



**LIVING LAB YUCATÁN:**  
RECOMENDACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Con el apoyo de:



REPORTE DE RECOMENDACIÓN:  
**SENSORES AUTÓNOMOS PARA EL  
MONITOREO AMBIENTAL DE LAS  
LAGUNAS COSTERAS DE YUCATÁN**

Realizado por:





# LIVING LAB YUCATÁN: RECOMENDACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

REPORTE DE RECOMENDACIÓN:

## SENSORES AUTÓNOMOS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DE LAS LAGUNAS COSTERAS DE YUCATÁN

Agosto 2021.

**Autores:** Regina Cervera Pacheco; Alejandra Perea Rojas; Lucía Tróchez Ardila, C Minds.

### AGRADECIMIENTOS

**Agradecimientos:** Ricardo Bello Bolio, Ex-Director de Investigación e Innovación, Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior del Estado de Yucatán; Toshio Yokoyama, Director de Conservación y Gestión de Recursos Naturales de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán; Stéphanie Allard-Gómez, Delegada General de Québec en México, Luis Soto Uruñuela, Agregado Multisectorial de la Delegación General de Québec en México.

También agradecemos a las más de 20 personas expertas que ofrecieron insumos, tiempo y retroalimentación para este ejercicio (Anexo 1).

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>4</b>
<b>Introducción</b>	<b>7</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>10</b>
<b>Metodología</b>	<b>13</b>
<b>Resultados</b>	<b>16</b>
<b>Oportunidades</b>	<b>21</b>
<b>Retos</b>	<b>24</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>26</b>
<b>Conclusión</b>	<b>32</b>
<b>Anexos</b>	<b>34</b>
<b>Referencias</b>	<b>41</b>

# RESUMEN EJECUTIVO

## Introducción

Se estima que, debido al cambio climático, la península de Yucatán experimentará el mayor aumento de temperatura en México, lo cual tendrá consecuencias potenciales, tales como el aumento de la pobreza entre el 15% y el 19% de la población. Teniendo en cuenta la vulnerabilidad de la zona ante el aumento en incidencia e intensidad de huracanes, inundaciones y erosión costera, es importante acelerar y reforzar la protección de las áreas naturales protegidas, ya que juegan un papel fundamental en la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Con base en lo anterior, el objetivo de este reporte es recomendar la implementación de un caso de estudio que informe a los actores involucrados para el desarrollo de acciones sostenibles y factibles que ayuden a reforzar el monitoreo, protección y gestión ambiental de los ecosistemas prioritarios costeros en el estado de Yucatán a través de un sistema de Inteligencia Artificial.

## Metodología y Resultados

La recomendación del caso de estudio para el despliegue de sensores autónomos para el monitoreo y caracterización ambiental del sistema lagunar costero del Living Lab de la iniciativa AI for Climate en Yucatán, se compuso de dos mesas redondas y ocho entrevistas, eventos que contaron con la participación de personas expertas de alto nivel del ecosistema local académico, público, privado y social.

Es así, que a partir de la primera mesa redonda y la serie de entrevistas, 3 potenciales casos de estudio fueron propuestos, tomando en consideración las principales necesidades ambientales de la región, junto con factores geográficos, sociales, económicos y ambientales. Lo anterior fue presentado en una segunda mesa redonda, conformada por 14 expertos. En este segundo esfuerzo, se diseñaron entrevistas, a partir de las cuales, se consideraron 21 criterios sobre la viabilidad y factibilidad de despliegue ético de sistemas de IA, así como de los potenciales impactos ambientales, sociales, técnicos y económicos de cada una de las tres propuestas. Cada serie de criterios recibió una calificación por parte de las personas expertas y finalmente, los resultados se corroboraron con la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Yucatán, para aterrizar el caso de estudio prioritario y las recomendaciones finales.

El caso de estudio seleccionado resalta la importancia ecológica de las lagunas costeras y la necesidad de contar con sistemas efectivos de monitoreo para conocer el estado de salud de estos ecosistemas y generar sistemas de alerta temprana. Con esto, se busca fortalecer la protección de áreas lagunares remotas para aumentar el conocimiento espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos en sistemas acuáticos, con el fin de fortalecer la generación de acciones de conservación de ecosistemas de humedales y de todas las especies que utilizan estas áreas para reproducción, alimentación y refugio.

## Recomendaciones

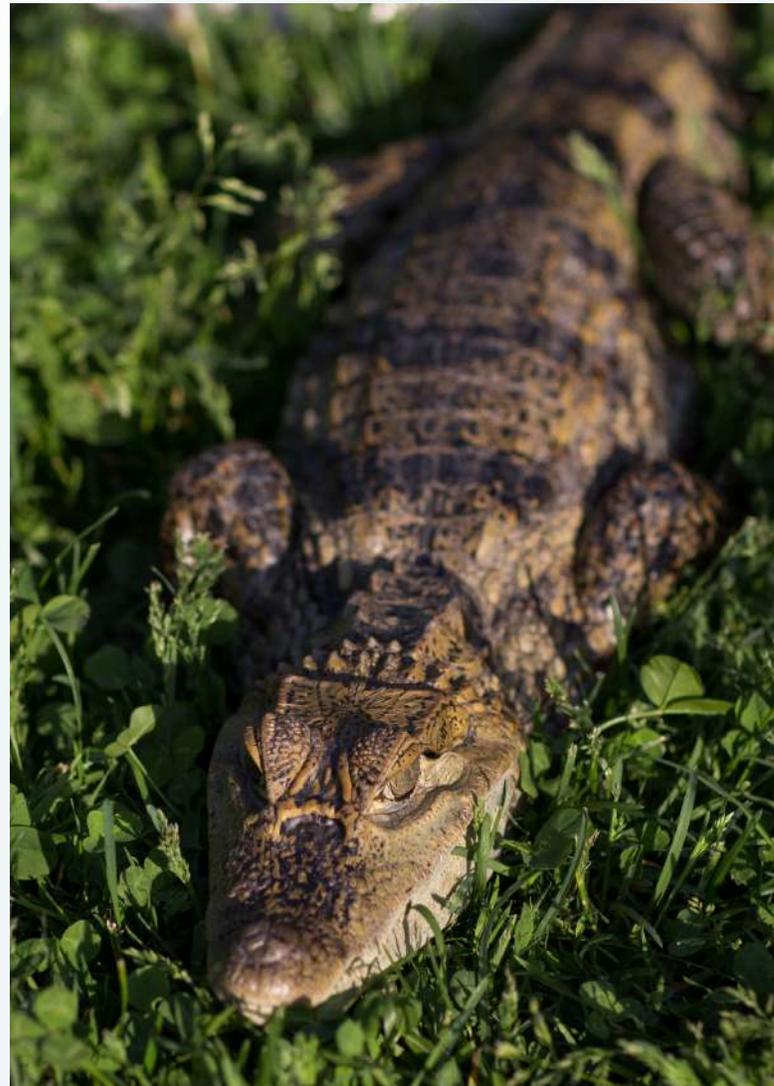
Las recomendaciones generadas para la implementación responsable de este caso de estudio, abordan las siguientes temáticas:

- 1 Desarrollar objetivos alcanzables y específicos con una matriz de planeación estratégica viable y sostenible en el tiempo para el diseño, entrenamiento, despliegue, implementación y evaluación de un sistema autónomo soportado por un sistema de IA para el monitoreo de zonas lagunares. Los retos deberán de ser claros y específicos.
- 2 Consolidar un grupo de trabajo de la cuádruple hélice conformado por las instancias gubernamentales del estado de Yucatán, la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS) y la Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES), junto con las instituciones académicas y de investigación presentes en el estado, con el personal adecuado y capacitado para la mitigación de riesgos y el constante mantenimiento de la infraestructura del Living Lab.
- 3 Generar guías para asegurar el seguimiento de principios éticos en la colecta y procesamiento de datos, así como en la estandarización y transferencia de conocimientos.

- 4 Fomentar la protección de ecosistemas costeros prioritarios a través del uso ético de sensores autónomos soportados con sistemas de IA en zonas lagunares remotas.

## Conclusión

De esta manera, se concluye que, a través de acciones coordinadas por actores clave de la cuádruple hélice se podrá fortalecer el monitoreo y gestión de ecosistemas costeros, lo que podría generar esquemas de manejo ambiental que genere beneficios a los usuarios de estas áreas en el estado de Yucatán, abonando al cumplimiento de los ODS rumbo a 2030.



# INTRODUCCIÓN

Uno de los principales efectos del cambio climático se pueden evidenciar en la salud de las personas de una región específica. En la península de Yucatán, las complicaciones de salud causadas por problemas ambientales causan 1,000 muertes prematuras cada año. Se ha demostrado que estas muertes y enfermedades también cuestan a la economía peninsular \$13.5 millones, lo que corresponde a un 2.2 a 3.3% de su ingreso regional bruto.<sup>1</sup> En términos generales, se estima que debido al cambio climático la península de Yucatán experimente el mayor aumento de temperatura en México, lo que tendrá varias consecuencias, entre ellas un aumento de la pobreza entre el 15% y el 19%, y continuando con la tendencia de la última década, huracanes, inundaciones extremas, blanqueamiento de corales, derrames de petróleo y erosión.

Las áreas naturales protegidas (ANP) y las reservas naturales juegan un rol esencial en la mitigación de los efectos del cambio climático. Son áreas de adaptación y resiliencia de los ecosistemas, especies y comunidades ante el calentamiento global y son importantes proveedores de servicios ecosistémicos (biológicos, ecológicos, económicos, sociales, culturales y escénicos).

