



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN ECONOMÍA  
*Valoración económica ambiental de la absorción  
de carbono azul en los manglares mexicanos en  
el estado de Campeche.*

ENSAYO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
Especialista en Economía Ambiental y Ecológica

PRESENTA:

Irving David González Cuellar

TUTORA:

Mtra. Karina Caballero Güendulain

CIUDAD DE MÉXICO JUNIO DE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Resumen**

El cambio climático se considera uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad actualmente, dado que genera diferentes efectos que afectan al planeta en su conjunto, la mitigación de sus efectos es necesaria para mantener la vida como se conoce. Los ecosistemas de manglar son de gran importancia para reducir los efectos del cambio climático por la captura de carbono azul, que representa un mayor porcentaje en la captura de este gas con respecto de los ecosistemas terrestres. En la presente valoración del servicio ecosistémico se realizó una transferencia de beneficios con treinta y tres estudios sobre la captura de carbono en manglares, realizando un meta análisis con los precios encontrados de cada estudio, dicho análisis permitió estimar un valor monetario de 157.67 dólares por hectáreas. Este precio permite generar políticas para la protección de estos ecosistemas, no sólo para los manglares de Campeche, sino los manglares del país.

## **Abstract**

Climate change is considered one of the biggest problems facing humanity today, since it generates different effects that affect the planet as a whole, the mitigation of its effects is necessary to maintain life as it is known. Mangrove ecosystems are importance to reduce the effects of climate change due to the capture of blue carbon, which represents a bigger percentage of the capture of this gas with respect to terrestrial

ecosystems. In the present assessment of the ecosystem service, a transfer of benefits was carried out with thirty-three studies on the carbon capture in mangroves, performing a meta-analysis with the prices found in each study. This analysis allowed estimating a monetary value of 157.67 dollars per hectare. This price allows generating policies for the protection of these ecosystems, not only for the mangroves of Campeche, also the mangroves of the country.

## **Palabras claves**

Manglares, Cambio climático, Valoración económica ambiental, Meta análisis, Transferencia de beneficios, Carbono azul

## **JEL**

Q51, Q54

## **Agradecimientos**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, mi hermano y mi hermana que me han apoyado a lo largo de este y otros procesos grandes en la vida.

De la misma manera quiero dar un agradecimiento especial a todos los amigos que me han apoyado Alan, Diego, Oscar, Erik Aline, Paula, Héctor, Joshua, Andrea, Gloria, Brian, Viridiana, Mich, Israel, Griselda, Rodrigo, Sofía y todos aquellos que estuvieron apoyándome, haciendo de este un sueño posible.

Quedo agradecido, complacido y feliz, pues el presente logro es posible gracias a su apoyo, siendo este el primer paso para lograr grandes cosas.

Y todo en la vida empieza con un pequeño sueño, un fuerte deseo y la fé de lograrlo.

## Índice

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción.....                                      | 5  |
| 2. Cambio climático.....                                  | 8  |
| 3. El carbono Azul.....                                   | 14 |
| 3.1 Ecosistemas que lo absorben.....                      | 14 |
| 3.2 Problemas de los ecosistemas costero-marinos.....     | 17 |
| 3.3 Contaminación de los océanos.....                     | 19 |
| 3.4 Importancia del carbono azul en el cambio climático.. | 20 |
| 4. Manglares.....   | 23 |
| 4.1 Manglares de Campeche.....                            | 24 |
| 4.2 Riesgos del ecosistema.....                           | 27 |
| 4.3 Medidas de protección.....                            | 27 |
| 5. Valoración económica ambiental.....                    | 33 |
| 5.1 Transferencia de beneficios.....                      | 35 |
| 5.2 Valoración del servicio de absorción de carbono.....  | 38 |
| 6. Conclusiones.....                                      | 49 |
| 7. Bibliografía.....                                      | 52 |

## **1. Introducción**

Las sociedades enfrenta diferentes problemas a nivel mundial, uno de ellos es el incremento de los gases de efectos invernadero que genera el cambio climático, este efecto negativo genera diferentes problemas a las actividades económicas del ser humano y a la vida en el planeta como se le conoce. Los manglares son parte de los ecosistemas costero-marino, los cuales tienen una mayor absorción de dióxido de carbono, esta absorción es necesaria para la mitigación de los efectos del cambio climático, pero tiene diferentes riesgos que dañan al ecosistema y han hecho que se reduzca la cantidad de manglares, por ello es necesario generar un valor monetario para que se puedan establecer políticas de protección y conservación, para seguir teniendo los beneficios de captura de carbono como de otros servicios ecosistémicos que brinda.

El presente ensayo busca generar un valor monetario para el servicio ecosistémicos de captura de carbono en los ecosistemas de manglar en el estado de Campeche en México, para ello se realizará una valoración económica ambiental, la cual permite generar un valor monetario para bienes y servicios que no tienen un mercado real y requieren un precio para generar políticas de protección y/o establecer sanciones por daños al ecosistema.

Este tipo de investigaciones son necesarias para establecer políticas y generar conciencia sobre un ecosistema, un bien o un servicio ecosistémicos en particular, de aquí la importancia de generar un valor monetario para los diferentes bienes y servicios ecosistémicos que no posean un mercado real para interactuar o analizar sus costos, en el caso de la captura de carbono, es importante generar un precio para llegar a un valor de la emisión de gases de efecto invernadero por las industrias y los países para la reducción del cambio climático, creando una conciencia de la importancia de ecosistemas con una mayor tasa de captura como los manglares.

Para ello se realizó una transferencia de beneficios considerando treinta y tres estudios de diferentes países, que han valorado el servicio ecosistémico de captura de carbono en manglares y han llegado a un precio que nos permite construir un meta-análisis con el que se creará un precio o valor del servicio ecosistémico valorado, para la zona de estudio del presente.

El meta-análisis nos permite hacer una revisión en conjunto de los datos obtenidos en los diferentes estudios, conjuntando los resultados o precios encontrados para cada estudio y generar un nuevo valor para el servicio ecosistémico.

La generación de dicho valor permite establecer un precio que ayuda a analizar las futuras consecuencias o los gastos a los que se incurre en caso de perder el servicio ecosistémico, la

captura de carbono es necesaria para la mitigación de los efectos del cambio climático, dado que es la reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, el efecto que está influyendo para el aumento de la temperatura y el cambio climático, que es un conjunto de efectos que afectan al planeta y las actividades de los seres vivos.

El ensayo cuenta con cuatro apartados: en el primer apartado se habla del cambio climático, los impactos que tiene en el planeta y la importancia de la captura de dióxido de carbono en los ecosistemas marino costeros; en el segundo apartado se trata el tema de carbono azul, la importancia de su captura, su función como una medida de mitigación del cambio climático y los ecosistemas que lo capturan; en el tercer apartado se desarrolla el tema de los manglares y la captura de carbono azul, su importancia frente al cambio climático y los riesgos del ecosistema; y en el cuarto apartado se realiza la valoración económica ambiental del servicio de captura de carbono en el ecosistema de manglares. Finalmente se presentan las conclusiones y resultados obtenidos.

## **2. Cambio climático**

El cambio climático es uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad, entendido no únicamente como el calentamiento de la tierra, sino como lo que engloba una serie de efectos negativos sobre el planeta. Visto desde la perspectiva económica, es la externalidad negativa generada de diversas actividades humanas y procesos ambientales, la quema de combustibles fósiles es la principal actividad generadora de los gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, este problema es el resultado indirecto de diversas actividades que se han vuelto necesarios para la vida moderna y procesos naturales que influyen en menor cantidad.

Las principales actividades humanas que infieren en el cambio climático son (Cambio climático Global, 2013):

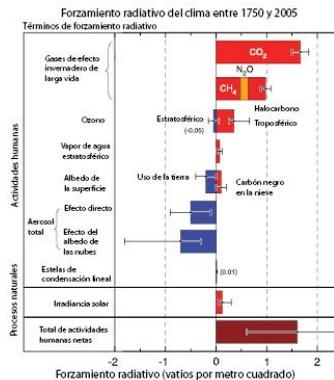
- La quema de combustibles fósiles en la industria, en la generación de energía eléctrica y en los transportes.
- La deforestación
- La ganadería
- El uso de fertilizantes con nitrógeno.
- Los gases florados
- El cambio de uso de suelos
- Residuos

Mientras que los procesos naturales que los generan son (Cambio climático Global, 2013):

- Actividad volcánica
- Variaciones de corrientes
- Aumento de radiación solar
- Humedales

Este aumento de gases en el planeta, junto con los aerosoles han afectado al clima del planeta alterando la radiación solar entrante y la radiación térmica saliente, estas radiaciones forman el equilibrio energético en el planeta. La modificación de la energía en el planeta corresponde al forzamiento radiativo<sup>1</sup> que tiene el planeta, en la gráfica 1 se observa como las actividades humanas y procesos naturales impactan en estas energías y, a su vez, en el cambio climático.

