de playa en los que alcanza la costa. Sin embargo, es posible que este efecto negativo no sea inmediato, sino que más bien tome tiempo en manifestarse, ya que el sargazo afecta negativamente la reputación del atractivo de un segmento de playa. Por ejemplo, es posible que ante la presencia del sargazo los turistas no reaccionen saliendo inmediatamente de la playa, incluso si su acumulación en la costa pudiera afectar su disfrute, bien sea porque es posible que no puedan nadar en el mar, o porque les moleste el olor de las algas pútridas; puede ser difícil para los turistas abandonar su lugar de vacaciones una vez que ya están allí, pues enfrentarían penalidades por cancelaciones y otros costos de oportunidad por su salida antes de tiempo. Incluso para los turistas que aún no han llegado a la zona, puede resultar difícil cambiar sus planes de vacaciones con poca antelación, especialmente si ya han reservado boletos de avión o habitaciones de hotel. También es poco probable que los turistas se enteren de la presencia de sargazo unas semanas antes de su llegada. De este modo, los impactos de la presencia de sargazo en la actividad económica local pueden no ser tan importantes en el período de tiempo inmediatamente posterior a su afluencia.

Por lo tanto, es más probable que ocurra un efecto de reputación negativo varios meses después de que el sargazo haya llegado a la playa. Esto puede deberse a la circulación de noticias sobre la presencia significativa de sargazo en el área (ver **Gráfico 2**), desincentivando a los turistas que aún están decidiendo un lugar de vacaciones, o porque quienes visitaron la playa tuvieron una experiencia negativa con el sargazo en su último viaje y es poco probable que regresen al mismo lugar en la siguiente temporada de vacaciones. Para capturar este posible efecto de reputación, proponemos un modelo que incorpora rezagos en los efectos del sargazo, como lo describe el siguiente modelo:

$$y_{bmt} = \sum_{i=0}^{T} \alpha_i Sarg_{bt-i} + \boldsymbol{x}'_{bt}\boldsymbol{\beta} + \gamma_t + \delta_m + \varepsilon_{bt} \qquad (2)$$

En esta especificación, incluimos rezagos de tiempo, $i = 0, \dots, T,$ para la presencia de sargazo en un segmento de playa b, que van de 0 a 12 meses. Como resultado, el modelo actualizado incluye el número $T + 1$ de parámetros $\boldsymbol{\alpha_i}$ $(\boldsymbol{\alpha_0}, \boldsymbol{\alpha_1}, \boldsymbol{\alpha_2}, \dots, \boldsymbol{\alpha_T})$ a estimar, donde $\boldsymbol{\alpha_i}$ mide el efecto de la presencia de sargazo en la intensidad de la luz nocturna en el segmento de playa b en el mes t, meses i después de que se detectara el sargazo. Todas las demás variables permanecen iguales que en la especificación (1).

3.3 Correlación espacial

Otra dinámica potencial en juego, en la relación entre el sargazo y la intensidad de la luz nocturna se refiere a la posible correlación espacial. Para entender cómo podría ocurrir esto, primero debemos considerar que la naturaleza de nuestros datos es bastante única, ya que los segmentos de playa se definen como segmentos de línea, de una línea continua que recorre la costa de Quintana Roo[7]. Por lo tanto, podemos conceptualizar el espacio en nuestros datos como lineal. Como los segmentos de playa son contiguos, la naturaleza lineal de los datos implica que cada segmento de playa tiene un máximo de dos segmentos de playa vecinos[8]. Si tuviéramos que poner segmentos de playa en una línea, podríamos enumerar estos segmentos de playa como $b = 1, \dots, B$. Para formalizar este concepto, nos referiremos a los vecinos del segmento de playa b como segmentos de playa $b - 1$ y $b + 1$.

La correlación espacial en nuestro análisis podría venir a través de diferentes canales. El primero, y quizás el más importante, es que la intensidad de la luz nocturna en los segmentos de playa b puede verse influenciada por la intensidad de la luz nocturna en los

[7] La única excepción a esta definición se refiere a algunas islas (la isla de Cozumel es la más grande), para las cuales los segmentos de playa siguen siendo segmentos de línea individuales como parte de una línea costera continua más grande, con la excepción de que no forman parte de la línea costera continental.

[8] Algunos segmentos de playa en el borde del territorio de Quintana Roo o en islas pequeñas pueden tener solo un vecino.

segmentos de playa vecinos. Como se explicó en la Sección 2, la intensidad de luz nocturna se asignó a los segmentos de playa por proximidad, lo que hace posible que algunos píxeles de radiancia de luz asignados para construir la intensidad de luz nocturna para el segmento de playa $b+1$ también se hayan usado para construir la intensidad de luz nocturna para el segmento de playa b.

En segundo lugar, la correlación espacial entre los segmentos de playa vecinos puede ocurrir a través de los efectos del sargazo. A medida que el sargazo llega al segmento de la playa b, es posible que los turistas se alejen del área y se trasladen a un segmento de playa vecino que esté menos afectado por las algas. Alternativamente, si el sargazo llega a la costa en un segmento de playa, también es más probable que esté presente en los segmentos vecinos si las corrientes de las olas y la geomorfología favorecen la llegada de las algas a lo largo de la línea costera extendida. De cualquier forma, a través de este canal, la actividad económica local en los segmentos de playa vecinos $b-1$ y/o $b+1$ puede verse afectada cuando el sargazo alcance la costa del segmento b.

Suponiendo una correlación espacial solo entre los segmentos de playa inmediatos, implementamos el siguiente modelo autorregresivo espacial (SAR por sus siglas en inglés) con rezagos de tiempo:

$$y_{bt} = \sum_{i=0}^{T} \alpha_i Sarg_{bt-i} + \sum_{i=0}^{T} \tau_{1,i} y_{b+1,t-i} + \sum_{i=0}^{T} \tau_{2,i} y_{b-1,t-i} + \sum_{i=0}^{T} \rho_{1,i} Sarg_{b+1,t-i} + \sum_{i=0}^{T} \rho_{2,i} Sarg_{b-1,t-i} + \boldsymbol{x}'_{bt}\boldsymbol{\beta} + \gamma_t + \delta_m + \varepsilon_{bt} \quad (3)$$

En donde $y_{b+1,t-i}$ y $y_{b-1,t-i}$ representan la intensidad de luz nocturna para el mes $t-i$ en los segmentos de playa vecinos $b+1$ y $b-1$, respectivamente; $Sarg_{b+1,t-i}$ y $Sarg_{b-1,t-i}$ son variables *binarias* que toman el valor de 1 si se detecta sargazo para el mes $t-i$ en los segmentos de playa $b+1$ y $b-1$. Los parámetros a estimar son $\boldsymbol{\alpha_{1,i}}, \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\tau_{1,i}}, \boldsymbol{\tau_{2,i}}, \boldsymbol{\rho_{1,i}}, \boldsymbol{\rho_{2,i}}$; y $\boldsymbol{\varepsilon_{bt}}$ es el término de error. Para examinar el canal de correlación espacial a través de la intensidad de la luz nocturna, primero asumimos que $\boldsymbol{\rho_{1,i}} = \mathbf{0}$, $\boldsymbol{\rho_{2,i}} = \mathbf{0}$, para una especificación que denominaremos SAR-1. Luego, para permitir ambos canales de correlación espacial, incluimos todos los parámetros en una especificación a la que nos referiremos como SAR-2. Todas las estimaciones incluyeron errores estándar agrupados a nivel de municipio.

Es importante señalar que existen otros canales potenciales de correlación espacial que nuestro modelo no considera. Por ejemplo, es posible que un segmento de playa no solo se vea afectado por el vecino inmediato, sino también por el (los) vecino (s) junto a él. Este podría ser el caso de uno, dos o incluso más segmentos de playa vecinos. También

es posible que los segmentos de playa vecinos estén correlacionados, no por la presencia de sargazo o la intensidad de la luz nocturna, sino por otras variables observadas e inobservables. Sin embargo, no creemos que estas sean problemas relevantes en este contexto por dos razones: en primer lugar, la especificación básica del modelo ya tiene en cuenta los efectos fijos a nivel de municipio que controlan las características que no varían en el tiempo en los segmentos de playa ubicados dentro del mismo municipio. Al hacerlo, controlamos indirectamente alguna correlación espacial potencial que podría provenir de divisiones geopolíticas. En segundo lugar, debido a que la presencia de sargazo en un momento dado y en un segmento de playa específico se considera exógena, la estimación debe ser imparcial, independientemente de otras fuentes de correlación espacial dentro del modelo.

4 Resultados

4.1 Principales resultados

La **Tabla 7** presenta los efectos de la detección de sargazo en la intensidad de la luz nocturna a nivel del segmento de playa. Siguiendo la ecuación (1), se utilizaron tres especificaciones diferentes en nuestras estimaciones. Primero, implementamos un modelo básico en el que solo controlamos los efectos fijos temporales (Columna 1), que asume que no hay efectos fijos municipales ni controles a nivel de segmento. En segundo lugar, para tener en cuenta las diferencias invariantes en el tiempo entre municipios, y para controlar las características específicas del segmento de playa, introducimos efectos fijos a nivel de municipio y controles a nivel de segmento (Columna 2). Tercero, incluimos errores estándar agrupados a nivel municipal (Columna 3).

