

# INFORME FINAL DE ACTIVIDADES



**Proyecto PAPIIT: Resiliencia de  
socioecosistemas costeros  
asociados al turismo ante covid 19  
y cambio climático**

IV300123



**10 años**

Laboratorio Nacional  
de Resiliencia Costera  
2015-2025

**RESPONSABLES DEL PROYECTO:  
DRA. SOPHIE ÁVILA FOUCAT  
DR. ALEC TORRES FREYERMUTH  
DR. FERNANDO NUNO DIAS MARQUES SIMÕES**



Laboratorio Nacional  
de Resiliencia Costera

**2015-2025**

# CONTENIDO

Síntesis del proyecto .....	5
Contribución de la investigación.....	6
Impacto en el conocimiento multidisciplinario, inter o transdisciplinario.....	8
Formación de recursos humanos.....	9
Vinculación o aplicaciones potenciales.....	11
Difusión de resultados .....	13
Colaboración entre grupos.....	15
Contribución: recursos humanos.....	16
Objetivos y metas logradas.....	17
Objetivos y productividad.....	18

# SÍNTESIS DEL PROYECTO

El proyecto logró generar un modelo de dinámica de sistemas que permitió analizar la resiliencia específica ante el COVID 19 y cambio climático de tres socioecosistemas costeros en los que el turismo es una de las principales actividades. La finalidad del modelo fue generar una herramienta que pueda ser alimentada con datos empíricos a lo largo del tiempo para identificar umbrales de cambio y con ello poder determinar las mejores acciones para que el turismo en estos sitios sea más sustentable y equitativo en términos de la oferta y la demanda. Es decir, un turismo visto desde la complejidad de las interacciones sociedad naturaleza que sea costo beneficio y permita la conservación de los ecosistemas.

El proyecto utilizó como marco teórico la resiliencia de socioecosistemas para el desarrollo y generó resultados de vanguardia en ésta temática. Para ello se conformaron tres grupos de investigación que generarán información fisicoquímica, biológica, socioeconómica y de gobernanza. La construcción del modelo se llevó a cabo mediante la información generada por dichos grupos y fue validada con diversos actores que intervienen en éstos territorios.

# CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los logros más relevantes del proyecto se relacionan con hacer una propuesta conceptual y metodológica para medir de manera sistémica la resiliencia del turismo ante cambio climático y COVID en contextos diferentes.

El proyecto tenía como objetivo desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que pudiera permitir insertar las capacidades de resiliencia como un elemento genérico, así como las variables para medirlas que fueran acordes a los sitios de estudio (Copalita-Oaxaca, Sisal-Yucatán, y Arrecife Alacranes-Yucatán) y a los estresores. Con ello se pudieron probar las hipótesis planteadas en el proyecto. La primera hipótesis postulaba que se pueden identificar las mismas dimensiones que explican la resiliencia en diferentes contextos. En este caso se demostró que los activos de capital son un enfoque que permite medir las capacidades del sector turismo en varios contextos (ver capítulo 1 del libro en edición: [https://drive.google.com/file/d/1BPP73t3246S8MoTrc13JT7MXwxBuClRD/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1BPP73t3246S8MoTrc13JT7MXwxBuClRD/view?usp=drive_link)) y que a su vez son medidos de manera diferente dependiendo del contexto local.

Por ejemplo, el capital natural en Copalita y Alacranes se refiere a los arrecifes de coral dado que son el principal atractivo turístico y en Sisal se asocia al manglar y a la playa. Este hallazgo no es menor porque permite generar un marco teórico conceptual y relaciones causales genéricas, pero al mismo tiempo logra capturar la especificidad de cada contexto, en este caso de Sisal, Arrecife Alacranes y Copalita. Así mismo se comprobó que los umbrales de los activos de capital son diferentes y dependen del contexto local (segunda hipótesis). Por ejemplo, el capital social resulta ser crucial en el caso de Sisal en donde la restauración depende de las comunidades y ante un escenario de un evento extremo el resultado de la modelación sugiere que el capital natural se recupera en un período de 5 años. En cambio, en el caso de Copalita la recuperación de los arrecifes de coral depende en mayor medida de la inversión en infraestructura, de las capacitaciones y de la restauración, cuyos umbrales de recuperación toman más tiempo. En este caso la respuesta del sistema depende más del capital humano y financiero. Lo anterior nos lleva a probar la tercera hipótesis que indica que aunque los modelos tienen las mismas dimensiones (capitales) la resiliencia se expresa de manera diferente, es decir que el tipo e intensidad de los estresores de cada sitio tienen un efecto diferente en los componentes del sistema influyendo en su respuesta y en su posible trayectoria.

# CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La construcción de los modelos se hizo llevando a cabo reuniones con los expertos del proyecto y con los actores locales, por lo que implicó un trabajo interdisciplinario y transdisciplinario (ver informe de los talleres del primer y último año en el micrositio del proyecto) <https://www.lanresc.mx/investigacion/resiliencia-de-socioecosistemas-costeros-asociados-al-turismo-ante-covid-19-y-cambio-climatico/>

Por lo tanto, el modelo de dinámica de sistemas se nutre de diferentes disciplinas que corresponden a las variables del mismo y también de la visión de los diversos actores. Por ejemplo, en el caso de Sisal la playa y el manglar son elementos determinantes para la resiliencia del turismo de naturaleza y en este sentido, un grupo de participantes del proyecto se ha abocado a estudiar la resiliencia de la playa (ver artículos publicados en la materia <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105343>) y otro grupo ha analizado el cambio de uso del suelo. Así mismo, la calidad del agua y el oleaje son elementos cruciales para la salud de los ecosistemas de los cuales depende el turismo. Por ello, se hicieron análisis de la calidad del agua (TRIX) y se instaló una boya de oleaje en los tres sitios de estudio. En particular, los resultados de la calidad del agua, en términos de sedimentos suspendidos es importante para Copalita ya que afecta la visibilidad al bucear y por lo tanto es uno de los elementos que influye en la disponibilidad a pagar y en la satisfacción de los buzos. Es así que se relacionan los conocimientos de los diferentes grupos de especialistas y los resultados de los diferentes análisis. Por otro lado, también, se realizaron entrevistas a los prestadores de servicio para conocer sus capacidades de resiliencia ante cambio climático y COVID.

Se buscó que los resultados medidos en cada una de las disciplinas y con diversos métodos sirvieran para la construcción del modelo de dinámica de sistemas en cada sitio. Es decir que en el proyecto se aplicaron métodos disciplinarios y muchos de los resultados se insertaron en un análisis más integral. Cada una de estas metodologías tienen sus particularidades, los modelos econométricos permiten identificar el peso que cada variable tiene en el sistema, los métodos cuantitativos como índices permiten identificar umbrales de un componente del sistema como son las playas, y el método de dinámica de sistemas permite identificar relaciones causales, umbrales y trayectorias, pero es complejo de conceptualizar y requiere diversos datos. El conjunto de estos enfoques permite una mejor comprensión del sistema.

# IMPACTO EN EL CONOCIMIENTO MULTIDISCIPLINARIO, INTER O TRANSDISCIPLINARIO

Lo anteriormente descrito permitió que haya una comunicación entre los grupos de investigación de química, biología, ingeniería, y economía para la construcción de una herramienta común (ver seminario permanente, talleres y otras reuniones mencionadas arriba en el microsítio del proyecto). Si bien el modelo de dinámica de sistemas es un método en sí mismo ya reconocido en la literatura, son pocos los ejemplos que vinculan variables de diversas disciplinas por lo que podríamos considerar un aporte inicial a la transdisciplina científica. Los resultados de esta interacción son el libro sobre la resiliencia del turismo (arriba mencionado) en dónde participan diversos colaboradores del proyecto para reflexionar en conjunto sobre el tema. De manera particular, los co-responsables de este proyecto son coautores de la introducción y la conclusión de este libro.

Así mismo, se envió un artículo sobre la disponibilidad a pagar en Copalita en donde colaboran autores de las ciencias biológicas y económicas, y otro sobre la valoración económica de los Arrecifes de Alacranes en dónde participamos dos de los corresponsables del proyecto. Esto a su vez ha permitido que académicos de diversas disciplinas participen actualmente en comités tutoriales de estudiantes (el caso de Daniel Cohen no registrado en este proyecto). También se apoyaron en el proyecto aspectos de intercambio académico, en el segundo año por ejemplo dos de los participantes del proyecto fueron a Mérida, y en el tercer año se invitó a la Dra. Balvanera.

Con respecto a la transdisciplina con los actores involucrados en la actividad turística, nos abocamos a presentarles desde el primer año el enfoque del proyecto, sus variables y su importancia (talleres primer año disponibles en el microsítio),

<https://www.lanresc.mx/investigacion/resiliencia-de-socioecosistemas-costeros>

asociados-al-turismo-ante-covid-19-y-cambio-climatico/ y en el último año les presentamos los resultados del proyecto para su retroalimentación (talleres tercer año)

[https://drive.google.com/file/d/1w1nmfZ2yM2fFxxlyoKrnWR8Syt5RonNK/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1w1nmfZ2yM2fFxxlyoKrnWR8Syt5RonNK/view?usp=drive_link)

[usp=drive\\_link](#)

[https://drive.google.com/file/d/1IT5YavhUZ\\_J6NnJHlIbvOSGEswxDwfYPb/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1IT5YavhUZ_J6NnJHlIbvOSGEswxDwfYPb/view?usp=drive_link)

[usp=drive\\_link](#)

[https://drive.google.com/file/d/1pxzB2y47an-WZYaBS7\\_GNqaPcYBqvrkL/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1pxzB2y47an-WZYaBS7_GNqaPcYBqvrkL/view?usp=drive_link)

[usp=drive\\_link](#)

En este último se presentó un primer esfuerzo de una aplicación en el celular para que la herramienta pueda ser utilizada de manera práctica, pero faltó más financiamiento para concretar dicho esfuerzo.