Gráfica 1. Resumen de los componentes principales del forzamiento radiativo del cambio climático.



Fuente: IPCC, Quinto informe de evaluación "Cambio Climático", 2013.

<sup>1</sup> "Se denomina forzamiento radiativo al cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra medido en el borde superior de la troposfera (a unos 12.000 m sobre el nivel del mar) como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar. Se expresa en W/m<sup>2</sup>. Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento." (GreenFacts, 2007)

El cambio climático se define como la modificación del clima debido al aumento de radiación atrapada en la atmósfera debido a la presencia de los gases de efecto invernadero, por lo general se ha demostrado que es un efecto natural, sin embargo en las últimas décadas se ha tenido un aumento acelerado por las altas emisiones que generan las actividades mencionadas, lo cual ha generado un aumento de la concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

*“Los economistas llevan muchos años preocupándose por el vertiginoso ritmo de crecimiento que siguen la producción industrial, el consumo de recursos básicos y la generación de residuos desde la Revolución industrial, (...) Desde los inicios de esta revolución los economistas percibieron que había unos “costes sociales”...”(Sirvent, 2011)*

El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero ha acrecentado el impacto del cambio climático, lo que ha vuelto necesario estudiar a fondo el problema y como contrarrestarlo o afrontarlo, sin embargo aún hay un camino largo por recorrer.

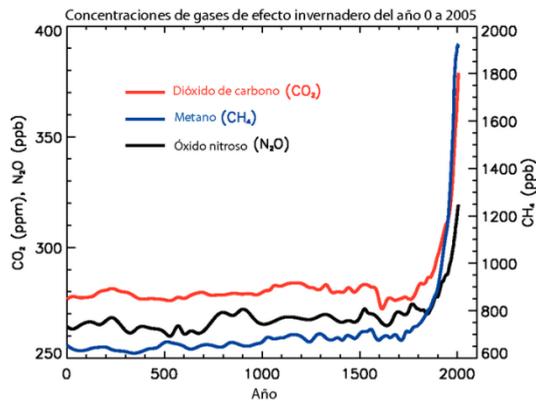
De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, los principales gases de efecto invernadero son los siguientes (IPCC, 2007 y 2013):

- Dióxido de carbono.

- Metano
- Óxido Nitroso

Estos tres son los de mayor concentración en la atmosfera, diversas actividades son las generadoras de emisiones de estos gases.

Gráfica2. Incremento de los gases de efecto invernadero en los últimos 2000 años de la Tierra



Fuente: IPCC, Quinto informe de evaluación "Cambio Climático", 2013.

Como se observa en la Gráfica 2, el incremento de los gases se ha visto en los últimos cien años, coincidiendo con el desarrollo de la era industrial de la humanidad, esto se observa más con las actividades mencionadas, ya que surgen de la revolución industrial.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático o IPCC, por sus siglas en inglés, es un grupo abierto creado por la Organización de Meteorología Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que reúne a diferentes expertos y especialistas que analizan de manera rigurosa, objetiva, abierta y transparente diferente tipo de

información que ayudan a entender los efectos que genera el cambio climático a causa de la actividad antropogénica, sus repercusiones, del mismo modo las opciones y posibilidades de adaptación y mitigación a los efectos,

El IPCC es el encargado de compartir diferentes escenarios y pronósticos, elaborados por diferentes expertos, dentro de un informe y documentos técnicos de los temas que se consideran necesarios.

Dentro de estos informes se encuentran los escenarios sobre el aumento clima en el planeta, así como los efectos que se tendría en las diferentes actividades del ser humano (agrícola, industrial, sociales, de salud, etc.), los escenarios son desde el aumento de 2 grados hasta el escenario de 8 grados, cada escenario presenta diferentes efectos y afectaciones.

La alteración de los climas es sólo una parte de esta externalidad, el cambio climático ha mostrado alteraciones en los patrones de precipitación, disminución del volumen de la Criosfera (capaz de hielo en los polos), aumento del nivel de mar y modificación de la salinidad de los mares.

Con años de estudio de estos fenómenos se ha demostrado el incremento de ellos (IPCC, 2007 y 2013):

- En la últimas cinco décadas se han presentados disminuciones de noches frías y se ha incrementado la cantidad de noches cálidas anualmente.

- La distribución de las temperaturas máximas y mínimas ha registrado valores superiores de acuerdo con el calentamiento general.
- Los extremos fríos han tenido mayores incrementos de temperatura en comparación con los extremos cálidos.
- Las precipitaciones han sido más intensas en latitudes medias y en lugares donde no se ha incrementado la precipitación media.
- A partir de la mitad del siglo XX la tendencia ascendente de las sequías se ha intensificado en diversas zonas del Hemisferio Norte.
- Se han presentado sequias generalizadas en la mayor parte de Eurasia Meridional, África Septentrional, Canadá y Alaska.
- La ubicación y la actividad de las tormentas tropicales a nivel internacional han sido afectadas por el fenómeno El Niño-Oscilación Meridional con aumentos de aproximadamente el 75 por ciento, con huracanes categorías 4 y 5.

Este conjunto de problemas afecta a los ecosistemas y las actividades de los humanos, por lo que se convierte en un problema que engloba a todo el mundo, lo que deriva la gran importancia para mitigar los efectos que genera este problema y/o buscar cómo adaptarse a los nuevos cambios y retos que enfrentaran las especies.

### **3. El carbono Azul**

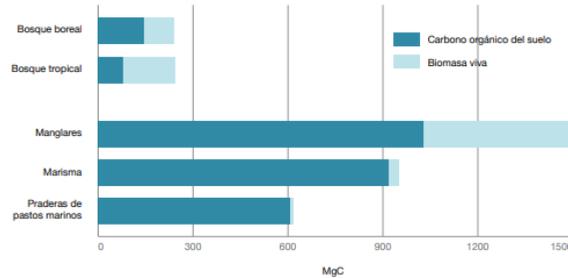
Se ha hablado de los GEI, ya el IPCC nos ha dado los gases de mayor impacto para el Cambio Climático, siendo el dióxido de carbono o CO<sub>2</sub> uno de los GEI con mayor presencia en el planeta, surge de diferentes procesos naturales y de actividades humanas, ya se menciona que la quema de combustibles fósiles es la principal, esto se debe a que es necesaria para la mayoría de las actividades humanas es generada por la industria, los transportes, la producción energética, producción de alimentos, entre otras fuentes, estas actividades son de las principales generadores de este gas, y otros gases de efecto invernadero.

De acuerdo con la Comisión Nacional de las áreas protegidas se define como: *“...el carbono orgánico que capturan y almacenan los ecosistemas costeros de manglar, pastos marinos y marismas”* (Comisión Nacional de las áreas protegidas, 2017). Por ende, el carbono azul es el nombre que se le da a la absorción de CO<sub>2</sub> en los océanos y los ecosistemas marinos costeros o el dióxido de carbono presente en la atmósfera que es capturado y retenido por la flora de océanos y los diferentes ecosistemas marinos costeros.

Esta captura es de gran importancia para la reducción del gas en la atmósfera y con ello reducir los efectos del cambio climático, la absorción de CO<sub>2</sub> en estos ecosistemas es mayor que en los ecosistemas terrestres, derivando su gran

importancia para hacer frente a los efectos del cambio climático. En la gráfica 3 se observa a mayor detalle los niveles de absorción de carbono verde<sup>2</sup> en ecosistemas terrestres y la absorción de carbono azul por ecosistemas marino costeros.

Gráfica 3. Almacenamiento promedio de carbono en la biomasa aérea y subterránea en ecosistemas costeros con vegetación contra bosques terrestres.



Fuente: Pan et al. 2011; Fourqurean et al. 2012a; Pendleton et al. 2012

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas protegidas “México es uno de los países con mayor superficie de ecosistemas que capturan y almacenan carbono azul (marismas salobres, manglares y pastos marinos).” Los ecosistemas, no sólo los que se mencionaran a continuación, son de suma importancia para la vida del ser humano y las especies con las que se comparte el planeta, por ello es importante conservarlos y cuidarlos.