Tabla 7. Efectos sobre la intensidad de la luz nocturna sin rezago

	Intensidad de la luz nocturna		
Variables	(1)	(2)	(3)
Sargazo detectado en el mismo mes (t=0)	**-1.852*** **	**-0.813*** **	**-0.813** **
	(0.213)	(0.130)	(0.241)
Efectos fijos temporales	Sí	Sí	Sí
Controles a nivel de segmento		Sí	Sí
Efectos fijos a nivel de municipio		Sí	Sí
Errores estándar agrupados a nivel de municipio			Sí
Número de observaciones	5,371	5,371	5,371
R^2 ajustado	0.261	0.745	0.745

Los resultados muestran que tener sargazo detectable en un segmento de playa reduce significativamente la intensidad de la luz nocturna, en 1.85 nW/(cm^2·sr) para el modelo más simple, y en 0.81 nW/(cm^2·sr) cuando se controlan las covariables a nivel de segmento y los efectos fijos a nivel de municipio. Estos resultados siguen siendo igualmente significativos cuando se agregan los errores estándar agrupados a nivel de municipio Considerar un nivel promedio de 4.63 nW/(cm^2·sr) entre las playas del conjunto de datos, implica una reducción promedio del 17.5% de la actividad económica local. Usando una elasticidad estimada de 0.66 entre la intensidad de la luz nocturna a nivel estatal y el producto local bruto, el resultado sugiere una disminución aproximada del crecimiento económico mensual del 11.6% para las especificaciones más rigurosas.

4.2 Efectos de reputación

Para dar cuenta de los efectos de reputación de sargazo en la actividad económica, incluimos lapsos de tiempo mensuales en nuestra estimación. Los resultados que incluyen un rezago de un mes se presentan en la **Tabla 8**. Una vez más, la columna 1 muestra los resultados cuando se controlan solo los efectos fijos temporales, la columna 2 incluye efectos fijos a nivel de municipio y controles a nivel de segmento, y la columna 3 agrega los errores estándar agrupados a nivel de municipio. Los resultados nuevamente muestran efectos negativos significativos del sargazo detectado en todos los modelos. Vale la pena señalar que los efectos después de un mes de exposición al choque de sargazo son mayores que los del mes de medición de la intensidad de la luz nocturna para todos los modelos.

Tabla 7. Efectos sobre la intensidad de la luz nocturna con 1 mes de rezago

	Intensidad de luz nocturna		
Variables	(1)	(2)	(3)
Sargazo detectado en el mismo mes (t=0)	**-1.314*** **	**-0.676*** **	**-0.676** **
	(0.244)	(0.142)	(0.216)
Sargazo detectado 1 mes antes (t=1)	**-1.432*** **	**-0.680*** **	**-0.680* **
	(0.248)	(0.142)	(0.322)
Efectos fijos temporales	Sí	Sí	Sí
Controles a nivel de segmento		Sí	Sí
Efectos fijos a nivel de municipio		Sí	Sí
Errores estándar agrupados a nivel de municipio			Sí
Número de observaciones	4,800	4,800	4,800
R^2 ajustado	0.266	0.751	0.751

Para probar si los efectos reputacionales persisten en el mediano y largo plazo, estimamos el mismo modelo con rezagos de 3, 6 y 12 meses, respectivamente. La **Tabla 9** muestra estos resultados para nuestro modelo más riguroso, que incluye efectos fijos temporales, efectos fijos a nivel municipal, controles de segmento de playa y errores estándar agrupados. Los resultados de una estimación que solo considera rezagos de 3 meses se presentan en la Columna 1. Las Columnas 2 y 3 presentan los resultados para estimaciones que incluyen un rezago de 6 meses y un rezago de 12 meses, respectivamente.

Los resultados del efecto de la detección de sargazo en la intensidad de la luz nocturna continúan siendo negativos y en gran medida estadísticamente significativos para todos los modelos y rezagos; y varían en magnitud entre 0.42 y 0.73 nW/(cm^2·sr). Esto se traduce en una reducción aproximadamente de entre 5.9% y 9.9% en la actividad económica mensual utilizando la aproximación de elasticidad. Curiosamente, cuantos más rezagos agregamos, menores son nuestros efectos para los períodos iniciales. Para nuestro último modelo que incluía un rezago de 12 meses, nuestros efectos para el mes de presencia de sargazo (t=0) parecen insignificantes y pequeños, aunque siguen siendo negativos. Con el tiempo, estos efectos continúan aumentando en tamaño y se vuelven estadísticamente significativos.

Tabla 8. Efectos sobre la intensidad de la luz nocturna con rezagos de 3, 6 y 12 meses

Variables	**Intensidad de luz nocturna**		
	(1)	(2)	(3)
Sargazo detectado en el mismo mes (t=0)	**-0.631*** **	**-0.444** **	-0.030
	(0.151)	(0.134)	(0.112)
Sargazo detectado 1 mes antes (t=1)	-0.549	**-0.484* **	-0.191
	(0.298)	(0.248)	(0.228)
Sargazo detectado 2 meses antes (t=2)	**-0.546* **	-0.415	-0.279
	(0.275)	(0.220)	(0.211)
Sargazo detectado 3 meses antes (t=3)	**-0.520** **	-0.346	-0.257
	(0.214)	(0.183)	(0.167)
Sargazo detectado 4 meses antes (t=4)		**-0.520** **	**-0.420* **
		(0.166)	(0.182)
Sargazo detectado 5 meses antes (t=5)		**-0.588** **	**-0.595** **
		(0.188)	(0.191)
Sargazo detectado 6 meses antes (t=6)		**-0.734*** **	**-0.626** **
		(0.179)	(0.218)
Sargazo detectado 7 meses antes (t=7)			**-0.403** **
			(0.137)
Sargazo detectado 8 meses antes (t=8)			**-0.456** **
			(0.144)
Sargazo detectado 9 meses antes (t=9)			**-0.684*** **
			(0.185)
Sargazo detectado 10 meses antes (t=10)			-0.448
			(0.243)
Sargazo detectado 11 meses antes (t=11)			**-0.624** **
			(0.240)
Sargazo detectado 12 meses antes (t=12)			**-0.670** **
			(0.283)
Efectos fijos temporales	Sí	Sí	Sí
Controles a nivel de segmento	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos a nivel de municipio	Sí	Sí	Sí
Errores estándar agrupados a nivel de municipio	Sí	Sí	Sí
Número de observaciones	4,200	3,600	2,700
R^2 ajustado	0.755	0.761	0.770

Gráfico 10: Efectos del sargazo detectados en la intensidad de la luz nocturna, rezago de 6 meses

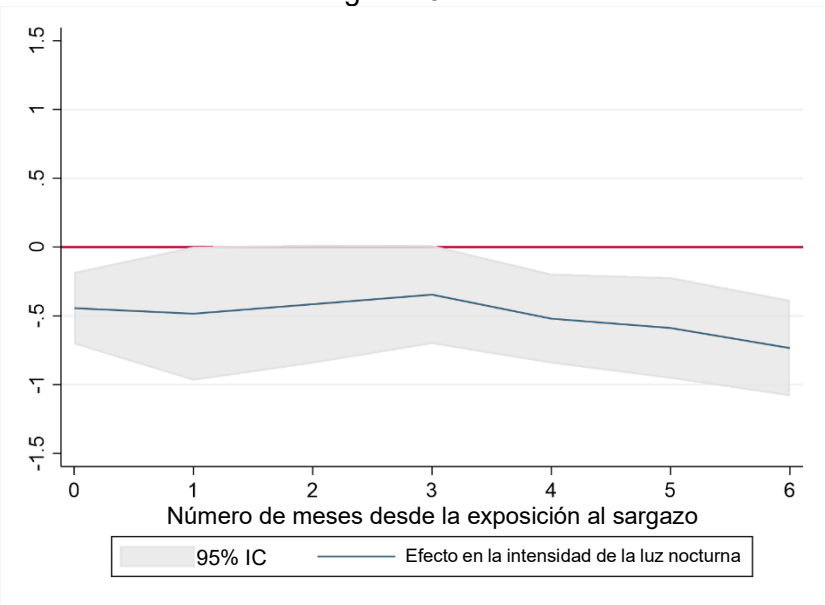
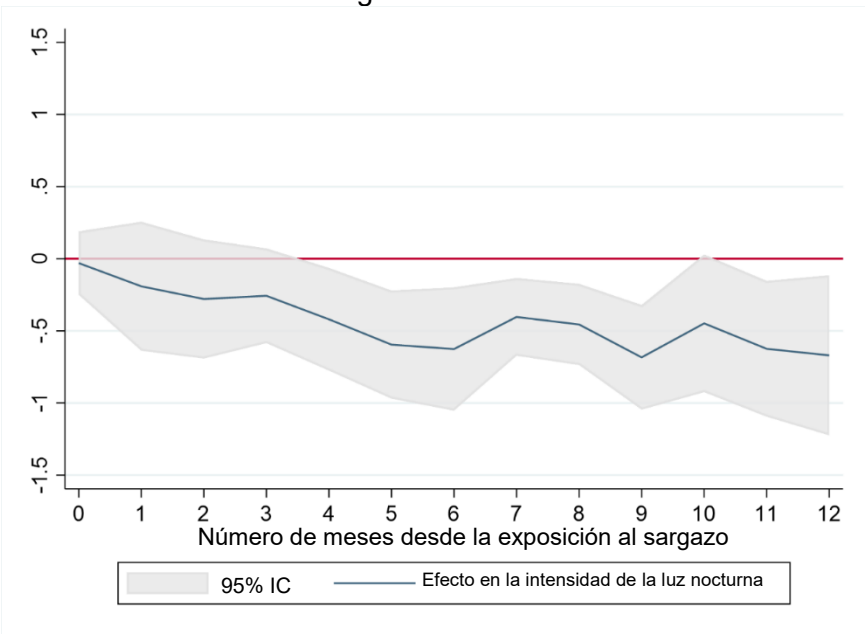


