



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**VALORACIÓN MONETARIA DE UN ARRECIFE CORALINO INTEGRANDO SU
ESTADO DE CONSERVACIÓN: AKUMAL, QUINTANA ROO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:
MIRIAM GUERRERO JACINTO

TUTORES PRINCIPALES:

DR. JOAQUÍN RODRIGO GARZA PÉREZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

DRA. MARÍA ANDREA SÁENZ ARROYO DE LOS COBOS
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD, COLEGIO DE LA FRONTERA SUR
(ECOSUR)

COMITÉ TUTOR:

DR. RODOLFO RIOJA NIETO
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

DR. DANIEL ALFREDO REVOLLO FERNÁNDEZ
DEPARTAMENTO ECONOMÍA, UAM AZCAPOTZALCO

DR. HÉCTOR REYES BONILLA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA, UABCS.

SISAL, YUCATÁN, MÉXICO, JUNIO, 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**VALORACIÓN MONETARIA DE UN ARRECIFE CORALINO INTEGRANDO SU
ESTADO DE CONSERVACIÓN: AKUMAL, QUINTANA ROO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:
MIRIAM GUERRERO JACINTO

TUTORES PRINCIPALES:

DR. JOAQUÍN RODRIGO GARZA PÉREZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

DRA. MARÍA ANDREA SÁENZ ARROYO DE LOS COBOS
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD, COLEGIO DE LA FRONTERA SUR
(ECOSUR)

COMITÉ TUTOR:

DR. RODOLFO RIOJA NIETO
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

DR. DANIEL ALFREDO REVOLLO FERNÁNDEZ
DEPARTAMENTO ECONOMÍA, UAM AZCAPOTZALCO

DR. HÉCTOR REYES BONILLA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA, UABCS.

SISAL, YUCATÁN, MÉXICO, 2021.

Datos del Comité Tutor

Presidente	M. Andrea Sáenz Arroyo de los Cobos	Departamento de Conservación de la Biodiversidad, Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
Secretario	Joaquín Rodrigo Garza Pérez	Facultad de Ciencias, UNAM
Vocal	Rodolfo Rioja Nieto	Facultad de Ciencias, UNAM
Suplente	Daniel Alfredo Revollo Fernández	Departamento Economía, UAM Azcapotzalco
Suplente	Héctor Reyes Bonilla	Departamento Académico de Biología Marina, UABCS.

Dedicatoria

A mis padres que han sido el pilar en todo el transcurso de mi formación académica y personal. Me quedo sin palabras ante la admiración y cariño que siento por ambos.

A mis hermanas que son mi corazón.

Y a mi hermosa sobrina Sofí, tu creatividad me impulsa a seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco al CONACyT por la beca otorgada para mis estudios de Maestría.

Agradezco al Programa PIESACOM de la UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM, por todo el apoyo y la capacitación brindada.

Mi más sincero agradecimiento y aprecio al Dr. Rodrigo Garza, por todo el apoyo, paciencia y motivación para el desarrollo de esta investigación. Contar con su guía y conocimiento ha sido una inspiración. Muchas gracias por siempre estar ahí para sus estudiantes y darnos invaluable consejos. Fue un verdadero privilegio tener la oportunidad de trabajar con usted.

A la Dra. Andrea Sáenz, muchas gracias por creer en el proyecto. Sin su guía no hubiera sido posible una investigación tan sólida. Durante el transcurso de este trabajo logramos hacer un buen equipo en conjunto con el Dr. Rodrigo. Agradezco la invitación para realizar una estancia en el ECOSUR, San Cristóbal de las Casas y que usted haya sido el factor clave para que se llevara a cabo. Mil gracias por su entusiasmo, empatía y dedicación, sin duda inestimables.

Gracias a la doctora Vera por su apoyo en los métodos de valoración, durante mi estancia en el ECOSUR. Los conocimientos que adquirí fueron esenciales para culminar esta investigación. No me cansaré de darle las gracias por su paciencia y amabilidad para resolver cualquier duda.

Agradezco a mi comité de evaluación, Dr. Rodolfo Rioja Nieto, Dr. Daniel Alfredo Revollo Fernández y Dr. Héctor Reyes Bonilla, por su sugerencias y consejos para esta investigación.

Gracias a mis amigas Clau, Mirna, Natalia, Marita, Lore por ser mi familia en la Maestría. Y también a mis amigos David, Fer, Rodri, por estar al pendiente y siempre darme ánimos, los quiero mucho. Y sé que hay más, pero a todas esas personas que me dieron palabras de aliento, siempre les agradeceré.

A Bernardo, gracias infinitas por contagiarme de tu pasión por la ciencia, motivarme a alcanzar mis metas y estar en mi vida.

Finalmente, a toda mi familia adorada, ¡son maravillosos! Mai, Zay, gracias por sus palabras y esfuerzos para que yo siguiera adelante. Omi y mis sobrinos Sofía y bebé, gracias por su buena energía. Y a mis papás por ser un motor para superar todos los obstáculos y fuente de amor incondicional ¡Gracias!

Resumen

Las valoraciones económicas de los servicios ecosistémicos han resaltado en los últimos años como instrumentos de soporte para la generación de nuevas políticas ambientales. Los arrecifes de coral son ecosistemas que ofrecen múltiples servicios a las sociedades humanas, considerándose entre los más productivos del planeta. Esa fuerte dependencia entre sociedades humanas y el arrecife de coral hace que el conocimiento sobre los servicios ecosistémicos sea importante para su adecuado manejo. El arrecife de Akumal, fue el primer desarrollo turístico de la Riviera Maya, y también forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, el segundo más grande del mundo. Durante las últimas décadas se ha demostrado un declive en su condición de salud, considerándose actualmente como crítico. En este sentido, los servicios ecosistémicos han sufrido un cambio. El objetivo de esta tesis se centró en estimar cuál sería el valor de estos servicios ecosistémicos en términos económicos, considerando el estado de salud del arrecife. Esto se hizo mediante el método de transferencia de valor, también se realizó un meta-análisis de los estudios que componían la base de datos para validar la transferencia de valor. El valor por hectárea del arrecife se estimó en \$604,756 USD 2016/año por hectárea, si el arrecife estuviera bien conservado. También se observó que los servicios de soporte tienen un valor mayor respecto a los servicios culturales y servicios de aprovisionamiento, que suministra este ecosistema. Para reflejar el valor monetario integrando el estado de conservación del arrecife, se utilizó la estimación promedio del Índice de Salud Arrecifal (ISA) dándole apenas un valor de \$217,712 USD 2016/año por hectárea y cuando se empleó la capa geográfica de la predicción espacial del ISA, un valor de \$121,592 USD 2016/año/Ha, donde también se identificó a menor escala, las áreas de mayor y menor valor económico del arrecife. Este trabajo realza la importancia de incorporar índices ecológicos en la valoración económica de los ecosistemas acuáticos y podrá ser empleado como base para futuros estudios de valoración en arrecifes de coral en cualquier parte del mundo, en los cuales se podrían incluir indicadores adicionales que otorguen una mayor exactitud tanto en la parametrización del estado de salud de estos sistemas, como en la estimación de su valor económico.

ÍNDICE

1.	Introducción	10
2.	Marco Teórico	12
2.1.	Servicios ecosistémicos o ambientales	12
2.2.	Servicios ecosistémicos en arrecifes	16
2.3.	Conectividad del arrecife con otros ecosistemas	17
2.4.	Integridad del ecosistema en el suministro de servicios ecosistémicos	18
2.5.	Condición Arrecifal	20
2.6.	Valoración económica de los ecosistemas	22
2.7.	Cartografía de servicios ecosistémicos	24
3.	Antecedentes	25
4.	Pregunta de investigación	28
5.	Objetivos	28
5.1.	Objetivo General	28
6.	Justificación	28
7.	Área de estudio	29
8.	Metodología	31
8.1.	Análisis de Meta-regresión	31
8.1.1	Selección de estudios y generación de base de datos para la transferencia de valor ...	31
8.2.	Estimación del valor del arrecife con métodos de transferencia de valor	33
8.2.1.	Procesamiento de datos	33
8.2.2.	Ajuste de valores	34
8.3.	Propuesta para estimar el valor económico en función del estado de conservación	36
8.3.1.	Transferencia de Valor Integrando el valor promedio del ISA para Akumal	37
8.3.2.	Transferencia de Valor Integrando los valores espacialmente explícitos del ISA para Akumal	38
8.3.3.	Generación de mapa de valor económico ajustado del arrecife de acuerdo a su condición	38
9.	Resultados	40

9.1. Resultados de Meta-regresión	40
9.2. Estimación del valor económico total	41
9.3. Valor económico del Arrecife de Akumal en función de su estado de conservación	42
10. Discusión	45
10.1 Análisis de meta-regresión de los datos utilizados en la Transferencia de Valor.....	45
10.2. Transferencia de valor para estimar el valor económico total	46
10.3. Transferencia de valor para ajustar el valor económico total incorporando el Índice de Salud Arrecifal.....	49
10.3.1. Aproximaciones alternas al ajuste de transferencia de valor total de un arrecife tomando en cuenta su condición.	52
11. Conclusiones	55
12. Anexos	57
12.1. Secciones del Mapa de Valor económico considerando el estado de condición arrecifal ...	57
13. Bibliografía	61

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Variables exploratorias utilizadas en la meta-regresión	32
Tabla 2. Servicios ecosistémicos del arrecife , a partir de (Olivera Vázquez, 2014) y (Hattam et al., 2015).....	34
Tabla 3. Índice de Salud Arrecifal (Kramer et al., 2015)	36
Tabla 4. Indicadores y valores para el estado de condición arrecifal por zona, Akumal (Aranda-Fragoso, 2016).....	37
Tabla 5. Resultados de Meta-regresión	40
Tabla 6. Resultados de Transferencia de Valor \$USD 2007/Ha	41
Tabla 7. Resultados de la Transferencia de Valor, (\$USD 2016/Ha).....	41
Tabla 8. Resultado de la Transferencia de Valor por tipo de servicio ecosistémico, Arrecife de Akumal	42
Tabla 9. Estimación Del Valor Económico Total del Arrecife de Akumal, USD 2016 (Condiciones Actuales).....	42

Figura 1. Conexiones entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, (MEA, 2005) Color de las flechas indica el potencial para que medien factores socioeconómicos (Bajo, Medio, Alto). El grosor de las flechas indica la intensidad de las conexiones entre servicios ecosistémicos y bienestar humano (flecha más delgada representa menor intensidad).	14
Figura 2. Diagrama representativo de la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad-TEEB- Modificada a partir de (Braat and de Groot, 2012).....	15
Figura 3. Conectividad de los arrecifes de coral con ecosistemas costeros como pastos marinos, manglares y lagunas. Tomado de (Moberg and Folke, 1999b). Los arrecifes además exportan energía a las comunidades oceánicas.....	18
Figura 4. Rasgos hipotéticos de desarrollo de integridad, biodiversidad y servicios de los ecosistemas en condiciones de escenario sin perturbaciones (Kandziora et al., 2013).	19
Figura 5. Relación esperada entre el nivel de servicios de los ecosistemas (flujo) y el estado ecológico en los ecosistemas acuáticos, (Grizzetti et al., 2019).	20
Figura 6. Relación de indicadores de estructura y función arrecifal. A la derecha se presentan los indicadores esperados y a la izquierda los no deseados (Garza Pérez, 2012).....	21
Figura 7. Componentes del valor económico total de los ecosistemas (Grunewald and Bastian, 2015)	22
Figura 8. Mapa de ubicación del arrecife coralino en Akumal, Quintana Roo. El color verde representa el área no ocupada, mientras el área amarilla muestra la zona urbanizada. La línea de costa está en rojo, y el azul oscuro representa el área total del arrecife. Fuente: Datos espaciales extraídos de imagen WorldView-3, junio 2016.	30
Figura 9. Esquema metodológico de la Transferencia de Valor.....	35
Figura 10. Esquema metodológico para generar mapa de Valor Económico del arrecife de Akumal en función de su estado de salud	39
Figura 11. Mapa del Valor económico total del arrecife asociado a su estado de condición	44

1. Introducción

En México existen una gran variedad de ecosistemas, entre ellos, los arrecifes de coral. Estos cuentan con alta biodiversidad y ofertan servicios ambientales o ecosistémicos, principalmente a las sociedades que viven circundantes a ellos; un ejemplo de esto es la protección contra tormentas y huracanes (Ferrario et al., 2014) . Además, la formación de corales permite el desarrollo, crecimiento y presencia de organismos de importancia comercial, y captura de dióxido de carbono fijándolo en sus esqueletos, lo que convierte a los arrecifes en un reservorio permanentes de carbono (AMC, 2017).

Es debido a su alta biodiversidad que los arrecifes de coral han sido denominados los bosques del océano, proveyendo diversos bienes y servicios a las comunidades costeras. Cerca de 850 millones de habitantes viven a una distancia no mayor a los 100 Km de un arrecife en el mundo lo que denota su importancia social (TEEB, 2012).

En la región del Caribe se estima un área de 26,000 Km² ocupada por arrecifes de coral, lo que representa el 7% del total mundial (Burke and Maidens, 2005). Los arrecifes de coral del estado de Quintana Roo han sufrido un claro deterioro en las últimas cuatro décadas. Datos históricos de la década de 1970 y de 1980, comparados con evaluaciones modernas demuestran que la cobertura de las especies constructoras primarias del arrecife de coral que proporcionaban la estructura tridimensional a los arrecifes del sistema arrecifal mesoamericano se ha reducido de una cobertura cercana al 50% en 1970 a menos del 5% en algunos arrecifes (Rodríguez-Martínez et al., 2014, Jackson et al., 2014, Bruckner, 2003). Esto ha sido atribuido principalmente al aumento de enfermedades en los corales, fenómenos meteorológicos como huracanes, incremento en la temperatura de los océanos que provoca el blanqueamiento de corales, las descargas de aguas negras, la sobrepesca y la masificación del turismo (Suchley and Alvarez-Filip, 2018, Hughes et al., 2017, Jackson et al., 2014, Baker et al., 2013, Donner et al., 2007) En el caso particular del arrecife de Akumal la cobertura de coral tuvo una disminución de 30% a finales del siglo XX (Garza-Pérez, 1999) hasta el 7.5% en 2010 (Mata-Lara et al., 2016). El deterioro de los arrecifes ha implicado que se tomen medidas para mitigar esos impactos, como la creación de áreas naturales protegidas (ANP) (Bezaury-Creel, 2009). A la par se han añadido otras herramientas que ayudan al soporte de decisiones para la conservación de los ecosistemas. Una de ellas es la valoración económica que pretende poner de relieve la importancia que tienen los servicios ecosistémicos que proporcionan los ecosistemas en términos económicos, pero no implica la mercantilización o privatización de estos

servicios (Ripka de Almeida et al., 2018, Herruzo, 2002). Su contribución va en favor de descubrir el valor económico de las externalidades y de los bienes públicos (Hernández-Santoyo et al., 2013) . También es importante saber cuál es el estado ecológico en que se encuentra un ecosistema, porque influye en su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos (Roche and Campagne, 2017) . Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue hacer una propuesta metodológica donde la valoración económica de los arrecifes de coral pueda considerar el estado de salud de los arrecifes de coral para determinar su valor monetario.

2. Marco Teórico

2.1. Servicios ecosistémicos o ambientales

El concepto de servicio ecosistémico o ambiental fue empleado inicialmente como una herramienta de conservación de la biodiversidad en la década de 1980 (Bull et al., 2016). De acuerdo con La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) el término en sí, es una construcción antropocéntrica, que coloca al ser humano como punto focal en el entorno natural y su definición es esencialmente “*lo que el ambiente ofrece a los seres humanos*”. De las definiciones más empleadas, conciben a los servicios ambientales o ecosistémicos como “*las condiciones y procesos a través de los cuales, los ecosistemas y especies que componen a éstos, sostienen y complementan la vida humana*” (Daily, 1997) o “*los beneficios que derivan en las poblaciones humanas, directa o indirectamente de las funciones ecosistémicas*” (Costanza et al., 1997) y entendidos también como “*los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas*” (MEA, 2005).

Estas definiciones se han ido discutiendo y complementando a lo largo de los años, pero se ha quedado en claro que “servicios ambientales” y “servicios ecosistémicos” pueden emplearse sin distinción, aunque el primero se refiere al ecosistema, sus interacciones y los beneficios a los seres humanos, por otro lado el segundo converge en el concepto del ambiente, que no se extiende mucho al abarcar las interacciones para proveer servicios y es usada por tomadores de decisiones (Balvanera and Cotler, 2007). En este trabajo emplearemos de manera genérica la definición de servicios ecosistémicos.

De acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), los servicios ecosistémicos se clasifican como:

- a) Servicios de aprovisionamiento. Son descritos como los productos materiales o energéticos procedentes de los ecosistemas. Entre ellos se incluyen los alimentos, el agua y otros recursos. En el caso de los alimentos los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para cultivarlos, en hábitats salvajes y en ecosistemas agrícolas gestionados. De igual forma proveen materias primas concernientes a materiales para la construcción y su uso como combustibles, agua dulce subterránea y superficial, así como recursos medicinales. El paisaje, aprovechado por la industria del turismo es un servicio de aprovisionamiento que genera considerables beneficios económicos y es una fuente vital de ingresos en muchos países (TEEB, 2010).

- b) Servicios de regulación. Asociados al mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, también con el control de las inundaciones y las enfermedades. Por ejemplo, en el caso de la calidad del aire y el clima locales, los árboles proporcionan sombra y eliminan contaminantes de la atmósfera, así como los bosques influyen sobre las precipitaciones. En cuanto al secuestro y almacenamiento de carbono según van creciendo las plantas y los árboles, eliminan dióxido de carbono de la atmósfera, atrapándolo eficazmente en sus tejidos. Si se habla de la modulación de los efectos de fenómenos naturales como tormentas y huracanes, los ecosistemas actúan como amortiguadores que frenan la capacidad destructiva del oleaje o el agua que baja de las montañas. En el tratamiento de las aguas residuales los microorganismos del suelo y los humedales descomponen los desechos animales y humanos. También existen servicios de regulación correspondientes a la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, así como la polinización y el control biológico referido a la regulación de plagas y enfermedades de transmisión vectorial (TEEB, 2010).
- c) Servicios de apoyo. Sustentan a casi todos los demás servicios ecosistémicos debido a que proporcionan el espacio donde viven las plantas y animales. Proporcionan hábitats para las especies porque facilitan todo lo que una planta o animal necesita para sobrevivir, también estos servicios incluyen el mantenimiento de la diversidad genética (TEEB, 2010).
- d) Servicios culturales. Circunscriben beneficios que no son necesariamente materiales. Por ejemplo, las actividades recreativas y salud mental, física y espiritual, en éstas, los paisajes naturales y las zonas verdes urbanas intervienen en el mantenimiento de la salud. También se encuentra la apreciación e inspiración para la cultura, el arte y el diseño; siendo el lenguaje, el conocimiento y la apreciación del entorno natural aspectos que han estado íntimamente relacionados durante toda la historia de la humanidad. Hablando de la experiencia espiritual y sentido de pertenencia, la naturaleza es parte clave de religiones y los paisajes naturales crean identidad local como un sentido de pertenencia del lugar.

Toda esta conceptualización de servicios ecosistémicos sirve para ilustrar de manera muy clara como la sociedad se asiste -obtiene bienestar humano- de forma gratuita de la naturaleza. La Figura 1 ayuda a entender la relación entre dichos servicios y el bienestar humano (Haines-Young and Potschin, 2010, Braat and de Groot, 2012) donde los servicios de aprovisionamiento se vuelven más evidentes, dado que son beneficios tangibles para las sociedades humanas, como los alimentos o combustibles (MEA,

2005). Sin embargo, también pone en realce que una sociedad no podría persistir sin los servicios de regulación. Por lo tanto, resulta incuestionable que los ecosistemas contribuyen a la subsistencia de las sociedades humanas, por medio de todos los procesos que suceden en ellos.

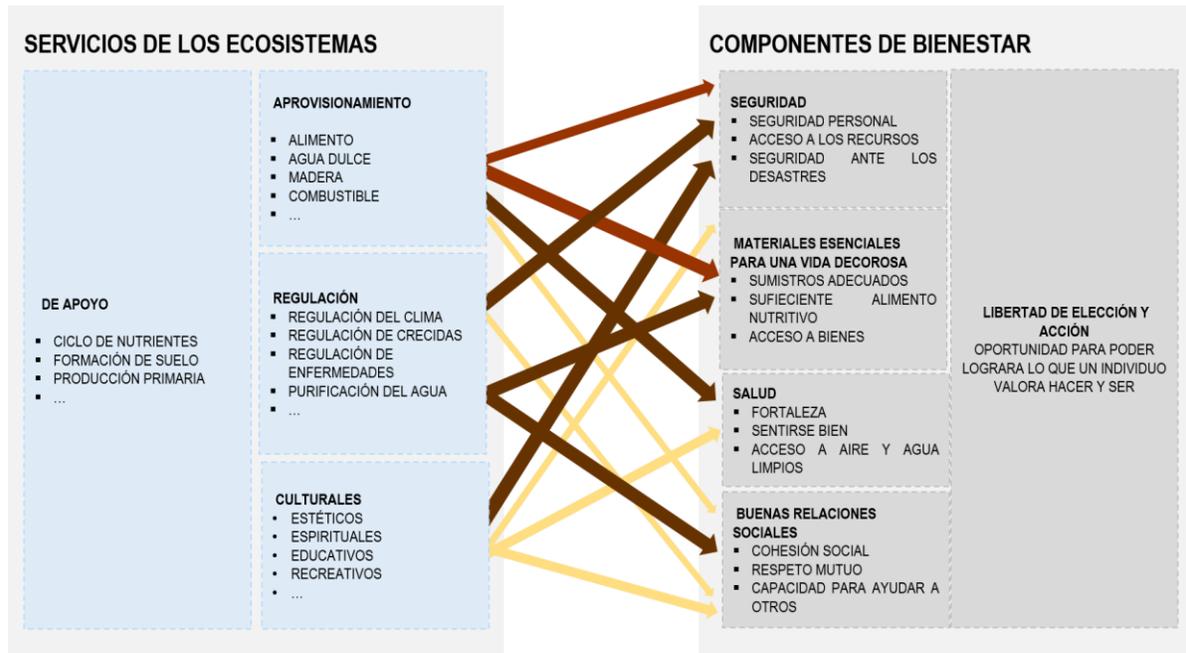


Figura 1. Conexiones entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, (MEA, 2005) Color de las flechas indica el potencial para que medien factores socioeconómicos (Bajo= ■ Medio= ■ Alto= ■). El grosor de las flechas indica la intensidad de las conexiones entre servicios ecosistémicos y bienestar humano (flecha más delgada representa menor intensidad).