# IMPACTO EN EL CONOCIMIENTO MULTIDISCIPLINARIO, INTER O TRANSDISCIPLINARIO

Otra actividad relacionada con la transdisciplina es el proyecto de ciencia ciudadana Coastsnap (ver información a detalle en <https://lipc.unam.mx/coastsnap/>, <https://www.spotteron.com/coastsnap/spots/1250773>). Este proyecto busca que el turista o personas en general, tomen una foto de la playa y a través de un QR ésta sea enviada a una plataforma (en mayo de 2024 Sisal este registró un total de 682 y Sisal Oeste un total de 477). La información recabada es útil para analizar variaciones de la línea de costa, y la afluencia de turismo. Asimismo, usando esta herramienta se registró el encallamiento de macrófitas y un evento de florecimientos algales nocivos que impactó la costa de Yucatán en el verano del 2025. El Coast snap se logró instalar en las tres zonas de estudio. Para el caso de Sisal, se analizó un año de información que incluye el impacto del huracán Milton lo cual derivó en un artículo científico sometido a una revista indizada (estudiante participante del proyecto como primer autor). Así mismo, la instalación de la boya multiparamétrica aunque tiene fines científicos es de utilidad para el manejo de las áreas naturales protegidas y por lo tanto, para su instalación, se coordinaron acciones con varias instancias de gobierno y pescadores. Los datos de este equipo pueden ser consultados en tiempo real y descargados sin restricciones (<https://spotter.sofaroccean.com/public/SPOT-31742C>), por lo que este proyecto generó datos de acceso para la sociedad.

<https://lanresc.mx/investigacion/boya-arrecife-alacranes/>;

<https://lanresc.mx/investigacion/boya-sisal/>;

<https://lanresc.mx/investigacion/boya-copalita-huatulco/>

En el marco de este proyecto se adquirió equipo que permitió el monitoreo de los tres sitios. Específicamente, drones, boyas multi-paramétricas, material para medir la calidad de agua, GPS diferencial, y Ipads. Todo lo anterior permitió llevar a cabo el trabajo de campo y la obtención de bases de datos de los tres sitios de estudio mismos que serán de utilidad no solo para los fines de este proyecto sino para el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC). Como se mencionó anteriormente los datos obtenidos con la infraestructura son de interés también para los sectores que se dedican al manejo de los ecosistemas y otros actores y se han puesto a disposición de todos aquellos interesados.

# FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

En el proyecto se registraron 5 alumnos de doctorado de los cuales 4 se han graduado todos con agradecimiento explícito al proyecto, y dirigidos por los responsables de este proyecto.

La tesis de Alejandra Ramírez se desarrolla en el área de estudio de Copalita y permite analizar la dinámica de los productores de café en dónde también se realizan actividades de turismo por lo que tiene una relación directa con el proyecto. La alumna publicó un artículo derivado de su tesis y otro está en dictamen y presentó su trabajo en congresos. La tesis tiene agradecimiento al proyecto y también fue apoyada por un proyecto previo.

La tesis de Angel Merlo también se desarrolla en Copalita y permite analizar la relación de los actores para la conservación del servicio ecosistémico hídrico, mismo que es de suma importancia para el turismo en Huatulco que es uno de los principales sectores que consumen agua. El alumno publicó dos artículos derivados de su tesis, y también presentó su trabajo en congresos. La tesis tiene agradecimiento al proyecto y también fue apoyada por un proyecto previo.

Con respecto al área biológica se tituló Antar Pérez quién analizó los cambios de la diversidad de fauna asociada a las esponjas en el Golfo de México y Mar Caribe, y publicó un artículo científico dando agradecimiento al proyecto. Además la alumna María Muciño está en proceso de terminación de tesis de doctorado también con un tema de biodiversidad y tiene un artículo publicado con agradecimientos al proyecto. Ambos alumnos han participado en congresos. Dada la importancia ecológica de la biodiversidad, estas tesis sustentan el haber analizado de qué manera la biodiversidad de los arrecifes de coral afectan la disponibilidad a pagar y satisfacción del turista, además de las acciones de conservación y monitoreo en la región.

Por otra parte, el alumno Bryan Rodrigo Covarrubias Contreras realizó un estudio sobre la interacción de la cortina de burbujas con el oleaje y el sedimento en suspensión con el propósito de explorar su aplicación potencial para mitigar el azolvamiento del puerto de abrigo de Sisal. El alumno publicó un artículo en revista indizada como producto de su investigación y la tesis tiene agradecimientos al proyecto.

# FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Así mismo, se titularon los tres alumnos de maestría todos con agradecimiento al proyecto. Leonardo Alonso Hernández trabajó en el análisis de los procesos hidrodinámicos en las playas y en el análisis de las imágenes de la estación CoastSnap de Sisal. Julian Rodríguez hizo un modelado físico y numérico de la transformación del oleaje en arrecifes de coral lo cual derivó en la publicación de artículo en revista indizada como primer autor. Ambos trabajos abonan a la comprensión física de los sistemas costeros, y a comprender la resiliencia física de la línea de costa en ecosistemas de playas y arrecifes. Por su parte, Bryant Canseco estimó los costos del uso de energías renovables en embarcaciones turísticas temática que también se vincula con el proyecto.

En el caso de los alumnos de licenciatura están registrados en el proyecto para elaboración de tesis 4 alumnos siendo esto más de lo comprometido. Así mismo, colaboraron en el proyecto tres estudiantes más como becarios que apoyaron en aspectos socioeconómicos, y otros alumnos apoyaron en actividades en el levantamiento de datos de campo.

Así mismo, contribuyeron sustancialmente al proyecto dos alumnos de posdoctorado, Hilda Zamora desarrollando los modelos de dinámica de sistema y Armando Carmona con el tema de los indicadores de turismo y redes de colaboración en el turismo. Ambos estudiantes generaron publicaciones y participaron en congresos y sus actividades estuvieron ligadas completamente al proyecto. También participó como alumno de posdoctorado el primer año del proyecto Pierre Mokondoko quién elaboró dos artículos asociados al proyecto.