Gráfico 11: Efectos del sargazo detectados en la intensidad de la luz nocturna, rezago de 12 meses



Con el fin de examinar visualmente la dinámica de los efectos de reputación, los **Gráficos 10 y 11** presentan los resultados de las columnas 2 y 3 de la **Tabla 3**. El eje x muestra los meses desde que ocurrió el choque de sargazo, mientras que el eje y muestra el tamaño del efecto sobre la intensidad de la luz nocturna. Así, la línea azul muestra el tamaño del efecto para cada rezago, y el área gris presenta el intervalo de confianza (IC) del 95% alrededor del coeficiente estimado. Se considera que los efectos son significativos

cuando ningún área del IC del 95% coincide con el eje x, aquí representado como una línea roja. Como se puede observar, los efectos de la detección de sargazo parecen crecer con el tiempo. En el **Gráfico 10**, la tendencia negativa aumenta con el tiempo durante los primeros 5 meses posteriores a la detección del sargazo, y luego el efecto se estabiliza para los meses 6 a 12. Los tamaños del efecto oscilan entre 0 y -1 nW/(cm^2·sr) para ambas regresiones.

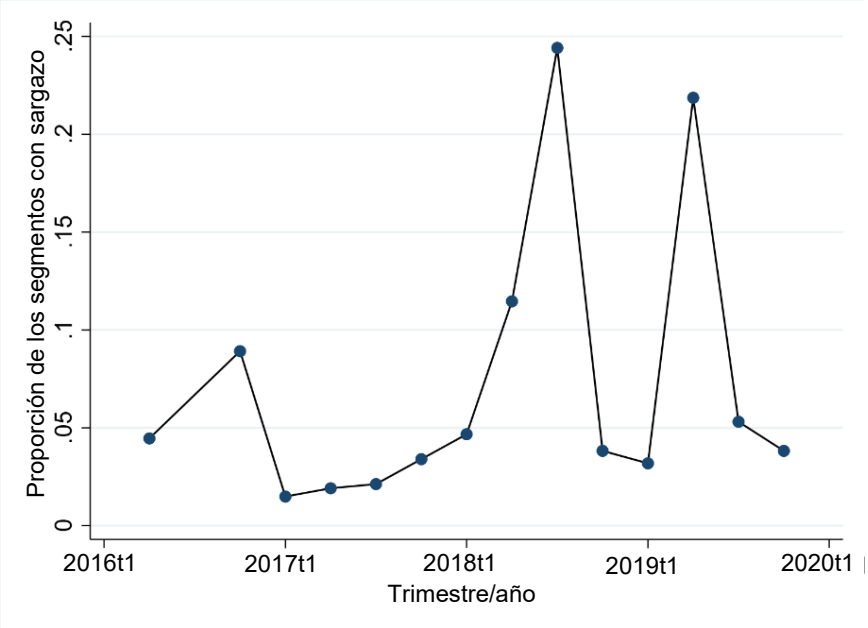
4.3 Pruebas de robustez

<u>El impacto del sargazo</u>

Como se describe en la Sección 2, debe haber una cantidad considerablemente grande de sargazo en el segmento de la playa para que sea detectado por las imágenes satelitales. Por lo tanto, no debería sorprender demasiado que observemos los efectos de la detección de sargazo en la actividad económica. Sin embargo, nuestra medición remota de sargazo no nos permite determinar el volumen exacto de algas arrastrado a la costa, por lo que no podemos decir con certeza que el volumen detectable represente una cantidad inusual de algas en un segmento de playa determinado. Se puede argumentar que un choque de sargazo (entendido como una afluencia inesperadamente grande de algas en un mes determinado) sería la causa de una caída en la actividad económica local, ya que traería como resultado una menor actividad turística, y limitaciones a la pesca y otras actividades en la costa.

Por lo tanto, consideramos una segunda medición de la presencia de sargazo que captura la noción de tal choque, definida como una desviación estándar (DE) de 1.5 de la media de los niveles de sargazo detectados en cada segmento de playa durante los 4 años disponibles en el conjunto de datos. Usamos el umbral de 1.5 DE porque nos permitió excluir niveles de sargazo que podrían considerarse “normales” para ciertos segmentos de playa durante el período evaluado. Aunque podríamos haber usado un umbral más estricto, el umbral de 1.5 DE ya nos dejó con solo el 9% de todas las combinaciones de segmento de playa/mes que experimentaron choques. Por diseño, el umbral de 1.5 DE permite que la mayoría de los segmentos de playa (98%) experimenten un choque al menos una vez.

Gráfico 12. Tendencia trimestral de los choques de sargazo



El **Gráfico 12** presenta tendencias trimestrales sobre la proporción de segmentos de playa que experimentaron choques de sargazo. Como se puede ver, la proporción de segmentos de playa que reportaron tal impacto es considerablemente menor que la proporción de segmentos donde se detectó sargazo (ver **Gráfico 6**). Sin embargo, la tendencia parece ser similar, y encontramos picos comparables en el primer semestre de 2018 y el primer trimestre de 2019.

Tabla 10. Efectos de un choque de sargazo en la intensidad de la luz nocturna

Variables	**Intensidad de luz nocturna**		
	(1)	(2)	(3)
Shock de sargazo (1.5 DE) en el mismo mes	**-0.759*** **	**-0.317***	-0.317
	(0.278)	(0.187)	(0.213)
Efectos fijos temporales	Sí	Sí	Sí
Controles a nivel de segmento		Sí	Sí
Efectos fijos a nivel de municipio		Sí	Sí
Errores estándar agrupados a nivel de municipio			Sí
Número de observaciones	5,620	5,620	5,620
R^2 ajustado	0.254	0.739	0.739

La **Tabla 10** presenta los resultados de la estimación sin rezagos (Modelo 1) cuando se usa la definición más estricta de choque de sargazo. Como se puede observar en la Columna 1, encontramos un efecto de 0.76 nW/(cm^2·sr) cuando se controla solo por efectos

fijos temporales. Al agregar efectos fijos a nivel municipal y controles de segmento de playa en la Columna 2, se encuentra un efecto más pequeño, pero aún significativo de una disminución en 0.32 nW/(cm^2·sr). Sin embargo, este resultado se vuelve insignificante cuando se agregan los errores estándar agrupados.

Los **Gráficos 13 y 14** muestran los resultados para la especificación más completa (incluyendo los efectos fijos temporales, efectos fijos a nivel de municipio, controles a nivel de segmento y errores estándar agrupados a nivel de municipio) cuando se incluyen rezagos de 6 meses y rezagos de 12 meses, respectivamente. Como se puede observar en el **Gráfico 13**, todos los efectos son consistentemente negativos, y observamos un efecto negativo significativo en el sexto mes después de ocurrido el choque. En el **Gráfico 14** también observamos efectos negativos consistentemente, algunos de los cuales son estadísticamente significativos a partir del sexto mes. En promedio, los tamaños del efecto varían nuevamente entre 0 y -1, aunque parecen ligeramente más pequeños que los encontrados para la presencia general de sargazo.