Son áreas esenciales para la captación de carbono y, por ende, para la regulación y estabilidad climática; también tienen un papel importante en la descomposición de desechos sólidos, purificación del agua y aire, polinización de cultivos, control de plagas y productividad primaria de especies. Actualmente, cubren alrededor del 15% de las superficies terrestres y marinas en el mundo, y en México, bajo la administración federal, se encuentran 182 áreas protegidas con una superficie de más de 90 millones de hectáreas.<sup>2</sup>

El estado de Yucatán junto con los estados de Campeche y Quintana Roo, forman parte de la Península de Yucatán, la cual abarca 197,600 km cuadrados con una costa de 1,100 km.<sup>3</sup> En el estado de Yucatán, existen 535 mil hectáreas de áreas naturales protegidas. En total, son 9 áreas bajo protección del estado, ubicándose 3 en la costa y 6 en el área continental.<sup>4</sup>

El litoral del estado de Yucatán está dominado por ecosistemas de humedales de manglar y el sistema lagunar costero, que alberga una gran diversidad biológica, y los cuales actúan como guarderías naturales para especies acuáticas de importancia comercial y ecológica.

También reducen la vulnerabilidad de las zonas costeras ante tormentas tropicales y huracanes. Porque se trata de sistemas con alta productividad, son aprovechadas por actividades humanas y, esto ha desembocado en contaminación ambiental, alteración del hidropereodo, la construcción de infraestructura y más, lo que ha ocasionado pérdida de cobertura de humedales, mortalidad de especies y hasta mareas rojas.<sup>5</sup>

La Reserva Estatal de Dzilam se encuentra en la zona costera del noreste del Estado de Yucatán. Es un área reconocida nacional e internacionalmente bajo las designaciones RAMSAR (sitios de importancia internacional para la conservación y el uso sostenible de los humedales donde habitan aves acuáticas migratorias) y AICA (Área de Importancia para la Conservación de las Aves), por la gran diversidad de especies de aves acuáticas migratorias que alberga, lo que también le ha valido ser considerada dentro de la Estrategia de Corredores Biológicos de Mesoamérica.<sup>6</sup> Uno de los principales municipios que se encuentran dentro de esta Reserva es Dzilam de Bravo, con una población aproximada de 2400 habitantes.<sup>7</sup>

De acuerdo con el Programa de Manejo de la Reserva Estatal de Dzilam (2018),

entre los principales problemas ambientales y socio-ecológicos que impactan a la Reserva se encuentran la pesca ilegal y desmedida; la cacería furtiva y la extracción ilegal de especies terrestres y acuáticas; extensión de la frontera agrícola y ganadera; contaminación del suelo y el agua; aumento en la incidencia de incendios; usos forestales no regulados y tala de especies maderables; turismo sin ordenamiento ni conocimiento de la capacidad de carga y finalmente, una marcada falta de alternativas productivas para generar modelos en concordancia con las regulaciones ambientales.

Con base en lo anterior, se destaca la necesidad urgente de crear marcos que potencien el aprovechamiento de las tecnologías emergentes para apoyar la toma de decisiones en materia de monitoreo y gestión ambiental. De esta manera, el presente reporte expone los resultados obtenidos de las mesas de diálogo con actores expertos del ecosistema local y representantes de la sociedad civil, ejercicios a partir de los cuales se definió un caso de estudio: para reforzar el monitoreo de la laguna costera de la Reserva de Dzilam, con el fin de generar esquemas que refuercen las políticas de monitoreo ambiental de estos ecosistemas, así como poder generar datos de importancia para la conservación y restauración de humedales en la región.

# ANTECEDENTES

A causa de la accesibilidad y factibilidad de la investigación teórica de sistemas como el aprendizaje profundo,<sup>8</sup> una miríada de dispositivos e iniciativas con sistemas de Inteligencia Artificial (IA) se han desplegado para la conservación de áreas protegidas por su eficiencia en el proceso de datos para el monitoreo y manejo de ecosistemas para la conservación de biodiversidad y abundancia vegetal y la protección de especies acuáticas y terrestres.

Por ejemplo, las redes neuronales artificiales son útiles en el manejo de tierra por su habilidad de evaluar la condición y calidad de un ecosistema al procesar datos como temperatura y humedad.<sup>9</sup> Para combatir la deforestación y extinción de especies, con rastreadores, instituciones financieras y ONGs están desarrollando una plataforma global para monitorear la locación de miles de granjas, molinos y municipalidades con el propósito de ubicar incendios y tala de árboles fácilmente, y también, enviar recomendaciones de acción en tiempo real para la conservación de áreas prioritarias.<sup>10</sup>

También, la amplia gama de sensores se continúa expandiendo en certeza, eficiencia y factibilidad. Ahora, hay herramientas que automáticamente miden las variables fisicoquímicas y biológicas para el monitoreo de calidad

de agua, y con esto, se mejora la recolección y proceso de datos sobre contaminantes acuáticos.<sup>11</sup> Asimismo, en zonas terrestres, cámaras de RGB están disponibles en una amplia variedad de dispositivos.

Además, al monitoreo de ecosistemas por imágenes, se le acompaña el sonido. Tecnologías con redes neuronales convolucionales pueden clasificar especies de aves al transferir audios a espectrogramas que se pueden analizar. Estos han llegado a 68% de certeza y son útiles para el monitoreo a tiempo real y mantenimiento de ecosistemas.<sup>12</sup> Iniciativas como BirdCLEF<sup>13</sup> incentivan el desarrollo de estas tecnologías del estado-de-arte para mejorar la certeza de clasificación con competencias científicas frecuentemente.

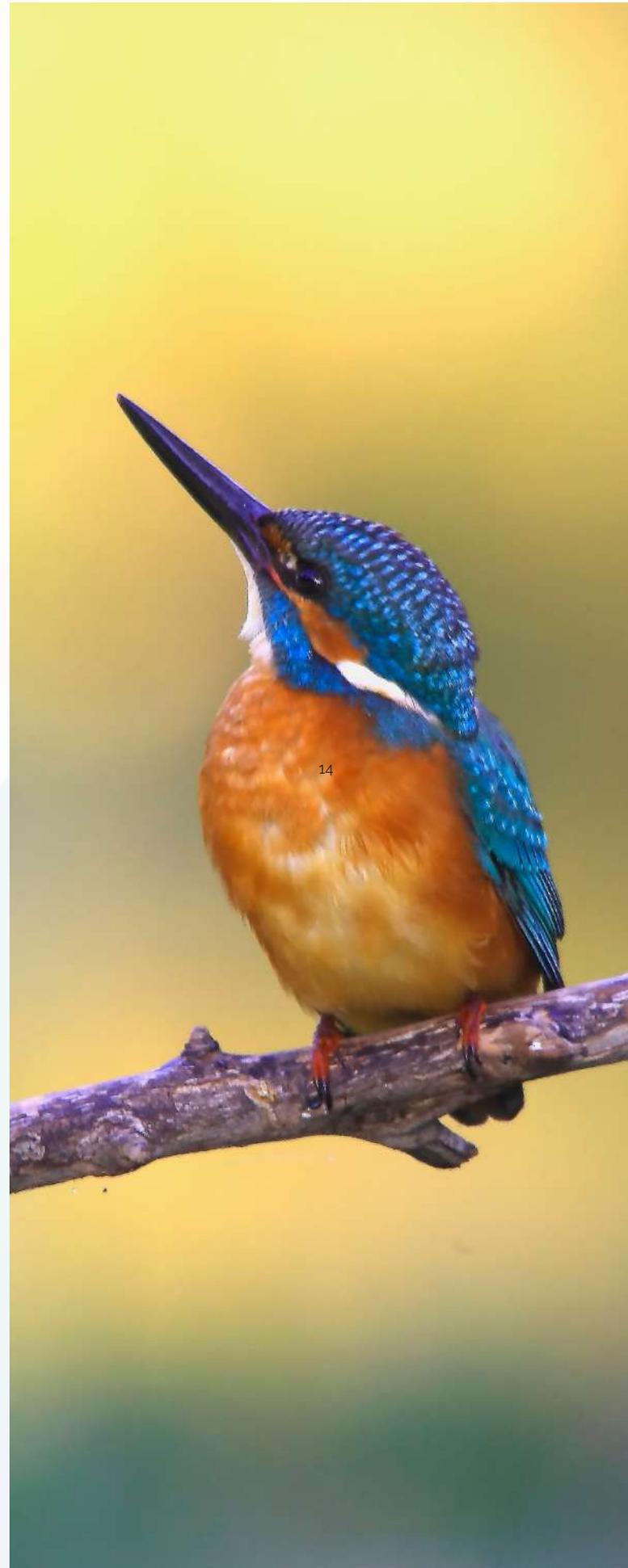
Otro ejemplo es el uso de aprendizaje automatizado para la predicción de diferentes factores ambientales; cuáles conocimientos son útiles para el manejo óptimo de redes de electricidad y paneles solares.<sup>14</sup>

Con el reciente aumento de relevancia, factibilidad y eficiencia del uso de tecnologías de IA como las redes neuronales, el aprendizaje profundo y el aprendizaje automatizado, los despliegues de dispositivos con IA para la conservación están incrementando en gran cantidad.

En general, también se ha mostrado que estos pueden ayudar en la predicción de clima y de emisiones de carbono para ser implementados en lagunas, bosques, desiertos, manglares y una amplia y diversa gama de zonas costeras y acuáticas.<sup>15</sup>

Es importante notar también la importancia de la decisión sobre los parámetros que serán observados para que la colección de datos sea efectiva con el objetivo de monitoreo de ecosistemas. Por ejemplo, para el monitoreo de lagunas con una tecnología del estado-del-arte, los parámetros observados incluyeron: flora acuática, phytoplankton, hábitat, macro-invertebrados, peces, salinidad, temperatura, pH, oxígeno, y los factores hidromorfológicos como el rango tidal, morfología de la zona e hidrología.<sup>16</sup>

Los ejemplos de uso y tecnologías anteriormente descritos solamente son solo algunos de los que forman parte de la nueva revolución tecnológica en sistemas de IA y, en conclusión, estos pueden influenciar significativamente en el cambio climático de maneras positivas y negativas. Es importante maximizar la utilidad de estas tecnologías por su capacidad de proveer gran ventaja en el manejo de ecosistemas, monitoreo de biodiversidad y especies, iniciativas contra el cambio climático y la conservación de áreas naturales protegidas.