### **3.1 Ecosistemas que lo absorben**

Los principales ecosistemas que realizan la absorción del carbono azul son: Manglares, pastos costeros y marismas, siendo los manglares los que presentan el mayor secuestro de

<sup>2</sup> A diferencia de El carbono Azul, el carbono Verde es el dióxido de carbono capturado por los ecosistemas terrestres en la flora y en los sedimentos.

carbono entre los tres, representando cinco veces más con respecto a los bosques terrestres.

Este tipo de ecosistemas brindan diferentes tipos de servicios ecosistémicos<sup>3</sup>:

“Los ecosistemas costeros brindan importantes servicios ambientales, entre los que se incluyen la protección de costas, la purificación de agua, el sustento de pesquerías, la conservación de la biodiversidad y el secuestro de carbono. En los últimos años se ha fortalecido el conocimiento científico en torno a la enorme capacidad de los ecosistemas de manglar, pastos marinos y marismas para captar y almacenar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en forma de carbono orgánico. A este carbono se le conoce como “carbono azul”. (SEMARNAT, 2017)

Para analizar todos los servicios ecosistémicos que brindan estos ecosistemas se necesitaría un estudio más amplio, por lo que el presente estudio se enfocara en la captura de carbono, por la importancia que tiene para la mitigación del cambio climático.

Como se menciona al principio, los manglares son el ecosistema que genera mayor absorción de CO<sub>2</sub>, por lo que el presente se enfocará en los manglares, dada su importancia. “Los manglares son una formación vegetal leñosa, densa,

---

<sup>3</sup> Definidos como los procesos ecológicos de los ecosistemas naturales que suministran a la humanidad un bienestar, necesarios para diferentes procesos humanos y naturales.

arbórea o arbustiva de 1 a 30 metros de altura, compuesta de una o varias especies de mangle y con poca presencia de especies herbáceas y enredaderas.” (CONABIO-INE-CONAFOR-CONAGUA-INEGI, 2006), que por su misma ubicación se encuentran en un mayor riesgo, más adelante se analizará a mayor detalle el ecosistema en cuestión, en la tabla 1 se observan los niveles de absorción por parte de cada uno de estos tres ecosistemas:

Tabla 1. Valores promedio y por rango de las existencias de carbono orgánico en suelos y equivalentes de CO<sub>2</sub>. Ejemplos de cómo se distribuye el carbono en los distintos ecosistemas marino-costeros y la variación entre cada uno

| ECOSISTEMA   | CARBONO |           | MgCO <sub>2</sub> equiv/ha |
|--------------|---------|-----------|----------------------------|
|              | Mg/ha   | Mg/ha     |                            |
| Manglar      | 386     | 55 - 1376 | 1415                       |
| Marisma      | 255     | 16 - 623  | 935                        |
| Pasto marino | 108     | 10 - 829  | 396                        |

Fuente: IPCC, Quinto informe de evaluación “Cambio Climático”, 2013.

En la tabla 1 se observa la cantidad de CO<sub>2</sub> que absorben por hectárea del ecosistema, así como la diferencia que existe entre el mismo ecosistema, pero diferente locación, y se reconoce que los manglares son el ecosistema que más carbono azul captura.

### ***3.2 Problemas de los ecosistemas costero-marinos***

Estos ecosistemas son los principales generadores de captura del carbono azul, pero se encuentran muy amenazados por diversas actividades del ser humano: “La contaminación, la acidificación de los océanos, la pesca destructiva, el excesivo uso de fertilizantes o la construcción insostenible de

infraestructuras y asentamientos humanos en la costa son algunos de sus enemigos.”(Muerza, 2013) Estas son de los principales peligros para dicho ecosistema. Los peligros que enfrente, no sólo ponen en riesgo al ecosistema y las especies que lo habitan, además disminuye la capacidad de captura de carbono azul, que a su vez genera una liberación del carbono azul retenido en los suelos a la atmosfera, aumentando los niveles del gas y generando un efecto inverso de lo que se busca lograr de reducir los efectos del cambio climático, del mismo modo la reducción del bienestar del ecosistema genera una reducción de la captura y la reducción de los otros servicios ecosistémicos que brindan estos los ecosistemas.

De acuerdo a la organización “The Blue Carbon Initiative”, se estima que la degradación de estos ecosistemas libera alrededor de mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año, lo que es una razón más para conservar y recuperar este tipo de ecosistemas y hacerle frente al cambio climático de una manera más efectiva. (2019)

El mismo desarrollo de las ciudades genera una reducción de dichos ecosistemas, así mismo la contaminación por desechos agrícolas, industriales y de consumo humano generan el mayor deterioro de estos ecosistemas.

La captura de carbono que generan estos ecosistemas, así como los otros servicios ecosistémicos que generan son de suma importancia para la humanidad es necesario conservar en buen estado el ecosistema.

### ***3.3 Contaminación de los océanos***

La contaminación de los océanos es un problema que requiere ser investigado aparte, por lo que se hablará de cuestiones relativas a los ecosistemas que estamos trabajando, evitando controversias y problemáticas mayores.

La contaminación de los océanos "... se produce por los residuos vertidos, los fertilizantes, pesticidas o químicos que desembocan en las aguas dulces y que acaban por contaminar también el agua salada" (Vázquez, EcoSiglos, 2017). Esto afecta a los diferentes ecosistemas marinos, con ello las diferentes especies de flora y fauna que habita estos ecosistemas.

Este tipo de contaminación genera problemas de disponibilidad de agua y reduce la calidad del agua que consumimos, David Ortiz dice que "La incidencia humana sobre las aguas se ejerce fundamentalmente a través del vertido a sistemas naturales de efluentes naturales" (Ortiz, 2014), ocasionando un daño cada vez mayor a las aguas del planeta.

Por la misma ubicación de los ecosistemas marinos costeros sufren las afectaciones de la contaminación de los océanos y la expansión de las ciudades, lo que los vuelve más vulnerables y con un mayor riesgo.

Estos ecosistemas generan un gran beneficio, no sólo con la captura de carbono azul, también son una fuente de extracción pesquera para la humanidad, así como otros beneficios de

protección para las ciudades cercanas a las costas, por ello y por la permanencia de la humanidad y la vida como se conoce se debe de proteger y conservar en un buen estado.

La contaminación de los océanos es un problema que afecta a diferentes ecosistemas, no sólo a los costeros, y diferentes actividades humanas, en el presente se habla del daño a los manglares, dejando de lado demás efectos que esta contaminación tiene sobre la vida marina y la humanidad, pero, como se menciono con anterioridad, es un tema más grande que necesita su revisión directa.

### ***3.4 Importancia del carbono azul en el cambio climático***

*“El éxito de la mitigación del cambio climático, depende de la capacidad de los bosques y los océanos para absorber y enterrar el CO<sub>2</sub>. La contribución de los bosques en el secuestro de carbono ha sido bien conocida y apoyada por diversos mecanismos financieros. Por el contrario, el papel fundamental de los océanos ha sido pasado por alto.”* (Nellemann et al 2009.)

El cambio climático es más notable cada día, por lo que se hace más urgente aplicar medidas de mitigación y adaptación, así como reducir la inferencia humana a los ecosistemas, para poder seguir coexistiendo con todas las especies del planeta. El carbono azul es una forma de poder enfrentar el impacto del cambio climático, además de ser la forma en que el CO<sub>2</sub> se

absorbe en mayores cantidades, los ecosistemas que lo absorben favorecen a la protección de los efectos del cambio climático.

Los ecosistemas que absorben carbono azul tienen una superficie reducida en todo el planeta “...cubren menos de 0.5% de la superficie marina mundial...” (Herrera, 2016), sin embargo su importancia radica en la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> ay que “...captan carbono a una tasa anual de dos a cuatro veces mayor que la de los bosques tropicales maduros, y almacenan entre tres y cinco veces más carbono por área” (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2014). Que corresponde a de las más grandes capturas de carbono “...más de 50% del total de carbono contenido en sedimentos oceánicos, y en un año secuestran una cantidad de carbono equivalente a casi la mitad de las emisiones generadas por el transporte a escala mundial” (Herrera, 2016).

La captura de carbono no es el único beneficio que generan los ecosistemas, ofrecen más servicios ecosistémicos que son necesarios para la vida humana y de diferentes especies de animales que lo habitan, sin embargo la importancia principal son los niveles de captura que representan la mayor absorción del planeta, el bienestar de estos ecosistemas será un factor clave para la mitigación de los efectos de cambio climático.

Como se comentaba anteriormente, estos ecosistemas ayudan a proteger al ser humano de algunos de los efectos del cambio climático, “...su cobertura vegetal disipa la energía de las olas,

controla la erosión y amortigua los impactos del aumento del nivel del mar.”(SEMARNAT, 2017). Por lo que resultan necesarios para la adaptación ante los efectos del cambio climático.