Gráfico 13. Efectos del choque de sargazo en la intensidad de la luz nocturna, rezago de 6 meses

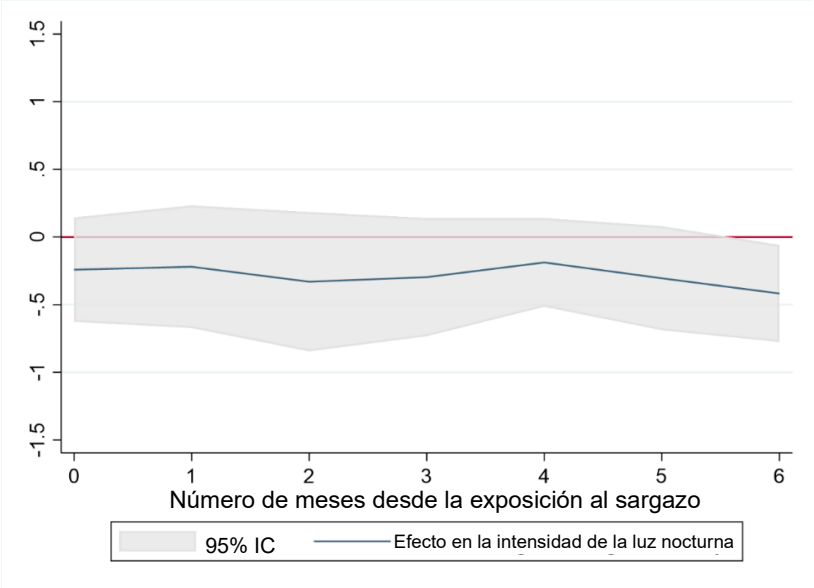
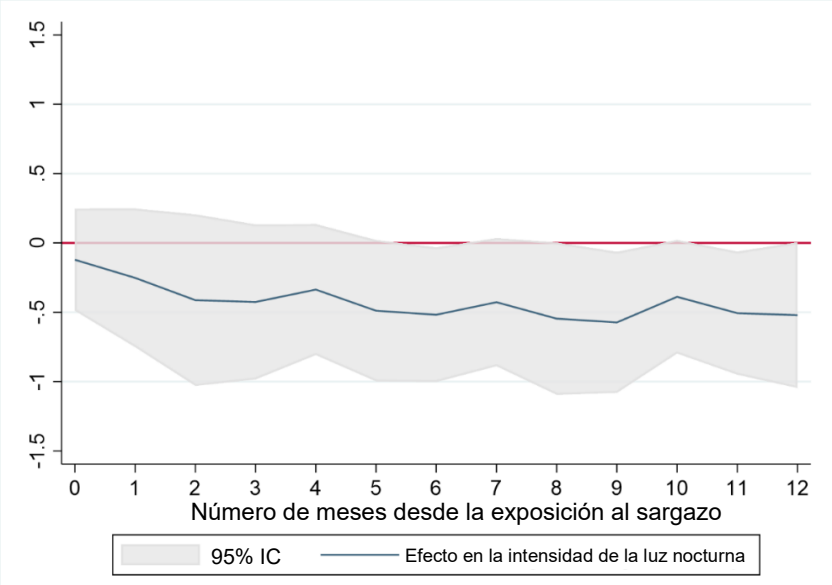


Gráfico 14. Efectos del choque de sargazo en la intensidad de la luz nocturna, rezago de 12 meses



Estos resultados sugieren que el sargazo tiene un efecto negativo en la actividad económica local, ya sea una cantidad detectable o un choque específico que supere el volumen promedio en 1.5 DE. Ya que la definición inicial de la presencia de sargazo parece tener efectos negativos y significativos más consistentes en la intensidad de la luz nocturna, parecería que una cantidad detectable de sargazo es suficiente para alejar a los turistas y otras actividades económicas, y no son solo los eventos atípicos los que causan daños económicos.

<u>Correlación espacial</u>

Teniendo en cuenta el potencial de correlación espacial entre los segmentos de playa vecinos, repetimos el análisis utilizando el Modelo (3). Primero, analizamos el efecto de la correlación espacial a través de una relación entre la intensidad de la luz nocturna en los segmentos de playa vecinos, como se describe en el modelo SAR-1. Los **Gráficos 15 y 16** presentan los resultados de esta estimación con rezagos de 6 y 12 meses respectivamente. Como se observa en la especificación principal, los efectos estimados son consistentemente negativos, aumentan en tamaño y en significancia estadística a medida que aumenta el tiempo transcurrido desde la detección de sargazo. Los efectos estimados 12 meses después de que se detectó la presencia de sargazo son de aproximadamente 0.5 nW/(cm^2·sr), lo que equivale a una disminución del 7% en la actividad económica local

cuando se aplica la elasticidad estimada del PIB a nivel estatal a la intensidad de luz nocturna.

Gráfico 15. Efectos del sargazo detectados en la intensidad de la luz nocturna con correlación espacial, rezago de 6 meses (SAR-1)

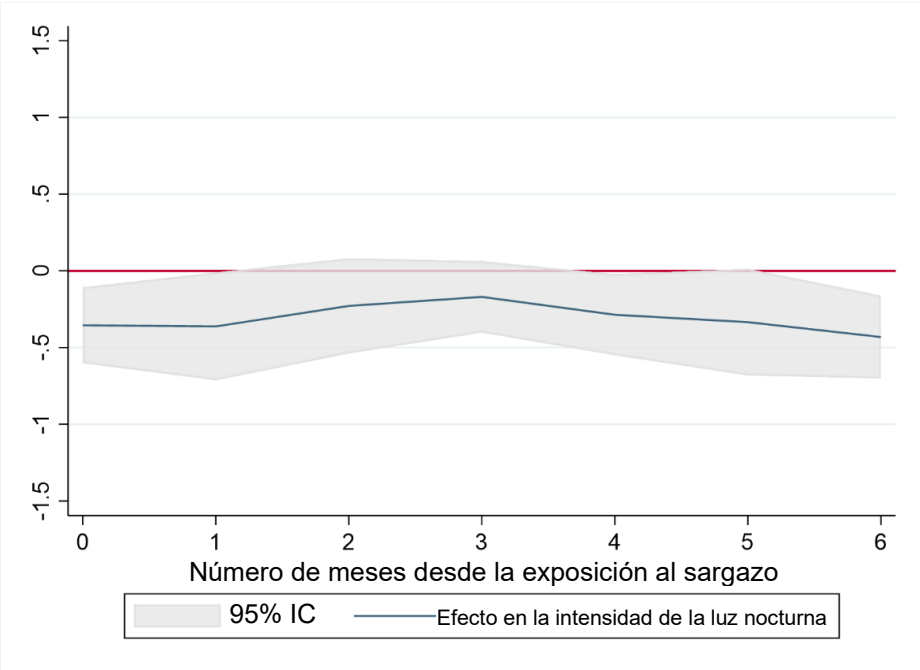
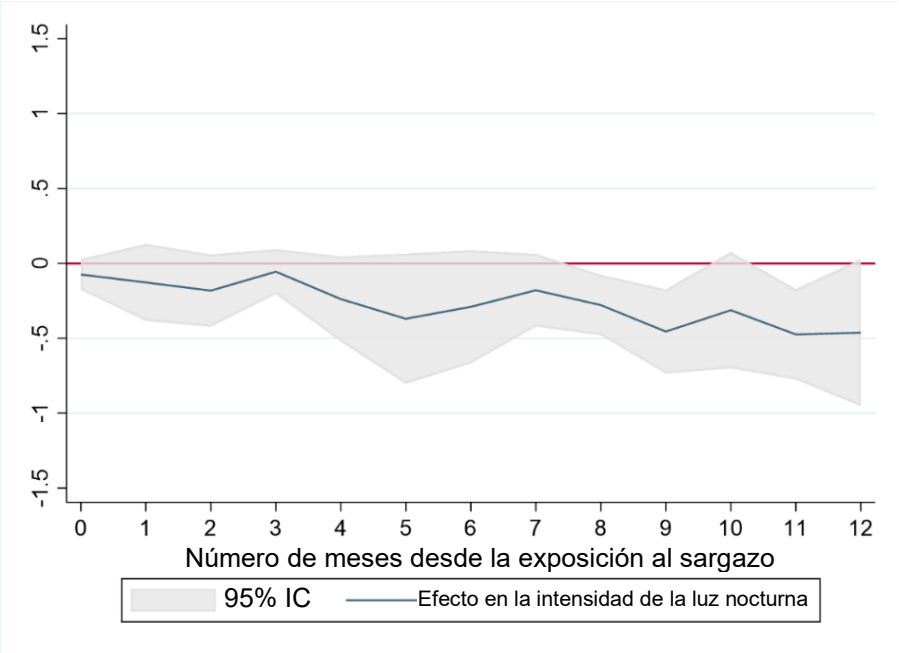


Gráfico 16. Efectos del sargazo en la intensidad de la luz nocturna con correlación espacial, 12 meses de rezago (SAR-1)



Los **Gráficos 17 y 18** presentan los resultados de nuestro modelo SAR-2, que permite que se produzca una correlación espacial entre los segmentos de playa vecinos, tanto a través de la intensidad de la luz nocturna como del sargazo. Los resultados bajo este modelo son nuevamente consistentes con lo que observamos para modelos anteriores, con tamaños del efecto consistentemente negativos y estadísticamente significativos. En este caso, la significación estadística se observa de manera más consistente en todos los intervalos de tiempo, aunque los tamaños del efecto siguen siendo similares. En resumen, el control de la correlación espacial destaca la robustez de los efectos estimados de sargazo en la intensidad de la luz nocturna.