# METODOLOGÍA

La recomendación del caso de estudio para el despliegue de sensores autónomos para el monitoreo y caracterización ambiental del sistema lagunar costero del Living Lab de la iniciativa AI for Climate en Yucatán, se compuso de dos mesas redondas y ocho entrevistas, eventos que contaron con la participación de personas expertas de alto nivel del ecosistema local académico, público, privado y social.

## 1 Entrevistas

Con el propósito de recolectar información relevante de fuentes locales confiables y así avanzar en la identificación de problemáticas sobre las cuales se pudieran integrar herramientas tecnológicas y sistemas de IA para fortalecer acciones de conservación y/o restauración de ecosistemas en la Reserva Estatal de Dzilam, se llevaron a cabo 8 entrevistas con personas expertas locales en temáticas de investigación, conservación y tecnología.

De igual manera se lograron explorar las perspectivas de las comunidades locales sobre el estado de conservación de la Reserva y las necesidades de la población en relación con estas cuestiones; las cuales sumadas a las entrevistas ayudaron a obtener una pre-selección de potenciales soluciones tecnológicas a los problemas ambientales percibidos.

## 2 Mesas redondas de alto nivel

Las mesas redondas de alto nivel se llevaron a cabo gracias a la generosidad de tiempo y esfuerzos de la Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES), la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS), así como las personas expertas que participaron en estos ejercicios de diálogo (Anexo 1).

La primera mesa redonda de alto nivel, llevada a cabo en noviembre del 2020, se conformó por expertas y expertos del ecosistema de investigación de Yucatán y tuvo como objetivo principal el acercamiento del componente de Living Labs de AI for Climate a los actores expertos locales de la cuádruple hélice para poder contar con los insumos para avanzar en la identificación de necesidades que pueden beneficiarse de integración de herramientas tecnológicas enfocadas en proyectos de conservación de los ecosistemas en las Reservas Estatales del estado de Yucatán para el desarrollo del primer Living Lab de la Iniciativa.



### 3 Pre-selección de casos de estudio

En la segunda mesa redonda, llevada a cabo en julio del 2021, se discutió el proceso de recomendación del caso de estudio piloto a implementar en el primer Living Lab de la iniciativa en Yucatán, a partir de la preselección de tres potenciales casos identificados en la fase de entrevistas, presentados a continuación:

1. **Caso 1.** Identificación de zonas óptimas de restauración de humedales costeros utilizando tecnologías geoespaciales y sistemas de IA.
2. **Caso 2.** Clasificación automatizada de especies marinas de importancia económica para manejo sustentable de pesquerías.
3. **Caso 3.** Sensores automatizados para el monitoreo ambiental del sistema lagunar costero.

A partir de esta preselección, se recopilaron perspectivas expertas de los integrantes de la segunda mesa redonda, con el fin de desarrollar la recomendación del potencial caso de estudio que cumpla con la mayor cantidad de criterios que permitan la generación de un producto mínimo viable y que apoye a la ampliación del número de casos de estudio regionales que fomenten el uso de tecnologías exponenciales para acelerar el desarrollo sostenible.

La segunda mesa redonda de alto nivel se llevó a cabo gracias al apoyo de la Delegación General de Québec en México, para la cual, se desarrollaron hojas de cálculo con la clasificación de criterios por categorías. Con base en estos criterios, las personas expertas calificaron cada criterio, para cada caso de estudio, con base en la experiencia y conocimientos de cada participante (Anexo 2).

### 4 Criterios

Con base en la Guía de viabilidad para el diseño y despliegue ético de sistemas de IA, elaborada por C Minds y el Banco Interamericano de Desarrollo, se dio respuesta a una serie de criterios (Anexo 2) compilados en cuatro categorías: a) criterios generales; b) criterios técnicos; c) criterios sociales y d) criterios económicos. Dichos criterios fueron calificados con base en una escala Likert para facilitar la cuantificación y visualización de resultados (5 = totalmente de acuerdo, 4 = de acuerdo, 3 = neutral, 2 = desacuerdo, 1 = totalmente desacuerdo).



# RESULTADOS

### Entrevistas

Se llevaron a cabo entrevistas abiertas y semiestructuradas a representantes de la sociedad civil y personas expertas de las siguientes instituciones: Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC), Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Mérida (ENES-UNAM), Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de Sisal de la Facultad de Ciencias de la UNAM (UMDI-SISAL), Reforestamos México A.C., WSP de México S.A. de C.V., World Wildlife Fund de México y la Escuela de Recursos Naturales de la Universidad Marista de Mérida.

Estas entrevistas arrojaron que uno de los problemas relacionados con efectos del cambio climático y el aprovechamiento de los recursos naturales más percibidos de la Costa

Norte de Yucatán es la pérdida de cobertura vegetal de humedales, seguido de la erosión costera (Figura 1). Otros problemas que se identificaron en estas entrevistas corresponden a la vulnerabilidad geográfica de la zona ante tormentas tropicales y huracanes; períodos prolongados de calor; un inadecuado manejo de los residuos sólidos y, la pesca furtiva, actividad que se relaciona con el aumento del esfuerzo pesquero y de las complejidades asociadas al monitoreo y vigilancia de estas actividades. También, se concertó que uno de los factores más limitantes corresponde al financiamiento disponible y los costos asociados al diseño, despliegue, monitoreo y evaluación tanto de dispositivos tecnológicos, como de los sistemas de IA.

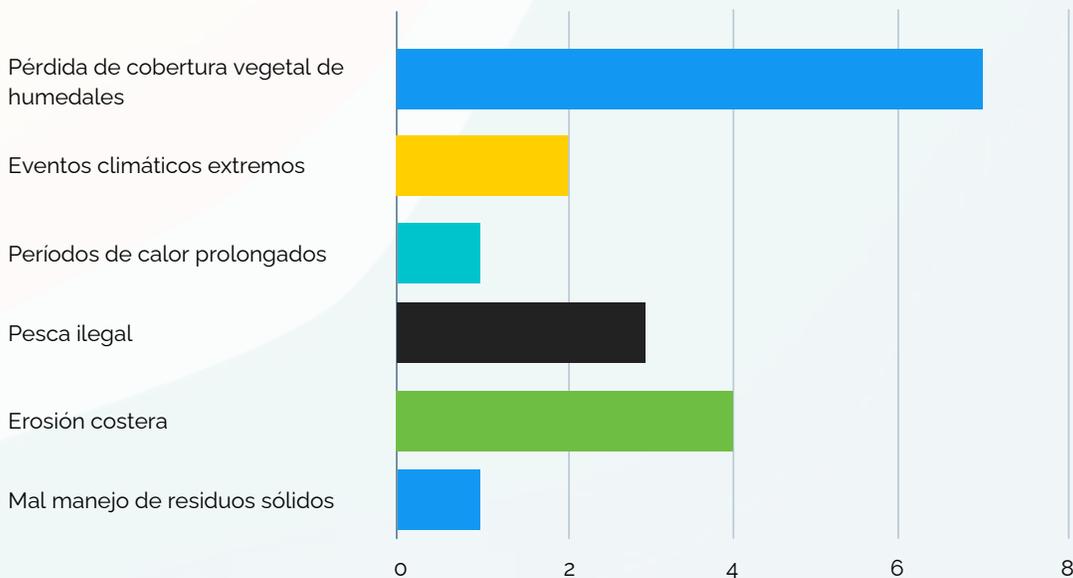


Figura 1. Principales problemas ambientales percibidos en la Costa Norte de Yucatán.

Con base en las recomendaciones y el intercambio de conocimientos que se generó durante las entrevistas, las principales tecnologías que podrían tener un impacto positivo para fortalecer la conservación de áreas prioritarias de la Reserva Estatal de Dzilam, corresponden a aquellas que permitan el monitoreo constante de la laguna costera y los ecosistemas de humedales, así como de especies de importancia ecológica y económica, a través de sensores automatizados, a partir del despliegue de sensores que aprovechen Internet de las Cosas y Sistemas de IA, los cuales podrán ser remotos o in situ. El aprovechar este tipo de tecnologías para el fin mencionado anteriormente, podría facilitar la creación de un sistema de vigilancia continuo, así como un sistema de alerta temprana, basado en el entrenamiento de un sistema de IA, para la prevención de situaciones que dañen la salud de dichos ecosistemas.

### Mesas Redondas

Los acuerdos generados durante la primera mesa redonda resaltaron la importancia de generar un caso de estudio con un componente conclusivo y medible del sistema de IA que permita la comunicación internacional de este laboratorio. Para este fin, se definieron puntos clave con una serie de objetivos que se mencionan a continuación que sirvieron como base para la elaboración de los instrumentos de entrevista y los criterios para la

recomendación del caso de estudio.

- Fomentar casos que incrementen y/o faciliten la capacidad de los ecosistemas costeros para secuestrar carbono de la atmósfera.
- Generar vías que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales e incidir en uno o más Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.
- Impactar positivamente en la diversidad y abundancia de especies de los diferentes ecosistemas que se encuentran dentro de la Reserva.
- Consolidar un ecosistema de trabajo local que fomente el diálogo interinstitucional y la cooperación entre sectores.

A partir de los acuerdos anteriores, así como de los 3 potenciales casos de estudio a implementar y los resultados obtenidos en la segunda mesa redonda con respecto a la asignación de calificaciones a los criterios de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio (Anexo 2) se encontró un mayor potencial de implementación en propuestas de casos relacionados con el monitoreo de los ecosistemas de humedales a partir del entrenamiento de un sistema de IA, siendo los casos 1 y 3 los que recibieron la mayor puntuación (Figura 2).