Lo anterior hace notorio la importancia de los ecosistemas costeros-marinos para la mitigación de los efectos del cambio climático, el aumento de bienestar y cantidad de estos ecosistemas será un factor clave para combatir las emisiones de CO2 del ser humano.

Es necesario preservar estos ecosistemas, ya que sus reducidas proporciones, su ubicación y el impacto de las actividades humanas genera una mayor preocupación, por el alto riesgo que presentan, la gran capacidad de absorción de CO2 hace necesario para afrontar los nuevos retos del planeta, por lo que son necesarios para la supervivencia de la especie humana y del planeta, el buen estado de estos ecosistemas favorecerá a la reducción del impacto del cambio climático.

## 4. Manglares

Los manglares son el principal ecosistema en la captura de carbono azul “...pueden almacenar más de 1000 toneladas de carbono por hectárea y que cuando se cortan los manglares y se convierten en otros usos como camaroneras y salineras se pierden entre el 86% y hasta el 96% del carbono almacenado.”(Brenes, 2014). La gráfica 4 muestra los cambios que han sufrido estos ecosistemas en México, en cuanto a su extensión en el país.

Gráfica 4. Superficie de manglares en México.



Fuente: “Manglares de México”, CONABIO, 2016

Los manglares son un ecosistema de gran importancia, no sólo por su absorción de CO<sub>2</sub>, sino por los diferentes servicios ambientales que provee y que son esenciales para el desarrollo de las comunidades a su alrededor, así como para la protección de estas comunidades y ciudades en su cercanía, los manglares son “...árboles y arbustos que resisten altos niveles de salinidad. Una de sus adaptaciones es su capacidad de traslocar el sodio del agua, el cual es tóxico para el

crecimiento de las plantas, a la superficie de las hojas.” (Brenes, 2014). Además de ello “...desempeñan un papel importante en la atenuación del oleaje; funcionan como zonas de amortiguamiento frente a tormentas; son un hábitat crítico (sitios de reproducción, anidación y crecimiento) para peces, crustáceos, moluscos, aves y especies de importancia económica” (SEMARNAT, 2017), son ecosistemas que son de gran importancia para la humanidad y necesarios para la mitigación del cambio climático.

Para conocer la capacidad de este ecosistema para la absorción de CO<sub>2</sub> “...se realizan inventarios de campo y análisis de laboratorio. En Costa Rica, se han inventariado cerca del 90% de las 48.000 hectáreas de manglares del país, lo cual representa un gran avance y refleja el gran trabajo. Actividades similares se están realizando en Panamá y El Salvador.” (Brenes, 2014), de esta manera se ha logrado observar una mayor absorción de CO<sub>2</sub> en comparación con los ecosistemas terrestres

Como se ha mencionado, es un ecosistema necesario para la mitigación del cambio climático, pero también para la supervivencia de ecosistemas costeros y marinos, así como muchas especies de animales (reptiles, peces, mariscos y aves), que habitan en él y son fuente de alimento para el ser humano.

Sin embargo y a pesar de todos los beneficios que brinda este ecosistema, su ubicación entre la tierra y el mar lo convierte en un ecosistema altamente sensible y vulnerable, por lo mismo “...estos ecosistemas continúan experimentando tasas de degradación preocupantes. Es por ello que su conservación debe incluirse como prioridad en las estrategias nacionales y estatales de cambio climático y biodiversidad, en las políticas públicas, y ser considerados prioritarios en la asignación de recursos del presupuesto federal”, (COP13, 2016).

Es necesario adecuar la protección y cuidado de estos ecosistemas, para afrontar los efectos del cambio climático y poder hacer frente a ellos, en el caso de México, “...posee el 2º lugar con 142 humedales designados como Sitios Ramsar<sup>4</sup> en una superficie de 8, 643, 579 has. Del total de humedales, 59 coinciden con zonas de manglar (...) el ecosistema de manglar representa el 5% del total mundial y ubica al país en 4º lugar entre los 125 países y territorios que poseen este tipo de humedal, el cual cubre tan sólo 0.4% de la superficie del país.” (CONABIO, 2017), la gran cantidad de manglares en el país vuelve necesario establecer un mayor cuidado y protección en estos ecosistemas.

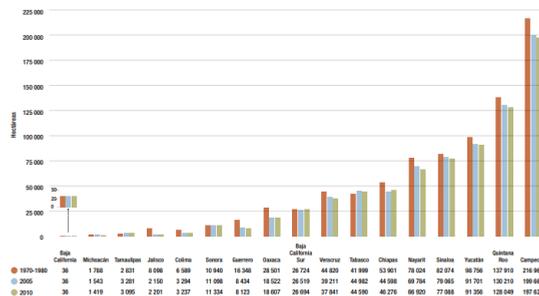
---

<sup>4</sup> Los sitios Ramsar son los humedales más importantes, por lo que es necesario adoptar medidas necesarias para manejarlos adecuada y eficazmente, para ser considerado sitio Ramsar se deben cumplir criterios específicos para demostrar su importancia a nivel internacional.

## 4.1 Manglares de Campeche

México es uno de los países con mayor proporción de manglares, para el presente estudio se tomará a consideración la extensión más grande del país, es decir Campeche. La gráfica 5 muestra la extensión de este ecosistema en los años 1970-1990, 2005 y 2010, fechas donde se ha realizado la extensión de estos ecosistemas por parte de la CONABIO.

Gráfica 5. Superficie de manglar por estado y por fechas de evaluación (Ressl, 2013)



Fuente: “Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2° y 3era etapas”. Dr. Rainer Ressl, 2013

La cantidad de superficie del ecosistema en Campeche vuelve más relevante a este estado sobre los demás. Para el año de 2013 se registraron un total de 190 mil hectáreas, la mayor área en el país.

Se han identificado 81 sitios de manglar, 10 de los cuales corresponden al estado de Campeche, Atasta Norte, Boca del río Chumpan, Isla Aguada- Boca de Pargos, Peténes, Pom – Atasta, Río Champotón, Sabacuy – Chen Kan, San Pedro – Nuevo Campechito y Celestún, este último compartido con el estado de Yucatán (Página de internet de CONABIO)

Estos ecosistemas, además de la protección que brindan contra los efectos del cambio climático y los servicios ecosistémicos que se han mencionado, brinda un lugar de recreación y de turismo, siendo una fuente de ingreso para las localidades que pueden aprovechar este beneficios atrayendo a los turistas para conocer la belleza de estos ecosistemas.

Como se ha mencionado estos ecosistemas son importantes tanto económica como biológicamente, pero más importante, son necesarios para hacer frente a los nuevos retos que implica el cambio climático, por lo que es necesario generar una conciencia y un buen mantenimiento y cuidado de estos ecosistemas.

#### ***4.2 Riesgos del ecosistema***

El riesgo de estos ecosistemas es latente por su ubicación entre la tierra y el mar, son ecosistemas que se ven afectados por la contaminación de los océanos y la expansión de las ciudades humanas, "Desde 1980, casi el 20% del área cubierta por manglares ha desaparecido, al igual que el 29% del área total cubierta por zosteras marinas (un género de plantas acuáticas) y una tasa similar ha sido estimada para las marismas de marea", (Muñoz, 2013)

La pérdida de estos ecosistemas no sólo es preocupante por la absorción de Carbono azul, también "La degradación y desaparición de los organismos marinos que secuestran el CO<sub>2</sub> resulta asimismo amenazadora. Por un lado, se reduce la capacidad del planeta de mantener dicho gas de efecto

invernadero (GEI). Por otro lado, el CO<sub>2</sub> retenido se libera y contribuye a la aceleración del cambio climático y su impacto.”(Muñoz, 2013). La pérdida de estos ecosistemas genera la liberación del CO<sub>2</sub> retenido en el suelo de estos, así mismo se pierde la protección que brinda contra los efectos del cambio climático.

Estos ecosistemas se ven muy afectados por “...la urbanización costera; la contaminación de los cuerpos de agua; los cambios en la cobertura y uso de suelo asociados a la acuicultura, ganadería y agricultura. Así como la falta de sedimentos suspendidos; el exceso de nutrientes; el estrangulamiento de las costas; la construcción de infraestructura portuaria; el turismo; el incremento del nivel medio del mar y la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos como los huracanes.” (NOTIMEX, 2017), estas son las principales afectaciones que sufren estos ecosistemas y lo que está ocasionando una pérdida de su bienestar ambiental.