Gráfico 17. Efectos del sargazo en la intensidad de la luz nocturna con correlación espacial, rezago de 6 meses (SAR-2)

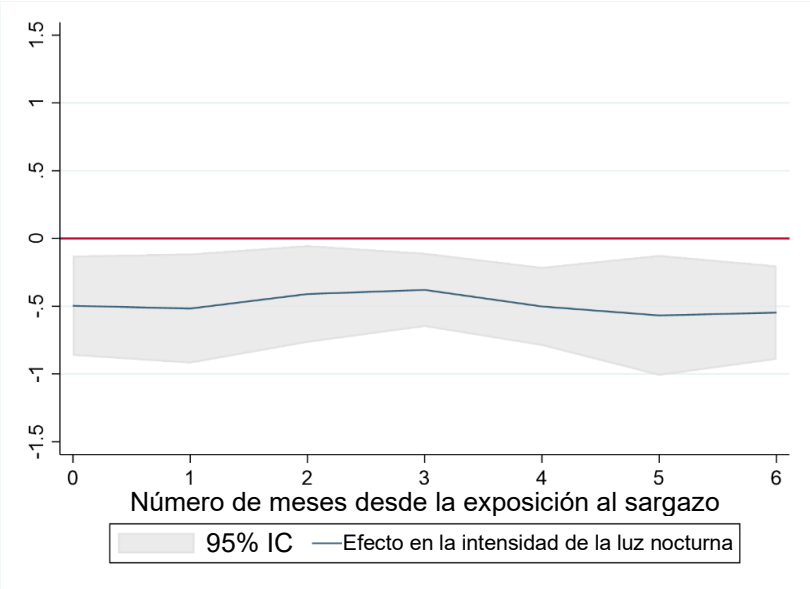
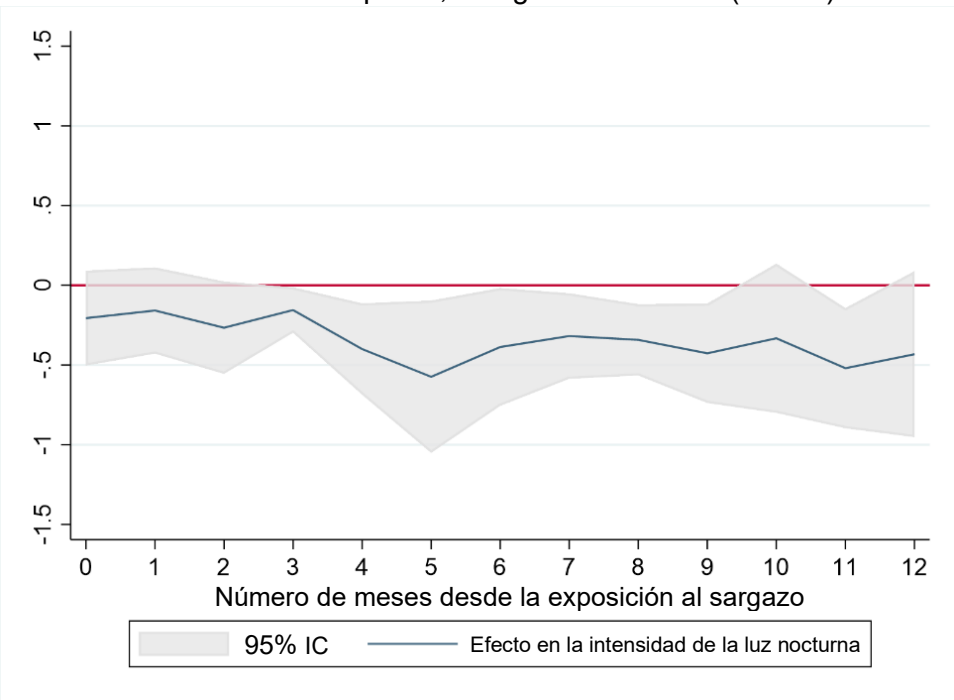


Gráfico 18. Efectos del sargazo en la intensidad de la luz nocturna con correlación espacial, rezago de 12 meses (SAR-2)



5 Conclusiones

La región de América Latina y el Caribe cuenta con rico capital natural costero, cuyas áreas están inextricablemente vinculadas al crecimiento reciente de la región, tanto en el PIB como en la población, ya que los ecosistemas costeros sustentan economías y comunidades con bienes y servicios importantes, como la pesca, el turismo y las materias primas (Schueler, 2017).

Durante más de una década, el sargazo pelágico ha llegado repetidamente a las costas del Caribe y el Golfo de México en cantidades sin precedentes, cubriendo playas enteras con algas, y afectando directamente a las empresas y comunidades locales que dependen del turismo, y otras actividades económicas dentro de la popular zona costera de la región. Las causas identificadas de estos brotes de sargazo son las cargas de nutrientes cada vez más altas que la agricultura y el mal uso de la tierra arrojan al mar, tanto en las cuencas de los ríos Amazonas y Congo, como en la del río Misisipi, así como el aumento de la temperatura de los océanos debido a los efectos del cambio climático (Huffard et al, 2014; Amaral-Zettler et al., 2016; Smetacek & Zingone, 2013; Johnson et al., 2013). Aunque la evidencia anecdótica sugiere que estos eventos de sargazo sin precedentes han llevado no solo a una disminución de los ingresos económicos, sino también a la erosión costera y a

pérdidas económicas en la industria pesquera tradicional, aún no se había realizado un análisis riguroso para cuantificar el efecto causal en la actividad económica.

En este estudio, intentamos llenar este vacío en la evidencia empírica mediante el desarrollo de un conjunto de datos único de 157 segmentos de playa a lo largo de la línea costera turística del estado de Quintana Roo en México, que se basa en un conjunto de datos de sistemas de información geográfica (SIG) cuidadosamente diseñado, que comprende datos de panel extensivos sobre infraestructura clave y características de la playa, con cuatro años (2016-2019) de observaciones mensuales de la afluencia de algas de sargazo, así como datos de la intensidad de la luz nocturna obtenidos por teledetección como indicador del crecimiento económico. Se creó una nueva serie temporal de la distribución de sargazo a lo largo de las playas aplicando un algoritmo de aprendizaje de máquinas a las imágenes satelitales, y los procesos de validación confirmaron que el indicador es muy preciso para detectar sargazo a lo largo de la línea costera.

Al aplicar un modelo de regresión de efectos fijos que controla las tendencias temporales generales y las diferencias inobservables y que no varían en el tiempo entre las observaciones, estimamos que la presencia de sargazo en un segmento de playa reduce la intensidad de la luz nocturna en un 17.5%, lo que representa una disminución aproximada del 11.6% en el producto bruto local. Teniendo en cuenta que los impactos del sargazo en la actividad económica local pueden demorarse debido a los efectos reputacionales a mediano y largo plazo, nuestro análisis encuentra que se pueden detectar efectos retardados significativos hasta 12 meses después de que el sargazo haya sido detectado en la línea costera, con tamaños del efecto oscilando entre un 5.9% y un 9.9% de reducción del producto bruto local. Varias pruebas de robustez, incluyendo una medición ajustada de sargazo y la consideración de la potencial correlación espacial entre segmentos de playa, indican que los impactos estimados son consistentemente significativos, y negativos en numerosas especificaciones. En general, podemos concluir que el sargazo es una preocupación relevante que afecta significativamente las economías locales que dependen del turismo. Por lo tanto, parece importante no solo encontrar formas de responder a la presencia no deseada de sargazo, sino también abordar los principales factores que contribuyen al creciente aumento de la proliferación de algas, como las altas cargas de nutrientes causadas por prácticas agrícolas no sostenibles.

Este análisis no puede establecer con evidencia empírica los canales teóricos del impacto a través de la industria del turismo y la pesca, entre otras posibles vías causales. Como destacamos, la intensidad de la luz nocturna solo puede servir como una medida

indirecta de la actividad económica local y no nos permite desvelar si la reducción de la radiancia se debe, por ejemplo, a una disminución en la ocupación del hotel, o a las visitas a restaurantes. Las investigaciones futuras en este sentido deberían proporcionar un entendimiento más profundo de cómo reaccionan los turistas ante la presencia de algas sargazo en el tramo de playa donde planeaban pasar sus vacaciones, y cómo afecta las elecciones de viaje presentes y futuras. Esto permitiría a los hacedores de políticas evaluar mejor las posibles consecuencias económicas de la entrada masiva de sargazo y determinar qué constituiría un costo razonable de su limpieza para compensar las posibles pérdidas económicas.

Apéndice

A. Tablas y gráficos adicionales

Tabla AI. Elasticidad del PIB con respecto a la intensidad de la luz nocturna[a]

	Log de PIBE de Quintana Roo
Log de intensidad de luz nocturna	**0.66** ***
	(0.126)
Constante	-0.54
	(1.020)
Observaciones	20

[a] Diferencia distinta de cero si el *p*-valor es significativo en el 99 (***), 95 (**), o 90% (*) de nivel de confianza. Errores estándar reportados entre paréntesis.

.