En este punto, es importante reconocer la diferencia entre los conceptos de servicio y el de beneficio. Éste último tiene una connotación monetaria, y un servicio se entiende como una contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano. Los servicios pueden beneficiar al ser humano en múltiples dimensiones y la distinción se da porque un mismo servicio genera distintos beneficios. Por ejemplo, el servicio de pesca de un humedal, proporciona alimento, identidad cultural existente en muchas comunidades de pescadores e ingresos económicos si se comercializa la pesca (Martín-López and Montes, 2011).

Dado lo anterior, es inherente la relación que existe entre las funciones que se presentan en los ecosistemas de manera natural y cómo éstas se pueden convertir en servicios que aprovecha la sociedad dándoles un valor (Figura 2). El modelo de cascada adaptado por el TEEB ejemplifica esto

de manera clara, en donde el diagrama especifica una esfera que representa el espacio natural (provisión de servicios ambientales a través de su estructura y función), una esfera social (construcción del valor de los servicios y el bienestar humano), y coloca a los servicios ecosistémicos vinculando ambas esferas, ya que estos surgen a partir de las estructuras ecológicas, procesos y funciones de los ecosistemas; el beneficio se obtiene cuando existe una población que depende de ese servicio ambiental y este beneficio se valoriza conforme a la utilidad por parte de los beneficiarios (Braat and de Groot, 2012, Haines-Young and Potschin, 2010).

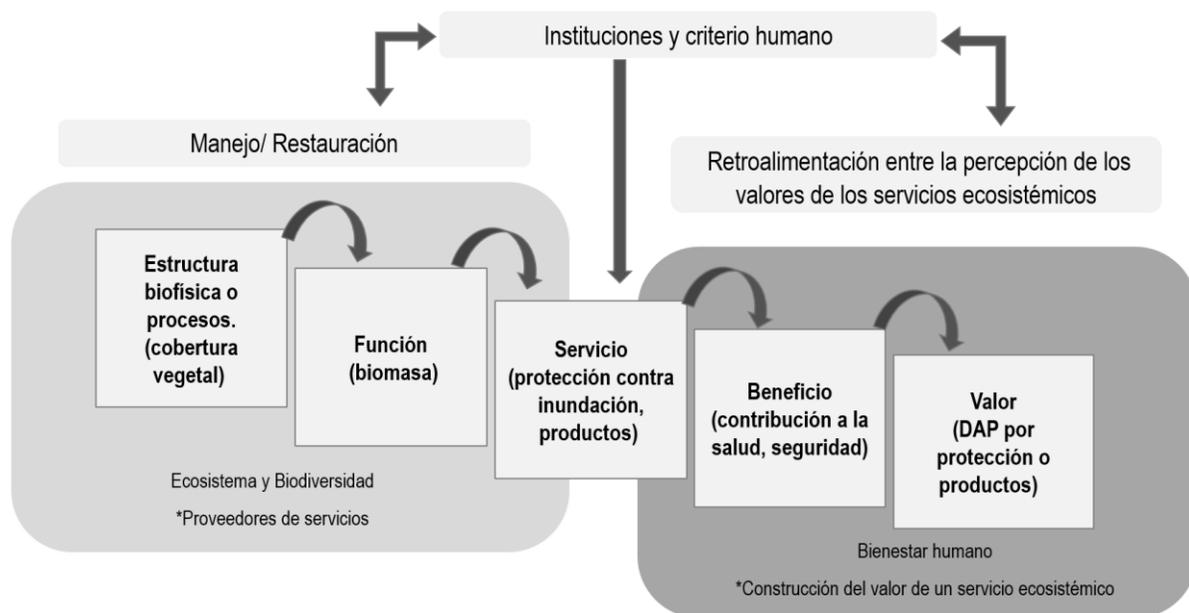


Figura 2. Diagrama representativo de la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad-TEEB-. Modificada a partir de (Braat and de Groot, 2012).

La principal diferencia entre funciones y servicios ecosistémicos es que las funciones existen independientemente de su uso, demanda, disfrute o valoración social, traduciéndose en servicios sólo cuando son usadas, ya sea de forma consciente o inconsciente por la población humana. Esta traducción a servicios ecosistémicos requiere necesariamente la identificación de los beneficiarios, del tipo de beneficio obtenido, así como la localización espacio-temporal de su uso. También debe quedar entendido que la relación entre funciones y servicios ecosistémicos no es lineal, una misma función puede generar varios servicios, o bien varias funciones se tienen que complementar para originar un servicio (Martín-López and Montes, 2011).

En este sentido, tenemos ejemplos de la función de un bosque en la que sus raíces naturalmente retienen el suelo como parte de sus procesos naturales y que son aprovechados por las sociedades a manera de servicio de “retención de suelo” y este servicio ecosistémico genera un beneficio que puede o no ser valorado en unidades monetarias (Doornbos, 2015). Otro ejemplo son los arrecifes coralinos, que de manera natural son el de refugio de numerosas especies en las complejas formas de su estructuras carbonatadas, que se traduce o no en servicios ecosistémicos que son aprovechados por la sociedad tales como la pesca o el buceo recreativo (TEEB, 2012).

2.2. Servicios ecosistémicos en arrecifes

Los arrecifes de coral son ecosistemas que proveen de una gama muy variada de servicios ecosistémicos a las sociedades humanas (Moberg and Folke, 1999a). Los arrecifes se presentan en aguas tropicales y subtropicales, a menudo cerca de la costa (Buddemeier et al., 2004) y su desarrollo está ligado a características ambientales particulares como energía del oleaje, calidad del agua, turbidez, salinidad, régimen de mareas y luz (Geister, 1977).

Un arrecife de coral es una estructura rocosa marina, formada por carbonato de calcio fijado por organismos calcificadores que sostienen una comunidad diversa y una alta densidad de biomasa respecto al océano circundante (Hatcher, 1997); están formados, como su nombre lo indica, principalmente por corales escleractínios, definidos como animales coloniales que construyen sus esqueletos a partir del carbonato de calcio y aragonita presente en el agua de mar. Estos esqueletos proporcionan complejidad topográfica o rugosidad al fondo marino y está dada en función de la abundancia o cobertura de corales (Pratchett et al., 2014). Es de entenderse entonces que, la disponibilidad de refugios está fuertemente relacionada con esta complejidad topográfica, y consecuentemente también la riqueza de peces e invertebrados, abundancia y biomasa están asociadas a la complejidad topográfica, y esta juega un papel clave en proveer servicios ambientales importantes a los humanos, tal como la protección costera.

Uno de los servicios de regulación más conspicuos que tienen los arrecifes de coral es la disipación de la energía del oleaje por la fricción ejercida durante el paso de las masas de agua por el fondo rugoso. Más aún, forman barreras que constituyen una zona de amortiguamiento cuando se presenta algún fenómeno meteorológico, por ejemplo, un huracán (Barbier et al., 2008, Pascal et al., 2016, Alvarez-Filip et al., 2010). Esta reducción de la energía incidente del oleaje en la playa (Pascal et al., 2016, Astorga, 2017) contribuye a la regulación de la erosión y sedimentación, manteniendo las líneas

de costa y las playas, y se traduce en protección costera. Otro servicio destacable es la generación de arena para formar playas, se trata de arena fina creada a partir de los corales –arena blanca- que representa una de las principales características y atractivos del turismo de playa (Richmond, 1993). La arena puede ser generada no sólo por la ruptura mecánica de las estructuras carbonatadas a través de fuerzas físicas como el oleaje, sino también por biota erosiva como las algas, esponjas, poliquetos, crustáceos, erizos de mar y peces (Spencer, 1985).

Las características bióticas y abióticas de los arrecifes hacen a estos sistemas altamente productivos, y, en consecuencia, aportan diversos servicios ecosistémicos. Se sabe que la variedad de especies que viven en un arrecife de coral es mucho mayor respecto a otros ecosistemas marinos de aguas poco profundas, principalmente por su función de refugio; considerándose importantes por mantener una gran diversidad biológica y biblioteca genómica para las generaciones futuras (Moberg and Folke, 1999a). Asimismo, los arrecifes de coral representan una fuente de alimento para más de mil millones de personas en el mundo, la mayoría de ellos sin vivir cerca de estos ecosistemas (TEEB, 2012).

2.3. Conectividad del arrecife con otros ecosistemas

Es importante mencionar que las funciones presentes en los arrecifes de coral, están íntimamente ligadas a otros ecosistemas costeros (Figura 3) , tales como pastos marinos, manglares y ecosistemas oceánicos más allá de la pendiente arrecifal (Moberg and Folke, 1999a). Como resultado, los servicios ecosistémicos que prestan los arrecifes de coral también están conectados a las actividades humanas que se desarrollan en tierra, en particular a la preservación de la vegetación costera tal como los manglares o las prácticas de manejo de residuos de las sociedades costeras (Mumby et al., 2014).

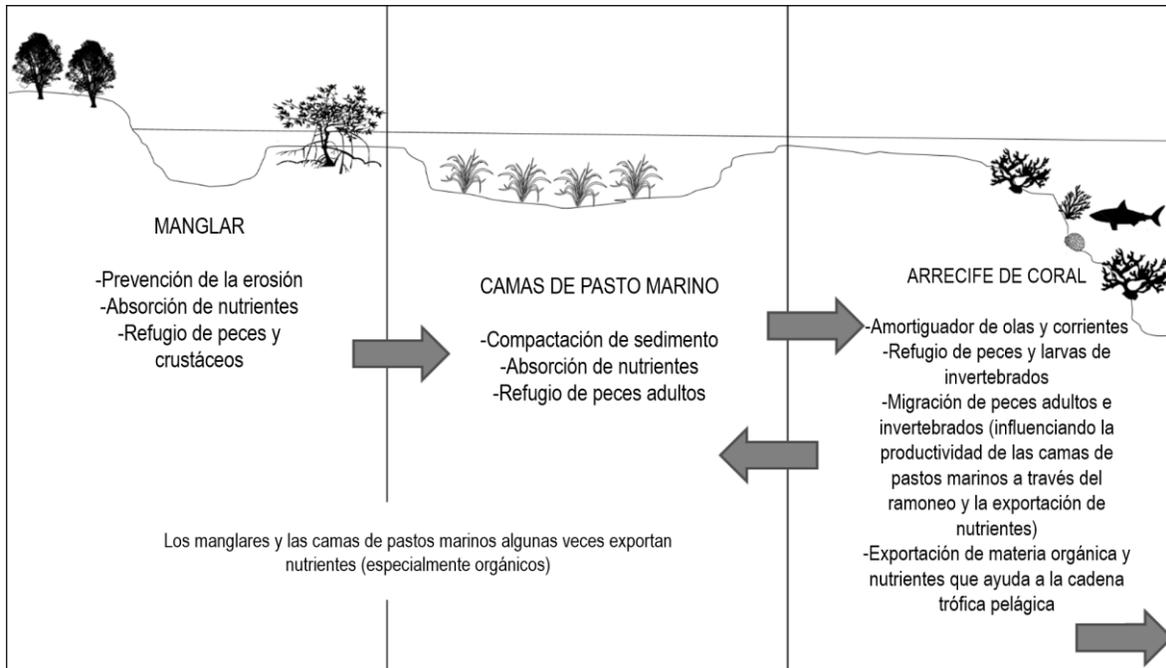


Figura 3. Conectividad de los arrecifes de coral con ecosistemas costeros como pastos marinos, manglares y lagunas. Tomado de (Moberg and Folke, 1999b). Los arrecifes además exportan energía a las comunidades oceánicas.

2.4. Integridad del ecosistema en el suministro de servicios ecosistémicos

Con el pasar de los años, se ha demostrado la dependencia que tienen los servicios ecosistémicos de la biodiversidad. Esto se basa en que las poblaciones, comunidades, grupos funcionales, tipos de hábitat, y paisajes tienen la capacidad de generar servicios a la sociedad. La pérdida de alguno de estos componentes supone distintos efectos en el funcionamiento de los ecosistemas y por tanto en las poblaciones humanas (Maes et al., 2013, Martín-López and Montes, 2011). A la par, la misma multidimensionalidad del valor de los servicios de los ecosistemas, ha permitido reconocer que la dimensión biofísica o ecológica está relacionada con la biodiversidad, y esta no depende de las preferencias humanas (Martín-López and Montes, 2011).

Se han hecho muchas investigaciones sobre la pérdida de la biodiversidad, la cual ha sido un resultado del incremento de la actividad humana, pudiéndose mencionar causas tales como el cambio climático, contaminación, pérdida de hábitat y la introducción de especies exóticas. Esto sumado a esfuerzos para definir la puntuación o calificación de la biodiversidad correspondiente con su estado natural o prístino, o al menos un estado de referencia (Schneiders et al., 2012), ha propiciado la adopción del

concepto de condición del ecosistema en políticas de conservación y sostenibilidad de los ecosistemas o acciones de manejo. Las decisiones de manejo se apoyan en información científicamente validada acerca de aspectos de integridad, salud y funcionamiento, estabilidad y resiliencia, que permitan minimizar el impacto negativo de las actividades humanas (Roche and Campagne, 2017).

La teoría establece que, durante el desarrollo de un ecosistema a largo plazo, si existen condiciones inalterables o no perturbables, la integridad del ecosistema se optimiza. Al principio, algunos ecosistemas presentan una alta productividad –p. ej. agroecosistemas-, es decir sus servicios de aprovisionamiento y culturales pueden encontrar sus puntos máximos en las primeras fases (Figura 4), pero con el pasar del tiempo, mientras el ecosistema va alcanzando su estado de madurez, estos servicios disminuyen. Sin embargo, los servicios de regulación se desarrollan en paralelo a la integridad y biodiversidad del ecosistema, es decir, que tienden a aumentar conforme la integridad aumenta (Kandziora et al., 2013).

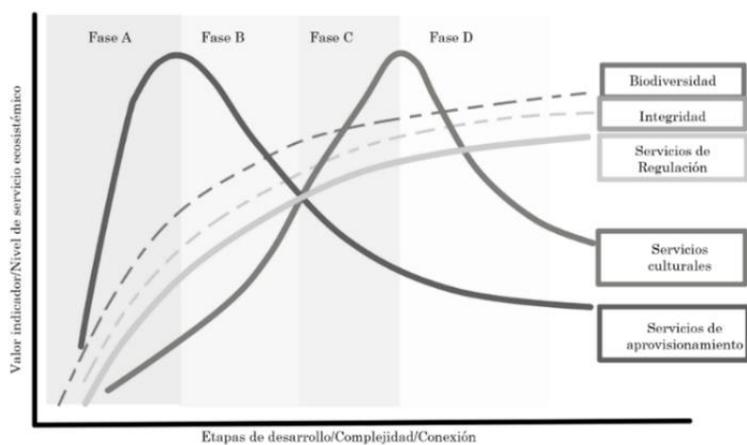


Figura 4. Rasgos hipotéticos de desarrollo de integridad, biodiversidad y servicios de los ecosistemas en condiciones de escenario sin perturbaciones (Kandziora et al., 2013).

En ecosistemas acuáticos, los estudios que se han hecho retoman la teoría anterior y proponen un comportamiento similar, pero no consideran el estado no perturbable, sino el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos (Figura 5). Al considerar el estado ecológico, se puede observar que conforme el ecosistema pasa de un estado ecológico “Alto/Bueno” a uno “Pobre/Malo” los servicios de regulación y los servicios culturales siguen un comportamiento similar; sin embargo, a pesar de que el deterioro del ecosistema puede proporcionar un alto rendimiento de servicios de aprovisionamiento, cuando el estado cae a un nivel “malo”, los servicios de aprovisionamiento también disminuyen drásticamente. (Grizzetti et al., 2019).

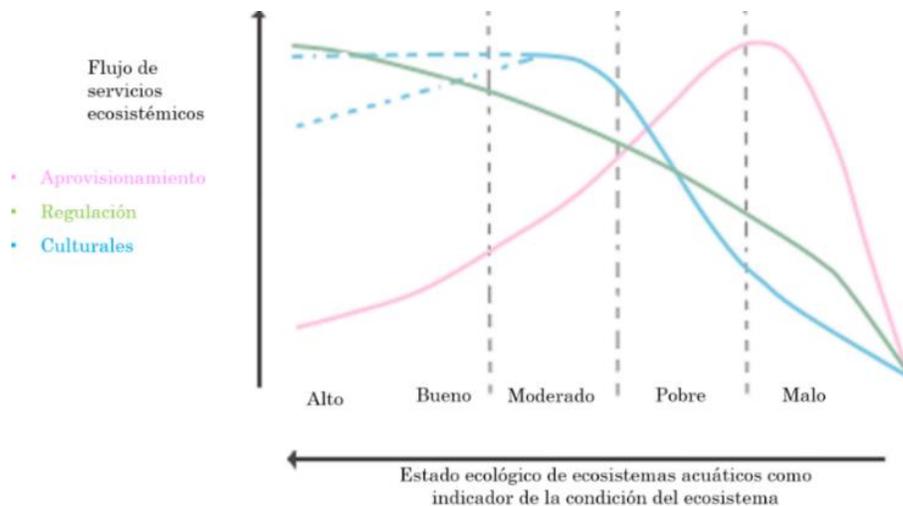


Figura 5. Relación esperada entre el nivel de servicios de los ecosistemas (flujo) y el estado ecológico en los ecosistemas acuáticos, (Grizzetti et al., 2019).

Dado lo anterior, el concepto de la condición -incluye la salud y calidad ecosistémica- es utilizada y relacionada a la visión antropocéntrica de la naturaleza, ya sea como el estado en respuesta las presiones humanas o como la habilidad para continuar proveyendo servicios a la gente, (Grizzetti et al., 2019). Y esto, aunado a la utilización de nuevos conjuntos de indicadores de la biodiversidad, como integrar un sistema de puntuación, así como puntuación de servicios ecosistémicos (Schneiders et al., 2012), permiten entender mejor las sinergias entre trade-offs -concesiones- dirigidos a objetivos para la conservación de la biodiversidad y los beneficios humanos, vía servicios ecosistémicos.

2.5. Condición Arrecifal

La definición de la condición de un ecosistema se basa en la evaluación de sus diferentes componentes bióticos y sus propiedades físico químicas. Es decir, la salud de un ecosistema se deriva a partir de la respuesta de sus componentes estructurales y funcionales y partiendo de esa base, se debe incluir más de un indicador para evaluarla (Kramer, 2003). En el caso de los arrecifes coralinos, esta condición se define a través de diversos indicadores tanto de estructura como de función, como la cobertura de corales escleractínios, la presencia y abundancia de especies coralinas constructoras arrecifales, la cobertura de macroalgas, la presencia de enfermedades coralinas y organismo bioerosionadores, la biomasa y abundancia de peces arrecifales, la complejidad topográfica o rugosidad, entre otros (Hernández-Delgado, 2004, McField and Kramer, 2007, Garza-Pérez, 2004). Algunos de estos indicadores representan características favorables al desarrollo y mantenimiento de

la estructura y función de los arrecifes, y otros indicadores representan la presencia y magnitud de procesos deletéreos, perjudiciales para la estructura y función (Figura 6).