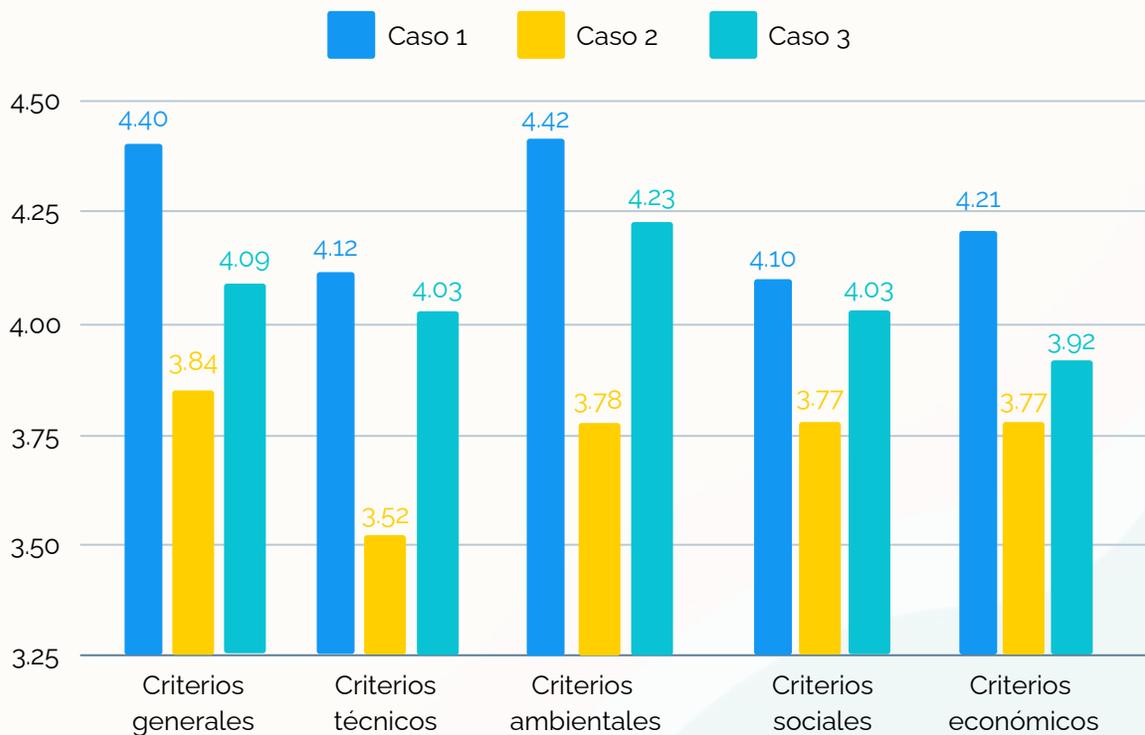


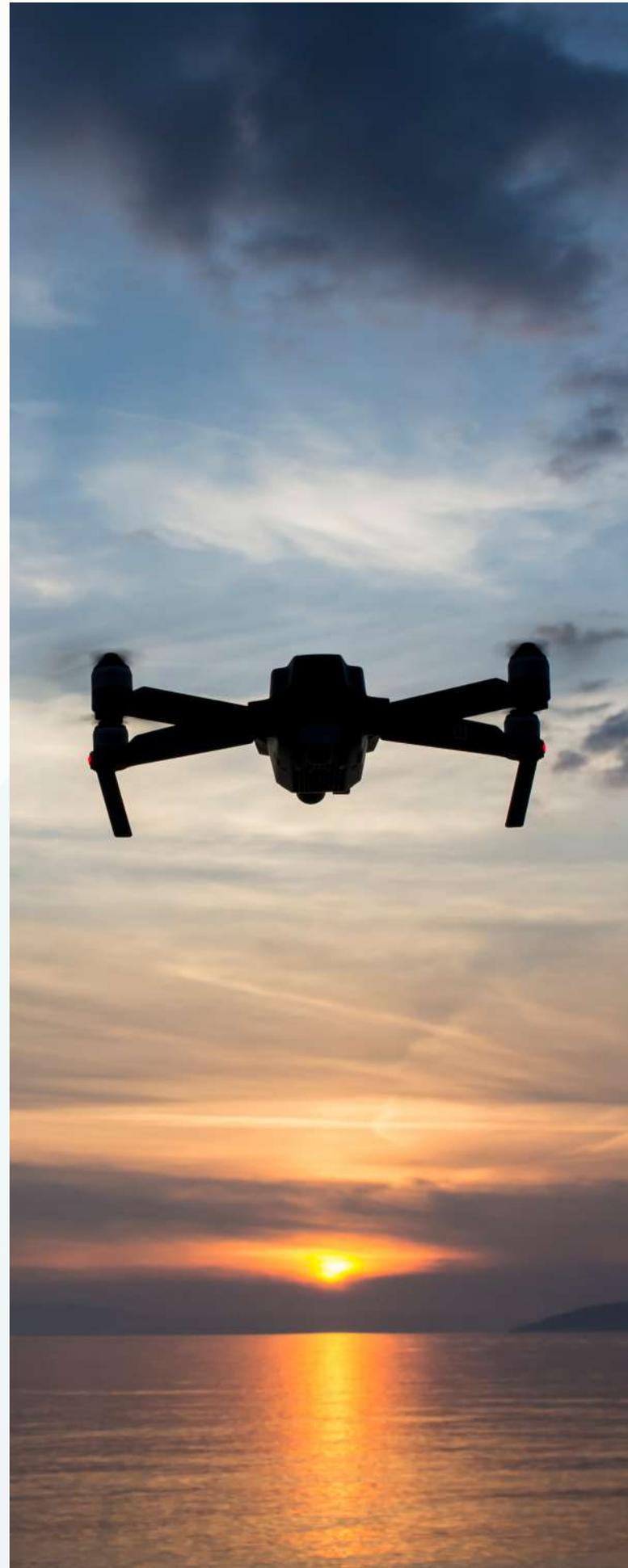
Figura 2. Calificaciones asignadas a cada conjunto de criterios por cada uno de los tres casos presentados (Caso 1: Identificación de zonas óptimas de restauración de humedales costeros utilizando tecnologías geoespaciales y sistemas de IA; Caso 2: Clasificación automatizada de especies marinas de importancia económica para manejo sustentable de pesquerías; Caso 3: Sensores automatizados para el monitoreo ambiental del sistema lagunar costero).

Tras este ejercicio, se llevó a cabo un proceso de retroalimentación final en colaboración con la SDS, a partir de la cual se definió la implementación del caso 3 como punto de inicio para el piloto, esto con base en las capacidades financieras y tecnológicas, en las recomendaciones de los expertos entrevistados y que es el segundo caso mejor calificado en la segunda mesa redonda. La implementación de este caso se instala en miras a escalar este esfuerzo hacia acciones enfocadas al caso 1 para la

identificación de zonas óptimas de restauración y soluciones basadas en naturaleza con toma de decisiones basadas en sistemas de IA. Esta implementación tendría como fin, establecer un sistema de monitoreo autónomo, soportado por un sistema de IA permanente que recabe datos sobre parámetros fisicoquímicos de calidad del agua del entorno y sea capaz de emitir alertas tempranas de cambios en estos parámetros en el sistema lagunar. Asimismo, este esfuerzo puede impactar directamente a la propuesta del caso 1,

pues el monitoreo y mantenimiento de la calidad del agua de esas áreas es un factor primordial para la restauración de humedales costeros y un constante monitoreo puede informar sobre eventos de cambio en los parámetros fisicoquímicos que impactan en el desarrollo de humedales costeros y otras especies de importancia.

Con base en lo anterior, la principal necesidad que el caso seleccionado busca atender se relaciona con el reconocimiento de importancia biológica, ecológica económica y social de las lagunas costeras, buscando innovar en las estrategias de monitoreo, manejo y mantenimiento de ecosistemas de humedales y de todas las especies que utilizan estas áreas para reproducción, alimentación y refugio. El fortalecimiento del monitoreo de áreas lagunares remotas, mediante el despliegue de sensores autónomos y el entrenamiento de un sistema de IA, permitirá aumentar el conocimiento espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos en sistemas acuáticos y fortalecerá la generación de acciones de conservación y restauración con base en los datos que serán transmitidos desde los sensores.





# OPORTUNIDADES

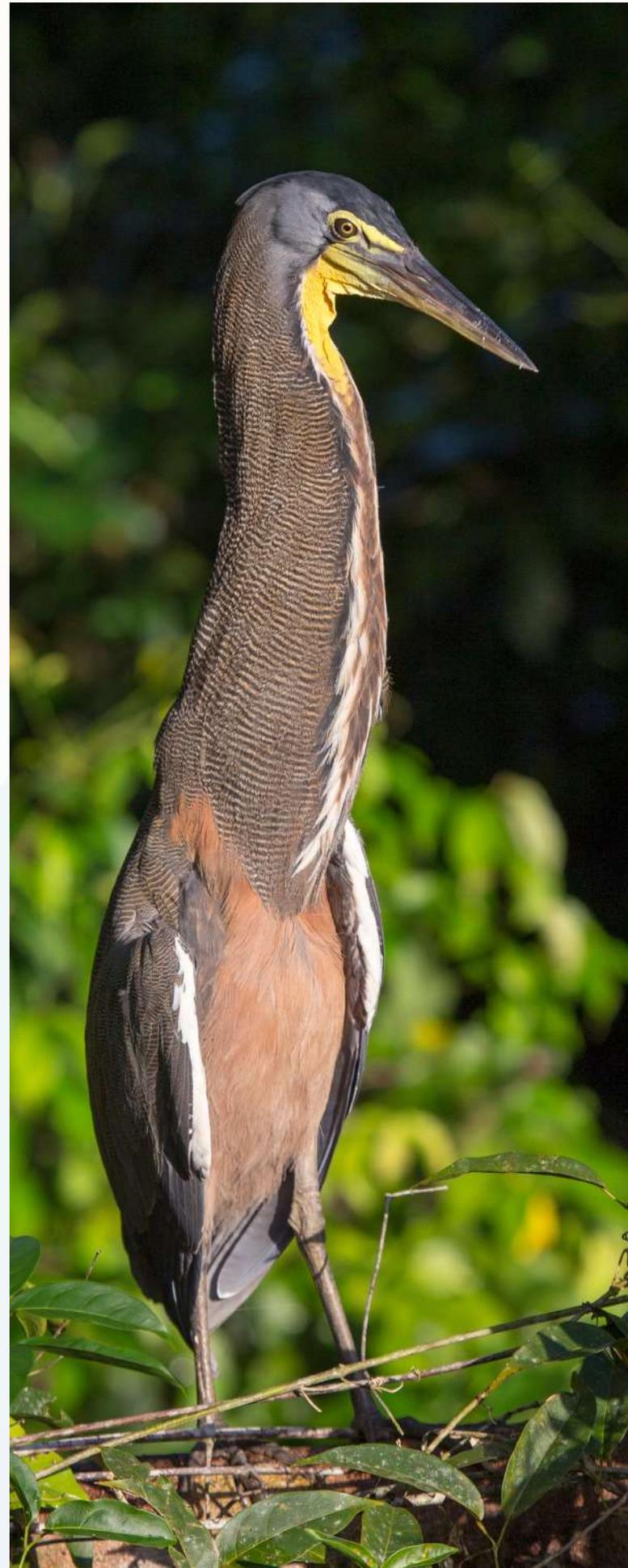
Las técnicas de percepción remota basadas en imágenes satelitales se han utilizado para el monitoreo de parámetros ambientales en sistemas acuáticos (mar y lagunas) en grandes extensiones. Sin embargo, la resolución necesaria para hacer un análisis a profundidad de la calidad del agua, puede ser insuficiente para caracterizar el entorno con el nivel de detalle necesario. Asimismo, para zonas profundas, las imágenes satelitales no cumplen correctamente con la medición de parámetros físicoquímicos.<sup>17</sup>