Referencias

Administración Portuaria Integral de Quintana Roo (APIQROO, 2021). Portal de Estadísticas. Recuperado el 22 de diciembre de 2021 de: http://servicios.apiqroo.com.mx/estadistica/index.php

Agnew, J., Gillespie, T. W., Gonzalez, J., & Min, B. (2008). *Baghdad nights: Evaluating the US military 'surge' using nighttime light signatures*. (Noches de Bagdad: evaluación de la "oleada" militar de EE. UU. utilizando firmas de luces nocturnas [título traducido]) *Environment and Planning A*, 40(10), 2285-2295. doi: 10.1068/a41200

Alesina, A., Michalopoulos, S., Papaioannou, E. (2016). *Ethnic inequality*. (Desigualdad étnica [título traducido]) *Journal of Political Economy*, 124(2), 428–488. doi: 10.1086/685300

Amaral-Zettler, L. A., Dragone, N. B., Schell, J., Slikas, B., Murphy, L. G., Morrall, C. E., & Zettler, E. R. (2017). *Comparative Mitochondrial and Chloroplast Genomics of a Genetically Distinct Form of Sargassum Contributing to Recent "Golden Tides" in the Western Atlantic*. (Genómica comparativa mitocondrial y de cloroplastos de una forma genéticamente distinta de sargazo que contribuye a las recientes "mareas doradas" en el Atlántico occidental. [título traducido]). *Ecology and Evolution*, 7(2), 516-525. doi: 10.1002/ece3.2630

Ángeles, M. del R. & Sánchez, A. (2017). Huracán 'Irma' deja toneladas de sargazo en playas de Q. Roo. Recuperado el 22 de diciembre de 2021 de https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/huracan-irma-dejo-sargazo-playas-q-roo/

Avtar, R., Aggarwal, R., Kharrazi, A., Kumar, P., & Kurniawan, T. A. (2020). *Utilizing geospatial information to implement SDGs and monitor their progress*. (Utilizar información geoespacial para implementar los ODS y monitorear su progreso. [título traducido]) *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-12. doi: 10.1007/s10661-019-7996-9

Azuz-Adeath, I., & Rivera, E. (2019). *Current Demographic Conditions and Future Scenarios in Mexico's Coastal Zone.* (Condiciones demográficas actuales y escenarios futuros en la zona costera de México [título traducido]) *Revisata de Gestão Costeira Integrada,* 19(2), 85-122, doi: 10.5894/rgci-n216

Bennett, D. C., & Sharpe, K. F. (1985). *Transnational Corporations versus the State: The Political Economy of the Mexican Automobile Industry*. (Empresas transnacionales versus Estado: la economía política de la industria automotriz mexicana. [título traducido]) Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Breiman, L. (2001). *Random Forests.* (Bosques aleatorios. [título traducido]) Machine *Learning*, 45(1), 5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324

Burrowes, R., Wabnitz, C., & Eyzaguirre, J. (2019). *The Great Sargassum Disaster of 2018.* (El gran desastre del sargazo de 2018 [título traducido]) ESSA Technologies Ltd. Available at: https://essa.com/the-great-sargassum-disaster-of-2018

Cabanillas-Teran, N., Hernandez-Arana, H. A., Ruiz-Zarate, M.-A., Vega-Zepeda, A., & Sanchez-Gonzalez, A. (2019). *Sargassum blooms in the Caribbean alter the trophic structure of the sea urchin Diadema antillarum.* (El florecimiento de sargazo en el Caribe altera la estructura trófica del erizo de mar Diadema antillarum [título traducido]) *Peerj*, 2019(8). doi: 10.7717/peerj.7589

Cao, C. & Bai, Y. (2014). *Quantitative analysis of VIIRS DNB nightlight point source for light power estimation and stability monitoring.* (Análisis cuantitativo de la fuente puntual de luz nocturna VIIRS DNB para la estimación de la potencia de la luz y el monitoreo de la estabilidad. [título traducido]) Remote *Sensing*, 6(12), 11915-11935. doi: 10.3390/rs61211915

Cauwels, P., Pestalozzi, N., & Sornette, D. (2014). *Dynamics and spatial distribution of global nighttime lights.* (Dinámica y distribución espacial de las luces nocturnas globales [título traducido]) *EPJ Data Science*, 3(1), 2-27. doi: 10.1140/epjds19

Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). *Massive Influx of Pelagic Sargassum spp. on the Coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and Opportunities.* (Afluencia masiva de sargazo pelágico spp. en las costas del Caribe mexicano 2014-2020: Retos y Oportunidades [título traducido]) *Water*, 12(10), 2908. doi: 10.3390/w12102908

Clancy, M. (2001). *Mexican Tourism: Export Growth and Structural Change since 1970.* (Turismo Mexicano: Crecimiento Exportador y Cambio Estructural desde 1970. [título traducido]) *Latin American Research Review,* 36(1), 128-150. http://www.jstor.org/stable/2692077

Coesfeld, J., Kuester, T., Kuechly, H. U., & Kyba, C. C. M. (2020*). Reducing Variability and Removing Natural Light from Nighttime Satellite Imagery: A Case Study Using the VIIRS DNB.* (Reducción de la variabilidad y eliminación de la luz natural de las imágenes satelitales nocturnas: un estudio de caso utilizando el VIIRS DNB. [título traducido]) *Sensors*, 20(11), 3287. doi: 10.3390/s20113287

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA, 2012). *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2012.* Mazatlán: CONAPESCA.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2019). CONABIO genera nueva cartografía de la línea de costa de México. Recuperado en diciembre 22 de 2021 de https://www.gob.mx/conabio/prensa/conabio-genera-nueva-cartografia-de-la-linea-de-costa-de-mexico?idiom=es

Corral, L. R. & Schling, M. (2017). *The impact of shoreline stabilization on economic growth in small island developing states*. (El impacto de la estabilización de la costa en el crecimiento económico de los pequeños estados insulares en desarrollo. [título

traducido]) *Journal of Environmental Economics and Management*, 86, 210-228. doi: 10.1016/j.jeem.2017.06.001

Corral, L. R., Schling, M., Montiel, C. (2018). *The economic and ecological impact of natural resource extraction – The case of the Camisea gas project in Peru*. (El impacto económico y ecológico de la extracción de recursos naturales – El caso del proyecto de gas Camisea en Perú [título traducido]). (IDB Working Paper Series No. IDB-WP-00934). Washington, DC: Inter-American Development Bank. doi: 10.18235/0001315

Cruz, C., Mendoza, E., Silva, R., & Chávez, V. (2019). *Assessing degrees of anthropization on the coast of Mexico from ecosystem conservation and population growth data.* (Evaluación de grados de antropización en la costa de México a partir de datos de conservación de ecosistemas y crecimiento poblacional [título traducido]). *Journal of Coastal Research*, 92(sp1), 136-144. doi: 10.2112/SI92-016.1

Cuevas, E., Uribe-Martínez, A., & Liceaga-Correa, M. de los Á. (2018). *A satellite remote-sensing multi-index approach to discriminate pelagic Sargassum in the waters of the Yucatan Peninsula, Mexico*. (Una estrategia multiíndice de teledetección satelital para discriminar el sargazo pelágico en las aguas de la península de Yucatán, México [título traducido]). *International Journal of Remote Sensing*, 39(11), 3608–3627. doi: 10.1080/01431161.2018.1447162

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2009). *Temperature and income: reconciling new cross-sectional and panel estimates.* (Temperatura e ingresos: conciliación de nuevas estimaciones transversales y de panel. [título traducido]) American *Economic Review*, 99(2), 198-204.

Deschênes, O., & Greenstone, M. (2007). *The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather*. (Los impactos económicos del cambio climático: evidencia de la producción agrícola y las fluctuaciones climáticas aleatorias [título traducido]) *American Economic Review*, 97(1), 354-385.

Earth Observation Group (EOG, 2021). VIIRS Nighttime Light. (Luz nocturna VIIRS [título traducido]) *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA*).. Recuperado de: https://eogdata.mines.edu/products/vnl/ (Consultado el 8 de abril de 2021).

Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Kihn, E.A., Kroehl, H.W & Davis, E.R. (1997). *Mapping of city lights using DMSP Operational Linescan System data.* (Mapeo de luces de la ciudad utilizando datos del sistema de exploración lineal operativa DMSP. [título traducido]) *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 727-734. Recuperado de: http://www.csiss.org/SPACE/workshops/2006_/OU/docs/Elvidge_et_al_1997a_001.pdf (Consultado el 6 de Abril de 2021).

Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Zhizhin,M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). *VIIRS night-time lights.* (Luces nocturnas VIIRS [título traducido]) International *Journal of Remote Sensing*, 38(21), 5860-5879. doi: 10.1080/01431161.2017.1342050

Espinosa, L. A., & Li Ng, J. J. (2020). *The Risk of Sargassum to the Economy and Tourism of Quintana Roo and Mexico.* (El riesgo del sargazo para la economía y el turismo de

Quintana Roo y México [título traducido]) Working Paper 20/02. Mexico City: BBVA Research.

Felbermayr, G., Gröschl, J., Sanders, M., Schippers, V., & Steinwachs, T. (2022). *The economic impact of weather anomalies*. (El impacto económico de las anomalías meteorológicas [título traducido]). *World Development*, 151, 105745.

Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2012). *The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment*. (Los impactos económicos del cambio climático: evidencia de la producción agrícola y fluctuaciones aleatorias en el clima [título traducido]) *American Economic Review*, 102(7), 3749-60.