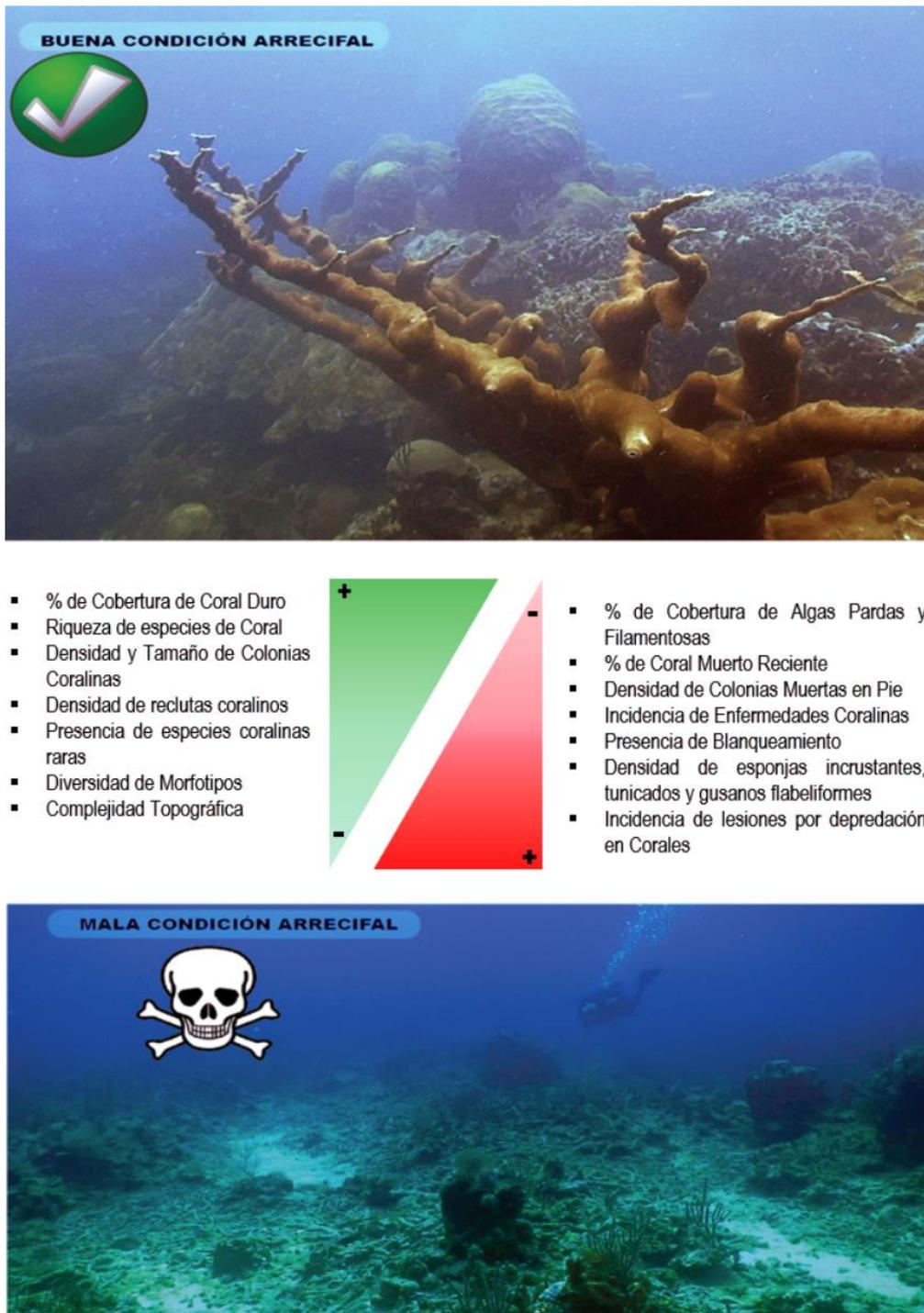


Figura 6. Relación de indicadores de estructura y función arrecifal. A la derecha se presentan los indicadores esperados y a la izquierda los no deseados (Garza Pérez, 2012)

2.6. Valoración económica de los ecosistemas

Para poder cuantificar los servicios ecosistémicos se requiere de estudios que dejen clara la importancia que tienen para las sociedades humanas, así como, una base para la conservación de los ecosistemas; es así como, la valoración económica es considerada de las principales herramientas para la comprensión de esta relación (Costanza et al., 2014). La aplicación del pensamiento económico a la utilización de la biodiversidad y los sistemas ecosistémicos puede ayudar a clarificar dos puntos clave: ¿Por qué la prosperidad y la reducción de la pobreza dependen del mantenimiento del flujo de beneficios procedentes de los ecosistemas? y ¿Por qué el éxito de la protección medioambiental debe cimentarse en unos buenos principios económicos, entre los que se incluye un reconocimiento explícito, una asignación eficaz y una distribución justa de los costes y los beneficios de la conservación, así como la utilización sostenible de los recursos naturales? (TEEB, 2010).

Este tipo de valoraciones surge a través del concepto de Valor Económico Total (VET), donde se intenta capturar el valor de los servicios que utilizamos (valores de uso, *p. ej.* alimentos y el agua), así como otros valores de no uso (*p. ej.* Biodiversidad, cultura). Los valores de opción se consideran un tercer grupo, ya que no se sabe qué tipo de servicios (uso o no uso) podría ser proporcionado por un ecosistema en el futuro.

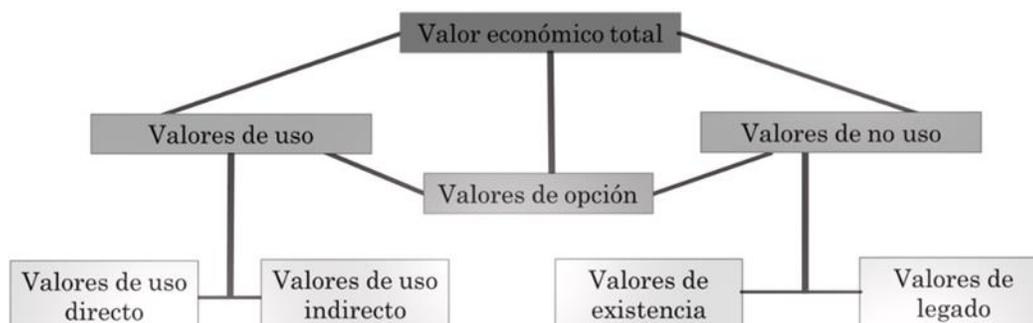


Figura 7. Componentes del valor económico total de los ecosistemas (Grunewald and Bastian, 2015)

Existen varios métodos para valorar los servicios ecosistémicos, uno de ellos es la llamada Transferencia de Valor también denominada transferencia de beneficios o transferencia de valores. El método se fundamenta en el ejercicio de extrapolar el valor de un activo ambiental mediante el

resultado de algún estudio fuente o primario -un estudio que se hizo con anterioridad- (Azqueta et al., 2007). Desde el punto de vista de la política climática, la transferencia de valor es una herramienta ambiental, así como una adaptación económica que facilita a los tomadores de decisiones operar a mayores niveles de agregación, y responder mejor a los cambios en el entorno natural y social (Andreopoulos and Damigos, 2017). La importancia en economía ambiental de la transferencia de valor radica en dos cosas principalmente: la primera es que ahorra costos de haber realizado estudios primarios, y, la segunda, es la necesidad de realizar análisis de costo-beneficio en distintas políticas ambientales, las cuales requieren este tipo de datos (Azqueta et al., 2007). En la fase de la transferencia del resultado se realiza la extrapolación de los valores monetarios estimados de los estudios primarios seleccionados. Dicho proceso se puede realizar por medio de procedimientos como:

- *La transferencia del valor unitario medio*; implica únicamente multiplicar dicho valor medio por unidad de análisis, se aconseja utilizarla cuando la función de valoración de estudio fuente, o los valores de las variables independientes no están disponibles; pero para ello se deben hacer ajustes.
- *La transferencia de la función de valor*; se transfiere la ecuación de la demanda, siendo al contrario de valores unitarios más confiables. Por otra parte, la transferencia de valor puede realizarse mediante el meta-análisis, esto sucede al contar con un número suficiente de estudios. El uso de sistemas de información geográfica (SIG), da pauta para el manejo de datos demográficos, biogeográficos que son importantes en la transferencia de resultados, ya que con ello se controla la amplitud de datos a utilizar, (Azqueta et al., 2007). Simultáneamente su utilización sirve para escalar los valores de sitios individuales a múltiples ecosistemas dentro de una gran área geográfica (Ghermandi, 2015)

El meta-análisis ha sido utilizado en gran parte como una herramienta de la economía ambiental, cuyo objetivo es sintetizar los hallazgos de los estudios de valoración primaria por medio de un análisis estadístico riguroso; su potencial para identificar las fuentes de variación en las estimaciones de valor empírico, y como instrumento de la transferencia de valor, ya ha sido demostrado (Ghermandi et al., 2010). La utilización de la meta-regresión en la transferencia de valor, se realiza con la finalidad de observar las diferencias en los resultados y las variables explicativas de estudios que sean relevantes y metodológicamente sólidos para valorar servicios de un ecosistema en particular, lo cual también sirve para estimar una función de Disposición a Pagar (DAP) (Rosenberger and Johnston, 2009). Para

llevar a cabo un meta-análisis, se requiere reunir los estudios base que valoran un servicio ecosistémico (*p. ej.* Pesca recreativa o captura de carbono); después estos estudios deben colocarse ya sea en términos de Disposición a Pagar (DAP) o del valor económico del servicio ecosistémico que se estimó. De igual forma, se deben poner las características del sitio de estudio (*p. ej.* cantidad o calidad del servicio ecosistémico, si este se prestó en terrenos públicos o privados), los atributos metodológicos de los estudios seleccionados (*p. ej.* método de valoración utilizado, tipo de valor estimado, modo de encuesta, formato de pregunta), y por último si está a disposición, los datos demográficos de las poblaciones humanas de los estudios originales. De esta manera, se estima un modelo de regresión con la Disposición a Pagar o el valor económico del servicio ecosistémico, siendo esta la variable dependiente y como mínimo las características del sitio de estudio, atributos metodológicos y variables socioeconómicas como las variables independientes para poder generar este análisis. Asimismo, las características particulares de un estudio se vuelven menos problemáticas porque las funciones de meta-regresión pueden mostrar explícitamente cualquier efecto estadísticamente significativo de variables como el año del estudio, la metodología de valoración o el medio de publicación, sobre las estimaciones de valor (Richardson et al., 2015, Múnera, 2006, Rosenberger and Loomis, 2000, Camacho-Valdez et al., 2013).

2.7. Cartografía de servicios ecosistémicos

Otra herramienta que se puede utilizar para evaluar los servicios ecosistémicos son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Melo et al., 2016). Los mapas pueden ser aplicados para representar trade-offs y sinergias entre servicios ecosistémicos, así como también representar congruencia espacial o desajustes entre la oferta, flujo y demanda de los diferentes servicios ecosistémicos (Burkhard and Maes, 2017). El concepto de mapeo de ecosistemas y evaluación de condiciones puede ser aplicado a todas las escalas espaciales y temporales. Por otro lado, aunque las evaluaciones de servicios ecosistémicos han sido basadas en el grado y distribución espacial como parámetros básicos de entrada, la inclusión de la evaluación de la condición podría agregarle valor en términos de calidad del ecosistema (Maes et al., 2013).

3. Antecedentes

Se han hecho estudios de valoración de arrecifes en varias partes del mundo. En 2009 se hizo una valoración de la gran barrera en Australia que arrojó una cifra relacionada a la producción de bienes y servicios ambientales por un valor de \$51.4 billones de USD por año, para su área de 424,000 km² (Oxford-Economics, 2009). Otros estudios sostienen que el valor es menor y calculan que este sistema provee bienes y servicios ambientales con un valor entre 15 y \$20 billones AUS (Stoeckl et al., 2014). A nivel global se estima que una hectárea de arrecife de coral produce bienes y servicios ambientales por un valor de \$352,249 USD de 2007 (De Groot et al., 2012). La valoración de arrecifes se ha centrado en cuantificar sobre todo servicios de recreación –turismo- y de regulación referidos casi siempre a protección costera. Así por ejemplo, en Belice en promedio la protección de línea de costa por la barrera arrecifal se estimó en 150 millones de dólares por año (Cooper et al., 2009). En el atolón de Majuro en el Pacífico Sur, el costo de la protección contra la erosión costera es de aproximadamente \$236 millones en un período de 25 años (McKenzie et al., 2006).

En México, los estudios de valoración económica para arrecifes son pocos, y de estos la mayoría están enfocados al estudio que se conoce como disponibilidad a pagar, principalmente con turistas. Uno de estos estudios que se centró en seis zonas de Quintana Roo demuestra dentro de los resultados más relevantes que el 29.4% de las personas entrevistadas estaban dispuestas a pagar una cuota para la conservación en Cancún y 12.1% para Isla Contoy (Rivera- Planter and Muñoz-Piña, 2005). Otro estudio indica que los turistas del Parque Marino Cabo Pulmo están dispuestos a pagar \$12 dólares en promedio por visitar la zona coralina (INEEC, 2003).

Por otro lado, en la costa del Pacífico de Oaxaca, una investigación desarrollada por CONANP y La Universidad del Mar estimó que el valor monetario para cuatro arrecifes fue de \$28,866,204 MXP/ por año, lo que les permitió resaltar importancia de la zona y la necesidad de implementar medidas de manejo y conservación (Robles-Zavala, 2010). En Cozumel, se realizó otro estudio y calcularon que el valor económico de los arrecifes en términos de protección costera contra eventos climáticos extremos y aporte de ciclo de nutrientes, es de 596 millones de pesos (32.8 millones de dólares) al año, considerando la extensión del arrecife en dos áreas naturales protegidas -3,966 Ha- (CONANP-GIZ, 2017).

Es importante resaltar que existen economías locales que reciben miles de millones de dólares de visitantes a las regiones de arrecifes a través de actividades como el buceo, pesca deportiva, hoteles,

restaurantes asociadas a las visitas de turistas a estos ecosistemas (Herman et al., 2003). Se hizo una estimación del valor global para el servicio de recreación -turismo- de 9.6 billones de USD, para arrecifes de coral (NOAA, 2016). Estos trabajos contribuyen a visualizar el papel que tienen los arrecifes para la economía mundial.

Por otra parte, se han hecho estudios que utilizan la transferencia de beneficios y el meta-análisis en la valoración económica de los arrecifes. Por ejemplo, en 2007 se realizó un trabajo donde se reunieron estudios de valoración del servicio recreativo de los arrecifes, para saber cuál eran los factores que explicaban mejor la variación en los valores económicos. Entonces se realizó un modelo de meta-regresión con las siguientes variables: área de los sitios de buceo, el número de visitantes, actividad de snorkel, ubicación, métodos de valoración, exceptuando el de valoración contingente (MVC), que fue considerada una constante, porque de acuerdo a estudios anteriores podría aumentar el valor, sin embargo no fue el caso, las variables significativas que explicaban esa variación fueron el tamaño del área de buceo y el número de visitantes (Brander et al., 2007).

Otro estudio, midió el impacto económico de la acidificación del océano en los arrecifes de coral a nivel mundial. En éste se calculó el valor económico del arrecife mediante la transferencia de valor. El meta-análisis que se realizó, incluyó variables geográficas (ubicación), ecológicas (área de cobertura de coral y un índice de biodiversidad), socioeconómicas (PIB per cápita, densidad de población y número de visitantes), servicios prestados por el arrecife (buceo, snorkel, pesca comercial y recreativa y protección costera) y el tipo de método utilizado. Se encontró que las variables que tuvieron más incidencia fueron el número de visitantes y el área de cobertura de coral. Respecto a el ingreso per cápita, la densidad de población y el número de visitantes tienen un efecto positivo sobre el valor de los arrecifes de coral. En cuanto a los métodos de valoración sólo se destacó el método de valoración contingente (MVC), por último el área del arrecife, así como que tan biodiverso era el arrecife también influyeron positivamente en el valor económico del ecosistema (Brander et al., 2012).

Los estudios sobre el estado de condición de los arrecifes, se han centrado en saber qué indicadores son adecuados para evaluarla. La Iniciativa Arrecifes Saludables (Healthy Reefs) propone los siguientes indicadores para saber el estado de condición de un arrecife: porcentaje de cobertura de corales, porcentaje de cobertura de algas, biomasa de peces herbívoros (loros y cirujanos) y biomasa de peces comerciales (pargos y meros) (McField and Kramer, 2007, Healthy Reefs, 2012). Todo esto se engloba en un solo índice, el índice de Salud Arrecifal (ISA), lo que favorece el mapeo y la

comprensión del estado de salud del arrecife. Los cuatro indicadores se promedian con valores entre uno (crítico) y cinco (muy bien), cuyos umbrales representan un ajuste entre las condiciones ideales y lo que se podría aspirar en la realidad bajo las condiciones actuales, de acuerdo con AGRRA.org - *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment*- (Healthy Reefs, 2012, Kramer et al., 2015).

4. Pregunta de investigación

¿Cuál sería el valor económico del arrecife de Akumal si se toma en consideración la relación que guarda el estado de condición de un arrecife en la provisión de servicios ecosistémicos?

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Realizar una propuesta metodológica para que la valoración económica de los arrecifes de coral pueda considerar su estado de condición y determinar su valor monetario, tomando como caso de estudio el Arrecife de Akumal, Quintana Roo.

Objetivos Específicos

- Aplicar el método de transferencia de valor para estimar el valor económico total, de acuerdo con la estimación del área del arrecife de Akumal.
- Plantear una propuesta metodológica para darle un valor económico a los arrecifes de coral en función de su estado de condición.

6. Justificación

La valoración de servicios ecosistémicos es una herramienta que brinda soporte a la toma de decisiones, cuyo propósito es subsanar deficiencias en la administración de recursos naturales. Las problemáticas de calidad del agua, aire, mal manejo de residuos y degradación de ecosistemas, afectando el bienestar tanto de generaciones actuales como futuras. La degradación de arrecifes de coral en el Caribe ha aumentado paulatinamente, producto de problemáticas ambientales que continúan mermando la condición de estos ecosistemas. En este sentido, se han realizado estudios enfocados en el cambio de la condición de estos ecosistemas, así como la interacción que tienen con las poblaciones humanas que se benefician de estos. A su vez, los trabajos de valoración económica existentes se centran en los servicios recreativos o de aprovisionamiento, sin considerar los procesos dinámicos o las funciones ecológicas de los arrecifes coralinos, ni cómo estos han cambiado en un contexto de degradación. De esta manera, es indispensable el desarrollo de información adecuada acerca del valor del ecosistema de acuerdo con su condición actual que permita el soporte a la toma de decisiones en manejo, dirigidas hacia un desarrollo sustentable del territorio, tomando como caso de estudio el arrecife de Akumal, Quintana Roo.

7. Área de estudio

Akumal es una comunidad del municipio de Tulum ubicado en el estado de Quintana Roo. Se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 20°26' N, 87°18' O y 20° 17' N y 87°20' O, con 15 km de extensión. Akumal cuenta con una población de 1310 habitantes, su nombre proviene de la lengua maya y significa "lugar de tortugas". Administrativamente pertenece al municipio de Tulum, Quintana Roo, y fue fundada alrededor del año 1958.

La principal actividad económica es el turismo y actividades derivadas. El arribo de turistas en Akumal durante 2015 fue de 384,728 personas, repartidas de la siguiente manera: 341,506 turistas en hoteles de cinco estrellas, 30,519 en hoteles de cuatro estrellas y 12,703 en hoteles de tres estrellas. En lo referente a la procedencia del turista se reporta también que, de los 384,728 turistas anuales, 12,137 (3% del total) fueron residentes del país, mientras que 372,591 eran extranjeros. La estadía en promedio de turistas en Akumal es de 7.4 días de personas no residentes y 3.4 de personas residentes del país. De la ocupación hotelera que es del 87%, sólo el 0.9 % son residentes del país y 86% de extranjeros (INEGI, 2016).

El arrecife coralino que se encuentra frente a la localidad de Akumal forma parte del Arrecife Mesoamericano y cuenta con una extensión aproximada de 1641.91 hectáreas (Figura 8). Akumal fue el primer desarrollo turístico en el estado por lo que los impactos que ha tenido son de larga trayectoria. Entre estos impactos destacan el cambio de uso de suelo, deterioro en la calidad del agua por escorrentías y filtraciones, alta incidencia de actividades de buceo, pesca deportiva y navegación de tipo turístico, (Garza-Pérez, 2004)

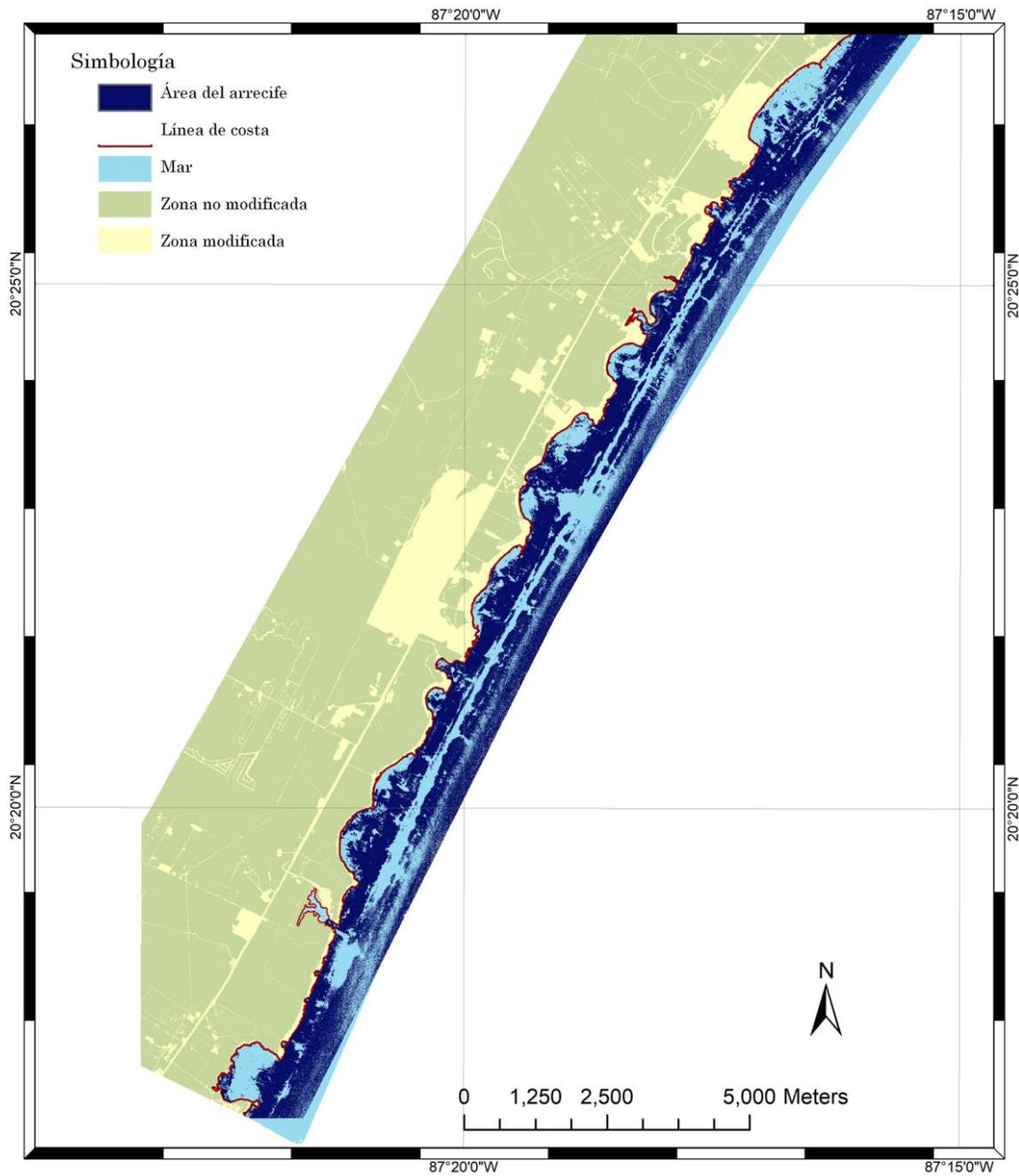


Figura 8. Mapa de ubicación del arrecife coralino en Akumal, Quintana Roo. El color verde representa el área no ocupada, mientras el área amarilla muestra la zona urbanizada. La línea de costa está en rojo, y el azul oscuro representa el área total del arrecife. Fuente: Datos espaciales extraídos de imagen WorldView-3, junio 2016.