Los recientes avances tecnológicos de robótica y los sistemas autónomos (SRA), en combinación con la integración de un sistema de IA, pueden ayudar a superar estos retos. La relación costo-beneficio de estos métodos aún debe ser analizada, especialmente para la generación de esquemas de seguimiento y monitoreo, sin embargo, se destacan algunos ejemplos de creación de boyas automáticas con sistemas de IA integrados para la recolección y transmisión de datos en tiempo real y de bajo costo en zonas lagunares<sup>18</sup> para monitoreo de la calidad del agua, enfocado a actividades acuícolas, así como la creciente disponibilidad de opciones en el mercado de sensores autónomos para monitoreo y caracterización ambiental.

El uso de estas técnicas y sensores puede facilitar una mejor comprensión de la variación espacio-temporal de los parámetros asociados a la calidad del agua en sistemas lagunares, así como reforzar el conocimiento del estado actual para la generación de líneas base y la evaluación de las presiones que pueda sufrir este ambiente.

Estos sensores, que pueden desplegarse interconectados a diferentes escalas e integrados con sistemas de IA, ofrecen enormes oportunidades de vigilancia de ecosistemas al poder recolectar y transmitir datos en tiempo real, lo que permitirá mejorar nuestra comprensión de los procesos ecológicos, biológicos, climáticos e incluso su relación con procesos socioeconómicos en la zona. El uso de redes de sensores y el internet de las cosas, combinadas con las herramientas de los Sistemas de Información Geográficas e IA tendrán un papel importante en el presente y el futuro de la gestión de la Reserva, pues los datos y las acciones que desemboquen de su análisis puede contribuir al diseño y despliegue de políticas ambientales, así como a la homologación de procesos de monitoreo y gestión de ecosistemas costeros prioritarios.

En la península de Yucatán, se han utilizado drones para conocer la elevación de la superficie lagunar a partir de la colecta de datos con un sensor RGB, permitiendo caracterizar la batimetría de las lagunas. Los autores reportaron que la tecnología dio resultados acertados y destacaron las oportunidades de bajo costo, plasticidad y la capacidad para el monitoreo en áreas de difícil acceso, acciones que podrían verse potenciadas si se realizan en conjunto con la implementación de sistemas de IA.<sup>19</sup> Este ejemplo es relevante y escalable a la Reserva de Dzilam pues gran parte de esta área se encuentra en zonas de difícil acceso debido a la cobertura de especies de manglar.





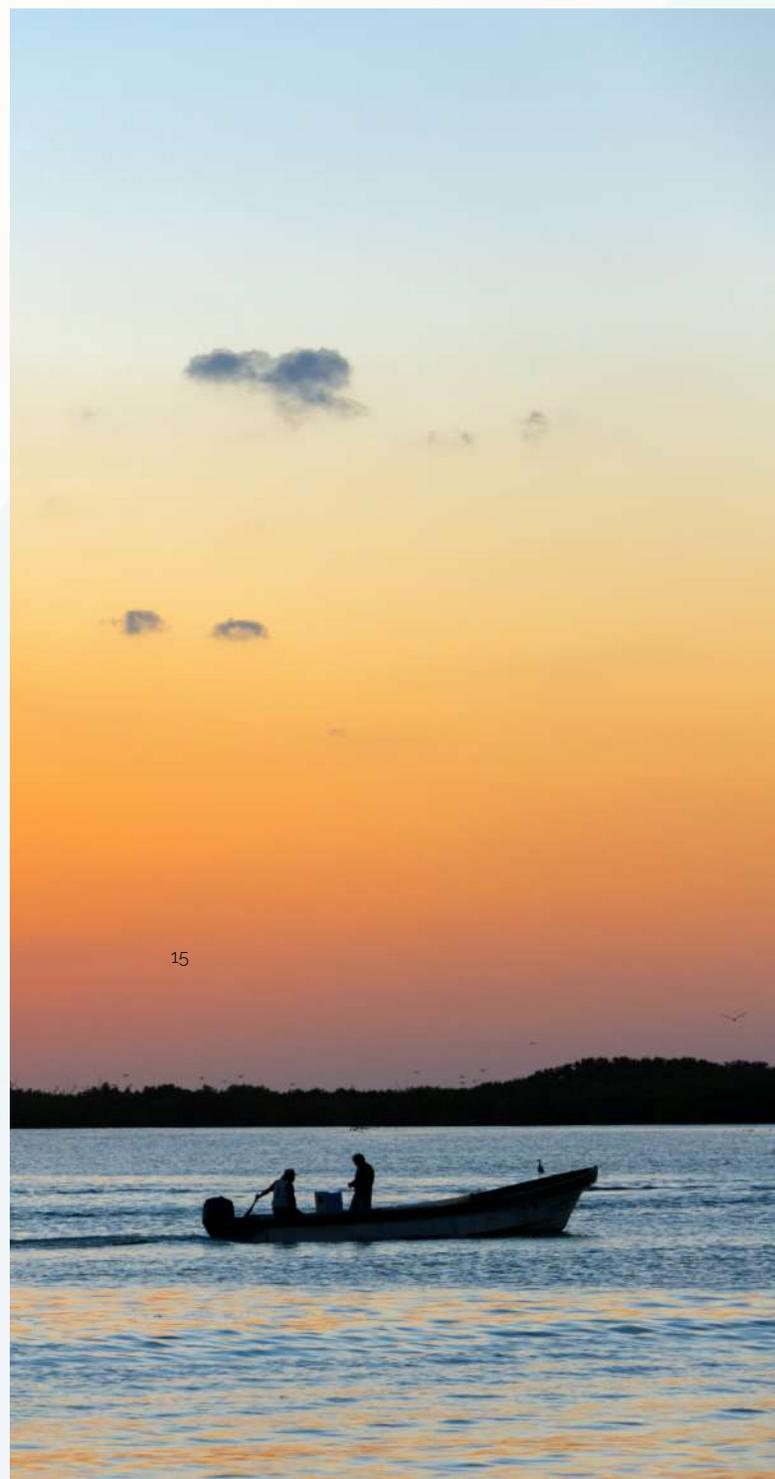
# RETOS

Entre los retos que el despliegue de este tipo de sensores autónomos enfrenta, es necesario establecer guías o protocolos para facilitar la transmisión segura y eficaz de los datos recolectados por los sensores hacia el receptor final y en tiempo real hacia el centro de almacenamiento de datos. Se recalca que las tecnologías de comunicación estándares todavía no son factibles de transmitirse en el agua a menos que sean de muy corto alcance, sin embargo, se incurre en un elevado costo energético. Debido a<sup>20</sup> lo anterior, la creación de alianzas estratégicas entre el Gobierno y la iniciativa privada para la instalación de infraestructura tecnológica que permita la conectividad y transmisión de datos en tiempo real, será fundamental para el éxito de este piloto.

21

Asimismo, estudios previos como el realizado por Stålnacke et al. (2015), para caracterización y monitoreo de lagunas en Europa, concluye que para que ocurra una gestión eficaz de estos ecosistemas, se necesitan datos geospaciales con alta calidad y resolución. Estos retos pueden abordarse con el uso de sensores SRA, sin embargo, los retos del despliegue y la adopción de estas tecnologías por parte de las instituciones responsables de la gestión de estas áreas deben ser superados creando pilotos y protocolos con líneas de acción específicas, dadas las características de los ecosistemas a monitorear.

De igual manera, una clara comprensión de los objetivos de dicho monitoreo debe ser prioritaria, privilegiando metas que permitan informar y mejorar la gestión de las lagunas.



15



# RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan recomendaciones para el despliegue de los sensores autónomos para la recolección de datos de calidad del agua a partir de un sistema de IA en zonas lagunares remotas de la Reserva Estatal de Dzilam:



**Desarrollar objetivos alcanzables y específicos con una matriz de planeación estratégica viable y sostenible en el tiempo para el diseño, entrenamiento, despliegue, implementación y evaluación de un sistema autónomo soportado por un sistema de IA para el monitoreo de zonas lagunares. Los retos deberán ser claros y específicos.**

#### **Líneas de acción recomendadas en el corto plazo**

**Identificar el problema ambiental que afecte al sistema lagunar, forme parte de la agenda pública y sea prioritario para la institución implementadora.**



Se recomienda la realización de este análisis por el CINVESTAV en colaboración con la SDS con la finalidad de esclarecer la oportunidad de aprovechar sistemas de IA para las necesidades planteadas. El análisis también necesitará alinearse a los principios de ética de la inteligencia artificial de la OCDE.