En el marco de este proyecto se supervisó a alumnos de posgrado de la Universidad Tecnológica de Delft, como parte de la materia Multidisciplinary Research Projects, con el objetivo de mapear la resiliencia en Sisal Yucatán (<https://repository.tudelft.nl/record/uuid:bc44ef6c-9dcd-4757-8628-de6e40dbcoe6>).

Además se impartió la materia de resiliencia de socioecosistemas para el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad en dónde se utilizó mucho del material derivado de este proyecto para la docencia.

Es importante señalar que los alumnos que participan en el proyecto pertenecen a campos de conocimiento diferentes tanto de las ciencias exactas (biología, química) como de las ingenierías y las ciencias económicas. Además, en el proyecto participaron alumnos de todos los niveles, posdoctorado, doctorado, maestría y licenciatura.

# VINCULACIÓN O APLICACIONES POTENCIALES

El proyecto presentó vinculación con prestadores de servicio y autoridades locales como la comisión de áreas naturales protegidas y los municipios entre otros. Los resultados obtenidos fueron presentados a estos actores y las implicaciones de manejo identificadas se pueden consultar en los diversos productos generados como son las infografías, reportes de talleres, publicaciones, pero a continuación se enumeran algunos resultados importantes para la toma de decisiones:

En Sisal, los resultados muestran que la trayectoria y la resiliencia del turismo dependen en gran medida del capital social que tienen las comunidades para llevar a cabo acciones de restauración (capítulo 2 libro antes mencionado). Así mismo, se identificaron indicadores asociados para monitorear aspectos naturales y sociales relacionados con el turismo en la zona, (artículo de indicadores enviado [https://drive.google.com/file/d/1PdekgKvLbqrO3eyEoO1ggkldKzqQhD-q/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1PdekgKvLbqrO3eyEoO1ggkldKzqQhD-q/view?usp=drive_link))

Por otro lado, se obtuvo un índice de la resiliencia de la playa que puede ser de utilidad para la toma de decisiones, así como mediciones de la calidad del agua. También se estimó la disponibilidad a pagar de los turistas por conservar la zona y las capacidades que tienen los prestadores. Lo primero sirve para diseñar un instrumento económico que permita recaudar más fondos y el segundo para identificar las necesidades de los prestadores para sobreponerse a un eventual shock como el cambio climático y el COVID.

De manera similar, en Alacranes, se identificaron los indicadores para medir los impactos del turismo, así como la disponibilidad a pagar y la satisfacción del turismo y las capacidades de los prestadores de servicio (artículo enviado [https://drive.google.com/file/d/1ZTjmtplA5H6kB\\_8iQXbHLG\\_BgQsdgP-Z/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1ZTjmtplA5H6kB_8iQXbHLG_BgQsdgP-Z/view?usp=drive_link)). Aunado a ello, se hicieron análisis sobre la biodiversidad del sitio y la calidad del agua.

# VINCULACIÓN O APLICACIONES POTENCIALES

Para Sisal y Alacranes se identificaron además los vacíos en las redes de colaboración, para fortalecer el capital natural, social, financiero, humano, y físico (artículo enviado <https://lanresc.mx/publicaciones/397/collaborative-management-for-tourism-adaptive-capacityresilience-in-two-destinations-in-yucatan-mex/>). Esto sirve para identificar las sinergias que deberían formarse entre los diversos actores.

En el caso de Copalita, los resultados muestran que la resiliencia del turismo de buceo y el snorkel depende de invertir en infraestructura verde y en restauración de corales. De manera similar a los otros sitios se identificaron los indicadores sociales, naturales y físicos para monitorear el desarrollo de esta actividad. Así mismo se estimó la disponibilidad a pagar y las capacidades de los prestadores de snorkel y buceo [https://drive.google.com/file/d/1BPP73t3246S8MoTrc13JT7MXwxBuClRD/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1BPP73t3246S8MoTrc13JT7MXwxBuClRD/view?usp=drive_link)

Con los elementos antes expuestos se tienen recomendaciones de manejo con respecto a qué aspectos deben priorizarse para mantener un turismo con el menor impacto ambiental y social. Dentro de éstos los principales son la restauración y la conservación de los ecosistemas, la planeación e incorporación de infraestructura verde, la consolidación de las redes de colaboración externas sobre todo en aspectos financieros, seguir con las capacitaciones, controlar la cantidad de turismo en las zonas, crear instrumentos económicos para la obtención de mayores fondos, reforzar la prevención ante estresores, reforzar las acciones de reacción inmediata ante estresores, incorporar nuevas estrategias de adaptación y continuar con aquellas que se relacionan con cambios en las prácticas turísticas.

# DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El proyecto “Resiliencia de socioecosistemas costeros asociados al turismo ante covid 19 y cambio climático” obtuvo como resultados posibles escenarios de cambio en las llegadas del turismo de naturaleza asociadas a la condición del capital natural, social, financiero, físico y humano en tres socioecosistemas costeros, Sisal, Copalita y Arrecife Alacranes. Los escenarios fueron analizados utilizando la modelación de dinámica de sistema que a su vez se nutre de datos obtenidos con técnicas específicas en el ámbito económico, físico, químico y biológico. Con este método se pueden identificar umbrales importantes para que las actividades de turismo de naturaleza se desarrollen con el menor impacto ambiental y social.