Algunas de las actividades del ser humano afectan en mayor medida a la expansión, “Muchas áreas de manglares en este país han sido deforestadas a lo largo de los años para ceder paso a la agricultura, al ganado, a la acuicultura, a la urbanización y al desarrollo turístico. También se han seguido utilizando para sacar madera y leña...” (Lareserva.com, 2008).

Estos ecosistemas son necesarios para la economía de las localidades, pero también para la economía mundial, dada la

protección que brindan al ser humano contra huracanes y efectos del cambio climático, así como su nivel de absorción de CO<sub>2</sub>, que de seguir en aumento generara mayores problemas para las actividades del ser humano y la vida de todas las especies en el planeta.

#### ***4.3 Medidas de protección***

Los riesgos que presenta el ecosistema hacen necesario que existan protecciones adecuadas que permitan cuidar, conservar y aumentar el ecosistema, la Convención de Ramsar representa el principal marco mundial para la cooperación intergubernamental en las cuestiones de los humedales.

Obligaciones de las partes:

- Fomentar la conservación de los humedales listados
- Establecer medidas para la custodia de dichos humedales
- Fomentar la investigación
- Informarle a la Convención cualquier modificación de las condiciones ecológicas del humedal
- Celebrar consultas sobre el cumplimiento de las obligaciones de las partes

La convención de Ramsar busca la cooperación de los países para la protección y recuperación de estos ecosistemas marino-costeros.

Para el caso específico de México, existen leyes generales, que regulan el aprovechamiento, aseguran o procurando la

protección de los manglares, así mismo existen normas y programas que derivan de estas leyes:

- La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA)

En la SECCION V correspondiente a la Evaluación del Impacto Ambiental se habla de obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales en el sentido de evaluación de alteración por obras y actividades que puedan causar un desequilibrio ambiental o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas.

- Ley General de Vida Silvestre (LGVS)

En el TÍTULO VI de CONSERVACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE, CAPÍTULO I de ESPECIES Y POBLACIONES EN RIESGO Y PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN, artículo 60 TER dice que queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los

corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos.

Por otra parte, en el CAPÍTULO V de APROVECHAMIENTO NO EXTRACTIVO en el artículo 99 habla del aprovechamiento no extractivo de vida silvestre requiere una autorización previa de la Secretaría, que se otorgará de conformidad con las disposiciones establecidas en el presente capítulo, para garantizar el bienestar de los ejemplares de especies silvestres, la continuidad de sus poblaciones y la conservación de sus hábitats.

- Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo

En la SECCION V correspondiente a la REGULACIÓN AMBIENTAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS, en el artículo 46 que dice que en el Estado, el desarrollo urbano se sujetará a los siguientes lineamientos ambientales: a la protección, preservación y restauración de las selvas, bosques, manglares, humedales, sistemas costeros y áreas naturales protegidas evitando el asentamiento del desarrollo urbano en aquéllas.

Las leyes permite que los ecosistemas yengan un mejor estado y que sea posible su bienestar ambiental. Estas leyes han sido parte principal para la generación de normas y programas que aumentan la protección de los ecosistemas:

- NOM 022 -2003 –SEMARNAT

Establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.

- NOM 059 - 2010 –SEMARNAT

Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo.

- Programa de Ordenamiento Ecológico

- Corredor Cancún Tulúm
- Isla Mujeres
- Laguna de Bacalar
- Municipio de Benito Juárez
- Municipio de Cozumel
- Zona Costera de la Reserva de la Biosfera
- Costa Maya
- Municipio Solidaridad

- México protege sus manglares –PROFEPA

- Programa institucional para protección, conservación, restauración y reforestación del manglar –Secretaría de Marina

- Programa de manejo: Área de protección de flora y fauna. Manglares de Nichupté –SEMARNAT/CONANP

Las acciones de estos programas, normas y leyes favorecen al aprovechamiento adecuado del ecosistema, logrando que su recuperación sea adecuada y que siga brindando todos los servicios ambientales que se han mencionado, en particular la captura de carbono azul.

## **5. Valoración económica ambiental**

La valoración económica ambiental o VEA es el proceso de análisis de bienes o servicios ambientales que no tienen un precio en el mercado, de esta manera se genera un valor monetario con respecto a la valoración, esto puede favorecer a su protección y su mantenimiento, dado que al generar un valor monetario se pueden generar multas por el daño causado o por la explotación del ecosistema. Es decir: “La VEA se refiere a asignar una medida monetaria a los bienes y servicios ambientales de acuerdo a su capacidad de generar utilidad o satisfacer necesidades de los consumidores o beneficiarios de los bienes” (Azqueta, Alviar, Domínguez, & O’Ryan, 2007)

El VEA se obtiene mediante la disposición a pagar (DAP) o willingness to pay (WTP), de los individuos, las cuales son un reflejo de las preferencias de los individuos con respecto de un bien o servicio que este en el análisis, para este caso la captura de carbono, también existe la Disposición a aceptar (DAP) o willingness to accept (WTA), que es la disposición de los individuos a pagar o recibir un pago con tal de mantener el mismo nivel de utilidad que le proporciona el bien o servicio, con el DAP observamos las preferencias reveladas de los individuos.

Existen diferentes formas para realizar esta valoración, se puede preguntar directamente a las personas con base en

diferentes cuestionarios para así conocer sus preferencias o se puede hacer indirectamente y así inferir las mismas.

En la VEA se pueden observar métodos directos e indirectos para realizar la medición del valor del bien o servicio ambiental. Que se basan en la demanda que tiene el servicio o bien. Entre los métodos directos encontramos: Valoración contingente y Experimentos de elección. Mientras que en los indirectos: Costo de viaje y Precios hedónicos. (Cristeche, Penna, 2008)

También existen otros métodos que no se estiman con la demanda: Dosis-respuesta, Transferencia de beneficios o meta-análisis, Costo de reemplazo, Función de producción Costo de oportunidad, etc. (Cristeche, Penna, 2008)

Con la VEA se busca "...medir las preferencias de los individuos (curva de demanda) ante cambios en el medio ambiente y sus riesgos o beneficios para la vida y salud, por lo que la valoración económica no niega, ni excluye el valor intrínseco de los ecosistemas y sus servicios ambientales, sino reconoce las dos formas de valor" (Pearce, 1993). Y de esta manera poder asignar un valor monetario no exacto, que nos sirve de base para toma de decisiones fundamentadas, principalmente con respecto a política ambiental.

Es importante conocer el valor monetario de diferentes servicios ecosistémicos que no poseen un valor en el mercado, con la VEA se puede establecer dicho valor que permite ayuda en la toma de decisiones en conservación, protección y manejo

adecuado, ya que el hecho de que tenga un precio genera una preocupación para cuidar el ecosistema, dado que se puede analizar los diferentes servicios ecosistémicos y llegar a un Valor económico total o VET, que le daría un valor aproximado a todo el ecosistema.

### ***5.1 Transferencia de beneficios***

Para el presente trabajo se considera la Transferencia de beneficios para asignar un valor a la captura de carbono en los manglares de Campeche. Este método permite realizar una evaluación y valoración de los servicios ecosistémicos de un lugar cuando las investigaciones primarias no se pueden realizar adecuadamente.

El método de transferencia de beneficio o meta-análisis “Es un método cuantitativo que permite, a partir de la combinación estadística de resultados de diferentes estudios, producir inferencias más precisas que los estudios individuales y explorar la heterogeneidad de los resultados entre los diferentes análisis” (Borenstein, *et al.*, 2009; Saez *et al.*, 2001; Schwartz, 1994).

La transferencia de beneficios constituye a una primera aproximación del valor monetario del servicio ambiental, esta inferencia sirve para la toma de decisiones sobre los beneficios y costos sociales sobre estos servicios.

Esta metodología permite la síntesis de estudios realizados sobre el mismo ecosistema, pero de diferentes ubicaciones,

permitiendo observar las tendencias existentes entre los mismos ecosistemas, así se pueden evitar sesgos en la estimación de los efectos, así mismo, este método permite resumir la evidencia empírica y reduce la probabilidad de que el resultado y conclusiones sea al azar o erróneos.