**Llevar a cabo un análisis de necesidad y factibilidad para el uso de sistemas de datos e Inteligencia Artificial con base en los factores fisicoquímicos de calidad del agua que se necesite recabar para el monitoreo ambiental del sistema lagunar.**



Fomentar la colaboración entre SIIES y SDS, así como con las instituciones

académicas y centros de investigación presentes en el estado de Yucatán y el involucramiento de las comunidades locales, a través de la alineación de la propuesta con líneas de acción prioritarias para la agenda pública en los distintos órdenes de gobierno.



Analizar las potenciales herramientas de IA que resuelvan el problema que se quiere atender y la forma en que se puedan aprovechar.

**Definir un plan de trabajo global, donde se identifiquen actividades prioritarias, esenciales y paralelas.**



Establecer un plan para definir la escala de implementación, así como el impacto a usuarios finales permitirá realizar una aproximación acertada de costos, así como retos con relación a factores técnicos, ambientales y sociales que puedan surgir al momento de diseñar el protocolo de despliegue tecnológico en campo.

-  Estimar tiempos de ejecución realistas con base en la planeación de actividades.
-  identificar correctamente las variables de medición de los sistemas para lograr los objetivos del proyecto.
-  Tomar en cuenta la accesibilidad en el área de la Reserva, así como las zonas que puedan beneficiarse más de este monitoreo constante y realizado por la SDS.

**Seleccionar los materiales y la infraestructura necesaria para definir las características y especificaciones de los sensores y sistemas de medición, tomando en consideración la factibilidad económica, técnica, y ambiental, así como los requerimientos de conectividad para la transmisión de datos.**

-  Los sensores tienen un tiempo de vida útil, por lo que un inadecuado manejo de estas tecnologías al finalizar su uso, puede acrecentar problemas de residuos sólidos electrónicos, por lo que se recomienda explorar materiales biodegradables y biocompatibles con los electrodos de los sensores.
-  Entre las alternativas atractivas, se encuentra la adecuación de sensores con semiconductores hechos de nanomateriales basados en carbono, como el grafeno.

-  Considerar el potencial de reutilizar las interfaces electrónicas para disminuir el impacto ambiental.
-  Analizar otros potenciales impactos ambientales y su efecto sobre la biodiversidad.
-  Se recomienda que este análisis se lleve a cabo en colaboración estrecha con centros de investigación del estado de Yucatán.

**Fomentar la atracción de inversión y/o financiamiento externo para el proyecto, tomando en consideración las necesidades de infraestructura de conectividad para la transmisión de datos en tiempo real.**

-  Generar esquemas innovadores que potencien la posibilidad de atraer inversión de iniciativa privada y gubernamental. Las alianzas estratégicas con el sector privado, particularmente aquellos con influencia directa en la poligonal del la Reserva, serán clave para la atracción de financiamiento para la el despliegue de los sensores, así como para la instalación de infraestructura que permita la conectividad entre el área de despliegue y el receptor de la información (SDS).
-  Se recomienda que esta línea de acción esté coordinada por la SIIES en conjunto con la SDS.

 Es deseable que los resultados del despliegue promuevan la generación de esquemas de economía circular a partir del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, que beneficien a las comunidades locales.

Así, se espera que el conocimiento generado pueda aportar a la creación de actividades productivas tales como la acuicultura extensiva de bajo impacto, a partir del conocimiento puntual de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua.

## 2

**Consolidar un grupo de trabajo de la cuádruple hélice conformado por las instancias gubernamentales del estado de Yucatán, la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS) y la Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES), junto con las instituciones académicas y de investigación presentes en el estado, con el personal adecuado y capacitado para la mitigación de riesgos y el constante mantenimiento de la infraestructura del Living Lab.**

### Líneas de acción recomendadas en el corto plazo

**Crear esquemas para evaluar y mitigar potenciales riesgos del despliegue de sistemas de IA que puedan impactar a los usuarios que hacen uso de estas áreas.**

 Evaluar, de la forma más acertada posible, los impactos de los despliegues tecnológicos en las comunidades aledañas, pues al ser estas comunidades las principales usuarias de los recursos naturales y servicios ecosistémicos que se brindan, cualquier alteración tendrá un efecto en éstas.

 Fomentar diálogos horizontales con las personas de las comunidades aledañas para informar sobre las acciones que se pretenden realizar y cómo estas acciones están dirigidas hacia ampliar el conocimiento existente sobre el estado de salud de estas áreas y a generar planes que permitan fortalecer su protección y los servicios que otorga a dichas comunidades.

 Llevar a cabo una correcta delimitación de la demografía y condiciones socioeconómicas de la población (tenencia de tierra).

# 3

Generar guías para asegurar el seguimiento de principios éticos en la colecta y procesamiento de datos, así como en la estandarización y transferencia de conocimientos.

## Líneas de acción recomendadas en el corto plazo

### Fomentar la creación e intercambio de conocimiento interinstitucional.

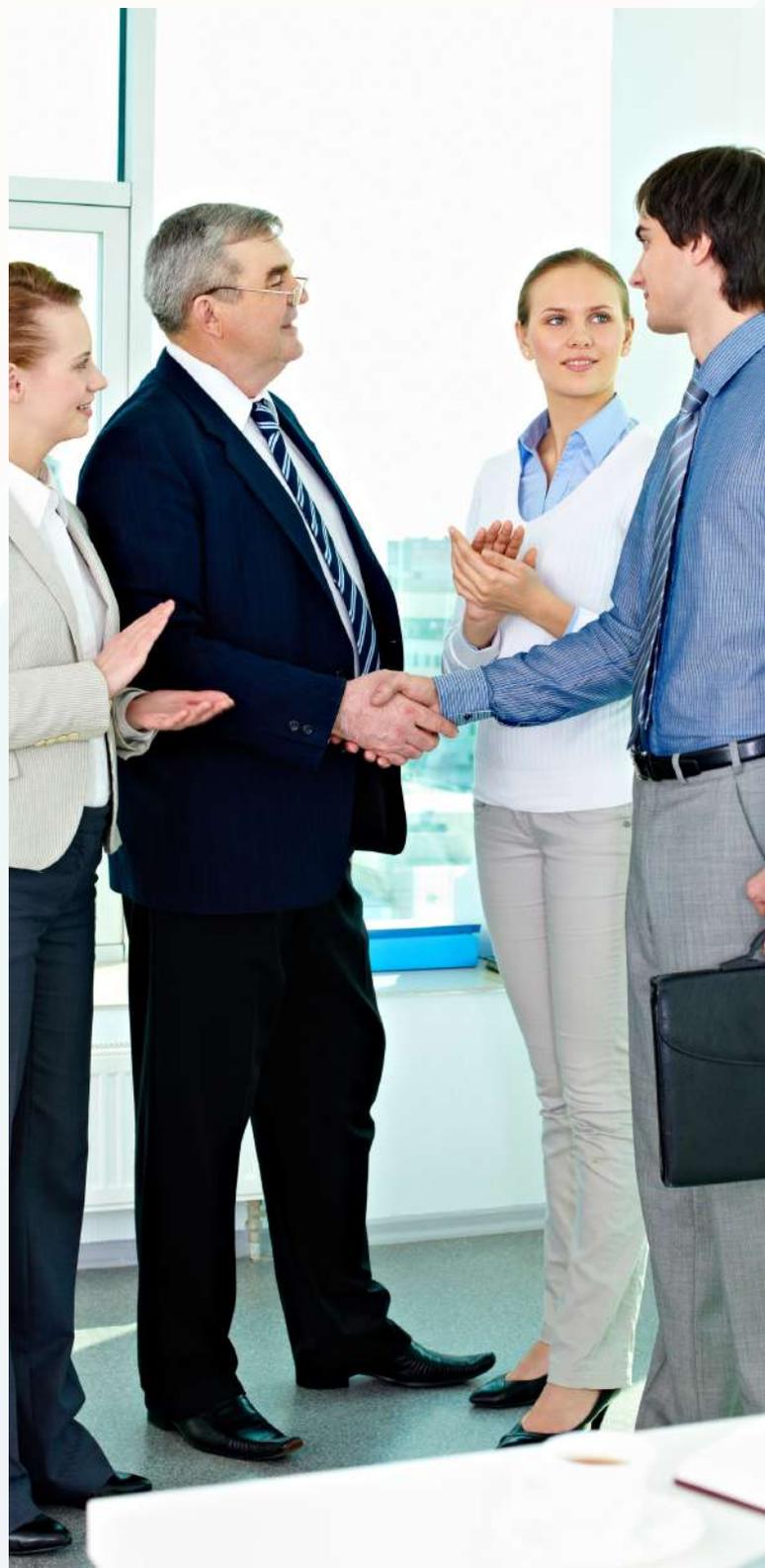
Establecer acciones que faciliten el diálogo horizontal interinstitucional para fortalecer la identificación de oportunidades y retos.

Se recomienda que la SIIES como responsable de la implementación del caso de estudio trabaje en conjunto con otras entidades locales para esta línea de acción.

### Generar alianzas estratégicas educativas para la promoción de proyectos de investigación y de grado.

Generar planes de acción que permitan el involucramiento de estudiantes de educación superior y jóvenes con interés académico en trabajar en proyectos en la intersección entre tecnologías y el ambiente.

Se recomienda que esta línea de acción se realice por la SIIES y el SIIDETEV.