Este proyecto por lo tanto contribuye a la generación de conocimiento y es innovador, dado que propone un marco teórico-metodológico para medir la resiliencia de manera inter y transdisciplinaria con un enfoque sistémico.

Aunado a lo anterior, el proyecto contribuye a la solución de problemas nacionales relacionados con el desarrollo de un turismo sustentable y resiliente, y a la adaptación de este sector al cambio climático y a otros estresores como el COVID. El proyecto logra identificar los activos de capital más importantes en cada sitio, indicadores de monitoreo, vacíos en las redes de colaboración, la disponibilidad a pagar del turismo por los atributos naturales de estos destinos, así como el estado de ciertos elementos en cada sitio tales como la demanda regional de turismo, la calidad del agua, la erosión de playas, la biodiversidad, y el oleaje. Así mismo identifica indicadores a monitorear, y acciones implementadas y por implementar relacionadas con el cambio climático y el aumento del turismo no planeado.

De manera particular a continuación se describe de qué manera el proyecto aporta a la solución de problemas relacionados con el turismo en Sisal, Copalita y Arrecife Alacranes.

En Sisal, el turismo ha ido aumentando sin una planeación adecuada por lo que las dunas, los manglares y la calidad del agua se han visto afectados. Este proyecto determina los umbrales de inversión en los capitales para mantener tanto al capital natural como las llegadas del turismo. En particular, los resultados muestran la importancia de la organización comunitaria para la restauración de éstos ecosistemas, así como la importancia de evitar la erosión de playas y mantener una buena calidad del agua. Así mismo, se evidencia la importancia de una buena planeación de la actividad e infraestructura adecuada para su desarrollo. Finalmente, se muestra la importancia de los atributos ecológicos para el turismo y su disponibilidad a pagar para su conservación.

# DIFUSIÓN DE RESULTADOS

En Copalita, el desarrollo turístico ha sido orientado a un turismo de sol y playa, sin embargo, uno de los principales atractivos son los arrecifes de coral siendo el snorkel y el buceo las actividades asociadas a este ecosistema. Sin embargo, los arrecifes de coral se ven afectados por estresores locales y el cambio climático lo que ha causado el blanqueamiento del coral. Los resultados del proyecto muestran la relevancia de la restauración de coral, la capacitación del turismo y los prestadores y la inversión en infraestructura verde para que los ecosistemas se recuperen y por tanto la demanda del turismo no disminuya. Finalmente, se evidencia la importancia de la biodiversidad, la visibilidad del agua y la baja congestión para el turismo y su disponibilidad a pagar para su conservación.

En el caso de Arrecife Alacranes, el turismo se relaciona también con la actividad de buceo y de pesca deportiva. Sin embargo, dado que este destino está lejano a la costa y solo puede accederse por vía marítima el tipo de turismo es muy específico. Los resultados muestran que los principales estresores en la zona son el cambio climático, así como la pesca furtiva y las especies invasoras. Además, se identificaron acciones implementadas y por implementar con relación al cambio climático y al aumento del turismo. Finalmente, se evidencia la importancia de la biodiversidad para los buzos y su disponibilidad a pagar para su conservación.

Para los tres casos se evaluaron los activos de capital, las capacidades de persistencia y adaptación en donde se observa la necesidad de redoblar esfuerzos en participar en actividades de restauración y conservación de los ecosistemas, consolidación de redes de colaboración externa, seguir con capacitaciones en torno al turismo resiliente, reforzar las acciones de prevención y respuesta inmediata ante estresores, e incorporar nuevas estrategias de adaptación y continuar con aquellas que se relacionan con cambios en las prácticas. Así mismo, se estimó que la disponibilidad a pagar por los atributos ecológicos del sitio es positiva teniendo la posibilidad de generar un esquema de recaudación de fondos para la conservación. En este mismo estudio se describe el perfil del turismo y su satisfacción, información útil para la planeación de la actividad.

La divulgación de los resultados antes mencionados pueden encontrarse en las sesiones del seminario permanente, en las infografías, en los informes de los talleres y en la página del Laboratorio Nacional de Resiliencia costera ([www.lanresc.mx](http://www.lanresc.mx)). Es importante mencionar que los resultados del proyecto han generado diversos materiales de divulgación, base de datos que los actores participantes pueden consultar, y manuales de docencia con la finalidad de que el conocimiento generado sea accesible a la sociedad.

# COLABORACIÓN ENTRE GRUPOS

La colaboración entre los participantes del proyecto se dio a diversas escalas. A nivel de todo el grupo el seminario permanente permitió difundir los objetivos del proyecto de manera interna y externa y los aspectos más importantes para la construcción de los modelos de dinámica de sistemas. Estos modelos parten del principio de que los activos de capital natural, social, financiero, humano y físico le confieren al sistema una capacidad de responder ante estresores. Por ejemplo, difícilmente habrá demanda de buceo si la calidad del arrecife de coral está dañada; o bien si no existe una coordinación (capital social) entre los actores involucrados en la prestación del servicio turístico, la actividad no podrá desarrollarse adecuadamente y no podrá responder a un estresor.