Food and Agricultural Organization (FAO, 2017). *"Climate change adaptation in the eastern Caribbean fisheries sector launching workshop*"(Adaptación al cambio climático en el taller de lanzamiento del sector pesquero del Caribe oriental [título traducido]). Western Central Atlantic Fishery Commission, FAO Fisheries and Acquaculture Report SLC/FIA R1189. FAO: Rome, Italy. Available at: https://www.fao.org/3/i8281en/I8281EN.pdf

Franks, J. S., Johnson, D. R., & Ko, D. S. (2016). *Pelagic Sargassum in the Tropical North Atlantic*. (Sargazo pelágico en el Atlántico norte tropical [título traducido]) *Gulf and Caribbean Research*, 27(1), SC6-SC11. doi: 10.18785/gcr.2701.08

Gavio, B., & Santos-Martinez, A. (2018). *Floating sargassum in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles*. (El sargazo flotante en el Banco Serranilla, Caribe colombiano, puede poner en peligro la carrera hacia el océano de las crías de tortugas marinas [título traducido]). *Acta Biológica Colombiana*, 23(3), 311–313. doi: 10.15446/abc.v23n3.68113

Ghosh, T., Powell, R., Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Sutton, P. C., & Anderson, S. (2010). *Shedding light on the global distribution of economic activity* (Arrojando luz sobre la distribución global de la actividad económica. [título traducido]) *The Open Geography Journal*, 3, 148–161. doi: 10.2174/1874923201003010147

Google Earth Engine (GEE, 2021). *VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1*. Composición de la banda día/noche Version 1 [título traducido]) Disponible en: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_MONTHLY_V1_VCMCFG

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. (Google Earth Engine: análisis geoespacial a escala planetaria para todos [título traducido]) *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031

Gobierno de México. (2015). Continúan acciones de limpieza de sargazo en 180km de playas en Quintana Roo. Recuperado el 22 de diciembre de 2021, de: https://www.gob.mx/epn/es/articulos/continuan-acciones-de-limpieza-de-sargazo-en-180-km-de-playas-en-quintana-roo

Gobierno de Quintana Roo. (2019). Mensaje del Gobernador Carlos Joaquín en el Primer Encuentro de Alto Nivel para la Atención del Sargazo en el Mar Caribe. Recuperado el 22 de diciembre de 2021, de: http://cgc.qroo.gob.mx/mensaje-del-gobernador-carlos-joaquin-en-el-primer-encuentro-de-alto-nivel-para-la-atencion-del-sargazo-en-el-mar-caribe/

Gower, J., Hu, C., Borstad, G., & King, S. (2006). Ocean color satellites show extensive lines of floating Sargassum in the Gulf of Mexico. (Los satélites de color del océano muestran extensas líneas de sargazo flotante en el Golfo de México. [título traducido]). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (12), 3619–3625. doi: 10.1109/TGRS.2006.882258

Gower, J., Young E., & S. King. (2013). *Satellite Images Suggest a New Sargassum Source Region in 2011.* (Imágenes satelitales sugieren una nueva región de origen del sargazo en 2011. [título traducido]). *Remote Sensing Letters* 4:764—773. doi: 10.1080/2150704X.2013.796433

Greene, W. H. (2002). *Econometric Analysis* (Analisis Econometicos) (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Guerrero Compeán, R. (2013). *Climate Shocks, Safety Nets and Shielded Poor: Experimental Evidence from Rural Mexico. In Guerrero Compeán, R.* (Choques climáticos, redes de seguridad y pobres protegidos: evidencia experimental del México rural. En Guerrero Compeán, R. [título traducido]) *Essays in Climate and Development.* Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

Hallegatte, S. (2005). *The long-time scales of the climate–economy feedback and the climatic cost of growth.* (Las escalas a largo plazo de la retroalimentación clima-economía y el costo climático del crecimiento. [título traducido]). *Environmental Modeling & Assessment*, 10(4), 277-289.

Hanisak, M. D., & Samuel, M.A. (1987). *Growth Rates in Culture of Several Species of Sargassum from Florida, USA, in Ragan, M. A. & Bird, C. J. (eds.)* [Tasas de crecimiento en cultivo de varias especies de sargazo de Florida, EE. UU., en Ragan, M. A. & Bird, C. J. (eds.) [título traducido]). *Proceedings of the Twelfth International Seaweed Symposium,* pp. 399-404. doi: 10.1007/978-94-009-4057-4_59

Hausman, J.A. (1978). Specification tests in econometrics. (Pruebas de especificación en econometría. [título traducido]). *Econometrica*, 46(6), 1251-1271. doi: 10.2307/1913827

Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). *Measuring economic growth from outer space*. (Medición del crecimiento económico desde el espacio exterior [título traducido]). *American Economic Review*, 102(2), 994-1028. doi: 10.1257/aer.102.2.994

Hu, C. (2009). *A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans*. (Un nuevo índice de color del océano para detectar algas flotantes en los océanos globales [título traducido]). *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118-2129. doi: 10.1016/j.rse.2009.05.012

Hu, C., Feng, L., Hardy, R., & Hochberg, E. (2015). *Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic Sargassum macroalgae.* (Requerimientos espectrales y espaciales de mediciones remotas de macroalgas de sargazo pelágico. [título traducido]) *Remote Sensing of Environment*, 167, 229-246. doi: 10.1016/j.rse.2015.05.022

Huffard, C. L., von Thun, S., Sherman, A. D., Sealey, K., & Smith Jr., K. L. (2014). *Pelagic Sargassum Community Change over a 40-year Period: Temporal and Spatial Variability.* (Cambio en la comunidad de sargazo pelágico durante un período de 40 años: variabilidad temporal y espacial. [título traducido]), *Marine Biology* 161, 2735–2751. doi: 10.1007/s00227-014-2539-y

Instituto de Estadística y Geografía de México (INEGI, 2021). *PIB por entidad federativa (PIBE). Base 2013.* Recuperado el 22 de diciembre de 2021 de https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/#Tabulados

Instituto de Estadística y Geografía de México ((INEGI, 2020). National Statistical Directory of Economic Units [Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)] Recuperado en Noviembre 11 de 2021 de: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Instituto de Estadística y Geografía de México ((INEGI, 2019). Banco de Datos de Información Económica. Recuperado el 21 de Noviembre de 2021, de: https://inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&ind=473488#divFV487582#D473488

Instituto de Estadística y Geografía de México ((INEGI, 2015). *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015: Quintana Roo.* Mexico City: INEGI. 92 p.

Inter-American Development Bank (IDB, 1972). *Annual Report (*Reporte anual*), 1971*. Washington, D.C.: IDB.

Ivan, K., Holobâcam I., Benedek, J., & Török, I. (2020). *VIIRS nighttime light data for income estimation at local level*. (Datos de luz nocturna VIIRS para estimación de ingresos a nivel local. [título traducido]). *Remote Sensing*, 12(18), 2950. doi: 10.3390/rs12182950

Jing, X., Shao, X., Cao, C., Fu, X., & Yan, L. (2016). *Comparison between the Suomi-NPP day-night band and DMSP-OLS for correlating socio-economic variables at the provincial level in China.* (Comparación entre la banda día-noche Suomi-NPP y DMSP-OLS para correlacionar variables socioeconómicas a nivel provincial en China. [título traducido]) *Remote Sensing*, 8(1), 17. doi: 10.3390/rs8010017

Johnson, D. R., Ko, D. S., Franks, J. S., Moreno, P., & Sánchez-Rubio, G. (2013). *The Sargassum Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic*. (La Invasión de Sargazo del Caribe Oriental y la Dinámica del Atlántico Norte Ecuatorial [título traducido]) *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute.* November 5-9, 2012, Santa Marta, Colombia.

Kyba, C., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., ... & Guanter, L. (2017). *Artificially lit surface of earth at night increasing in radiance and extent*. (Superficie de la tierra iluminada artificialmente por la noche aumentando en

radiancia y extensión [título traducido]) *Science Advances,* 3, e1701528. doi: 10.1126/sciadv.1701528

León, C. (2004). Piezas de un rompecabezas: Dimensión socioeconómica de las costas de México in Rivero Arriaga, E., Villalobos, G.J, Azuz Adeath, I., & Rosado May, F. (eds.) *El manejo costero en México.* Universidad Autónoma de Campecha, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo, pp. 5-26.

Levin, N., Kyba, C., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., ..., & Elvidge, C. (2020). *Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future*. (Teledetección de luces nocturnas: una revisión y una perspectiva para el futuro [título traducido]. Remote *Sensing of Environment*, 237, 111443. doi: 10.1016/j.rse.2019.111443

Louime, C., Fortune, J., & Gervais, G. (2017). *Sargassum Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern.* (Invasión de sargazo en ambientes costeros: una preocupación creciente [título traducido]). *American Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 58-64. doi: 10.3844/ajessp.2017.58.64

Maddison, D., & Rehdanz, K. (2011). *The impact of climate on life satisfaction*. (El impacto del clima en la satisfacción con la vida. [título traducido]). Ecological *Economics*, 70(12), 2437-2445.