8. Metodología

8.1. Análisis de Meta-regresión

8.1.1. Selección de estudios y generación de base de datos para la transferencia de valor

Para poder realizar la transferencia de valor de los servicios ecosistémicos para el caso del arrecife de Akumal, se empleó como punto soporte la base de datos: Ecosystem Service Value Database (ESVD) generada a partir del TEEB (2012) -La Economía para los Ecosistemas y la Biodiversidad-. Este instrumento de trabajo fue realizado por (De Groot et al., 2012) y contiene 1350 estimaciones de los diferentes servicios ecosistémicos. La base de datos está organizada en unidades de valor/ha/año, en dólares (\$USD 2007). Asimismo, dicha base cuenta con un total de 151 estimaciones para el valor de los arrecifes de coral, divididos en los diferentes servicios ecosistémicos. Sin embargo, en esta base el valor monetario no está normalizado, por lo que se utilizó el apéndice (Online Supporting Information to ECOSER-S-00019), donde los valores ya están estandarizados. Es decir, se seleccionaron los datos de la ESVD correspondientes a servicios ecosistémicos de arrecifes de coral, pero sólo los que contaran con el valor económico normalizado. Y una vez que se extrajeron, se pudo generar la base de datos para el presente estudio. Ésta fue dividida de acuerdo con los siguientes criterios: número de observación, ID del estudio base, los distintos tipos de servicios del arrecife (alimentación, genéticos, ornamentales, materia prima, regulación del clima, moderación de eventos extremos, tratamiento de residuos, prevención de la erosión, genepool /acervo genético, cognitivos y recreación); el método de valoración que se empleó en el estudio (valoración contingente, costo de viaje, costo de remplazo, función de producción, precios de mercado, valoración grupal, costos evitados); año de publicación de estudio, continente, país, el área del arrecife estudiado representada hectáreas, longitud y latitud (ubicación del estudio base), GDP per cápita, y por último el valor del servicio, representado en \$USD 2016/ hectárea/año que originalmente estaba en \$USD 2007. Simultáneamente, se desarrolló un apartado donde se incluyó, el nombre del estudio base, autores, año de publicación y notas adicionales (Figura 9. I, II y III). Una vez que se conjuntó esta base de datos para realizar el ejercicio de transferencia de valor, se concentraron las variables cuyos datos estuvieran completos para cada observación -se utilizaron 68 estimaciones- (Tabla 1) para poder generar otra matriz de datos, con el objetivo de realizar un modelo de meta-regresión (Figura 9. IV).

Este análisis de meta-regresión se llevó a cabo en primera instancia para identificar las variables estadísticamente significativas, que permitieran comprender la variación en la estimación de los

valores del arrecife de coral, haciendo uso del software STATA. El modelo aplicado fue semilogarítmico, que consiste en que los coeficientes estiman ya sea un cambio absoluto o relativo en la variable dependiente, dado un cambio absoluto expresado en el valor de las variables explicativas. La ecuación que explica este modelo de meta-regresión se expone a continuación:

$$\ln(y) = a + x_{Si} b_S + x_{wi} b_w + x_{Ci} b_c + u_i$$

La variable dependiente (y) es el logaritmo natural del valor del servicio ecosistémico del arrecife, el cual, se expresa en \$USD 2016/hectárea/año y proviene de la base de datos analizada. Asimismo, “ i ” es un índice referente a las “ n ” observaciones (n =número de estudios); “ a ” es una constante; b_s , b_w y b_c , corresponden a los vectores que contienen a las variables explicativas; finalmente “ u ” es un término de error, que asume una distribución normal, con media de cero. A su vez, las variables se dividen en tres categorías (Tabla 1), de acuerdo con sus características: la valoración del estudio (X_s), el valor del arrecife (X_w), y el contexto económico y geográfico (X_c).

Tabla 1. Variables exploratorias utilizadas en la meta-regresión

Grupo	Variable	Tipo de Variable	Niveles/Unidades de medida	n
Estudio	Método de valoración	Nominal	Método de valoración contingente	10
			Método de costo de viaje	4
			Costo de reemplazo	3
			Función de producción	2
			Precios de mercado	42
			Valoración grupal	1
			Costos evitados	6
	Año de publicación	Nominal	Número de años desde la primera valoración	68
Arrecife de coral	Servicio ecosistémico	Nominal	Alimentación	14
			Genéticos	1
			Ornamental	4
			Materia Prima	2
			Regulación del clima	1
			Moderación de eventos extremos	9
			Tratamiento de residuos	1
			Prevención de la erosión	1
			Genepool/ Acervo genético	7
			Cognitivos	2
			Recreación	26
	Área/tamaño	Radio	Log Natural de Hectáreas	68
Contexto	GDP per cápita/ PIB	Radio	Log Natural USD 2016 PPP	68

De las variables explicativas que fueron expresadas en logaritmo, los coeficientes que se generaron a partir de estas, se interpretaron como elasticidades, lo que significa que se midió la relación entre el

porcentaje de la variable dependiente y el porcentaje de variación (pequeño) de las variables explicativas (Brander et al., 2006, Camacho-Valdez et al., 2013). Al correr la regresión lineal múltiple, también se optó por desarrollar un análisis de normalidad. Los datos no se distribuyeron de manera normal cuando se les aplicó la prueba de Shapiro Wilk, entonces, se optó por utilizar una regresión robusta, que consiste en ver el peso de las variables basadas en su comportamiento. En términos generales es una forma de regresión de mínimos cuadrados ponderada y re-ponderada y se hace uso de ella precisamente cuando no existe normalidad en los datos (UCLA, 2020).

8.2. Estimación del valor del arrecife con métodos de transferencia de valor

8.2.1. Procesamiento de datos

Una vez construida la base de datos a partir de la ESVD, se aplicó estadística descriptiva básica. Primeramente, las estimaciones se agruparon de acuerdo al tipo de servicio ambiental, en este caso fueron tres categorías: servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación y soporte y servicios culturales. Cuando se concluyó esto, se obtuvieron los promedios, valores máximos y mínimos, desviación estándar y mediana para cada servicio ambiental. El siguiente paso consistió en vaciar esos datos a una tabla final dividida en tipos de servicios y valores medios finales. Una vez completado este paso se obtuvo el área total del arrecife en estudio para realizar la extrapolación de resultados.

Para la obtención del área total del arrecife, se empleó el software ArcGIS v.9.3 (ESRI Inc.), contando con la imagen correspondiente al área ocupada por estructuras arrecifales en el área de estudio de Akumal, en formato ráster (-GRID- derivada de una imagen WorldView-2 de marzo de 2013, Garza-Pérez *datos no publicados*) con una resolución espacial de 2x2 m/píxel (Figura 8). Esta imagen se seleccionó por ser la imagen con mejor apreciación del fondo, dadas sus características de poco oleaje y poca turbidez. Se realizó el cálculo del área mediante la herramienta de Geometría Zonal del módulo de Análisis Espacial. Es decir, se realizó la suma de todos los valores de área de cada celda. El argumento de salida fue una tabla en lugar de un ráster. La herramienta, calcula para cada zona de un dataset, las medidas de geometría (área, perímetro, grosor y características de la elipse) y muestra los resultados como una tabla. Después, se hizo una conversión del valor en metros cuadrados a hectáreas, para hacer la transferencia de valor (Figura 9. V).

8.2.2. Ajuste de valores

Por último, se hizo un ajuste de las estimaciones obtenidas en dólares de 2007 a dólares de 2016, esto mediante estimadoras digitales del valor de la inflación (ODF and Alioth-Finance, 2019) disponibles en línea que utiliza el Índice de Precios al Consumidor. En la siguiente tabla se pueden resumir los servicios ambientales del arrecife, dividido en las distintas categorías de servicios propuesta por Ecosistemas del Milenio y acoplado por el TEEB de 2012, a la par se describe teóricamente en lo que consiste cada servicio (Tabla 2). Prácticamente serán los servicios que fueron ocupados para la transferencia de valor, y se acoplan a tres categorías para evitar el doble conteo (Figura 9. V).

Tabla 2. Servicios ecosistémicos del arrecife , a partir de (Olivera Vázquez, 2014) y (Hattam et al., 2015).

<i>Servicio ecosistémico</i>	Tipo de Servicio ecosistémico	Descripción del servicio ambiental
<i>Servicios de aprovisionamiento</i>	Alimentación	Materia prima, alimentos
	Genéticos	Fuente única de material genético y productos
	Ornamentales	Uso ornamental
	Materiales de construcción	Materia prima
<i>Servicios de regulación</i>	Regulación del clima	La contribución del ecosistema marino al mantenimiento de un clima favorable a través de impactos sobre el ciclo hidrológico, la regulación de la temperatura y la contribución a la influencia climática de sustancias en la atmósfera
	Moderación de Eventos extremos	Protección de la línea costera
	Tratamiento de residuos	Eliminación de entradas contaminantes y nutrientes a los ambientes marinos provenientes de los asentamientos humanos
	Prevención de la erosión	Retención de sedimento
<i>Servicios culturales</i>	Cultural	Oportunidades para usos no comerciales
	Cognitivos	La contribución de los ecosistemas marinos al mantenimiento del patrimonio cultural. Un ecosistema marino aporta a la educación, la investigación y desarrollo cognitivo colectivo.
	Recreación	La provisión de oportunidades para el turismo, la recreación y el ocio que dependen del estado particular del ecosistema marino.

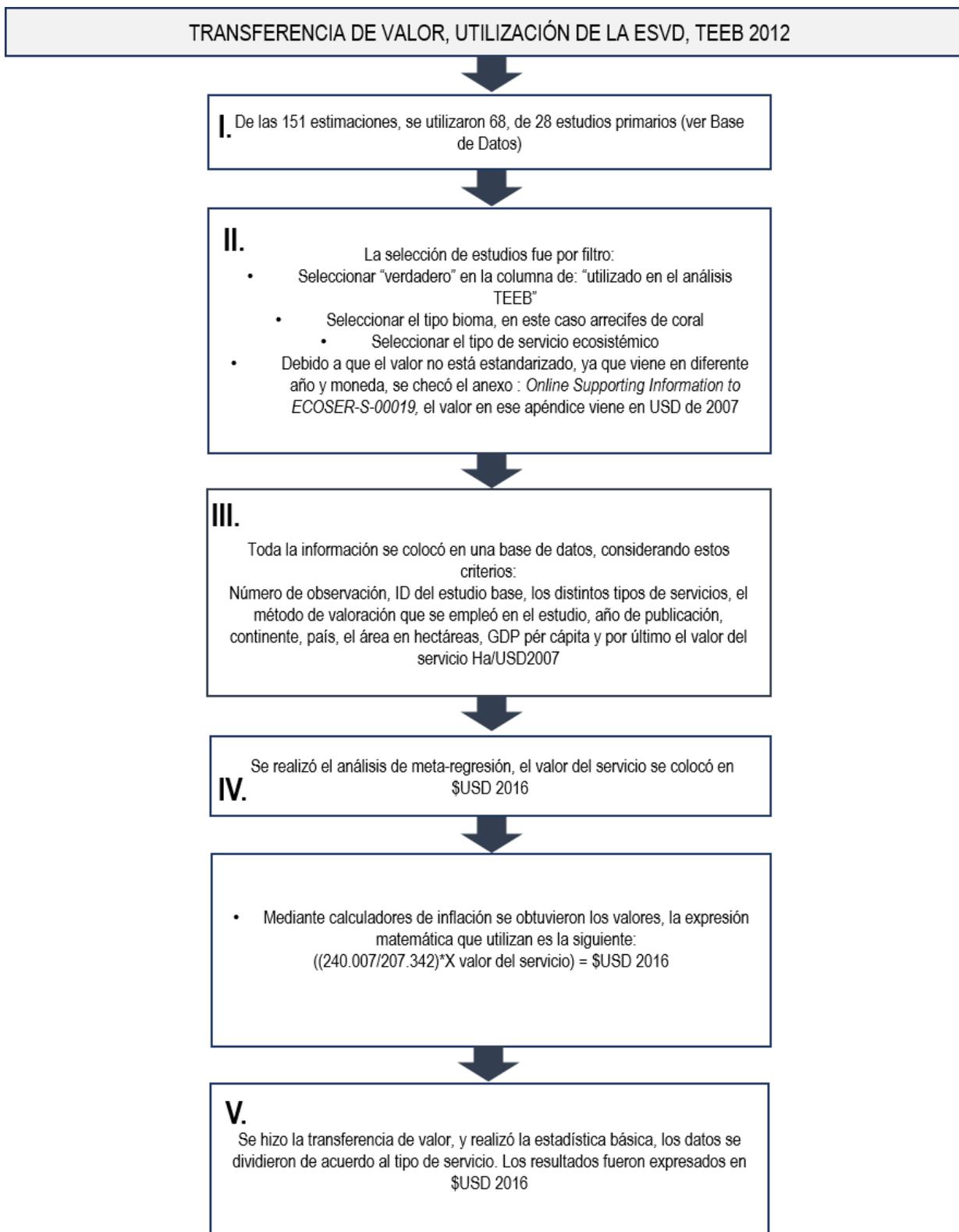


Figura 9. Esquema metodológico de la Transferencia de Valor

8.3. Propuesta para estimar el valor económico en función del estado de conservación

En 2015 se hizo la actualización del diagnóstico ambiental del arrecife de Akumal (Aranda-Fragoso, 2016) y se estimó el Índice de Salud Arrecifal -ISA- propuesto por la organización Healthy Reefs (Kramer et al., 2015). El resultado de este diagnóstico de condición fue utilizado como referente para hacer una propuesta de valoración de los arrecifes.

El ISA utiliza los siguientes indicadores de condición de un arrecife para integrar el valor final del Índice:

- Porcentaje de cobertura de corales
- Porcentaje de cobertura de algas
- Biomasa de peces herbívoros (loros y cirujanos)
- Biomasa de peces comerciales (pargos y meros)

La condición se evalúa de manera cualitativa, otorgando valores a los indicadores en una escala de 1 a 5, siendo 1 crítico y 5 muy bueno de acuerdo con los rangos de porcentaje de cobertura o biomasa registrados en cada sitio (Tabla 3). De acuerdo con la

Tabla 4), el estado de condición arrecifal laguna arrecifal fue clasificada como en estado crítico con un valor promedio de 1.5 D.E. \pm 0.57. El frente arrecifal fue clasificado como malo, con un valor de 2 D.E. \pm 0.8. Por último, la pendiente arrecifal también fue catalogada como mala con un valor promedio de 2 D.E. \pm 0.8. El promedio total de las tres zonas estudiadas es 1.8 por lo cual se considera el estado de condición del arrecife de Akumal como “crítico”.

Tabla 3. Índice de Salud Arrecifal (Kramer et al., 2015)

Indicadores	Muy bueno 5	Bueno 4	Regular 3	Malo 2	Crítico 1
Cobertura de Coral (%)	>40	20 – 39.9	10 – 19.9	5 – 9.9	>5
Cobertura de Macroalgas (%)	0 – 0.9	1 - 5	5.1 – 12	12.1 – 25	>25
Biomasa de peces herbívoros (gr/100 m ²)	\geq 3480	2880 - 3479	1920 – 2879	960 – 1919	>960
Biomasa de peces comerciales (gr/100 m ²)	\geq 1680	1260 - 1679	840 – 1259	420 – 839	>420

Tabla 4. Indicadores y valores para el estado de condición arrecifal por zona, Akumal (Aranda-Fragoso, 2016)

Indicador	Laguna	Frente	Pendiente	Promedios de laguna, frente y pendiente
Cobertura de Coral (%)	4.05	7.54	8.26	6.61: Malo
Cobertura de Macroalgas (%)	21.82	35.26	58.73	38.60: Crítico
Biomasa de peces herbívoros (gr/100m2)	1475.7	2646.2	2293.4	2138.43: Regular
Biomasa de peces comerciales (gr/100 m2)	105.9	523.7	728.3	452.63: Malo
Categorías	Crítico 1.5	Malo 2	Malo 2	Malo 2 por indicadores 1.8 por las tres zonas

8.3.1. Transferencia de Valor Integrando el valor promedio del ISA para Akumal

En el ejercicio de transferencia de valor que se realizó, se obtuvo el valor económico del arrecife de Akumal de acuerdo a su superficie. Y con base en lo descrito, se propuso incorporar el ISA a los resultados del ejercicio de Transferencia de Valor (Figura 10. I). Los resultados se obtuvieron, tomando en consideración el valor promedio del índice y los valores económicos por tipo de servicio ecosistémicos totales del arrecife de Akumal con la siguiente formula:

$$VEA = \frac{VEP}{VEc Max} \times VEc P$$

Dónde:

VEA: Valor económico ajustado a la condición actual del arrecife

VEP= Valor económico promedio de "X" tipo de servicio ecosistémico

VEc Max= Valor máximo o ideal del Estado de condición del arrecife estimado a través del ISA

VEc P= Valor promedio actual del Estado de condición del arrecife de estudio estimado a través del ISA

8.3.2. Transferencia de Valor Integrando los valores espacialmente explícitos del ISA para Akumal

Asimismo, se utilizó una capa de información en formato ráster del Índice de Salud Arrecifal -ISA- (GRID-generada a partir de la predicción espacial del ISA, obtenida con datos de campo y una imagen WorldView-2 ambos de 2015, Garza-Pérez *datos no publicados*). Para obtener los datos en campo para el ISA, se requirió de filmar videotransectos de 50 x 0.6m del sustrato arrecifal. Se visitaron 12 estaciones en 2014, 42 en agosto de 2014 y 33 en febrero de 2015. Se evaluaron las tres zonas del arrecife: laguna, frente y pendiente. Para estimar las coberturas se incluyó los taxas de corales escleractínios, octocorales, algas bentónicas, esponjas, zoántinidos y la cobertura del sustrato por componentes no vivos, arena, roca, pedacería, y se realizó un promedio de coberturas para cada zona arrecifal. En cada uno de los transectos se realizó el conteo de número de colonias coralinas por especie y así establecer su densidad y porcentaje de abundancia. Se realizaron censos visuales para la evaluación de comunidades de peces (transectos en banda de 100m²). Se hizo una clasificación por peces herbívoros y comercialmente importantes (Aranda-Fragoso, 2016) . Finalmente se pudo realizar la predicción del ISA. Esta capa tiene valores en el rango de uno a cinco representando el valor del ISA calculado para cada pixel (1.8x1.8 m, 3.24 m²) del área de interés del arrecife de Akumal. Dicha capa se ingresó al Software ArcGIS 10.2 y se realizaron procesos de reclasificación, primeramente, para poder depurarla (es decir se eliminaron celdas con valores predichos fuera del rango para evitar hacer una subestimación o sobrestimación); y una vez que obtuvo el ráster corregido, mediante la utilización de la herramienta *Raster Calculator*, se aplicó una sencilla fórmula, para que multiplicara el valor del ISA en cada celda por el valor económico máximo teórico de esa misma área expresado en dólares (Figura 10. III). La fórmula es la siguiente:

$$\text{Valor económico por pixel ponderado por ISA} = \frac{\text{Valor ISA por pixel} \times \text{Valor económico máximo teórico por pixel}}{5 (\text{valor máximo del ISA})}$$

8.3.3. Generación de mapa de valor económico ajustado del arrecife de acuerdo a su condición

Finalmente, se generó una nueva capa de información con los nuevos valores económicos por pixel en función del estado de salud del arrecife. Con estos nuevos datos se volvió a calcular el Valor económico total del arrecife, tomando en cuenta la sumatoria total de los valores diferenciados por celda y no sólo los valores promedio, como anteriormente se hizo (Figura 10. IV). A la par, también se calculó el valor por hectárea.