Por lo tanto, se requiere de especialistas del proyecto en cada uno de los capitales, siendo el natural (incluye la parte física, química, y biológica) uno de los más importantes. Este conocimiento y visión se integra en la construcción de los modelos de dinámica de sistemas. Se intentó obtener la mayor cantidad de datos relacionados con las variables que se proponían para incorporarlos al modelo, aunque no siempre fue posible. Sin embargo, el definir de manera conjunta los elementos más importantes fue de mucha ayuda y se pudo concretar lo planteado en el proyecto con respecto a los modelos de dinámica de sistemas, salvo para el caso de Arrecife Alacranes debido al recorte presupuestal del último año. Sin embargo, para este último sitio se tiene información relevante que permite identificar las variables más importantes.

Por otro lado, se conformaron subgrupos, en dónde se llevaron a cabo reuniones interdisciplinarias para fines específicos, como por ejemplo para escribir los artículos de valoración económica en dónde participaron tanto biólogos como economistas. O bien para la elaboración del libro comprometido en el proyecto.

De manera similar se conformaron subgrupos más disciplinarios que estudiaban un aspecto preciso que fuera de relevancia para el tema del proyecto, como es el caso de la erosión de playas.

Por otro lado, en cada sitio se implementaron programas de monitoreo (vuelos de dron) e instalación de instrumentos (boyas de oleaje) o plataformas de ciencia ciudadana (estaciones CoastSnap). Esto requirió la coordinación de los diferentes grupos de trabajo.

Además, en el marco de este proyecto se supervisó a alumnos de posgrado de la Universidad Tecnológica de Delft, como parte de la materia Multidisciplinary Research Projects, con el objetivo de mapear la resiliencia en Sisal Yucatán (<https://repository.tudelft.nl/record/uuid:bc44ef6c-9dcd-4757-8628-de6e40dbcoe6>).

De manera general, estas colaboraciones han derivado en la participación en comité de alumnos, o bien en la elaboración de publicaciones o infografías y manuales.

# CONTRIBUCIÓN: RECURSOS HUMANOS

El proyecto ha contribuido a la formación de recursos humanos a nivel licenciatura, maestría, doctorado y posdoctorado en disciplinas diversas tales como economía, ciencias de la sostenibilidad, ingeniería, química, y biología.

En el proyecto se registraron 5 alumnos de doctorado de los cuales 4 están titulados y uno en proceso de titulación, 3 estudiantes de maestría de los cuales todos se han titulado y uno de licenciatura en proceso de titulación. En este último nivel están además 3 alumnos más en proceso de titulación. Las aportaciones específicas de cada uno de los alumnos se describen en el primer apartado de este informe.

Así mismo participaron tres becarios de la licenciatura de economía quienes ayudaron a hacer una base de datos socioeconómicos para los tres sitios de estudio y un manual para el uso de los datos en Python. Así mismo, uno de ellos ayudó a levantar encuestas en campo a turistas y a prestadores de servicio. Aunado a lo anterior, participaron alrededor de 12 alumnos en las actividades de campo como parte de la docencia, aunque sus tesis no dependen de dichos datos la actividad es parte de su formación académica.

Los dos alumnos de posdoctorado relacionados directamente con este proyecto, Hilda Zamora quién desarrolló los modelos de dinámica de sistema y Armando Carmona con el tema de los indicadores de turismo y redes de colaboración en el turismo generaron publicaciones y participaron en congresos y sus actividades estuvieron ligadas completamente al proyecto. También participó como alumno de posdoctorado el primer año del proyecto Pierre Mokondoko quién elaboró dos artículos asociados al proyecto.

En el marco de este proyecto también se supervisó a alumnos de posgrado de la Universidad Tecnológica de Delft, como parte de la materia Multidisciplinary Research Projects, con el objetivo de mapear la resiliencia en Sisal Yucatán (<https://repository.tudelft.nl/record/uuid:bc44ef6c-gdcd-4757-8628-de6e40dbcoe6>).

Además se impartió la materia de resiliencia de socioecosistemas para el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad en donde se utilizó mucho del material derivado de este proyecto para la docencia. Además un alumno realizó una estancia de investigación en el Instituto de Investigaciones Económicas en el marco de este proyecto.

En resumen, los alumnos participaron activamente en el proyecto no solamente obteniendo su grado sino participando en las publicaciones, seminarios y trabajo de campo.

# OBJETIVOS

No.	OBJETIVO	PORCENTAJE DE AVANCE
1	Co-construcción de soluciones para la resiliencia de los socioecosistemas de estudio basadas en información científica, y la construcción de teoría de cambio que identifique acciones concretas	100%
2	Contribuir a la formación de recursos humanos y generar productos para la Red Universitaria de Aprendizaje	100%
3	Estimar los escenarios de cambio climático y umbrales en los tres socioecosistemas costeros seleccionados	100%
4	Generar marcos teórico metodológicos y de monitoreo comunes para los tres socioecosistemas costeros	100%
5	Generar las líneas base de cada uno de los socioecosistemas, construidas con un enfoque histórico y sistémico	100%

# METAS LOGRADAS

ETAPA	META	PORCENTAJE DE AVANCE
1	Generar un modelo conceptual general y otros específicos para cada uno de los tres socioecosistemas.	100%
2	Construcción de un modelo matemático para cada sitio de estudio.	100%
3	Modelación de escenarios y recomendaciones de política pública	100%

# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto genero diversas publicaciones asociadas con el objetivo; Co-construcción de soluciones para la resiliencia de socioecosistemas de estudio basadas en información científica.