Maldonado, J. H.; Moreno Sánchez, R.; Vargas Morales, M. E.; Henao Henao, J. P.; González Tarazona, Y.; Guerrero Compeán, R.; Schling, M. (2020). *"Innovation in Economic Analysis and Evaluation Approaches for Coastal Protection and Restoration Investments in the Caribbean"*, (Innovación en análisis económico y enfoques de evaluación para inversiones en protección y restauración costera en el Caribe" [título traducido]). Inter-American Development Bank Technical Note IDB-TN-01861. IDB: Washington, DC. Available at: http://dx.doi.org/10.18235/0002184

Méndez Tejeda, R., & Rosado Jiménez, G. A. (2019). *Influence of Climatic Factors on Sargassum Arrivals to the Coasts of the Dominican Republic.* (Influencia de los factores climáticos en el arribo de sargazo a las costas de República Dominicana. [título traducido]) *Journal of Oceanography and Marine Science*, 10(2), 22-32. doi: 10.5897/JOMS2019.0156

Miguel, A. S. de, Kyba, C. C. M., Zamorano, J., Gallego, J., & Gaston, K. J. (2020). *The nature of the diffuse light near cities detected in nighttime satellite imagery.* (La naturaleza de la luz difusa cerca de las ciudades detectada en imágenes satelitales nocturnas. [título traducido]). *Scientific Reports*, *10*(1), 1–16. doi: 10.1038/s41598-020-64673-2

Moulton, B.R. (1986). *Random group effects and the precision of regression estimates.* (Efectos de grupo aleatorio y la precisión de las estimaciones de regresión. [título traducido]) *Journal of Econometrics*, 32, 385-397. doi: 10.1016/0304-4076(86)90021-7

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2019). *Sargassum density and coverage using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellite data from 2001-01-01 to 2018-12-31* (Densidad y cobertura de sargazo utilizando datos

satelitales de espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) desde 2001-01-01 hasta 2018-12-31 [título traducido]). *(NCEI Accession 0190272).* Retrieved from https://accession.nodc.noaa.gov/0190272 (Accessed April 20, 2021).

Oviatt, C. A., Huizenga, K., Rogers, C. S., & Miller, W. J. (2019). *What nutrient sources support anomalous growth and the recent sargassum mass stranding on Caribbean beaches? A review*. (Una revisión: ¿Qué fuentes de nutrientes sustentan el crecimiento anómalo y el reciente varamiento masivo de sargazo en las playas del Caribe? [título traducido]). Marine *Pollution Bulletin*, 145, 517–525. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.049

Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobell, D. B. & Travasso, M. I. (2014). *Food security and food production systems. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (Seguridad alimentaria y sistemas de producción de alimentos. El Cambio Climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: aspectos globales y sectoriales. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [título traducido]), ed. C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, 659–708. Cambridge: Cambridge University Press.

Putman, N. F., Goni, G. J., Gramer, L. J., Hu, C., Johns, E. M., Trinanes, J., & Wang, M. (2018). *Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the equatorial atlantic into the Caribbean Sea.* (Simulación de rutas de transporte de sargazo pelágico desde el Atlántico ecuatorial hacia el Mar Caribe. [título traducido]) *Progress in Oceanography*, 165, 205–214. doi: 10.1016/j.pocean.2018.06.009

Ramlogan, N. R., McConney, P., & Oxenford, H. A. (2017). *Socio-economic Impacts of Sargassum Influx Events on the Fishery Sector of Barbados. Centre for Resource Management and Environmental Studies (CERMES).* (Impactos socioeconómicos de los eventos de afluencia de sargazo en el sector pesquero de Barbados. Centro de Gestión de Recursos y Estudios Ambientales (CERMES). [título traducido]). Technical Report No 81.

Reguero, B. G., Secaira, F., Toimil, A., Escudero, M., Díaz-Simal, P., Beck, M. W., ... Losada, I. J. (2019). *The risk reduction benefits of the Mesoamerican reef in Mexico. Frontiers in Earth Science*, (Los beneficios de la reducción de riesgos del arrecife mesoamericano en México. [título traducido]) 7. doi: 10.3389/feart.2019.00125

Robledo, D. & Vázquez-Delfín, É. (2019). Sargazo, conociendo al “enemigo”. *Avance y Perspectiva* 5(3).

Rodríguez Martínez, R. E., van Tussenbroek, B., Jordán-Dahlgren, E. (2016). *Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015).* Puerto

Morelos, Quintana Roo: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Schell, J. M., Goodwin, D. S., & Siuda, A. N. (2015). *Recent Sargassum Inundation Events in the Caribbean: Shipboard Observations Reveal Dominance of a Previously Rare Form.* (Eventos recientes de inundación de sargazo en el Caribe: las observaciones a bordo revelan el dominio de una forma previamente rara. [título traducido]). *Oceanography*, 28(3), 8-11. https://www.jstor.org/stable/24861895

Schueler, K. (2017). *Nature-Based Solutions to Enhance Coastal* Resilience (Soluciones *basadas en la naturaleza para mejorar la resiliencia costera* [título traducido]). Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.

Secretaría de trurismo de México. (2020). Estadística Turística Derivada de los Censos Económicos 2019. Dirección General de Integración de Información Sectorial. Recuperado el 22 de diciembre de 2021. https://www.datatur.sectur.gob.mx/Comite%20de%20Estadisticas%20del%20Sector%20Turismo/Turismo_Censos_19_General.pdf

Secretaría de turismo de Quintana Roo. (2019). Indicadores turísticos enero-diciembre 2019. Recuperado el 22 de diciembre de 2021. https://sedeturqroo.gob.mx/ARCHIVOS/indicadores/Indicador-Tur-Dic-2019.pdf

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., … Wyatt, K. (2020). *InVEST 3.9.0.post159+ug.g367dd89 User's Guide.* The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. Recuperado de: http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/ (Accessed April 20, 2021).

Smetacek, V., & Zingone, A. (2013). *Green and Golden Seaweed Tides on the Rise*.(Mareas de algas verdes y doradas en aumento [título traducido]) .*Nature*, 504(7478), 84-88. doi: 10.1038/nature12860

Solarin, B. B., Bolaji, D. A., Fakayode, O. S., & Akinnigbagbe, R. O. (2014). *Impacts of an Invasive Seaweed Sargassum hystrix var. fluitans (Børgesen 1914) on the Fisheries and Other Economic Implications for the Nigerian Coastal Waters*. (Impactos de un alga invasora de Sargassum hystrix var. fluitans (Børgesen 1914) sobre la pesca y otras implicaciones económicas para las aguas costeras de Nigeria [título traducido]) .*IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(7), 1-6.

Stock, J. H., & Watson, M. W. (2011). *Introduction to Econometrics* (3rd ed.). Boston, MA: Addison-Wesley.

Storeygard, A. (2013). *Farther on down the road: Transport costs, trade and urban growth in sub-Saharan Africa* (Más adelante: costos de transporte, comercio y crecimiento urbano en el África subsahariana [título traducido]) (Policy Research Working Paper No. 6444). Washington, DC: The World Bank. doi: 10.1093/restud/rdw020

Sutton, P. C. & Costanza, R. (2002). *Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation.*

(Estimaciones globales de valores de mercado y no comerciales derivados de imágenes satelitales nocturnas, cobertura terrestre y valoración de servicios ecosistémicos. [título traducido]) *Ecological Economics*, 41(3), 509-527. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00097-6

Tol, R. S. (2020). *The economic impacts of climate change.* (Los impactos económicos del cambio climático [título traducido]). *Review of Environmental Economics and Policy* 12(1).

Torres, R.M., & Momsen, J.D. (2005). Gringolandia: *The Construction of a New Tourist Space in Mexico*.(La construcción de un nuevo espacio turístico en México [título traducido]*) Annals of the Association of American Geographers,* 95(2), 314-335. doi: 10.1111/j.1467-8306.2005.00462.x

United Nations Environment Programme-Caribbean Environment Programme (UNEP-CEP, 2021). *Sargassum White Paper. Turning the Crisis into an Opportunity. (Libro blanco del sargazo. Convertir la crisis en una oportunidad* [título traducido]) *Ninth* Meeting of the Scientific and Technical Advisory Committee (STAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPAW) in the Wider Caribbean Region. Kingston, Jamaica.

Van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). *Severe impacts of brown tides caused by sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities*. (Impactos severos de mareas marrones causadas por Sargassum spp. en las comunidades de pastos marinos del Caribe cerca de la costa [título traducido]). *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 272–281. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.057

Wang, M., & Hu, C. (2016). *Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations*. (Mapeo y cuantificación de la distribución y cobertura de sargazo en el Atlántico centro-occidental utilizando observaciones MODIS [título traducido]) *Remote Sensing of Environment*, 183, 350-367. doi: 10.1016/j.rse.2016.04.019

Wang, M., Hu, C., Barnes, B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. (2019). *The great Atlantic Sargassum belt.* (El gran cinturón de sargazo del Atlántico. [título traducido]) *Science*, 365(6448), 83-87. doi: 10.1126/science.aaw7912

Williams, A., & Feagin, R. (2010). *Sargassum as a natural solution to enhance dune plant growth*. (El sargazo como solución natural para potenciar el crecimiento vegetal de las dunas [título traducido]) *Environmental Management*, 46(5), 738-747. doi: 10.1007/s00267-010-9558-3

WorldPop (2020). *Mapping Populations.* (Mapeando poblaciones [título traducido]) *Recuperado de:* https://www.worldpop.org/methods/populations (Consultado el 11 de noviembre de 2020).

World Travel & Tourism Council (WTTC, 2018). *City Travel & Tourism Impact 2018.* (Impacto de los viajes y el turismo urbano en 2018 [Título traducido]). London: WTTC.