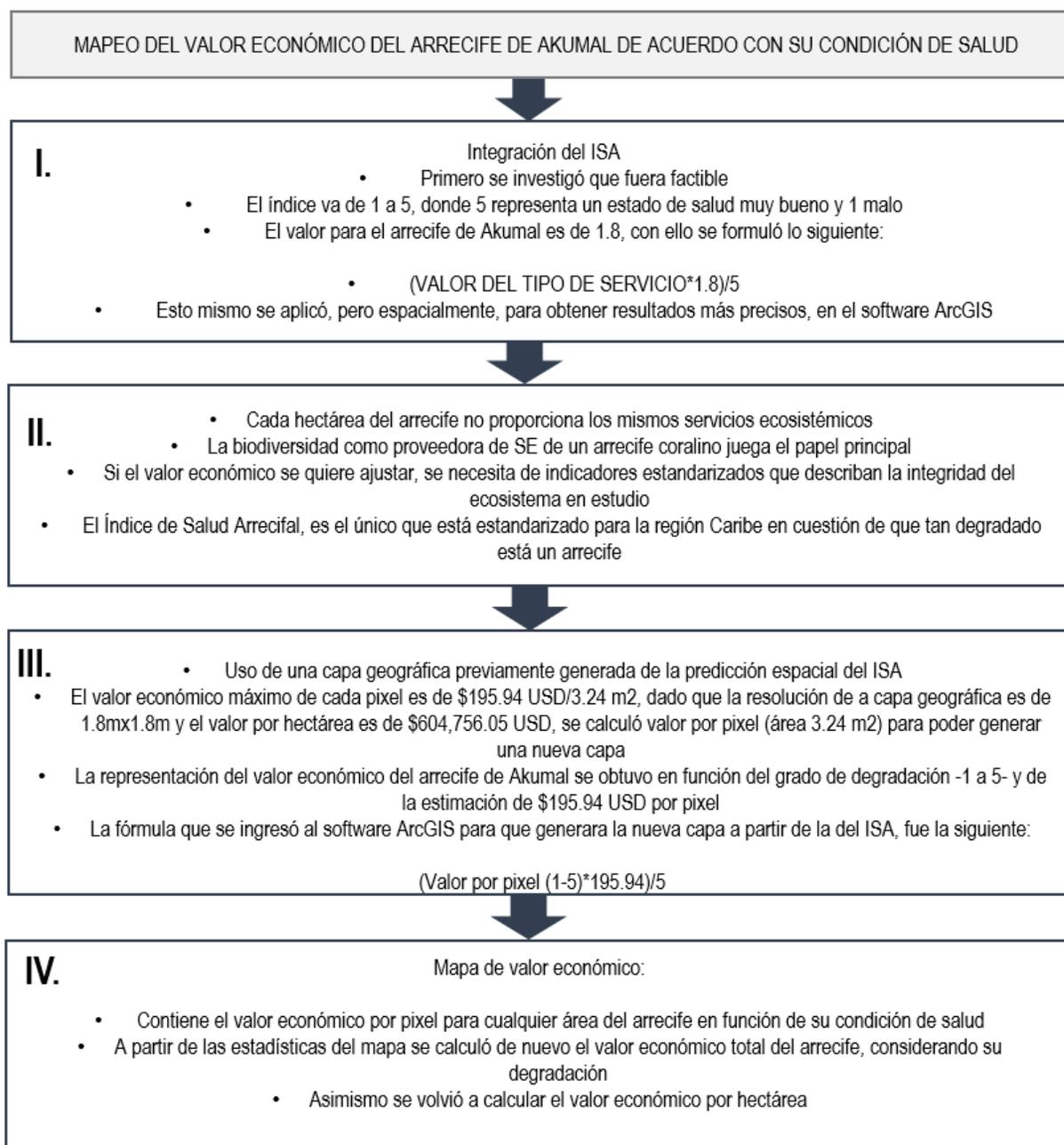


Figura 10. Esquema metodológico para generar mapa de Valor Económico del arrecife de Akumal en función de su estado de salud

9. Resultados

9.1. Resultados de Meta-regresión

Se encontraron dos variables estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con base en los p valores, que explican la variación en los valores. Para este caso, el área y los servicios ornamentales son las variables que tuvieron mayor efecto sobre el valor económico total de los servicios ecosistémicos del arrecife (Tabla 5). Para la variable de área, el coeficiente fue de -0.58 con una significancia del 99% utilizando α , lo que implica que el valor económico será mayor si el área es más pequeña. Con respecto a los servicios ornamentales, el coeficiente fue de -7.53 con una significancia del 95%, al igual que la variable anterior el coeficiente fue negativo -a menores estudios de servicios ornamentales mayor valor económico-.

Tabla 5. Resultados de Meta-regresión

Variable	Coficiente	P> t	Error estándar
Método de valoración contingente	1.358257	0.599	2.565124
Método de costo de viaje	3.366474	0.265	2.984251
Costo de reemplazo	5.114839	0.115	3.183697
Función de producción	-	-	-
Precios de mercado	3.470907	0.192	2.622528
Valoración grupal	1.06917	0.789	3.978716
Costos evitados	5.22199	0.065	2.761765
Número de años desde la primera valoración (1984)	0.018421	0.831	0.085656
Alimentación	-4.40982	0.143	2.964545
Genéticos	-2.22702	0.577	3.963333
Ornamental	-7.53366	0.022**	3.18381
Materias primas	-0.60637	0.868	3.622923
Regulación del clima	-5.84003	0.232	4.827566
Moderación de eventos extremos	0.480453	0.899	3.755781
Tratamiento de residuos	-4.42835	0.389	5.093491
Prevención de la erosión	-	-	-
Genepool/ Acervo genético	-2.16285	0.51	3.257119
Cognitivos	-3.78713	0.294	3.569355
Recreación	-1.56575	0.602	2.980949
Log Natural del Área	-0.58057	0*	0.097503
Log Natural del GDP/ PIB	0.433147	0.349	0.458019
Número de observaciones	68		

Significancia utilizando alfa *1% y **5% respectivamente

9.2. Estimación del valor económico total

Para la transferencia de valor se obtuvieron los valores para un arrecife modelo, en dólares de 2007 (De Groot et al., 2012) (Tabla 6) y posteriormente se convirtieron los valores en dólares de 2016 (Tabla 7), mediante calculadores de inflación (ODF and Alioth-Finance, 2019).

Tabla 6. Resultados de Transferencia de Valor \$USD 2007/Ha

Tipo de Servicio Ecosistémico/ 2007	No. estimaciones	Valor medio	Valor de la mediana	Desviación estandar	Valor mínimo	Valor máximo
Servicios de aprovisionamiento	21	66238.18	65593	47400	33073	103896
Alimentación	14	820.93	155	1771	0	6175
Genéticos	1	33048	33048		33048	33048
Ornamental	4	200.75	221	148	16	345
Materia prima	2	32169	32169	45480	9	64328
Servicios de regulación y soporte	19	345985	312569	68285	308715	505240
Regulación del clima	1	2192	2192		2192	2192
Moderación de eventos extremos	9	18761	1720	33642	4	104134
Tratamiento de residuos	1	85	85		85	85
Prevención de la erosión	1	306427	306427		306427	306427
Genepool	7	18519	2145	34643	7	92402
Servicios culturales	28	110226	4857	353442	121	1491425
Cognitivos	2	3275	3275	4460	121	6429
Recreación	26	106951	1582	348981	0	1484996
Total	68	522449	383018	469126	341909	2100561

Tabla 7. Resultados de la Transferencia de Valor, (\$USD 2016/Ha)

Tipo de Servicio ecosistémico/ 2016	No. estimaciones	Valor medio 2016	Valor de la mediana 2016	Desviación estándar 2016	Valor mínimo 2016	Valor máximo 2016
Servicios de aprovisionamiento	21	76673.45	75926.05	54867.07	38283.37	120263.95
Alimentación	14	950.26	179.42	2050.13	0.00	7147.82
Genéticos	1	38254.44	38254.44		38254.44	38254.44
Ornamental	4	232.38	255.82	171.49	18.52	399.35
Materia prima	2	37236.38	37236.38	52645.46	10.42	74462.34
Servicios de regulación y soporte	19	400491.90	361811.63	79042.25	357350.47	584836.34
Regulación del clima	1	2537.33	2537.33		2537.33	2537.33
Moderación de eventos extremos	9	21717.15	1990.97	38941.61	4.63	120539.44
Tratamiento de residuos	1	98.39	98.39		98.39	98.39
Prevención de la erosión	1	354702.01	354702.01		354702.01	354702.01
Genepool	7	21437.01	2482.93	40100.64	8.10	106959.16
Servicios culturales	28	127590.70	5621.60	409123.52	140.06	1726386.55
Cognitivos	2	3790.95	3790.95	5163.13	140.06	7441.84
Recreación	26	123799.75	1830.65	403960.39	0.00	1718944.71
Total	68	604756.05	443359.29	543032.84	395773.91	2431486.84

Una vez obtenidos los anteriores resultados, se procedió a calcular el área del arrecife de Akumal (Tabla 8) y se obtuvieron los siguientes datos, tomando en cuenta el valor por hectárea del arrecife. El valor medio por hectárea corresponde a \$604,756 USD 2016/Ha/año mientras que el valor total del área del arrecife es de \$992,959,113 USD 2016/año.

Tabla 8. Resultado de la Transferencia de Valor por tipo de servicio ecosistémico, Arrecife de Akumal

TIPO DE SERVICIO	USD 2016/HECTÁREA/AÑO	ÁREA DEL ARRECIFE EN HECTÁREAS	VALOR TOTAL ARRECIFE DE AKUMAL USD 2016/AÑO
SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO	\$76,673.45	1641.9168	\$125,891,428.82
SERVICIOS DE REGULACIÓN Y SOPORTE	\$400,491.90	1641.9168	\$657,574,377.99
SERVICIOS CULTURALES	\$127,590.70	1641.9168	\$209,493,306.89
TOTAL	\$604,756.05	1641.9168	\$992,959,113.70

9.3. Valor económico del Arrecife de Akumal en función de su estado de conservación

La obtención del valor económico total del arrecife de Akumal fue de \$992,959,113 USD2016, y \$604,756 USD 2016/año/hectárea. Sin embargo, se pretendió ajustar el valor del arrecife con relación a su condición actual, utilizando el índice de Salud del Arrecifal (ISA), y ajustando con éste la estimación de la transferencia de valor. El promedio del Índice de Salud Arrecifal, de las tres zonas estudiadas -frente, pendiente y laguna- (Aranda-Fragoso, 2016), para el arrecife de Akumal en 2016 fue de 1.8, por lo cual se considera el estado de condición del arrecife de Akumal como “crítico”, de acuerdo con la escala que maneja el índice. Tomando en cuenta esto, la estimación total para el arrecife que anteriormente había sido de \$992,959,113 USD, disminuyó a \$357,465,280 USD/2016, así como el valor por hectárea disminuyó de \$604,756 USD a \$217,712 USD/2016 (Tabla 9). Estos nuevos valores se calcularon tomando únicamente el valor promedio del índice para todo el arrecife en general.

Tabla 9. Estimación Del Valor Económico Total del Arrecife de Akumal, USD 2016 (Condiciones Actuales)

TIPO DE SERVICIO	USD 2016/HECTÁREA/AÑO CONDICIONES ACTUALES DEL ARRECIFE DE AKUMAL, DE ACUERDO CON EL ISA	ÁREA DEL ARRECIFE EN Ha	VALOR ECONÓMICO TOTAL DEL ARRECIFE DE AKUMAL USD 2016/AÑO
SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO	\$27,602.44	1641.9168	\$45,320,914.37
SERVICIOS DE REGULACIÓN Y SOPORTE	\$144,177.08	1641.9168	\$236,726,776.08
SERVICIOS CULTURALES	\$45,932.65	1641.9168	\$75,417,590.48
TOTAL	\$217,712.18	1641.9168	\$357,465,280.93

Asimismo, la representación del valor económico del arrecife de Akumal se presenta de manera espacialmente explícita en la Figura 11, correspondiente a la ponderación del valor económico máximo de cada píxel con su estimación -por píxel individual- del índice de Salud Arrecifal (ISA), utilizando

como base una capa geográfica generada previamente (Garza-Pérez -no publicada-) de la predicción espacial del ISA. Este valor asignado a cada píxel, se calculó a partir del resultado de la valoración por hectárea del arrecife \$604,756 USD 2016; proporcionalmente a un área de 3.24 m² (relativa a la resolución espacial de 1.8x1.8m/ píxel), lo cual corresponde a \$195.94 USD. La sumatoria de los valores económicos ponderados de cada uno de los píxeles del arrecife de Akumal corresponde a \$199,645,388 USD 2016 del área total del arrecife, y el valor ajustado promedio por hectárea obtenido a través de esta aproximación corresponde a \$121,592 USD2016/año/Ha. (Ver Anexo 1).

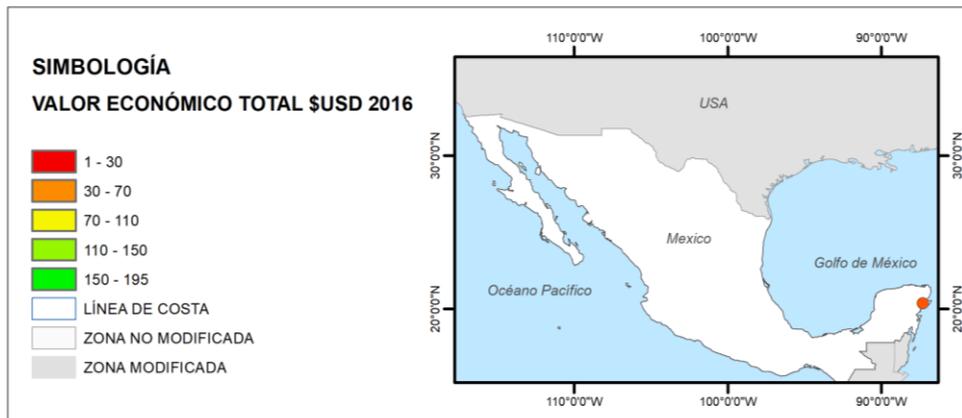
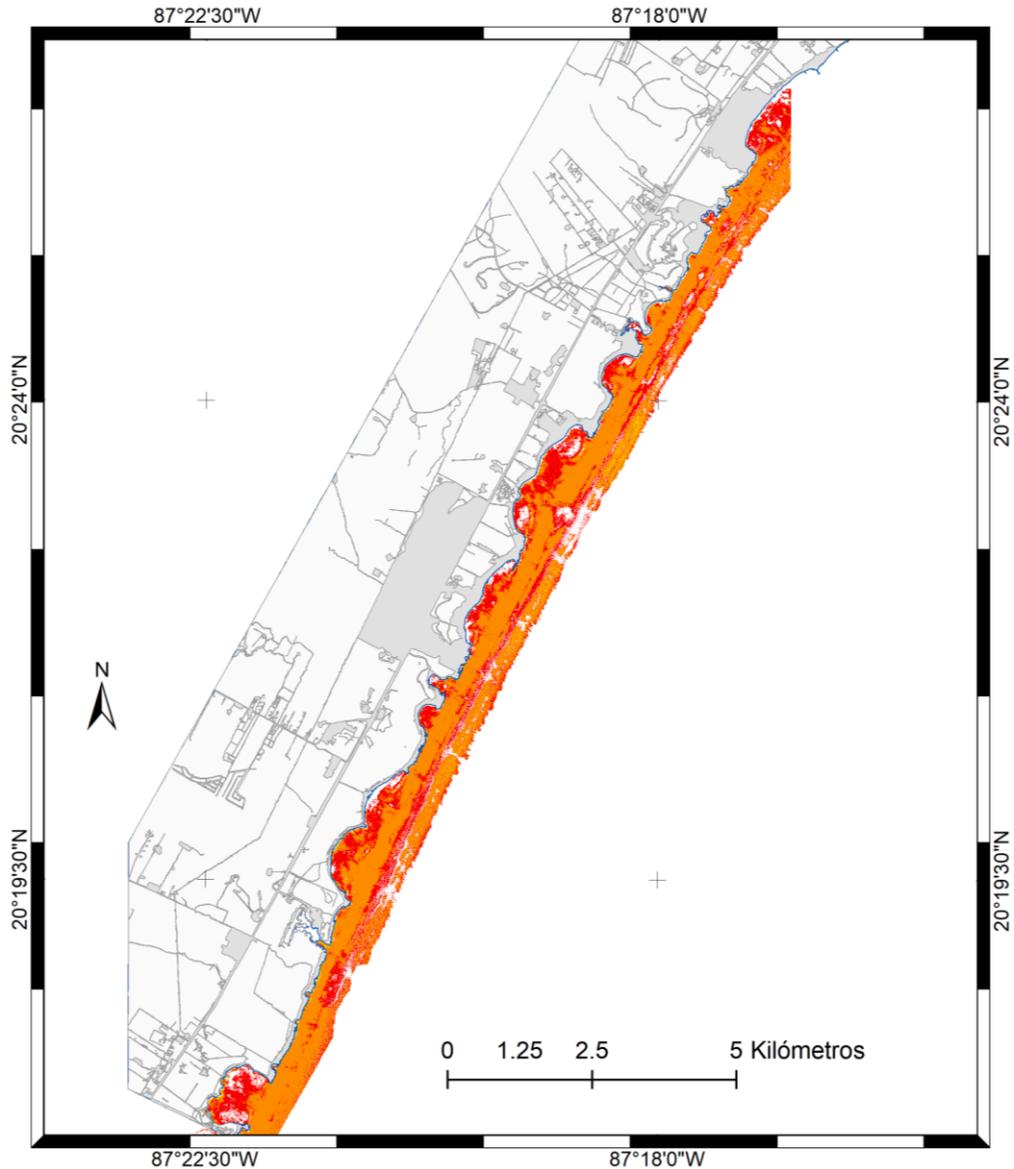


Figura 11. Mapa del Valor económico total del arrecife asociado a su estado de condición

10. Discusión

10.1. *Análisis de meta-regresión de los datos utilizados en la Transferencia de Valor*

En la literatura se ha encontrado que la variación en el valor económico de arrecifes de coral, mediante la meta-regresión está dada por: el área de cobertura del arrecife, número de visitantes, el método de valoración contingente, el método de costo de viaje y el GDP (PIB: Producto Interno Bruto), los cuales han sido vinculados al estimar el valor recreativo de los arrecifes (Brander et al., 2015, Brander et al., 2007). Por otro lado, se ha visto que los estudios de valoración contingente en humedales tienden a producir estimaciones de mayor valor, es decir que al utilizar este método para valorar humedales (Disponibilidad a Pagar), otorga valores más grandes que si se empleara el método de precios hedónicos, precios de mercado o algún otro (Brander et al., 2006). De acuerdo con lo anterior, hubiéramos esperado que la variable que estuviera teniendo un efecto sobre la variable dependiente (valor económico del arrecife), sería el método de valoración contingente, algún otro método de valoración, o los servicios de recreación. Sin embargo, fueron los servicios ornamentales los que resultaron con un efecto significativo sobre esta variable -a menores servicios ornamentales mayor valor económico del arrecife-. El valor que arrojan los estudios de servicios ornamentales -suministro de corales como de conchas para creación de joyería y objetos artesanías (Loya et al., 2019)- es menor frente a los otros servicios evaluados, también existe una menor diferencia entre sus propios valores. Son servicios a los cuales se les da un valor bajo, y, aunque se cuente con más estudios de este tipo de servicio ecosistémico, el valor por hectárea del arrecife no va a aumentar. Una de las posibles razones por las que no es observable un valor más alto, es que los estudios han conjuntado peces invertebrados y otras especies de acuarios, junto con los que son considerados exclusivamente servicios ornamentales -joyería y artesanías- (Biondo, 2017, Craig et al., 2011, Harriott, 2001). Entonces entre menos estudios de servicios ornamentales se tengan mayor será el valor económico del arrecife.

Respecto a las variables que se esperaban como significativas, se ha visto que los métodos de valoración también tienden a tener bajo porcentaje de significancia en el modelo de meta-regresión, al menos para el caso de los arrecifes, así como el GDP(PIB) (Brander et al., 2012).

El área fue la variable más significativa, las unidades que se manejaron en la base de datos fueron hectáreas y el resultado fue que a menor área mayor valor económico del arrecife. Al igual que en otras investigaciones de valoración de arrecifes, la variable principal que podría explicar la variación

es el área. Por ejemplo, en 2012, se realizó un estudio de valor recreativo de los arrecifes a nivel mundial y uno de sus resultados fueron rendimientos decrecientes a escala de la cobertura de coral. Se encontró que los arrecifes más pequeños tienden a ser más valiosos por km². Es decir, que si se adiciona un km² a un área grande el valor tiende a disminuir en comparación con un arrecife pequeño, y viceversa, perder un km² de un arrecife con un área más chica es más serio que perder un km² de un arrecife con un área mucho más grande (Brander et al., 2012). Esto concuerda con nuestros resultados, de que a mayor área menor valor económico por hectárea de arrecife.

Esto focaliza la importancia relativa de la variable área de cobertura de coral, pues si bien es la variable ecológica más utilizada en los estudios de valoración de arrecifes (Robles-Zavala, 2010, van Zanten et al., 2014), sólo da un panorama general de lo que podría valer este ecosistema, y deja de lado otras variables ecológicas, que podrían dar información y obtener un valor económico más aproximado del arrecife.

10.2. Transferencia de valor para estimar el valor económico total

La decisión de utilizar el método de transferencia de valor se basó en la versatilidad y rapidez del método, pero sobre todo porque la mayor parte de los estudios enfocados a servicios ecosistémicos en arrecifes, contemplan sólo una parte de estos y porque con el pasar del tiempo se ha demostrado la aplicación del método y la robustez que éste ha alcanzado (Ghermandi et al., 2010, Brander et al., 2015, Richardson et al., 2015). Entonces la elección del método se basó en la apertura de las bases de datos de los valores de los servicios ecosistémicos y la facilidad para manejarlos; asimismo, que son resultados que pueden ser comparables y escalables a otros sitios donde existan arrecifes de coral. En este caso, nos centramos en el arrecife de Akumal, que es sólo una pequeña porción del Sistema Arrecifal Mesoamericano.