Es decir, el método consiste en la “adaptación de los valores monetarios de bienes y servicios ecosistémicos estimados en una investigación original, a un contexto similar, donde se desconoce el valor” (Rosenberger y Loomis, 2003; Osorio y Correa, 2004)

“El estimador del efecto combinado que se obtiene del meta-análisis se calcula como una media ponderada de la magnitud de los efectos encontrados en cada estudio, donde los pesos se asignan teniendo en cuenta la precisión (varianza o error estándar) de los resultados de cada trabajo. En este sentido, los estudios con mayor precisión tienen una mayor contribución en el estimador combinado” (Borenstein, *et al.*, 2009). Este estimador se obtiene a partir del promedio ponderado de los efectos de cada estudio:

$$M = \frac{\sum_{t=1}^k W_i Y_i}{\sum_{t=1}^k W_i}$$

Donde:

$Y_i$  es el tamaño del efecto reportado en cada estudio y  $W_i$  es la

ponderación asignada a cada estudio (el cálculo inverso de la varianza  $W_i = \frac{1}{VY_i}$ )

El error estándar del estimador se puede calcular como:

$$SE_M = \sqrt{Vm}$$

Por lo que el intervalo de confianza quedaría:

$$LL_M = M - 1.96 * SE_M$$

$$UL_M = M + 1.96 * SE_M$$

Con las ecuaciones anteriores se obtiene la estimación del valor monetario del servicio analizado, sin embargo los estudios presentan algunos sesgos o errores en los datos por lo que se requiere homogeneizar la información (moneda, año base) para que los resultados salgan de la manera adecuada, así como revisar la literatura que sea similar, es decir que se esté analizando el mismo servicio ambiental del mismo ecosistema, para que no existan problemas que lleguen a resultados erróneos o que la información este sesgada.

Las limitaciones de los estudios primarios pueden generar un sesgo en los resultados, los errores surgen cuando el bien o servicio estudiado difiere en características físicas como en las características socioeconómicas, la calidad de los estudios no es óptima, se cuenta con una cantidad reducida de estudios, la diferencia de los métodos de valoración en los estudios, etc.

“La transferencia de funciones es considerada una mejor opción que la transferencia de valores, ya que permite controlar las diferencias en el sitio de estudio y el sitio de intervención, y por lo tanto arroja valores más ajustados al contexto.” (Ruiz-Agudelo et al, 2011). Por lo que se utilizará la transferencia de funciones de análisis de meta-regresión para la valoración del servicio ambiental.

“Una meta-regresión es la síntesis estadística de los resultados de un número de estudios, siempre y cuando estos estudios se realicen de una forma sistemática” (Borenstein et al., 2009). Con este análisis se puede sintetizar la literatura de un tema en particular, en este caso el servicio ambiental de la captura de carbono. El modelo estimado de meta-análisis para predecir valores estimados a través del tiempo y del espacio, por lo que es de gran utilidad para realizar un análisis de estudios de diferentes regiones y en diferentes tiempos, sólo con el común de la valoración del servicio de captura de carbono en el ecosistema de manglares.

## ***5.2 Valoración del servicio de absorción de carbono***

Como se menciona anteriormente, la VEA tiene la finalidad de generar un valor monetario que permite realizar medidas de protección para los ecosistemas, para la presente valoración se realizó un meta-análisis que genere un valor monetario, para ello se utilizó una base de treinta y tres estudios, donde se obtuvieron valores monetarios calculados para diferentes manglares de distintos países, como se observa en la tabla 2.

De la misma manera en la tabla 2 se observan los precios en dólares por hectárea con año base en 2015, de los diferentes estudios que permitieron realizar el meta análisis.

De la tabla 2 se puede concluir que el precio promedio es de 532.56 dólares por hectárea en precios de 2015, siendo el mayor precio de 4, 690.28 y el menor de 3.91.

Se consideraron treinta y tres estudios, siendo la mayor parte de los estudios del continente americano, con 16 ubicaciones de diferentes países, mientras que de Asia y de África fueron 8 de cada continente y un estudio de todo el planeta.

En el caso del método de valoración predominaron seis tipos diferentes: costo beneficio, costo de reemplazo, costos evitados, experimentos de elección, precios de mercado y transferencia de beneficios. La metodología más utilizada fue precio de mercado con 17 estudios, mientras que la metodología de experimentos de elección es el menos utilizado con 1 estudio únicamente.

Para el caso de la biomasa se observa un promedio de 30,851.2, con 26 observaciones de los treinta y tres estudios, con un valor mínimo de 29.49 ton/ha y un valor máximo de 7,700,000 ton/ha.

La variable especies totales muestra la cantidad de especies que existen en el ecosistema por cada ubicación y en todos los estudios, la mayor cantidad de especies es de 70, en el caso

de un estudio a nivel mundial y el menor es de 2 especies para la localidad Muthurajawela Marsh en Sri Lanka.

El almacenamiento de carbono se refiere a la capacidad del ecosistema en guardar CO<sub>2</sub> en su biomasa y en los suelos del ecosistema, aquí se observa un promedio de almacenamiento de 1,326,538 mg/día de los estudios obtenidos con un mínimo de 185 mg/día y un máximo de 27,900,000 mg/día.

En el caso de la fijación anual de carbono tiene un valor promedio de 11.75 y se observa un valor máximo de 126.9 y un mínimo de 1.39.

Las variables presentes en la tabla 2 se utilizaron para estimar el valor monetario de la captura de carbono en los manglares de Campeche, realizando los siguientes meta análisis.

Tabla 2: Base de datos precio US/ha de captura de carbono en el ecosistema de manglar en Campeche

| Autor  | Método de valoración        | Ubicación   | Año  | Precio US/ha | Fijación de C/HA/y | Biomasa (ton/ha) | Especies totales | Almacenamiento de carbono mg/día |
|--|-----------------------------|---|------|--------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------------|
| Sathirathai  | Precio de mercado           | Surat Thani, Sur de Tailandia.                      | 1998 | 15.63        | 15.1               | 45.24            | 4                | 24,235                           |
| Sathirathai  | Costo beneficio             | Surat Thani, Sur de Tailandia.                      | 1998 | 98.24        | 15.1               | 45.24            | 4                | 24,235                           |
| IUCN   | Costos evitados             | Muthurajawela Marsh, Sri Lanka                      | 2003 | 11.94        | 11.5               | 75               | 2                | 1,500                            |
| Sanjurjo, Welsh  | Precio de mercado           | Laguna de términos, Campeche                        | 2005 | 1079.10      | 10                 | 82553            | 4                | 825,530.0                        |
| IUCN   | Transferencia de Beneficios | Panama lagoon, Sri Lanka                            | 2007 | 18.79        | 11.5               | 10000            | 4                | 143,750.0                        |
| Alcolado   | Costo beneficio             | Sabana-Camagüey, Cuba                               | 2007 | 549.74       | 1.5                | 74848.4          | 5                | 112,272.6                        |
| De La Peña, Augusto, De la Peña                              | Precio de mercado           | Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia             | 2010 | 461.14       | 126.9              | 16394            | 5                | 562,313.5                        |
| Iturralde  | Precio de mercado           | Reserva Ecológica Manglares Churute, Ecuador        | 2010 | 88.04        | 10                 | 49383            | 5                | 1,400.0                          |
| Barbier, Hacker, Kennedy, Koch, Stier, Silliman              | Transferencia de Beneficios | Manglares en el mundo                               | 2011 | 31.42        | 5                  | 33043.5          | 70               | 165,217.4                        |
| Benitez, Samarron, Ben-Arie, Yazmin                          | Precio de mercado           | Campeche, México                                    | 2011 | 13.39        | 2.21               | 196363           | 11               | 2,029,084.0                      |
| Ponce-Díaz, Gómez-Cabrera, Cruz-Agüero, Almendarez-Hernández | Transferencia de Beneficios | Bahía Magdalena, Baja California Sur                | 2012 | 8.24         |                    | 29.49            | 3                |                                  |
| van beukering, Wolfs   | Precio de mercado           | Bonaire Island, Caribbean                           | 2012 | 507.45       | 1.39               | 2700             | 3                | 8330                             |
| Pascal, IUCN   | Precio de mercado           | Crab Bay, Vanuatu                                   | 2013 | 3103.88      | 6                  | 135.5            | 4                | 103195                           |
| Pascal, IUCN   | Precio de mercado           | Eratap, Vanuatu                                     | 2013 | 3235.28      | 6                  | 31.2             | 4                | 23815                            |
| Zárate, Higinio  | Precio de mercado           | El subsistema de áreas Marinas Protegidas, Colombia | 2014 | 5.90         | 24                 | 4585.74          | 12               | 3351072                          |