ID	Producto	Descripcion general
1	Collaborative management for tourism adaptive capacity/resilience in two destinations in Yucatán Mexico	<i>El artículo analiza las redes de colaboración entre actores por lo que abona a la construcción de la transdisciplina, así mismo es parte del marco teórico dado que este tema es parte del capital social, uno de los elementos analizados en los modelos de dinámica de sistemas.</i>
2	Public policy instruments coherence analysis to address coastal risk in Yucatan, Mexico	El artículo hace una evaluación de los instrumentos de política publica por lo que tiene relación con la transdisciplina, y abona a una línea base.
3	Resilience indicators for touristic destinations: empirical evidence for coastal regions in Mexico	El artículo es una síntesis de indicadores y se nutre de las tarjetas de reporte de los tres sitios, y la identificación de indicadores en talleres. Estos indicadores son parte del marco teórico, y para algunos de ellos se tienen ya líneas base.
4	Segundo Simposio Internacional de Resiliencia Costera	El simposio tuvo muchas ponencias que se relacionan con cada uno de los objetivos. Tres participantes de este proyecto estuvimos a cargo de la organización y muchos participaron con ponencias. En el simposio también participaron alumnos y actores de otros sectores. Por ello se considera que abona a todos los objetivos.
5	Seminario Permanente: Resiliencia y Desarrollo	El seminario permanente abona a todos los objetivos debido a que se transmite a toda la sociedad incluidos los actores de los sitios de estudio, incluso ellos también participaron en el seminario, contribuye a la formación de los alumnos dado que visualizan el proceso de investigación, ayudo a tener una espacio de diálogo para construir un marco teórico, se presentaron líneas base y escenario así como aspectos específicos de los socioecosistemas

# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto genero diversas publicaciones asociadas con el objetivo: Co-construcción de soluciones para la resiliencia de socioecosistemas de estudio basadas en información científica.

ID	Producto	Descripcion general
6	Bases de datos de boya de Sisal, Arrecife Alacranes y Copalita	<i>Las bases de datos son parte de la línea base, al monitoreo y a la formación de recursos humanos pero también las boyas permitieron colaboración con otros actores</i>
7	Flyer-CoastSnap	La infografía de coast snap permite que todos los actores y los estudiantes sepan para que sirve esta iniciativa de ciencia ciudadana
8	Infografía boya de Sisal, Arrecife Alacranes y Copalita	La infografía de la boya permite que todos los actores y los estudiantes sepan para que sirve este equipo
9	Informe taller de validación: Sisal, Arrecife Alacranes, Copalita	Los informes de talleres tuvieron como objetivo validar varios aspectos del planteamiento conceptual y de los socioecosistemas incluidos posibles escenarios de cambio, estresores principales, indicadores relevantes entre otros.
10	Tourism enterprises capacities to face coastal exposure in Yucatan coast of Mexico	El artículo analiza las capacidades de resiliencia de empresas de turismo en la costa de Yucatán, por lo que ayuda para el marco teórico y líneas base.
11	Climate change resilience of tourism enterprises on the Yucatán coast, Mexico, Current Issues in Tourism,	El artículo analiza la resiliencia de las empresas turísticas frente al cambio climático mediante la presencia de los activos de capital, presentando evidencia empírica en la costa de Yucatán.

# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto generó diversas publicaciones asociadas con el objetivo: Co-construcción de soluciones para la resiliencia de socioecosistemas de estudio basadas en información científica.

ID	Producto	Descripción general
12	Monitoring Resilience in Coastal Systems: A Comprehensive Assessment.	El artículo examina el papel de la resiliencia en el monitoreo de la evolución costera en diversos entornos de Europa y América. Se analizaron conjuntos de datos morfológicos de alta resolución, obtenidos a partir de mediciones in situ y sistemas de videovigilancia, para playas dominadas por olas y mareas, influenciadas tanto por factores climáticos como por presiones antropogénicas.
13	Distinct sandbar behavior on a gently sloping shoreface sea-breeze dominated beach.	El artículo investiga los controles hidrodinámicos sobre la dinámica de los bancos de arena costeros en una playa dominada por la brisa marina, mediante estudios de playa de alta resolución temporal.
14	Analysis of the watershed social-ecological system trajectory in Copalita-Huatulco, Mexico: The impact of drivers on hydrological ecosystem services	En este estudio, se adoptó el marco del ciclo adaptativo y se propone un método cualitativo para analizar los impactos de estos factores en la trayectoria de los SEH y de los SSE de las cuencas. Se utilizó evidencia empírica de la cuenca de Copalita-Huatulco, en México, para estudiar las relaciones entre los factores y los SEH.
15	Extreme wave transformation and runup on a beach fronted by a very steep forereef profile	En este estudio, se realizaron experimentos de laboratorio utilizando un modelo físico, considerando la batimetría del arrecife de coral Teahupo'o, ubicado en Tahití, Polinesia Francesa. Se utilizaron mediciones de laboratorio para investigar la capacidad del modelo SWASH para simular la transformación de olas y el ascenso del oleaje en condiciones extremas

# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto genero una serie de productos asociados con el objetivo: Contribuir a la formación de recursos humanos y generar productos para la Red Universitaria de Aprendizaje.