En relación a estudios primarios, existe por ejemplo el de la Gran Barrera Arrecifal (Oxford-Economics, 2009), que se enfoca únicamente en servicios de recreación y culturales, debido principalmente a una falta de métricas que les permitieran incluir al conjunto de servicios ecosistémicos restantes -servicios de soporte y regulación-, ocasionando una subvaloración del ecosistema. Entonces el desarrollo de métodos que puedan incluir a todo el conjunto de servicios ecosistémicos presentes en un ecosistema es indispensable (Laurila-Pant et al., 2015). En sus inicios el método de transferencia de valor no era tan viable para dar valor monetario a un ecosistema (Brander et al., 2006). Sin embargo, con el pasar de los años y el aumento de estudios al respecto, el método se consolidó (Costanza et al., 2014); y a

pesar de que aún tiene limitantes (p. ej. desviaciones estándar elevadas), es un método integral que aborda todos los servicios ecosistémicos (Melo et al., 2016), obteniendo panorama completo del valor de un ecosistema.

Para la transferencia de valor que se realizó, se utilizó la base de datos ESVD generada por De Groot y colaboradores (2012); específicamente desarrollada para llevar a cabo estos métodos, (Van der Ploeg et al., 2010). La utilización de estas bases de datos que contienen los estudios primarios para realizar este ejercicio de valoración, se ha extendido ampliamente (Melo et al., 2016, Ghermandi et al., 2010, Brander et al., 2007), con la ventaja de un ahorro en tiempo y dinero (Azqueta et al., 2007). No obstante, las bases requieren tratamiento y también de revisión de la literatura de los estudios que están incluidos (Brander, 2013, Vačkář et al., 2018, Melo et al., 2016); por lo cual, a pesar de que existen otras bases de datos que se pudieron utilizar o estudios para anexar, la ESVD se presenta como una herramienta que está estandarizada y cuenta con un número significativo de estudios, entonces la precisión en la estimación de los valores aumenta y favorece su empleo.

Una vez que se acotó el método a utilizar y después de hacer la transferencia de valor, los valores de los servicios ecosistémicos del arrecife coralino que se obtuvieron, fueron un poco diferentes a lo esperado; ya que no se esperaba una variación tal alta -siendo mucho mayor a la estimación por hectárea del TEEB (De Groot et al., 2012). Históricamente han existido variaciones en los valores estimados al utilizar este método para valorar servicios ecosistémicos en un arrecife de coral. Constanza y colaboradores (1997) en un arrecife coralino modelo obtuvieron una estimación de \$8,384 USD 2007/ha/año, no obstante, De Groot et al (2012) volvieron a replantear ese estudio e incrementaron la estimación a \$352,249 USD 2007/ha/año. Este aumento en el valor, seguramente se relaciona a factores como el progreso de los métodos de valoración y una mejor comprensión de los servicios ofertados de los ecosistemas (Pendleton et al., 2016). En el período de los 15 años entre ambos estudios (1997-2012), la opinión internacional coincide en la degradación general de los arrecifes coralinos (Wilkinson and Souther, 2008, Jackson et al., 2014), y ningún cambio o mejora en la condición del arrecife en estos 15 años podría haber justificado un incremento de 42 veces el valor inicial del arrecife.

Las causas de estos cambios en método de cálculo observados de 1997 a 2012 son tres: la disponibilidad de nuevas estimaciones, los cambios en la funcionalidad promedio por hectárea y las variaciones en el valor por hectárea por transformaciones en el capital humano, social o construido. Y

de acuerdo con Constanza et al, 2014, la modificación en el valor de los arrecifes se da principalmente por la adición de estudios referentes a protección contra tormentas, protección contra erosión y recreación, que en el caso de la estimación en el presente estudio para 2016 corresponde para servicios de regulación y apoyo \$400,491 USD 2016/Ha/Año, y para servicios culturales \$127,590 USD 2016/Ha/Año.

La estimación del valor total por hectárea en este estudio dio un resultado de \$604,756 USD2016/hectárea/año con la utilización de la base de datos del TEEB (2012). Originalmente los valores estaban en dólares de 2007, pero se optó por colocarlos en dólares de 2016 mediante la utilización de calculadores de inflación (ODF and Alioth-Finance, 2019). El monto estimado en contraste con otros que se habían hecho, es mayor, pero está acorde al rango que se ha manejado es de 130,000 USD a 1.2 millones USD/hectárea, (Diversitas, 2009), cuando se trata de lugares con alta actividad turística. Y al igual que se menciona en la literatura (De Groot et al., 2012, Constanza et al., 2014), al menos para este estudio, el incorporar estimaciones de servicios de regulación y soporte -prevención de la erosión- aumentó la estimación que se hizo. Por otra parte, en el Sistema Arrecifal Mesoamericano, tenemos el caso de Cozumel, donde el cálculo por protección costera y aporte de ciclo de nutrientes es de 32.8 millones de dólares al año, para un área de 3,966 hectáreas (CONANP-GIZ, 2017), correspondientes a \$8,270 USD/hectárea (método de vulnerabilidad costera), vs \$400,491 USD/hectárea (método de transferencia de valor) en servicios de regulación y soporte, estimados en Akumal para 2016. También existe un estudio de valoración económica del arrecife de Mahahual, donde el valor de uso directo de los arrecifes de esta zona asociado a la actividad turística es de \$5'989,266.50 MXP (aproximadamente \$290,000 USD) anuales por km² (2900 USD/hectárea) (Rodríguez-Abrego, 2019). En comparación con la estimación \$82,184 USD/hectárea/año aproximadamente para Cozumel (CONANP-GIZ, 2017) y la realizada en este trabajo de \$123,799.75 USD/hectárea/año para servicios recreativos. A pesar de que los tres sitios estén en el mismo sistema arrecifal, para poder hacer una buena comparación, se tendría que colocar el valor económico total.

Otra parte medular de la aproximación metodológica realizada utilizando este método, fue el ajuste en la clasificación de los servicios ecosistémicos en tres grupos: aprovisionamiento, culturales, y de regulación y soporte (MEA, 2005) a pesar de que se haya utilizado el esquema TEEB (que hace la división de servicios de regulación y servicios de soporte o hábitat). La decisión de adoptar estas tres categorías está justificada por las siguientes razones: la baja disponibilidad de estudios en la base de datos ESVD referentes a servicios de regulación y soporte; la presencia de estudios que no cuentan

con el valor estandarizado; y la prevención de no incurrir en doble conteo asociado a la relación entre servicios de soporte y regulación (Grunewald and Bastian, 2015)

10.3. *Transferencia de valor para ajustar el valor económico total incorporando el Índice de Salud Arrecifal*

La utilización de un conjunto de indicadores de estructura y función de servicios ecosistémicos incluida su demanda, puede asegurar una mejor comprensión de las sinergias entre las concesiones al aprovechamiento y los objetivos para la conservación y el bienestar humano. Sin embargo, esto se enfoca a sitios donde los servicios de regulación (y los culturales) puedan estar representados en estos parámetros (Schneiders et al., 2012), -p. ej. cobertura coralina, biomasa de especies clave de peces, riqueza de especies-

Una de las partes innovadoras de este estudio de transferencia de valor es la utilización del Índice de Salud Arrecifal (ISA) para que la condición del arrecife fuera tomada en cuenta en el ejercicio de valoración económica. En el caso particular de los arrecifes de coral, es plausible aplicar un índice de este estilo, ya que son ecosistemas donde la mayor parte de sus servicios ecosistémicos están asociados a su condición y biodiversidad, inclusive aquellos que tienen que ver con el turismo. Por ejemplo, la belleza escénica de un arrecife es resultado de muchos atributos ecológicos como la diversidad de especies y la integridad del ambiente, así como de procesos ecológicos como la acreción/bioerosión y la conectividad (Moberg and Folke, 1999a, Mumby et al., 2014, Alvarez-Filip et al., 2009). Por lo tanto, el utilizar algún índice o conjunto de indicadores es válido, y favorece su empleo como herramientas de manejo o conservación.

Así también, la utilización de índices ecológicos, tiene que ver con el valor económico de los arrecifes asociado al paradigma de que una mayor integridad del ecosistema tendrá un efecto positivo sobre las funciones ecológicas, y esto se traduce en un incremento en la oferta de servicios ecosistémicos, teniendo en cuenta que cada servicio ecosistémico tiene características y dimensiones particulares (Grunewald and Bastian, 2015, Maes et al., 2013). La adición del ISA se considera crucial para el presente estudio, porque si bien la valoración genera una herramienta en términos monetarios, la comprensión de las presiones, condición ecológica y prestación de servicios queda segmentada en estudios de ecosistemas marinos (Laurila-Pant et al., 2015, Burkhard and Maes, 2017, Häyhä and Franzece, 2014). Por lo tanto, se buscaron descriptores o variables que permitieran explicar esta dinámica -pérdida de valor de servicios ecosistémicos por disminución de funciones ecosistémicas-

en el arrecife, y en este caso el ISA cumple con esta parte al integrar cuatro de los indicadores más importantes en la evaluación de la integridad de la estructura y función del Arrecife Mesoamericano.

Esta dinámica de pérdida de valor de servicios ecosistémicos por disminución de funciones ecosistémicas en arrecifes de coral, representada por medio del ISA en el ejercicio de valoración económica, se basa en que la existencia de un gran número de especies con diferentes características funcionales, favorece su papel en la amortiguación de procesos perjudiciales en los ecosistemas haciéndolos más resilientes (Burkhard et al., 2011, Schneiders et al., 2012). En este proceso, los organismos se convierten en parte fundamental para la provisión de servicios ecosistémicos, porque sustentan procesos y participan en la estructuración de los hábitats que son necesarios para otras especies (Maes et al., 2013).

En el caso de los arrecifes coralinos las especies constructoras arrecifales primarias son claro ejemplo este tipo de funciones. Es decir, la complejidad estructural generada a partir del crecimiento y aumento en la densidad de colonias de corales escleractínios de las especies *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Orbicella annularis*, *O. franksi* y *Montastraea cavernosa* favorece el aumento de la biodiversidad al aumentar la disponibilidad de refugios (Pratchett et al., 2014, Alvarez-Filip et al., 2011). En el Arrecife Mesoamericano y en el mar Caribe en general, en donde se encuentra el arrecife de Akumal, las especies dominantes hasta hace algunas décadas fueron *Acropora palmata* y *A. cervicornis* (Garza-Pérez, 2004), generando la función de refugio y favoreciendo un ecosistema con múltiples servicios ecosistémicos (Alvarez-Filip et al., 2009, Liqueste et al., 2016) como protección costera, generación de arena para playa (Moberg and Folke, 1999a) y alimento para los humanos (TEEB, 2012). Sin embargo, a principios de los 80's hubo una mortalidad masiva de estas especies a consecuencia de un patógeno no identificado, llevando a la disminución de la cobertura de coral y complejidad de los arrecifes, en la región Caribe (Mumby et al., 2014).

El cambio en la dominancia de especies constructoras por otras especies de coral duro, tiene implicaciones directas sobre la acreción y preservación de estructuras arrecifales, además de la productividad y el ciclo de nutrientes (Perry et al., 2013). A pesar de que los esqueletos robustos de *A. palmata* sp. pudieron haber persistido durante más tiempo que los de *A. cervicornis* sp. en algunos sitios, las tendencias regionales de la disminución tanto de cobertura de coral como de complejidad estructural (rugosidad), sugiere que la mayoría de las Acroporas muertas se destruyeron y erosionaron después de la enfermedad. La acción sinérgica de la disminución de colonias y de cobertura de coral,

genera una degradación tanto en la condición como en la función, la estructura y la estabilidad del ecosistema, así como una pérdida de biodiversidad (Graham and Nash, 2013, Alvarez-Filip et al., 2010).

En el caso del Arrecife Mesoamericano y Akumal en específico la dominancia de especies después de esta mortalidad masiva cambió a un grupo diferente de corales constructores primarios, las *Orbicellas-Montastraea* (Garza-Pérez, 1999) y posteriormente con el efecto sinérgico del exceso de nutrientes en el agua, los múltiples brotes de enfermedades coralinas, y el efecto de algunos eventos de blanqueamiento masivo de corales en los 90's y primera década del siglo XXI, la dominancia de este grupo de *Orbicellas-Montastraea* se perdió, y actualmente las comunidades coralinas arrecifales en la región, y en Akumal particularmente, están dominadas por corales no constructores de los géneros *Agaricia* y *Porites* (Alvarez-Filip et al., 2010, Molina-Hernández et al., 2018, Rioja-Nieto and Álvarez-Filip, 2019).

Las consecuencias de este cambio deletéreo en la estructura del arrecife de Akumal son, por una parte, la pérdida de organismos calcificadores que conlleva una disminución de la tasa de acreción del arrecife, e implica una falta de creación de nuevos refugios; por otra parte, la pérdida de la estructura tridimensional del arrecife, asociada a la ruptura mecánica, la disolución y la bioerosión de las colonias muertas, ocasionan el aplanamiento del ambiente (Perry et al., 2013). En el arrecife Akumal, así como en muchos otros de la región, existen factores adicionales importantes como los huracanes y tormentas, que están asociados a la pérdida de cobertura de coral a escala regional y local, y que también (aunque en menor escala) han influenciado la disminución de complejidad estructural y cobertura coralina (Alvarez-Filip et al., 2010, Garza-Pérez, 2004). El efecto sinérgico de las causas de mortalidad coralina ha propiciado la disponibilidad de uno de los factores más limitantes en los arrecifes: el espacio. Esta situación de aumento en el espacio disponible, aunado al aumento en los nutrientes (por escorrentías epicontinentales) (Naranjo-García, 2015, López-Patoni, 2014) y la disminución de la función de herbivoría (por sobrepesca y pérdida de refugio) (Molina-Hernández et al., 2018, Molina-Hernández, 2016) en conjunto han ocasionado aumentos en la cobertura macroalgal, y a su vez, la transición de ambientes dominados por corales hacia ambientes dominados por algas, en lo que se conoce como cambios de fase (Arias-González et al., 2017, Edwards et al., 2014, Alvarez-Filip et al., 2013, Bruno et al., 2009).

En conjunto esta pérdida de constructores primarios y cambios en dominancia de especies (cambios estructurales) producen la pérdida de funciones, tanto en la función de refugio, como en la función de protección de la línea de costa, y con esto la pérdida de servicios ecosistémicos del arrecife. Es entonces que la condición del arrecife se convierte asimismo en un indicador de la integridad de los servicios ecosistémicos en términos económicos y de provisión, y una manera óptima de parametrizar esta condición se da con el ISA. El ajuste del valor económico por hectárea del arrecife incorporando su estado de condición a través del ISA, dio como resultado una disminución del valor total, desde los \$604,756 USD/2016/Ha iniciales en un escenario hipotético de un estado de condición categorizado como excelente (5 en la escala del ISA), hasta los \$121,592 USD/2016 en promedio por hectárea, aplicando el valor estimado del ISA por cada píxel del área de estudio.

10.3.1. Aproximaciones alternas al ajuste de transferencia de valor total de un arrecife tomando en cuenta su condición.

Existen otros trabajos que contemplan valoración económica considerando la degradación del arrecife y su representación espacial, pero estos generalmente se enfocan hacia un servicio específico. En el sudeste asiático se llevó a cabo un estudio (Brander et al., 2015) que estimó la pérdida del valor económico de los arrecifes de coral con respecto al servicio de recreación, como resultado de la disminución en el área de arrecifes de coral para el período 2000-2050. Se desarrolló una meta-regresión y una transferencia de valor con los estudios de servicios de recreación, se proporcionó una proyección espacialmente explícita del grado en que los arrecifes de coral están amenazados -bajo, medio, altos, muy altos o críticos-, y posteriormente se combinó todo el modelo y se mapeo. Los cambios estimados en los visitantes y los valores de los servicios de recreación relacionados con los arrecifes en el sudeste asiático no fueron particularmente altos. En contraste, el presente trabajo si se refleja una pérdida de valor al contemplar a los otros servicios del arrecife, en conjunto con la integración del ISA y coincide con Brander y colaboradores (2015), que la valoración de otros servicios ecosistémicos puede tener una relación más estrecha con la cobertura de coral. Es decir, que los cambios en esta cobertura coralina darían cabida al cambio de valor económico más significativo que sólo tomar en cuenta, la variación en el valor económico del servicio recreativo. Y de igual forma, para visualizar espacialmente esa variabilidad en los valores de los servicios ecosistémicos, se requiere una evaluación biofísica robusta sobre los servicios ecosistémicos, algo que en este estudio se pudo realizar mediante la incorporación del ISA, y cuya información está disponible para arrecifes del Sistema Arrecifal Mesoamericano, para una posible implementación más generalizada.

Asimismo, se realizó otro estudio (Fitzpatrick et al., 2017) donde se combinó un meta-análisis de disposición a pagar por la recreación de los arrecifes de coral con un modelo de visitas, para estimar la pérdida del valor de la recreación, bajo diferentes escenarios ecológicos, cuando utilizaron el indicador de cobertura para el escenario de condición del arrecife, la DAP -disposición a pagar- frente a la cobertura de coral vivo fue baja, entonces esto también vuelve a sugerir que se necesitan otros indicadores biofísicos que puedan mostrar esa variación a la baja del valor económico, por motivo de la degradación del arrecife.

De igual forma, las pérdidas económicas en arrecifes, generalmente se hacen con referencia pesquerías o datos de la derrama turística. Es decir, la vocación de un arrecife es diferente, por lo que la asignación de un valor económico o estimar su disminución, va en función de ésta (Mumby et al., 2014, Herman et al., 2003). En Indonesia, los arrecifes de coral en la regencia de Pangkajene y Kepulauan, archipiélago de Spermonde, tienen un valor económico de \$11.96 billones USD (4236 Ha de cobertura de coral vivo), o bien \$2.82 millones USD/Ha, de acuerdo con los diferentes métodos utilizados (vs. \$121,592 USD2016/año/Ha para Akumal). En este estudio se estimaron pérdidas de \$1 billón USD durante el periodo de 1994 a 2014 (\$50.18 millones USD/ año), debido a la destrucción del coral, con una tasa de 174 ha/año (3480 Ha de cobertura de coral vivo se perdieron durante esos 20 años) (Yasir Haya and Fujii, 2019, Yasir Haya and Fujii, 2017). De igual forma, otro estudio (Tamsah and Nessa, 2019) indica que las pérdidas del valor económico total por cada arrecife estudiado, derivado de daños a estos ecosistemas, ascenderían en Kapoposang a \$75,644 USD/Ha/año, en Sarappo Keke a \$42,139 USD/Ha/año, y \$67,918 USD/Ha/año en Suagi. Esto quiere decir que el valor por hectárea puede ser utilizado como referencia para describir las pérdidas económicas cuando existe deterioro en la calidad del arrecife y que en realidad estas disminuciones en el valor económico son significativas. Por todo lo anterior se necesita un nuevo giro para valorar los servicios ecosistémicos, que consiste en tratar de llegar al Valor Económico Total, tomando como referencia toda la dinámica de un ecosistema, para no caer en subvaloraciones y en la cual se pueden combinar diversas metodologías con aspectos ecológicos, que pongan de eje principal la degradación de un arrecife coralino.

Es entonces que la herramienta espacialmente explícita generada a través de la combinación de los resultados de la transferencia de valor y el ajuste a partir del ISA, puede ser utilizada para el soporte a la toma de decisiones en manejo para arrecifes del Sistema Arrecifal Mesoamericano. No obstante, aunque la estimación proporciona resultados adecuados para el arrecife valorado, siendo integral y

simple; este ejercicio podría ser mejorado en términos de precisión incorporando información adicional (p. ej. Complejidad topográfica o resiliencia) para tener una aproximación más exacta respecto al estado de condición y del valor económico, que vaya más acorde con la realidad de la zona estudiada. Sin embargo, estas adiciones requerirían de una mayor parametrización de factores ecológicos y ambientales, de los cuales en algunos casos no existe suficiente información, y que incrementarían la complejidad del método, sobre todo hablando de ecosistemas marinos, donde el esquema de servicios ecosistémicos está poco explorado.