|  |                             |  |      |         |       |         |    |          |
|--|-----------------------------|--|------|---------|-------|---------|----|----------|
| UN-REDD, UNEP  | Costo de reemplazo          | Saloum Delta, Senegal                      | 2014 | 427.72  | 8.5   | 10000   | 8  | 674      |
| UN-REDD, UNEP  | Costo de reemplazo          | Ndougou Lagoon, Gabon Sur                  | 2014 | 1125.56 | 4.8   | 488     | 8  | 539      |
| UN-REDD, UNEP  | Costo de reemplazo          | Mondah Bay, Gabon Norte                    | 2014 | 84.41   | 11.80 | 37      | 8  | 1063     |
| UN-REDD, UNEP  | Costo de reemplazo          | St Johns, Liberia                          | 2014 | 96.91   | 10.1  | 15000   | 8  | 949      |
| Ajortina, Agardy, Lau, Agbogah, Gormey                           | Transferencia de Beneficios | Ghana, África                              | 2014 | 51.00   | 8.9   | 14000   | 6  | 185      |
| Masike   | Precio de mercado           | Limpopo River Estuary, Mozambique          | 2014 | 9.67    | 9.125 | 360     | 5  | 6353.372 |
| Duque, Gomes, Fernandez, Moura                                   | Precio de mercado           | Guaratiba, Sureste de Brasil               | 2014 | 82.89   | 2.35  | 3356    | 3  | 3356     |
| Arguedas-Marín, Mercado, Cifuentes                               | Precio de mercado           | Golfo de Nicoya, Costa Rica                | 2014 | 37.98   | 5     | 13450   | 4  | 3523.2   |
| Arguedas-Marín, Mercado, Cifuentes                               | Precio de mercado           | Isla de Chira, Golfo de Nicoya, Costa Rica | 2014 | 82.89   | 2.35  | 7575    | 4  | 3523.2   |
| Fundación MarViva  | Precio de mercado           | Manglares de David, Panamá                 | 2014 | 7.42    | 5.6   | 26780   | 11 | 10500    |
| Fundación MarViva  | Precio de mercado           | Golfo de Montijo, Panamá                   | 2014 | 3.91    | 5.6   | 25478   | 11 | 5700     |
| Quoc Vo, Kuenzer, Oppelt   | Transferencia de Beneficios | Ca Mau, Vietnam                            | 2015 | 24.00   | 25.85 | 10771.4 | 3  | 73994    |
| Huxham, Emerton, Kairo, Munyi, Abdirizak, Muriuki, Nunan, Briers | Precio de mercado           | Sureste de la costa de Kenya               | 2015 | 22.17   | 6.85  | 534     | 9  | 38127.1  |
| Carbal, Muñoz, Solar   | Costos evitados             | Ciénaga de la Virgen, Cartagena-Colombia   | 2015 | 4690.28 | 14.27 | 775     | 3  | 2654.22  |
| Malik, Fensholt, Mertz   | Precio de mercado           | Takalar Sulawesi, Indonesia                | 2015 | 1100.00 | 1.5   | 1719    | 10 | 900      |
| Solá   | Costo beneficio             | Guayas, Ecuador                            | 2016 | 403.05  | 1.7   | 121377  | 5  | 937      |
| Muñiz, Muñiz, Suarez, Chávez                                     | Transferencia de Beneficios | Tajamar, Cancún, Quintana Roo              | 2018 | 50.86   | 1.7   | 52      | 4  | 5200     |
| Akanni, Onwuteaka, Uwagbae, Mulwa, Elegbede                      | Experimento de elección     | Niger Delta, Nigeria                       | 2018 | 45.65   | 3.625 | 7700000 | 6  | 27912500 |

Fuente: Elaboración propia





Retirando los valores que sobre pasan los 1000 dólares por hectárea se obtienen dos valores, con efectos fijos se obtienen 157.67 dólares por hectárea, mientras que con efectos aleatorios se obtiene 111.61 dólares por hectárea, estos valores nos sirven para estimar el valor de la captura de carbono en los manglares.

Para la VEA se tomará el mejor valor de 157.67 dólares por hectárea, del meta-análisis con efectos fijos, con el supuesto de que en los estudios no existe heterogeneidad, dado que se está evaluando el mismo servicio ecosistémico en el mismo ecosistema, manglares, por lo que se entiende que no debe existir diferencias, en el tipo de estudio y la captura de CO2 por el ecosistema.

Para robustecer las estimaciones anteriores se realizó una meta regresión, los resultados se sintetizan en la tabla 3:

Tabla 3. Meta regresión de la captura de carbono en manglares de Campeche

|  |          |           |       |       |               |           |
|--|----------|-----------|-------|-------|---------------|-----------|
| Meta-regressiønn                               |          |           |       |       | Number of obs | 25        |
| REML estimate of between-study variance        |          |           |       |       | tau2          | 20561     |
| % residual variation due to heterogeneity      |          |           |       |       | I-squared_res | 1         |
| Proportion of between-study variance explained |          |           |       |       | Adj R-squared | 0.1792    |
| Joint test for all covariates                  |          |           |       |       | Model F(6,18) | 1.84      |
| With Knapp-Hartung modification                |          |           |       |       | Prob > F      | 0.1482    |
|  |          |           |       |       |               |           |
| p_val  | Coef.    | Std. Err. | t     | P>t   | [95% Conf.    | Interval] |
| mv   | 34.89191 | 26.3109   | 1.33  | 0.201 | -20.38523     | 90.16905  |
| COY  | 3.36058  | 1.365758  | 2.46  | 0.024 | 0.4912311     | 6.229935  |
| bio  | .000272  | .0001563  | 1.74  | 0.099 | -0.0000565    | 0.0006004 |
| esp  | -2.92733 | 2.435898  | -1.20 | 0.245 | -8.044961     | 2.190304  |
| CO   | -.000077 | .000043   | -1.80 | 0.089 | -0.0001678    | 0.000013  |
| U  | -45.3793 | 24.8038   | -1.83 | 0.084 | -97.49019     | 6.731529  |
| _cons  | 78.6833  | 123.0959  | 0.64  | 0.531 | -179.9316     | 337.2981  |

Fuente: Elaboración propia

La heterogeneidad del modelo no permite realizar una meta regresión adecuada, dado que se presenta al 100%, generando una diferencia entre los datos lo que no permite explicar la interacción de los datos en los modelos, es decir que las variables independientes no permiten explicar adecuadamente a la variable dependiente.

Para este modelo se tomaron las variables independientes de métodos de valoración (mv), fijación de carbono anual CO<sub>2</sub>/y/ha (COY), biomasa ton/ha (bio), especies totales (esp), almacenamiento de carbono mg/día (CO) y la ubicación (U), para explicar la variable de precio actualizado (p\_val).

Donde el método de valoración y la ubicación fueron numerados de la siguiente forma, para lograr una explicación mejor de los datos:

Tabla 4. Codificación de variables no numéricas.

| Método de valoración       |   | Ubicación |   |
|----------------------------|---|-----------|---|
| Costo y beneficio          | 1 | América   | 1 |
| Costo de reemplazo         | 2 | Europa    | 2 |
| Costos evitados            | 3 | África    | 3 |
| Experimentos de elección   | 4 | Asia      | 4 |
| Precio de mercado          | 5 | Oceanía   | 5 |
| Transferencia de beneficio | 6 |           |   |

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo las variables escogidas para la VEA son insuficientes para realizar una meta regresión y poder explicar el precio del servicio ecosistémico, dada la heterogeneidad que existe en el modelo que no permite explicar de la manera correcta.

La meta regresión no permite explicar un precio adecuado para el servicio ecosistémicos, por lo que se tomará el valor del meta-análisis con efectos fijos de 157.67 dólares por hectárea.

Los diferentes estudios analizados nos ayudan a estimar un valor monetario para el estudio, sin embargo el presente análisis muestra un problema de heterogeneidad, demostrando que aún con la valoración del mismo servicio ecosistémico en el mismo ecosistema existen diferencias, sea por la cantidad de especies que existen, la capacidad de almacenamiento, la biomasa del lugar o la especie dominante del lugar. Existen diferencias entre los mismos ecosistemas que influyen en los servicios ecosistémicos de los diferentes lugares estudiados.

Una de las limitaciones del meta análisis es el sesgo que se genera por la diferencia de los estudios, como se acaba de observar, el presente estudio es limitado por la diferencia entre los estudios, sin embargo se considera como una aproximación y se obtiene un valor para el servicio ecosistémico.

A continuación se presenta la tabla 5, donde se observan los resultados de los diferentes meta análisis realizados en el estudio.