ID	Producto	Descripcion general
1	Guia de Datos socioeconomicos en Python	Manual publicado en la RUA para el manejo de datos socioeconómicos en Python
2	Guía de prácticas de restauración para ecosistemas costeros	Manual publicado en la RUA que explica como hacer un modelo de dinámica de sistemas
3	Manual de Resiliencia de sistemas socioecológicos: enfoques y herramientas para su estudio	Manual publicado en la RUA para el estudio de la resiliencia de socioecosistemas
4	Introducción al desarrollo de un modelo de dinámica de sistema	Manual publicado en la RUA que explica como hacer un modelo de dinámica de sistemas



## Manual

Resiliencia de sistemas socioecológicos:  
enfoques y herramientas para su estudio

Autores:

Véronique Sophie Avila Foucat  
Alejandra Ramírez León

Instituto de Investigaciones Económicas  
UNAM

2025

## Manual

Introducción al desarrollo de  
un modelo de dinámica de  
sistemas

### Autores:

Hilda Consuelo Zamora Maldonado  
Instituto de Ingeniería. UNAM  
V. Sophie Avila Foucat  
Instituto de Investigaciones Económicas.  
UNAM

2023



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM



# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto generó una serie de publicaciones asociadas con el objetivo: Estimar los escenarios de cambio climático y umbrales en los tres socioecosistemas costeros seleccionados.

ID	Producto	Descripción general
1	A choice model for valuing coral reef attributes and divers crowding in Huatulco, Mexico	Este artículo estima la disponibilidad a pagar, la satisfacción del turista con base en los atributos ecológicos de los arrecifes de Copalita estos elementos son parte del modelo de dinámica de sistemas por lo que contribuyen a las líneas base, a corroborar el marco conceptual y a la construcción de escenarios.
2	Analysis of the watershed socioecological system trajectory in Copalita-Huatulco, Mexico: The impact of drivers on hydrological ecosystem services	El artículo ayuda a comprender los escenarios de cambios pasados y los principales estresores, corrobora que el cambio climático es uno de ellos.
3	Collaborative management of hydrological ecosystem services: a multilevel social network analysis of a Mexican watershed	El artículo analiza la colaboración entre actores para el servicio ecosistémico hídrico, elemento importante para el turismo. Abona a la comprensión del capital social en Copalita.
4	Determinants of divers willingness to pay for a remote coral reef in Mexico	El artículo estima los determinantes de la disponibilidad a pagar para Arrecifa Alacranes así como la satisfacción del turista. Es parte de las líneas base y estimación de escenarios
5	Development and application of a Coastal Protection Resilience Index: integrating beaches and dune dynamics	El artículo es un esfuerzo por crear un índice de resiliencia de las playas tema crucial en el proyecto, abona al marco teórico y a la línea base
6	Interaction between a bubble curtain with waves and currents: implications on sediment dispersal	Este estudio investiga la interacción entre la celda de recirculación inducida por una cortina de burbujas y las corrientes y olas incidentes. Se realizaron experimentos de laboratorio en un canal de olas y corrientes equipado con un difusor de burbujas. Los casos simulados consideraron diferentes características de la cortina de burbujas, el nivel del agua, las corrientes y las olas.

# OBJETIVOS Y PRODUCTIVIDAD

El proyecto generó una serie de publicaciones asociadas con el objetivo: Estimar los escenarios de cambio climático y umbrales en los tres socioecosistemas costeros seleccionados.

ID	Producto	Descripción general
7	Storms can Increase Beach Resilience on a Low-Energy Coast in the proximity of a harbor	El artículo contribuye al marco teórico y líneas base.
8	Libro: Resiliencia turística en socioecosistemas costeros: conceptualización y factores multinivel para su impulso	El libro es un esfuerzo de colaboración interdisciplinaria del grupo de investigación y busca identificar los aspectos más importantes para la resiliencia del turismo antes COVID y cambio climático. Lo anterior ayuda por lo tanto a identificar un marco común y poder vincular las variables identificadas a los capitales. Así mismo, algunos de los capítulos plantean ya umbrales de algunas de las variables y usan los datos recabados que conforman las líneas base.
9	Libro: Hacia la resiliencia de las comunidades y hogares pesqueros en México.	Este libro aborda temas clave como la pesca incidental, la importancia del monitoreo, la complejidad de las redes de valor y aspectos sociales, entre ellos la construcción de redes para la comercialización y las cuestiones de género. Todo ello en un marco de manejo, con instrumentos de regulación como programas de manejo y refugios pesqueros





INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM



## Proyecto PAPIIT: Resiliencia de socioecosistemas costeros asociados al turismo ante covid 19 y cambio climático

IV300123



VISITA EL MICROSITIO EN:  
[HTTPS://WWW.LANRESC.MX/INVESTIGACION/RESILIEN  
CIA-DE-SOCIOECOSISTEMAS-COSTEROS-ASOCIADOS-AL-  
TURISMO-ANTE-COVID-19-Y-CAMBIO-CLIMATICO/](https://www.lanresc.mx/investigacion/resiliencia-de-socioecosistemas-costeros-asociados-al-turismo-ante-covid-19-y-cambio-climatico/)