## 4

**Fomentar la protección de ecosistemas costeros prioritarios a través del uso ético de sensores autónomos soportados con sistemas de IA en zonas lagunares remotas.**

**Líneas de acción recomendadas en el corto plazo**

**Caracterizar la diversidad y abundancia de ecosistemas y la biodiversidad que albergan, ya sea mediante visitas a campo o revisión bibliográfica.**

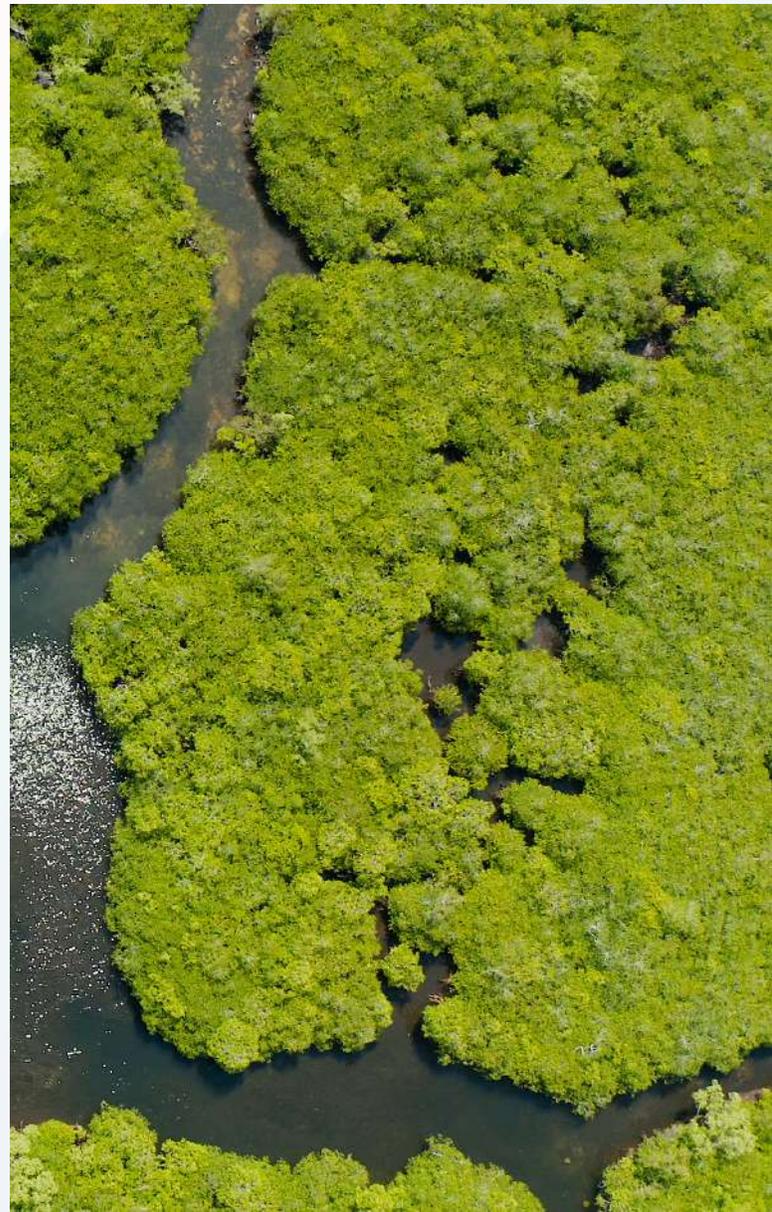
Realizar planes de trabajo para recopilar información relevante sobre la diversidad y abundancia biológica en la zona, con el fin de generar acciones que impacten positivamente en el medio. El Programa de Manejo de la Reserva Estatal de Dzilam, elaborado por la SDS, es un documento de referencia fundamental que requerirá actualizaciones periódicas que puedan ser informadas con resultados del presente caso de uso, con base en la planeación de actividades de la SDS.

**Documentar los aprendizajes del caso de estudio.**

Fortalecer el marco conceptual y metodológico en este tema y permitir la integración de conocimiento y experiencias externas.

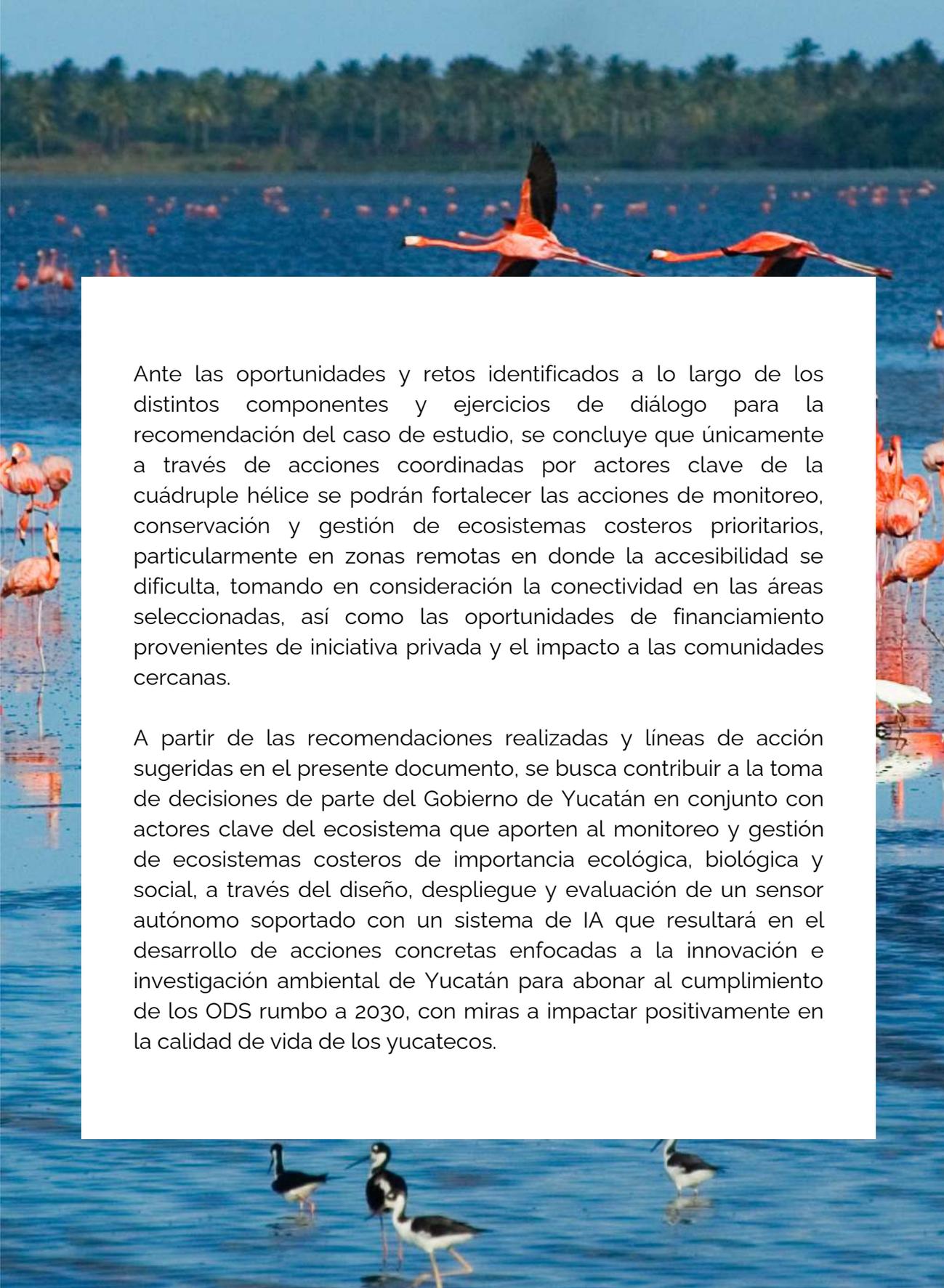
Esta documentación permitirá generar evidencias basadas en ciencia para fomentar la escalabilidad y réplica de la solución, información que será resguardada por la SIIES.

Se recomienda que esta línea de acción sea realizada por la SDS.





# CONCLUSIÓN



Ante las oportunidades y retos identificados a lo largo de los distintos componentes y ejercicios de diálogo para la recomendación del caso de estudio, se concluye que únicamente a través de acciones coordinadas por actores clave de la cuádruple hélice se podrán fortalecer las acciones de monitoreo, conservación y gestión de ecosistemas costeros prioritarios, particularmente en zonas remotas en donde la accesibilidad se dificulta, tomando en consideración la conectividad en las áreas seleccionadas, así como las oportunidades de financiamiento provenientes de iniciativa privada y el impacto a las comunidades cercanas.

A partir de las recomendaciones realizadas y líneas de acción sugeridas en el presente documento, se busca contribuir a la toma de decisiones de parte del Gobierno de Yucatán en conjunto con actores clave del ecosistema que aporten al monitoreo y gestión de ecosistemas costeros de importancia ecológica, biológica y social, a través del diseño, despliegue y evaluación de un sensor autónomo soportado con un sistema de IA que resultará en el desarrollo de acciones concretas enfocadas a la innovación e investigación ambiental de Yucatán para abonar al cumplimiento de los ODS rumbo a 2030, con miras a impactar positivamente en la calidad de vida de los yucatecos.



# ANEXOS

## ANEXO 1: PARTICIPANTES Y COLABORADORES

Extendemos un profundo y sincero agradecimiento a las siguientes personas por su amable disposición para compartir su tiempo y experiencia durante la segunda mesa redonda de alto nivel de la iniciativa AI for Climate, en colaboración con la Delegación General de Québec en México, la Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES) y la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS).

Tabla 1. Participantes de las mesas redondas de alto nivel.

Nombre	Cargo	Institución
Alejandra Calzada	Coordinadora del Arrecife Mesoamericano	WWF México
Anabel Martín González	Profesora de Asignatura de la Facultad de Matemáticas	Universidad Autónoma de Yucatán
Asis Alcocer García	Jefe de Conservación Ambiental	Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán
Bernardo Cisneros Buenfil	Ex-Titular	Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior de Yucatán
Claudia Teutli Hernández	Profesora de Asignatura A	Universidad Autónoma de Yucatán
Erik Molino Minero Re	Investigador	UNAM, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) - Unidad Mérida
Gildardo Sánchez Ante	Rector	Universidad Politécnica de Yucatán
Ivete Sánchez Bravo	Coordinadora Institucional de Servicios Tecnológicos	Centro de Investigación en Matemáticas

**Anexo 1: Participantes y colaboradores (continuación)**

Nombre	Cargo	Institución
Jorge Herrera Silveira	Investigador	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) Unidad Mérida
Juan Pablo Serrano Rubio	Investigador	Centro de Investigación en Matemáticas
Luis Soto Uruñuela	Agregado Multisectorial	Delegación General de Québec en México
María Andrade Hernández	Directora General	Pronatura PPY
Oscar Sánchez Siordia	Profesor Investigador	CentroGeo Yucatán
Ricardo Bello Bolio	Ex Director General de Investigación e Innovación	Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior de Yucatán
Stéphanie Allard-Gómez	Delegada General	Delegación General de Québec en México
Toshio Yokoyama Cobá	Director de Gestión y Conservación de los Recursos Naturales	Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán
Victor Vidal Hernández	Investigador	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) Unidad Mérida

Nota: las personas expertas se presentan en orden alfabético.