11. Conclusiones

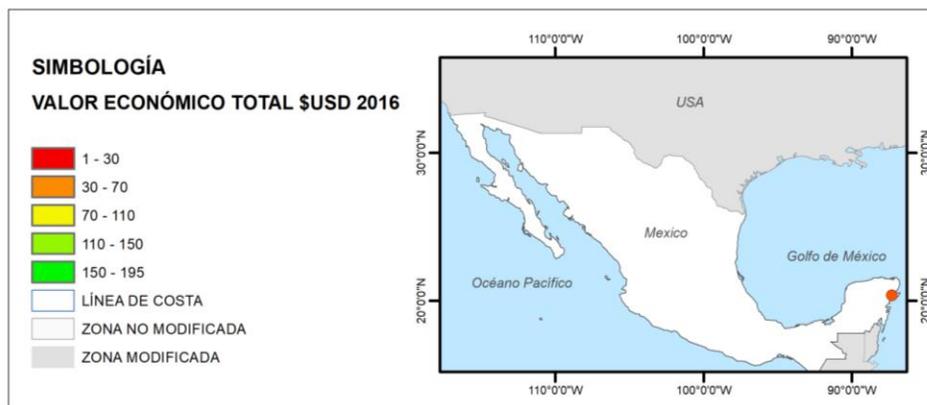
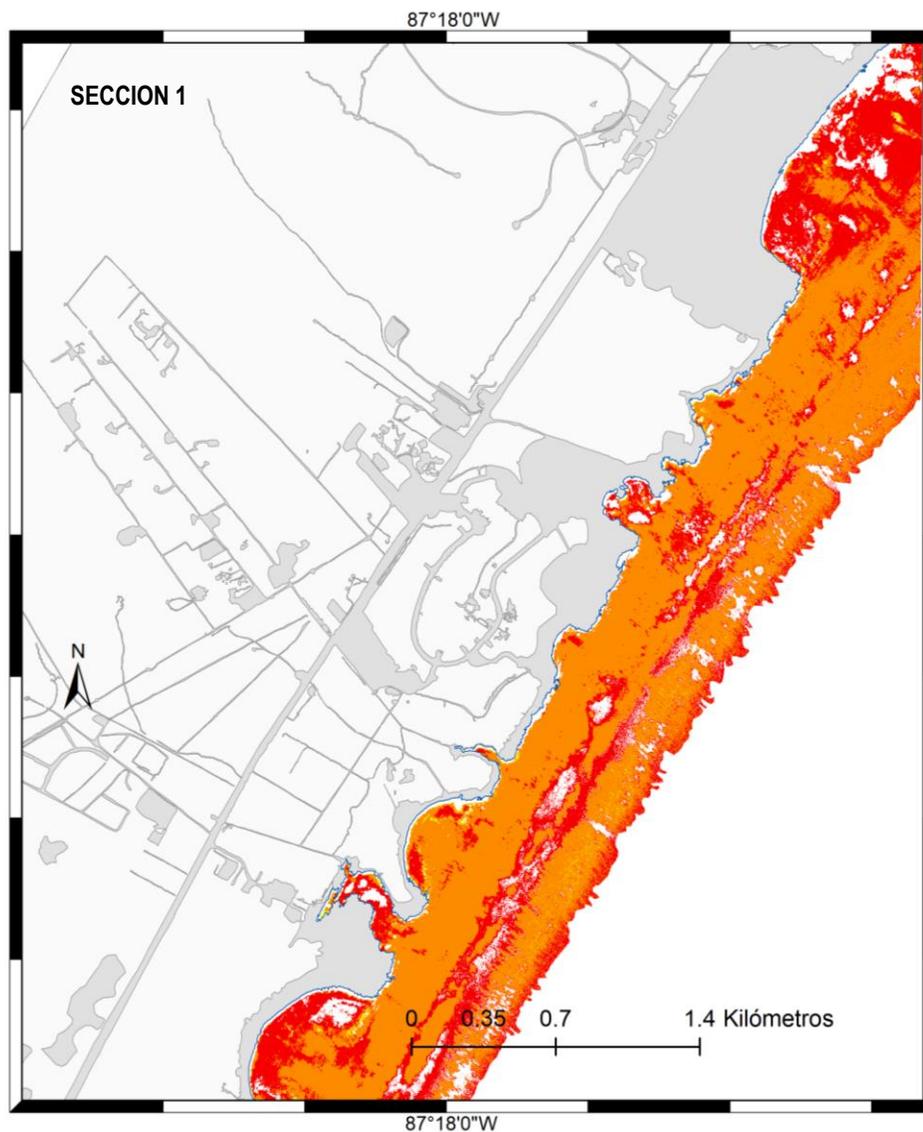
- La valoración económica por el método de transferencia de valor a pesar de sus limitantes es la que de manera simple ejemplifica mejor el valor monetario de un arrecife coralino, puesto que se obtienen valores de los distintos servicios ecosistémicos que están presentes en los arrecifes y no queda segmentado o enfocado en un solo tipo de servicio.
- Mediante el ejercicio de transferencia de valor, se obtuvo una representación monetaria del arrecife y se estableció que el valor económico está condicionado por la integridad del ecosistema, en términos de suministro de servicios ecosistémicos.
- La incorporación de condición de salud a la valoración económica, es útil para generar herramientas de toma de decisiones más acordes a la realidad ambiental.
- La integridad o en este caso la condición del ecosistema, tiene una repercusión en el suministro de servicios ecosistémicos; en el caso especial de los arrecifes, no es posible el remplazo de especies que generen la misma función ecológica (son especies clave para la construcción del arrecife), dado lo cual, si existe un declive en el ecosistema, este se ve reflejado en la disminución de servicios de regulación y soporte del mismo.
- La incorporación de índices ecológicos, supone un proceso complejo de recopilación de información, nuevos conceptos, nuevas formas de pensar, y nuevas formas de trabajar, en un conjunto establecido de reglas y procedimientos, queda como propuesta, pero aún existen cosas que se deben mejorar.
- El Índice de Salud Arrecifal, cumple con los aspectos, sobre todo al estar ponderado, para incorporarse al esquema de valoración de servicios ecosistémicos; aunque se podrían incorporar diversos indicadores adicionales (p.ej. complejidad topográfica), para probar su uso en la valoración económica.
- Por medio de análisis espacial se incorporó la valoración económica y la condición del ecosistema, lo que genera herramientas más comprensibles y en las que se puede agregar más información, que coincide con el siguiente paso en el esquema de servicios ecosistémicos: mapas, modelos y escenarios.
- Para mantener el valor del ecosistema actual, se requieren mitigar las presiones antropogénicas actuales, estimular acciones de restauración para incrementar la función de

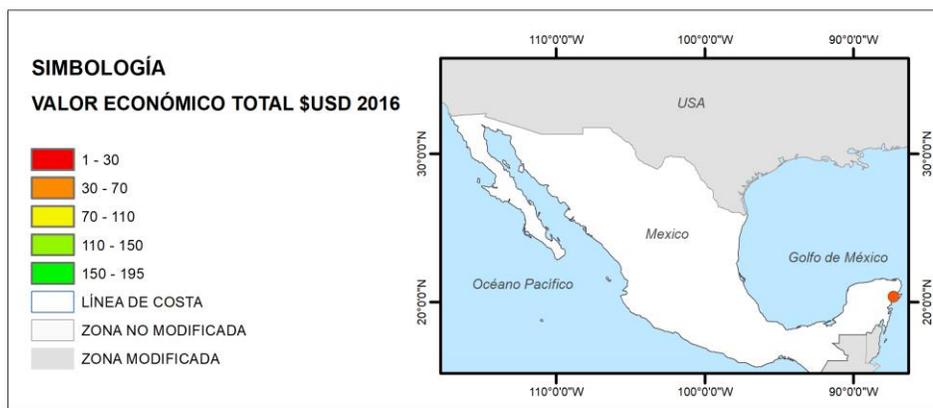
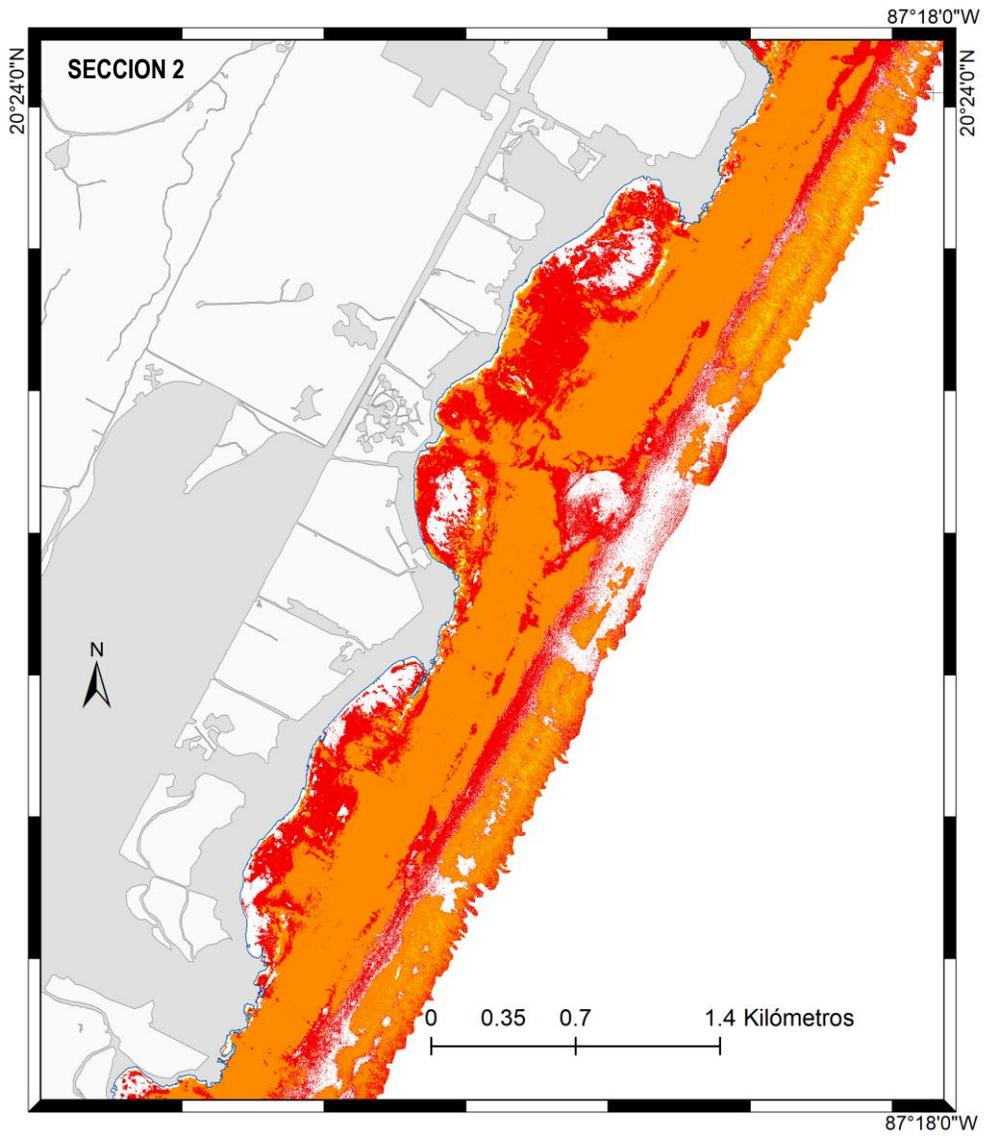
refugio, y una vez eliminadas estas presiones también podrá mantenerse o mejorar la condición del arrecife de Akumal.

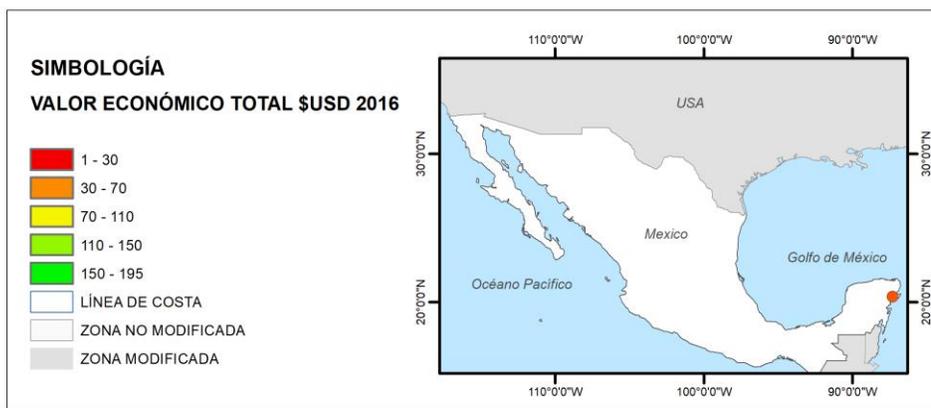
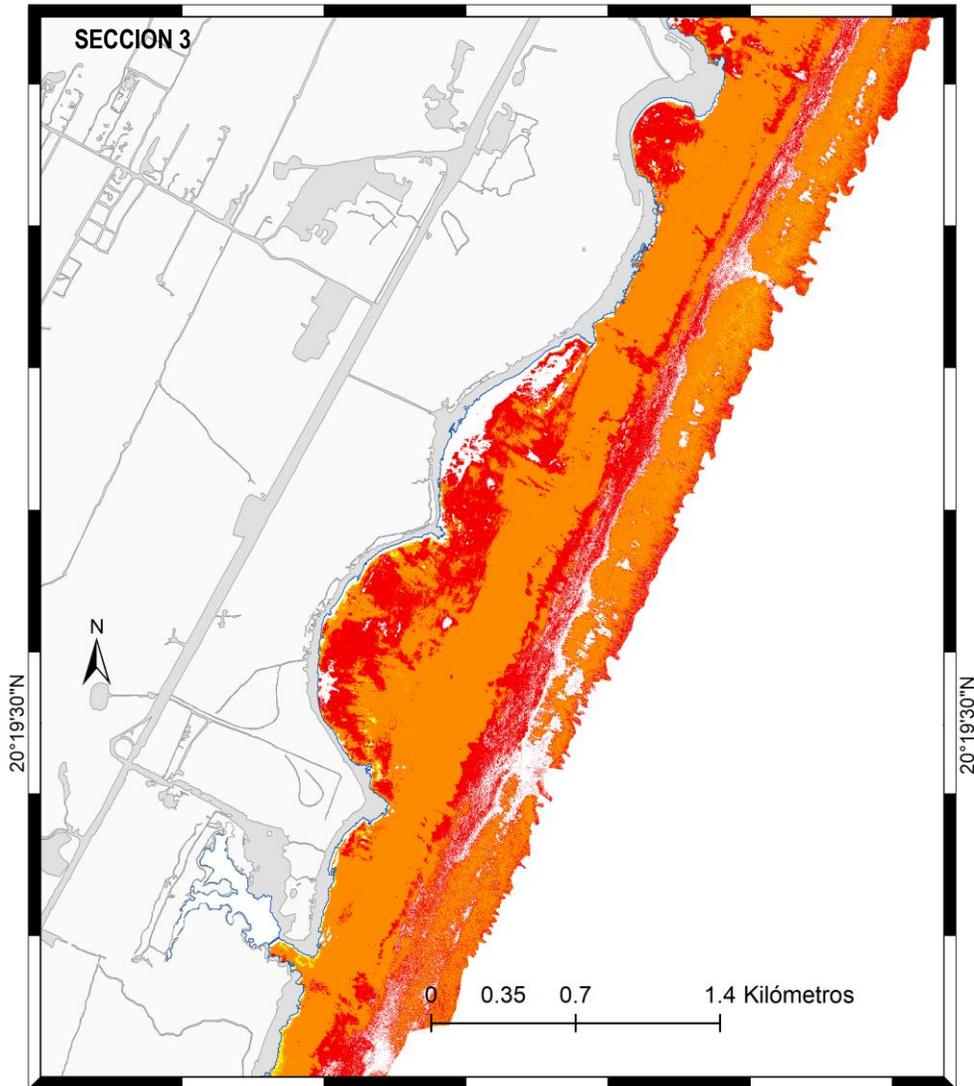
- Akumal forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, compartiendo características con otros arrecifes, por lo cual, esta metodología puede ser replicable para las otras zonas que componen el sistema.
- Finalmente, al realizar un estudio de valoración, es necesario adoptar una visión integral, para generar herramientas que permitan mejores marcos de ordenamiento del territorio, así como una conservación más eficiente del ecosistema, en este caso, para el arrecife de Akumal.

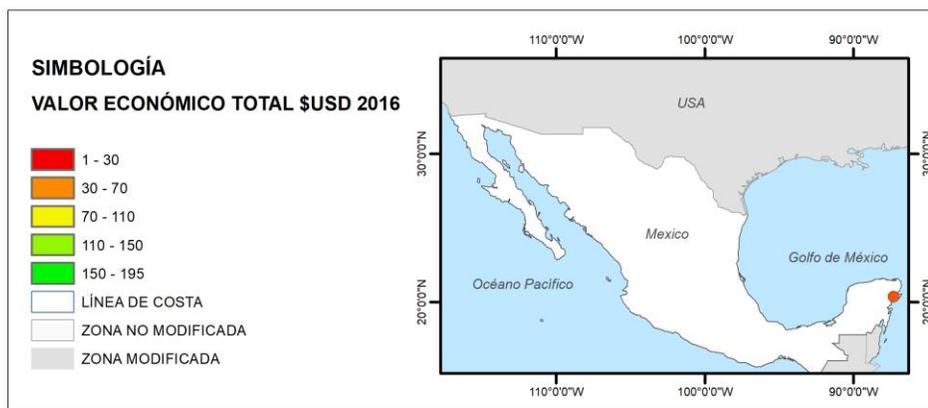
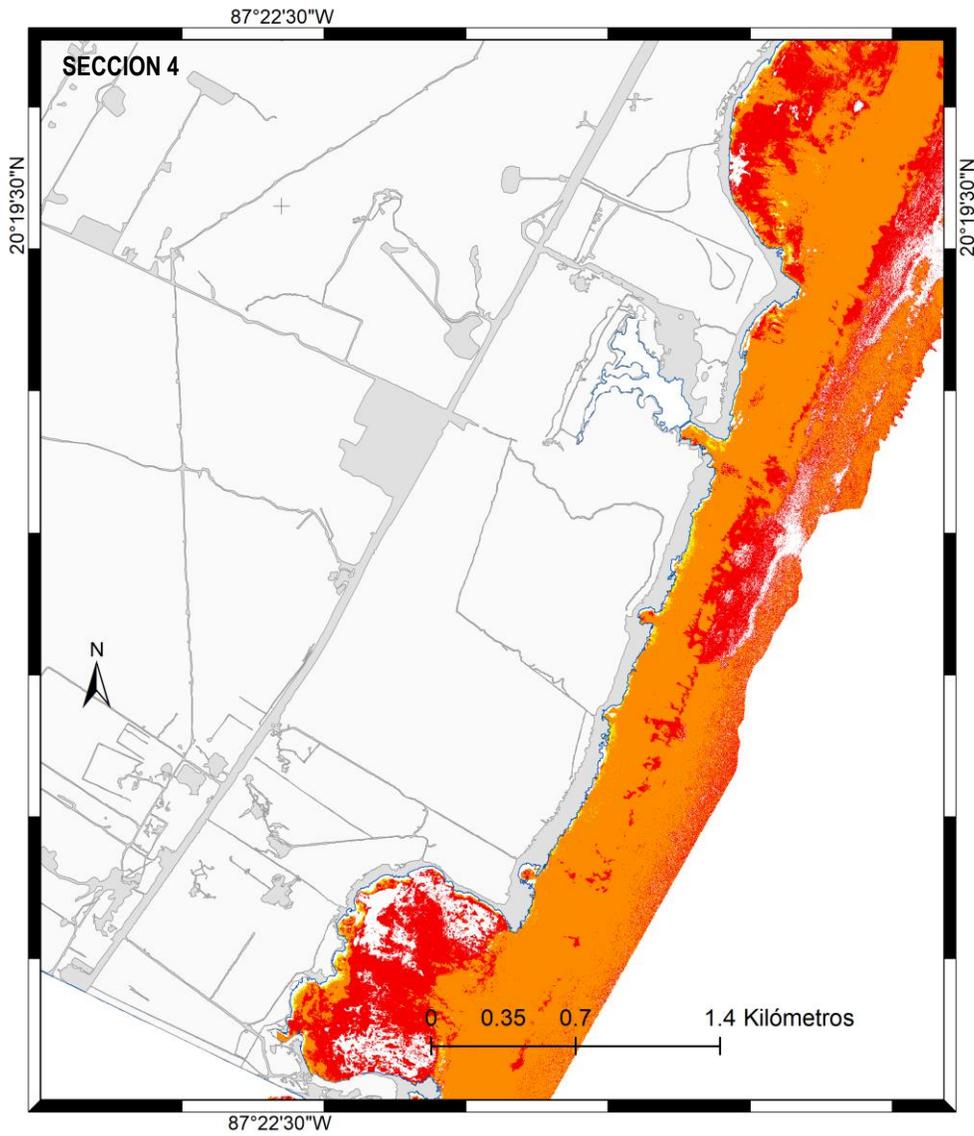
12. Anexos

12.1. Secciones del Mapa de Valor económico considerando el estado de condición arrecifal









13. Bibliografía

- ALVAREZ-FILIP, L., CARRICART-GANIVET, J. P., HORTA-PUGA, G. & IGLESIAS-PRIETO, R. 2013. Shifts in coral-assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality. *Scientific reports*, 3, 3486.
- ALVAREZ-FILIP, L., GILL, J. A., DULVY, N. K., PERRY, A. L., WATKINSON, A. R. & CÔTÉ, I. M. 2011. Drivers of region-wide declines in architectural complexity on Caribbean Reefs. *Coral Reefs*, 30: 1051.
- ALVAREZ-FILIP, L., K. DULVY, N., A. GILL, J., M. CÔTÉ, I. & R. WATKINSON, A. 2009. Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proc Bio Sci*, 276 (1669).
- ALVAREZ-FILIP, L., M. CÔTÉ, I., A. GILL, J., R. WATKINSON, A. & K. DULVY, N. 2010. Region-wide temporal and spatial variation in Caribbean reef architecture: is coral cover the whole story? *Global Change Biology*, 17, 2470-2477.
- AMC 2017. Mares mexicanos, arrecifes y biodiversidad Parte 1. *Boletín informativo de la Academia Mexicana de Ciencias*, 61, 30.
- ANDREOPOULOS, D. & DAMIGOS, D. 2017. To transfer or not to transfer? Evidence from validity and reliability tests for international transfers of non-market adaptation benefits in river basins. *Journal of Environmental Management*, 185, 44-53.
- ARANDA-FRAGOSO, A. 2016. *Estudio de Factibilidad para la Implementación de una zona de exclusión pesquera en Akumal, Quintana Roo*. Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ARIAS-GONZÁLEZ, J. E., FUNG, T., SEYMOUR, R. M., GARZA-PÉREZ, J. R., ACOSTA-GONZÁLEZ, G., BOZEC, Y.-M. & JOHNSON, C. R. 2017. A coral-algal phase shift in Mesoamerica not driven by changes in herbivorous fish abundance. *Plos one*, 12, e0174855.
- ASTORGA, A. 2017. *Variación en la dinámica litoral bajo escenarios predictivos de degradación de arrecifes*. Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- AZQUETA, D., ALVIAR RAMÍREZ, M., DOMÍNGUEZ VILLALOBOS, L. & O'RYAN, R. 2007. *Introducción a la economía ambiental*, Madrid, España, McGraw-Hill.
- BAKER, D. M., RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E. & FOGEL, M. L. 2013. Tourism's nitrogen footprint on a Mesoamerican coral reef. *Coral Reefs*, 32, 691-699.
- BALVANERA, P. & COTLER, H. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, 84-85, 8-15.
- BARBIER, E. B., KOCH, E. W., SILLIMAN, B. R., HACKER, S. D., WOLANSKI, E., PRIMAVERA, J., GRANEK, E. F., POLASKY, S., ASWANI, S., CRAMER, L. A., STOMS, D. M., KENNEDY, C. J., BAEL, D., KAPPEL, C. V., PERILLO, G. M. E. & REED, D. J. 2008. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science Department of Economics and Finance, University of Wyoming, Laramie ...*
- BEZAURY-CREEL, J. E. 2009. El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas proveen a los mexicanos. *México: The Nature Conservancy*.
- BIONDO, M. V. 2017. Quantifying the trade in marine ornamental fishes into Switzerland and an estimation of imports from the European Union. *Global Ecology and Conservation*, 11, 95-105.
- BRAAT, L. C. & DE GROOT, R. 2012. The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1, 4-15.
- BRANDER, L. 2013. *Guidance manual on value transfer methods for ecosystem services*, UNEP.
- BRANDER, L., VAN BEUKERING, P. J. H. & CESAR, H. 2007. The recreational value of coral reefs: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 63, 209-218.