Tabla 5. Resultados de los meta análisis

| Parámetro                | Con todos los valores |                   | Retirando valores mayores a 1000 |                   |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|
|                          | Efectos aleatorios    | Efectos fijos     | Efectos aleatorios               | Efectos fijos     |
| Valor                    | 548.921               | 376.494           | 111.607                          | 157.672           |
| Intervalo de confianza   | [218.097-879.745]     | [376.413-376.576] | [27.604-195.609]                 | [157.585-157.759] |
| Prueba de heterogeneidad |                       |                   |                                  |                   |

|        |             |             |            |            |
|--------|-------------|-------------|------------|------------|
| t2     | 470,000,000 | 470,000,000 | 20,000,000 | 20,000,000 |
| Q-stat | 880,000     | 9,086.60    | 44,000     | 3,559.75   |
| I2     | 100         | 100         | 100        | 100        |
| N      | 30          | 30          | 23         | 23         |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 presenta los valores obtenidos de los diferentes meta análisis realizados, los intervalos de confianza, la varianza entre los estudios asociada a la estimación (t2), el estadístico Q (Q-Stat) o la presencia de evidencia estadística de heterogeneidad, la variación observada (I2) y la cantidad de estudios utilizados en el análisis (N). La tabla 5 nos muestra los resultados obtenidos de los diferentes meta análisis presentes en el estudio.

## **6. Conclusiones**

Todos los ecosistemas brindan diferentes servicios ecosistémicos que benefician a los seres vivos, para el presente estudio se hablo de la captura de carbono como un servicio de suma importancia, dado que gran parte de las actividades que realiza el ser humano generan un incremento en los gases de efecto invernadero, influyendo en el aumento del cambio climático, así como sus efectos perjudiciales en las sociedades, por ello actualmente se enfrenta un gran reto por reducir o mitigar los efectos de esta externalidad, la captura de carbono es esencial para hacer frente al cambio climático y los ecosistemas marino-costero son de suma importancia en esta actividad.

El generar un valor monetario permite tener un enfoque diferente de los bienes y servicios proporcionados por los diferentes ecosistemas, ya que se puede crear un mercado ficticio donde tendrán un precio para que se puedan crear políticas que protejan a los ecosistemas o se generen tecnologías capaces de sustituir los servicios brindados por los ecosistemas.

Con los resultados observados en el capítulo anterior se logra estimar el valor monetario del servicio ecosistémico de captura de carbono en los manglares que es de 157.67 dólares por hectárea, este precio se puede utilizar para generar medidas de protección y cuidado para el ecosistema, al igual que

generar cargos por daños al ecosistema. Así mismo, permite generar una conciencia entre los pobladores y consumidores para que deseen conservar el ecosistema por los beneficios que brinda y evitar gastos en el futuro por no tener el servicio ecosistémico o ver la reducción de los mismos.

El valor obtenido permite ver la importancia de la captura de carbono y el costo de no tenerla o sufrir una reducción de su capacidad por la calidad del ecosistema.

Los ecosistemas de manglar son de gran importancia para enfrentar los efectos del cambio climático, además de tener una mayor captura de carbono a comparación de otros ecosistemas, también contribuyen como barrera de protección ante el incremento de las tormentas tropicales, que se ha observado un incremento en su intensidad como parte de los efectos del cambio climático.

México es uno de los países con una gran cantidad del ecosistema, que se han visto afectados por la ampliación de las zonas urbanas a su alrededor, lo que ha generado una pérdida del ecosistema y una liberación de CO<sub>2</sub> retenido en los suelos del ecosistema.

El cambio climático es una externalidad negativa que requiere la atención y participación de todos los países, los ecosistemas de manglar y la captura de carbono azul son un claves para lograr la reducción de este problema y es necesario este valor para generar las políticas correctas, así como las sanciones

pertinentes, para generar una conciencia sobre el valor, no monetario, del ecosistema y las implicaciones que tendrá el hecho de perder este ecosistema y los servicios ecosistémicos que brinda.

Como se ha mencionado los beneficios del ecosistema de manglar, no es únicamente la captura de carbono azul, brinda diferentes servicios ecosistémicos que contribuyen a la economía de las sociedades que se encuentran cerca de él, también es una zona de gran biodiversidad, las cuales son parte de diferentes cadenas tróficas. Por tanto, estos ecosistemas deben cuidarse y procurarse para beneficio de toda la humanidad.

## **Bibliografía**

- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O’Ryan, R. (2007). Introducción a la economía ambiental. Madrid: Mc Graw Hill.
- Brenes S., Guisselle, “Carbono azul, una iniciativa innovadora”, 2014.
- Cambio climático Global, “Causas del cambio climático”, 2013, <https://cambioclimaticoglobal.com/causas>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, “La importancia del Carbono Azul”, 2017
- Comisión para la Cooperación Ambiental, “El carbono azul en América del Norte”, 2014, Montreal, 4pp
- CONABIO, “Manglares de México”, 2016, <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/manglares.html>
- Cristeche, E., Penna, J., “Métodos de valoración económica de los servicios ambientales”, 2008.
- Ecoticias, “Manglares de Campeche en riesgo de desaparecer”, 2014, <https://www.ecoticias.com/eco-america/119064/Manglares-de-Campeche-en-riesgo-de-desaparecer>
- Fernández Muerza, A, Consumer, “Carbono azul, el poder de los océanos contra el cambio climático”, 2013
- Fourqurean J. W., et al., “Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock”, Nature Geoscience, 2012

- GreenFacts, “Atmosfera: Impactos sobre el balance radiativo global”, 2007
- Herrera Silveira, J. A., A. R. Camacho, E. Pech, M. Pech, J. Ramírez, C. Teutli Hernández (2016), “Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México”, Terra Latinoamericana, 34: 61-72.
- Lareserva.com, “Manglares de México”, 2008. [http://www.lareserva.com/home/manglares\\_mexico\\_natural\\_eza](http://www.lareserva.com/home/manglares_mexico_natural_eza)
- Lorenzo Rosenzweig, director ejecutivo del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AC, Cumbre para la biodiversidad, COP13 2016.
- Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Ley General de Vida Silvestre
- Muñoz, María J., “Blue carbon, propuestas para preservar el carbono azul”, Factor CO2, 2013, <http://www.blogfactorco2.com/2013/05/blue-carbon-propuestas-para-preservar.html>
- Nellemann, C., E. Corcoran, C.M. Duarte, L. Valdés, C. De Young, L., Fonseca, G., Grimsditch. (Eds), “Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal”, 2009.

- NOTIMEX, “Ecosistemas de carbono azul, los grandes aliados contra el cambio climático”, 2017
- Ortiz, D., “Impacto ambiental del alcantarillado y tratamiento de aguas residuales”, Boletín de Dinámica de Sistemas, <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1214f.htm>
- Osorio, J. D. y Correa, F., “Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación” 2004. Semestre Económico Vol 13 (Enero-Junio) P 159-193.
- Pearce, D. (1993). Economic Values and the Natural World. London: The MIT Press Cambridge, Massachusetts.
- Pendleton et al., “Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems”, 2012.
- Pértega, S., Pita, S., “Revisiones sistemáticas y metaanálisis (II)”, 2005
- Rainer R., “Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2° y 3era etapas”, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2013
- Ramsar.org revisado el 16 de octubre de 2016. <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-su-misi%C3%B3n>
- Rosenberger, R.S. y J.B. Loomis. “A Primer on Nonmarket Valuation. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.” 2003.

- Benefit transfer. In: Champ, P. A., Boyle, K.J., Brown, T.C. (Eds.),
- Ruiz-Agudelo, C., Bello, M., Londoño-Murcia, H., Alterio, J., Urbina-Cardona, A., Buitrago, J., Gualdrón-Duarte, M., Olaya-Rodríguez, C., Cadena-Vargas, M., Zárate, H., Polanco, F., Urciullo, F., Arjona Hincapie y Rodríguez Mahecha., “Protocolo para la valoración económica de los servicios ecosistémicos en los Andes colombianos, a través del método de transferencia de beneficios. Reflexiones sobre el Capital Natural de Colombia No. 1”, 2011. Conservación Internacional Colombia. Bogotá, D.C. 53 pp.
  - SEMARNAT, “La importancia del Carbono Azul”, 2017
  - Sirvent, G., “El cambio climático. Situación actual y perspectiva económica del problema”, 2011, Documento Marco. IEEE.
  - The Blue Carbon Initiative, “Mitigating climate change through coastal ecosystem management”
  - “The Blue Carbon Initiative”, página de internet: <http://thebluecarboninitiative.org/>, 2018.
  - Vázquez, E., “Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones”, EcoSiglos, 2017, <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
  - Yude Pan, et al., “A Large and Persistent Carbon Sink in the World’s Forests”, Science, 2011.