### Anexo 1: Participantes y colaboradores (continuación)

Asimismo, reiteramos nuestro más sincero agradecimiento a las siguientes personas, quienes brindaron recursos, tiempo, conocimientos, experiencias y recomendaciones para la delimitación de la preselección de tres propuestas de casos de estudio, a partir de entrevistas.

Tabla 2. Participantes de las entrevistas.

Nombre	Cargo	Institución
Alejandra Bolio Rojas	Gerente Ambiental y de Sostenibilidad	WSP México
Daniel Ramírez Alcocer	Ex-representante	Grupo de conservación ambiental Kana Aak
Jorge Cerón Gómez	Coordinador de la Oficina Regional Sureste	Ducks Unlimited de México, A.C.
José de Jesús Cruz Arjona	Coordinador Regional Sur-Sureste de Desarrollo Nacional	Reforestamos México, A.C.
Karla Amador Baranda	Directora de la Escuela de Recursos Naturales	Universidad Marista de Mérida
Nuno Simoes	Investigador	Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM
Victoria Avilés Pastrana	Representante	Grupo de conservación ambiental JAMA
Xavier Chiappa Carrara	Director	Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES-UNAM) Unidad Mérida

Nota: las personas expertas se presentan en orden alfabético.

## ANEXO 2: CRITERIOS PARA LA RECOMENDACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

*Tabla 3. Criterios generales de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio.*

Criterios generales	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Atiende un problema real y urgente			
Tiene potencial de escalabilidad y réplica			
Se alinea con contextos regulatorios, normativos y administrativos a niveles municipal, estatal y federal			
Los riesgos de daño colateral (social, económico y ambiental) son mínimos y el potencial de mitigarlos es grande			

*Tabla 3. Criterios técnicos de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio.*

Criterios generales	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Existe disponibilidad y disposición de expertos(as) necesarios(as) en la problemática a estudiar y resolver para informar/asesorar/nutrir/colaborar en la iniciativa según las necesidades			
Es viable el despliegue de infraestructura tecnológica para la recolección de datos y hay disponibilidad de datos para entrenar el(los) sistema(s) de IA			
Los datos que se recolectarán tienen el potencial de ser confiables (suficientes, útiles, completos, diversos, representativos), de transmitirse y de actualizarse constantemente y en línea con las necesidades del caso			
Los mecanismos y herramientas de monitoreo, mantenimiento, alertamiento, trazabilidad, vigilancia y corrección del sistema de IA son factibles			

**Anexo 2: Criterios para la recomendación del caso de estudio (continuación)**

*Tabla 4. Criterios ambientales de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio.*

<b>Criterios ambientales</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
Responde a una necesidad ambiental prioritaria			
La tecnología implementada es viable y sostenible (no genera residuos peligrosos, entre otros).			
Responde o se alinea a regulaciones y agendas ambientales estatales y/o federales			
Promueve el mantenimiento y/o la recuperación de servicios ecosistémicos			

*Tabla 5. Criterios sociales de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio.*

<b>Criterios sociales</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
Tiene el potencial de incentivar la participación e inclusión comunitaria (trabajadores de última milla, estudiantes, voluntarios, entre otros)			
Tiene el potencial de incluir las perspectivas de los actores			
Incentiva a los trabajadores de última milla a involucrarse			

*Tabla 6. Criterios económicos de factibilidad y viabilidad de implementación de los casos de estudio*

<b>Criterios económicos</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
Hay posibilidad de atraer inversión y/o financiamiento externo			
Promueve la generación de esquemas de economía circular, al mismo tiempo que optimiza el uso de recursos y reduce desperdicios			

## ANEXO 3: ACERCA DE LOS ORGANIZADORES



AI for Climate es una iniciativa global que explora el uso de las tecnologías más avanzadas de la actualidad para mitigar el riesgo de crisis ambientales en el mundo y activar la economía en las comunidades afectadas por la pobreza alrededor de las reservas naturales.



El programa de Future of Earth busca impulsar el desarrollo, despliegue y adopción de tecnologías disruptivas para el bien social y ambiental. La misión de Future of Earth se enfoca en colaboraciones multisectoriales para explorar nuevos modelos de producción por un medio ambiente saludable para la prevención de futuras crisis ambientales y sociales.



C Minds es un tanque de acción liderado por mujeres que trabajan en la intersección de las nuevas tecnologías, la sociedad y el medio ambiente, con un fuerte enfoque en América Latina. Para lograrlo, diseña políticas digitales y marcos éticos y despliega iniciativas que aprovechan las nuevas tecnologías para promover los objetivos de desarrollo sostenible.



La Christopher Córdova Agency es una firma consultora internacional que crea estrategias de promoción a medida para sus clientes. Se especializa en el diseño de soluciones de alto impacto para las relaciones públicas e institucionales, facilitando inversiones internacionales y ayudando a líderes de alto perfil a convertirse en defensores efectivos de las causas más cercanas a sus corazones.



# REFERENCIAS

1. Sánchez-Triana, E., Ruitenbeek, J., Enriquez, S. & Siegmann, K. (2020) Opportunities for Environmentally Healthy, Inclusive, and Resilient Growth in Mexico's Yucatán Peninsula. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1357-3>.
2. CONANP. Áreas Naturales Protegidas decretadas. Consultado en julio del 2021. [http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos\\_anp.htm](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm)
3. Population City. Yucatán Population. Consultado en julio del 2021. <http://population.city/mexico/adm/yucatan/>
4. SDS. Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Yucatán (SANPY). Consultado en julio del 2021. <https://sds.yucatan.gob.mx/areas-naturales/sanpy.php>
5. Herrera, J. y Morales, S. Lagunas costeras. (2010). En: Durán, R. y Méndez, M. (2010). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, 496 pp.
6. SEDUMA. (2018). Actualización del Programa de Manejo. Reserva Estatal de Dzilam. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán.
7. Isaias Peraza Baeza. (2016). The Not That Green Business of Wind Energy in Yucatan, Mexico. Biodesign Swette Center for Environmental Biotechnology. <https://environmentalbiotechnology.org/2018/06/21/the-not-that-green-business-of-wind-energy-in-yucatan-mexico/>.
8. Lamba, A., Cassey, P., Segaran, R. R., & Koh, L. P. (2019). Deep learning for environmental conservation. *Current Biology*, 29(19), R977–R982. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.016>
9. Modaresi, P. (2020). Using Neural Networks for Socio-ecological Modelling of Conservation Conflict. Medium. <https://medium.com/>
10. Save the forests? There's now a deforestation-tracking app for that. (n.d.). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/new-tool-tracks-deforestation-in-supply-chains/>
11. Manjakkal, L., Mitra, S., Petillo, Y., Shutler, J., Scott, M., Willander, M., & Dahiya, R. (2021). Connected Sensors, Innovative Sensor Deployment and Intelligent Data Analysis for Online Water Quality Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3081772>
12. LeBien, J., Zhong, M., Campos-Cerqueira, M., Velez, J. P., Dodhia, R., Ferres, J. L., & Aide, T. M. (2020). A pipeline for identification of bird and frog species in tropical soundscape recordings using a convolutional neural network. *Ecological Informatics*, 59, 101113. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101113>
13. Hervé, G., Kahl, S., Glotin, H., Planqué, R., Vellinga, W. & Alexis Joly. (2018). Overview of BirdCLEF 2018: Monospecies vs. Soundscape Bird Identification. In *Working Notes of CLEF 2018 - Conference and Labs of the Evaluation Forum*, Vol. 2125. CEUR Workshop Proceedings. Avignon, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189229>.

14. Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E. D., Mukkavilli, S. K., Kording, K. P., Gomes, C., Ng, A. Y., Hassabis, D., Platt, J. C., ... Bengio, Y. (2019). Tackling Climate Change with Machine Learning. ArXiv:1906.05433 [Cs, Stat]. <http://arxiv.org/abs/1906.05433>
15. Igual que la nota al pie 11.
16. Rivas-Casado, M., Palma, M., & Leinster, P. (2020). Autonomous Systems for the Environmental Characterization of Lagoons. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90405>
17. Igual que la nota al pie 16.
18. Schmidt, W.M Raymond, D., Parish, D., Ashton I., Miller, P., Campos, C. & Shutler, J. (2018). Design and operation of a low-cost and compact autonomous buoy system for use in coastal aquaculture and water quality monitoring. *Aquaculture Engineering*, 28-36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860917302133>
19. Bandini F, Lopez-Tamayo A, Merediz-Alonso G, Olesen D, Jakobsen J, Wang S, et al. Unmanned aerial vehicle observations of water surface elevation and bathymetry in the cenotes and lagoons of the Yucatan peninsula, Mexico. *Hydrogeology Journal*. 2018;26:2213-2228.
20. Igual que la nota al pie 11.
21. Stålnacke P, Lillebø AI, Gooch GD. Management of coastal lagoons-lessons learnt and recommendations. In: Lillebø AI, Stålnacke P, Gooch GD, editors. *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing; 2015. p. 222
22. Recomendaciones de la OCDE sobre inteligencia artificial, OCDE (2019). Disponible en: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>

[WWW.FORCLIMATE.AI](http://WWW.FORCLIMATE.AI)

**Lucía Tróchez Ardila**

lucia@cminds.co

Directora, Foro Global

**AI**   
**FOR CLIMATE**