- BRANDER, L. M., EPPINK, F. V., SCHÄGNER, P., VAN BEUKERING, P. J. & WAGTENDONK, A. 2015. GIS-based mapping of ecosystem services: The case of coral reefs. *Benefit Transfer of Environmental and Resource Values*. Springer.
- BRANDER, L. M., FLORAX, R. J. G. M. & VERMAAT, J. E. 2006. The Empirics of Wetland Valuation: A Comprehensive Summary and a Meta-Analysis of the Literature. *Environmental and Resource Economics*, 33, 223-250.
- BRANDER, L. M., REHDANZ, K., TOL, R. S. & VAN BEUKERING, P. J. 2012. The economic impact of ocean acidification on coral reefs. *Climate Change Economics*, 3, 1250002.
- BRUCKNER, A. W. 2003. Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop: potential application of the US Endangered Species Act as a conservation strategy, April 16-18, 2002, Miami, Florida.
- BRUNO, J. F., SWEATMAN, H., PRECHT, W. F., SELIG, E. R. & SCHUTTE, V. G. 2009. Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. *Ecology*, 90, 1478-1484.
- BUDDEMEIER, R., KLEYPAS, J. & ARONSON, R. 2004. Coral reefs and global climate change: Potential contributions of climate change to stresses on coral reef ecosystems. Pew Center on Global Climate Change.
- BULL, J. W., JOBSTVOGT, N., BÖHNKE-HENRICHS, A., MASCARENHAS, A., SITAS, N., BAULCOMB, C., LAMBINI, C. K., RAWLINS, M., BARAL, H., ZÄHRINGER, J., CARTER-SILK, E., BALZAN, M. V., KENTER, J. O., HÄYHÄ, T., PETZ, K. & KOSS, R. 2016. Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats: A SWOT analysis of the ecosystem services framework. *Ecosystem Services*, 17, 99-111.
- BURKE, L. & MAIDENS, J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe. United States: World Resources Institute.
- BURKHARD, B., D. FATH, B. & MÜLLER, F. 2011. Adapting the adaptive cycle: Hypotheses on the development of ecosystem properties and services. *Ecological Modelling*, 222, 2878-2890.
- BURKHARD, B. & MAES, J. 2017. Mapping Ecosystem Services. Germany: Advanced Books.
- CAMACHO-VALDEZ, V., RUIZ-LUNA, A., GHERMANDI, A. & NUNES, P. A. L. D. 2013. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 78, 1-11.
- CONANP-GIZ 2017. Valoración de servicios ecosistémicos del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel y del Área de Protección de Flora y Fauna Isla Cozumel. Ciudad de México: Proyecto de Valoración de Servicios Ecosistémicos de Áreas Naturales Protegidas Federales de México: Una herramienta innovadora para el financiamiento de biodiversidad y cambio climático (EcovalorMx).
- COOPER, E., BURKE, L. & BOOD, N. 2009. Coastal Capital: Belize. The Economic Contribution of Belize's Coral Reefs and Mangroves. Washington, DC: World Resources Institute.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253.
- COSTANZA, R., DE GROOT, R., FARBER, S., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S. J., KUBISZEWSKI, I., FRABER, S. & TUNER, R. K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158.
- CRAIG, V., LYET, A., ALLAN, C., BRITTAİN, A. & RICHMAN, E. 2011. Review of Trade in Ornamental Coral, Coral Products and Reef Associated Species to the United States. Washington DC. USA: World Wildlife Fund.
- DAILY, G. C. 1997. Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems. *Island Press, Washington, DC.*, 392 pp.

- DE GROOT, R., BRANDER, L., VAN DER PLOEG, S., COSTANZA, R., BERNARD, F., BRAAT, L., CHRISTIE, M., CROSSMAN, N., GHERMANDI, A., HEIN, L., HUSSAIN, S., KUMAR, P., MCVITTIE, A., PORTELA, R., RODRIGUEZ, L. C., TEN BRINK, P. & VAN BEUKERING, P. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1, 50-61.
- DIVERSITAS. 2009. What are coral reef services worth? \$130000 to 1.2 million per hectare, per year.
- DONNER, S. D., KNUTSON, T. R. & OPPENHEIMER, M. 2007. Model-based assesment of the role of human-induced climate change in the 2005. *PNAS*, 104, 5483-5488.
- DOORBOS, B. 2015. El valor de los bosques andinos en asegurar agua y suelo en un contexto de creciente riesgo climático: ¿(re)conocemos lo imperdible? .
- EDWARDS, C. B., FRIEDLANDER, A., GREEN, A., HARDT, M., SALA, E., SWEATMAN, H., WILLIAMS, I., ZGLICZYNSKI, B., SANDIN, S. & SMITH, J. 2014. Global assessment of the status of coral reef herbivorous fishes: evidence for fishing effects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, 20131835.
- FERRARIO, F., BECK, M. W., STORLAZZI, C. D., MICHELI, F., SHEPARD, C. C. & AIROLDI, L. 2014. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, 5, 9.
- FITZPATRICK, L., PARMETER, C. F. & AGAR, J. 2017. Threshold effects in meta-analyses with application to benefit transfer for coral reef valuation. *Ecological Economics*, 133, 74-85.
- GARZA-PÉREZ, J. R. 1999. *Análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas arrecifales del Caribe Mexicano*. Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- GARZA-PÉREZ, J. R. 2004. *Información y manejo para la protección de la biodiversidad de la barrera arrecifal de México: evaluación de variables, modelación espacial del hábitat y SIG*. Doctorado, IPN.
- GARZA PÉREZ, J. R. 2012. *Evaluación de Comunidades Bentónicas Arrecifales: Guía de Campo y Laboratorio*. 2da. ed.: DGAPA-PAMIME, UNAM.
- GEISTER, J. The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. Proc 3rd Int Coral Reef Symp, 1977. 23-29.
- GHERMANDI, A. 2015. Benefits of coastal recreation in Europe: Identifying trade-offs and priority regions for sustainable management. *Journal of Environmental Management*, 152, 218-229.
- GHERMANDI, A., VAN DEN BERGH, J. C., BRANDER, L. M., DE GROOT, H. L. & NUNES, P. A. 2010. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research*, 46.
- GRAHAM, N. A. J. & NASH, K. L. 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs*, 32, 315-326.
- GRIZZETTI, B., LIQUETE, C., PISTOCCHI, A., VIGIAK, O., ZULIAN, G., BOURAOUI, F., DE ROO, A. & CARDOSO, A. C. 2019. Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters. *Science of The Total Environment*, 671, 452-465.
- GRUNEWALD, K. & BASTIAN, O. 2015. *Ecosystem Services – Concept, Methods and Case Studies*.
- HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: RAFFAELLI, D. G. & FRID, C. L. J. (eds.) *Ecosystem Ecology A New Synthesis*. Cambridge University Press.
- HARRIOTT, V. J. 2001. *The sustainability of Queensland's Coral Harvest Fishery*, Citeseer.
- HATCHER, B. 1997. Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts? *Coral Reefs*, 16, S77-S91.

- HATTAM, C., ATKINS, J. P., BEAUMONT, N., BÖRGER, T., BÖHNKE-HENRICH, A., BURDON, D., GROOT, R. D., HOEFNAGEL, E., NUNES, P. A. L. D., PIWOWARCZYK, J., SASTRE, S. & AUSTEN, M. C. 2015. Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification. *Ecological Indicators*, 49, 61-75.
- HÄYHÄ, T. & FRANZECE, P. P. 2014. Ecosystem services assesment: A review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 289, 124-132.
- HEALTHY REEFS, H. P. 2012. Report Card for the Mesoamerican Reef. Mexico.
- HERMAN, C., BURKE, L. & PET-SOEDE, L. 2003. The economics of worldwide coral reef degradation. The Netherlands: WWF.
- HERNÁNDEZ-DELGADO, E. A. 2004. Análisis del estado de los recursos y de la situación ambiental actual de la Reserva Natural del Canal Luis Peña. Culebra, P. R. Informe Técnico sometido a la Autoridad de Conservación y Desarrollo de Culebra. Universidad de Puerto Rico, Departamento de Biología.
- HERNÁNDEZ-SANTOYO, A., CASAS-VILARDELL, M., LEÓN-SÁNCHEZ, M. A., CABALLERO-FERNÁNDEZ, R. & PÉREZ-LEÓN, V. E. 2013. La Ciencia Económica y el Medio Ambiente: un aporte desde la valoración económica ambiental. *REVISTA PARANAENSE DE DESENVOLVIMIENTO*, 34, 25-38.
- HERRUZO, A. 2002. Fundamentos y métodos para la valoración de bienes ambientales. *Comunicación presentada en la Jornada Temática "Aspectos Medioambientales de la Agricultura"*. Universidad Politécnica de Madrid.
- HUGHES, T., BARNES, M., BELLWOOD, D., CINNER, J., CUMMING, G., JACKSON, J., KLEYPAS, J., LEEMPUT, I., LOUGH, J., MORRISON, T., PALUMBI, S., NES, E. & SCHEFFER, M. 2017. Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546, 82-90.
- INEEC 2003. Demanda turística del Parque Marino Cabo Pulmo. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INEGI 2016. Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo
- JACKSON, J., DONOVAN, M., CRAMER, K. & LAM, V. 2014. Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012. Gland, Switzerland.: Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN,.
- KANDZIORA, M., BURKHARD, B. & MÜLLER, F. 2013. Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, 28, 54-78.
- KRAMER, P., MCFIELD, M. D., ÁLVAREZ-FILIP, L., DRYSDALE, I., RUEDA-FLORES, M., GIRÓ, A. & POTT, R. 2015. Report Card for the Mesoamerican Reef. Healthy Reefs Initiative
- KRAMER, P. A. 2003. Synthesis of coral reef health indicators for the western Atlantic: results of the AGRRA program (1997-2000). *Atoll Research Bulletin*.
- LAURILA-PANT, M., LEHIKONEN, A., UUSITALO, L. & VENESJÄRVI, R. 2015. How to value biodiversity in environmental management? *Ecological Indicators*, 55, 1-11.
- LIQUETE, C., CID, N., LANZANOVA, D., GRIZZETTI, B. & REYNAUD, A. 2016. Perspectives on the link between ecosystem services and biodiversity: The assessment of the nursery function. *Ecological Indicators*, 63, 249-257.
- LÓPEZ-PATONI, A. 2014. *Análisis comparativo entre dos arrecifes coralinos bajo diferentes presiones antropogénicas en un decenio*. Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- LOYA, Y., PUGLISE, K. A. & BRIDGE, T. C. 2019. *Mesophotic coral ecosystems*, Springer.
- MAES, J., TELLER, A., ERHARD, M., LIQUETE, C., BRAAT, L., BERRY, P., EGOH, B., PUYDARRIEUX, P., FIORINA, C., SANTOS-MARTIN, F., PARACCHINI, M.-L., KEUNE, H., WITTMER, H., HAUCK, J., FIALA, I., VERBURG, P., CONDÉ, S., SCHÄGNER, J. P., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. & BIDOGLIO, G. 2013.

Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020.

- MARTÍN-LÓPEZ, B. & MONTES, C. 2011. Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. *Biodiversidad en España: base de la sostenibilidad ante el cambio global*. España: Observatorio de la Sostenibilidad en España
- MATA-LARA, M., GARZA PÉREZ, J. R. & SALLES-AFONSO DE ALMEIDA, P. 2016. Camino a la Resiliencia: Monitoreo socioeconómico de Akumal, Quintana Roo. Yucatán, México: LANRESC.
- MCFIELD, M. & KRAMER, P. 2007. Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region. *Smithsonian Institution, Washington, DC, EEUU*.
- MCKENZIE, E., WOODRUFF, A., MCCLENNEN, C. & AUSTRALIAN AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, M. I. 2006. Economic assessment of the true costs of aggregate mining in Majuro Atoll Republic of the Marshall Islands. Suva, Fiyi.
- MEA 2005. Millennium Ecosystem Assessment: Living Beyond our Means: Natural Assets and Human Well-being (Statement from the Board). Millennium Ecosystem Assessment, India, France, Kenya, UK, USA, Netherlands, Malaysia.
- MELO, O., ABDÓN, L., PLISCOFF, P., FERNÁNDEZ, A. & ALARCÓN, M. T. 2016. Guía Metodológica de Transferencia de beneficios *In: AMBIENTE*, S. D. M. (ed.). Santiago, Chile.
- MOBERG, F. & FOLKE, C. 1999a. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215-233.
- MOBERG, F. & FOLKE, C. 1999b. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215-233.
- MOLINA-HERNÁNDEZ, A. L. 2016. *Estructura comunitaria de peces arrecifales y su relación con el hábitat de Akumal, Quintana Roo*. Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MOLINA-HERNÁNDEZ, A. L., GÁRZA-PÉREZ, J. R. & ARANDA-FRAGOSO, A. 2018. Identifying management challenges and implementation shortcomings of a new fishing refuge: Akumal reef, México. *Ocean & Coastal Management*, 161, 127-140.
- MUMBY, P. J., FLOWER, J., CHOLLETT, I., BOX, S. J., BOZEC, Y.-M., FITZSIMMONS, C., FORSTER, J., GILL, D., GRIFFITH-MUMBY, R., OXENFORD, H. A., PETERSON, A. M., STEAD, S. M., TURNER, R. A., TOWNSLEY, P., BEUKERING, P. J. H. V., BOOKER, F., BROCKE, H., CABAÑILLAS-TERÁN, N., CANTY, S. W. J., CARRICART-GANIVET, J. P., CHARLERY, J., DRYDEN, C., VAN DUYL, F. C., ENRÍQUEZ, S., DEN HAAN, J., IGLESIAS-PRIETO, R., KENNEDY, E. V., MAHON, R., MUELLER, B., NEWMAN, S. P., NUGUES, M. M., CORTÉS NÚÑEZ, J., NURSE, L., OSINGA, R., PARIS, C. B., PETERSEN, D., POLUNIN, N. V. C., SÁNCHEZ, C., SCHEP, S., STEVENS, J. R., VALLÈS, H., VERMEIJ, M. J. A., VISSER, P. M., WHITTINGHAM, E. & WILLIAMS, S. M. 2014. *Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables: Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe*, Exeter, Devon, UK.
- MÚNERA, J. 2006. El método de transferencia de beneficios para la valoración económica de servicios ambientales: estado del arte y aplicaciones. *Semestre económico*, ISSN 0120-6346, Vol. 9, N°. 18, 2006, pags. 107-124.
- NARANJO-GARCÍA, M. J. 2015. *Patrones de sedimentación y calidad del agua relacionados con indicadores de degradación arrecifal en Akumal, Quintana Roo*. Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- NOAA. 2016. *What does coral have to do with medicine?* [Online].
- ODF & ALIOTH-FINANCE. 2019. *Inflation Calculator* [Online]. U.S.: Official Data Foundation.
- OLIVERA VÁZQUEZ, L. 2014. *Servicios ambientales en las áreas marinas protegidas de México*. Maestría, Universidad Veracruzana.

- OXFORD-ECONOMICS 2009. Valuing the effects of Great Barrier Reef bleaching. *Great Barrier Reef Foundation, Brisbane*.
- PASCAL, N., ALLENBACH, M., BRATHWAITE, A., BURKE, L., LE PORT, G. & CLUA, E. 2016. Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: A pragmatic approach. *Ecosystem Services*, 21, 72-80.
- PENDLETON, L. H., THÉBAUD, O., MONGRUEL, R. C. & LEVREL, H. 2016. Has the value of global marine and coastal ecosystem services changed? *Marine Policy*, 64, 156-158.
- PERRY, C. T., MURPHY, G. N., KENCH, P. S., SMITHERS, S. G., EDINGER, E. N., STENECK, R. S. & MUMBY, P. J. 2013. Caribbean-wide decline in carbonate production threatens coral reef growth. *Nature Communications*, 4, 1402.
- PRATCHETT, M. S., HOEY, A. S. & WILSON, S. K. 2014. Reef degradation and the loss of critical ecosystem goods and services provided by coral reef fishes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 37-43.
- RICHARDSON, L., LOOMIS, J., KROEGER, T. & CASEY, F. 2015. The role of benefit transfer in ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 115, 51-58.
- RICHMOND, R. H. 1993. Coral Reefs: Present Problems and Future Concerns Resulting from Anthropogenic Disturbance. *American Zoologist*, 33, 524-536.
- RIOJA-NIETO, R. & ÁLVAREZ-FILIP, L. 2019. Coral reef systems of the Mexican Caribbean: Status, recent trends and conservation. *Marine pollution bulletin*, 140, 616-625.
- RIPKA DE ALMEIDA, A., DA-SILVA, C. L. & HERNÁNDEZ-SANTOYO, A. 2018. Métodos de valoración económica ambiental: instrumentos para el desarrollo de políticas ambientales. *Revista Universidad y Sociedad*, 10, 246-255.
- RIVERA-PLANTER, M. & MUÑOZ-PIÑA, C. 2005. Tarifas y Arrecifes: Instrumentos Económicos para las Áreas Protegidas Marinas en México. *Gaceta Ecológica*, 75, 19-34.
- ROBLES-ZAVALA, E. 2010. *Estudio del Análisis Social y Económico de los Servicios Ambientales del Sistema Arrecifal Coralino del Parque Nacional Huatulco*. Doctorado, Universidad del Mar.
- ROCHE, P. & CAMPAGNE, C. S. 2017. *From ecosystem integrity to ecosystem condition: a continuity of concepts supporting different aspects of ecosystem sustainability*.
- RODRIGUEZ-ABREGO, M. Y. 2019. *Perspectiva socioeconómica de Área Marina Protegida, enfocada en arrecifes de coral en Mahahual, Quintana Roo*. UNAM.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E., BANASZAK, A. T., MCFIELD, M. D., BELTRÁN-TORRES, A. U. & ALVAREZ-FILIP, L. 2014. Assessment of *Acropora palmata* in the Mesoamerican Reef System. *PLoS ONE*, 9, e96140.
- ROSENBERGER, R. S. & JOHNSTON, R. J. 2009. Selection effects in meta-analysis and benefit transfer: avoiding unintended consequences. *Land Economics*, 85, 410-428.
- ROSENBERGER, R. S. & LOOMIS, J. B. 2000. Using meta-analysis for benefit transfer: In-sample convergent validity tests of an outdoor recreation database. *Water Resources Research*, 36, 1097-1107.
- SCHNEIDERS, A., VAN DAELE, T., VAN LANDUYT, W. & VAN REETH, W. 2012. Biodiversity and ecosystem services: Complementary approaches for ecosystem management? *Ecological Indicators*, 21, 123-133.
- SPENCER, T. 1985. Marine erosion rates and coastal morphology of reef limestones on Grand Cayman Island, West Indies. *Coral Reefs*, 4, 59-70.
- STOECKL, N., FARR, M., LARSON, S., ADAMS, V. M., KUBISZEWSKI, I., ESPARON, M. & COSTANZA, R. 2014. A new approach to the problem of overlapping values: A case study in Australia's Great Barrier Reef. *Ecosystem Services*, 10, 61-78.

- SUCHLEY, A. & ALVAREZ-FILIP, L. 2018. Local human activities limit marine protection efficacy on Caribbean coral reefs. *Conservation Letters*, 11, e12571.
- TAMSAH, H. & NESSA, N. 2019. The application of economic-valuation in the calculation of damage to coral reefs ecosystems in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 235, 012096.
- TEEB 2010. La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio
- TEEB 2012. Why Value the Oceans – A discussion paper.
- UCLA. 2020. *Robust Regression STATA Data analysis examples* [Online].
- VAČKÁŘ, D., GRAMMATIKOPOULOU, I., DANĚK, J. & LORENCOVÁ, E. K. 2018. Methodological aspects of ecosystem service valuation at the national level. *One Ecosystem*, 3, e25508.
- VAN DER PLOEG, S., DE GROOT, D. & WANG, Y. 2010. *The TEEB Valuation Database: overview of structure, data and results*.
- VAN ZANTEN, B. T., VAN BEUKERING, P. J. H. & WAGTENDONK, A. J. 2014. Coastal protection by coral reefs: A framework for spatial assessment and economic valuation. *Ocean & Coastal Management*, 96, 94-103.
- WILKINSON, C. R. & SOUTER, D. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005.
- YASIR HAYA, L. O. M. & FUJII, M. 2017. Mapping the change of coral reefs using remote sensing and in situ measurements: a case study in Pangkajene and Kepulauan Regency, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Journal of Oceanography*, 73, 623-645.
- YASIR HAYA, L. O. M. & FUJII, M. 2019. Assessing economic values of coral reefs in the Pangkajene and Kepulauan Regency, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 23, 699-711.