

Juan Carlos Villaseñor-Derbez

Costeo y Evaluación de Reservas Marinas



Índice general

Antes de empezar	v
0.1. Requisitos	v
0.2. Sobre este libro	vi
0.2.1. Motivación	vi
0.2.2. Estructura	vi
I Parte I	1
1. Antecedentes	3
1.1. Antes-Después	3
1.2. Dentro-Fuera	4
1.3. Antes-Después-Dentro-Fuera	5
2. Evaluación de reservas	9
2.1. Objetivos e indicadores	9
2.2. Análisis	11
2.2.1. Inferencia de causalidad	11
2.2.2. Socioeconómicos y de gobernanza	11
3. Uso de MAREA	13
3.1. Tipos y formatos de datos	13
3.2. Evaluación de reservas en 6 etapas	13
3.3. Interpretación de resultados	13
3.4. Capacidades y limitaciones	14
II Parte II	15
4. Ejercicios con MAREA	17
4.1. Indicadores biológicos para 1 reserva	17
4.2. Indicadores biológicos y especie objetivo para 1 reserva	17
4.3. Todos los indicadores para 1 reserva	17
4.4. Indicadores biológicos para varias reservas, simultáneamente	17
5. Errores y soluciones	19
5.1. Especie / Indicador no tiene diseño BACI	19
5.2. Diferentes especies en bases biológicas vs pesca	19

Apéndice**19****A. Datos sintéticos****21**

Antes de empezar

Este manual es la segunda iteración de los esfuerzos por impulsar el uso de metodologías estandarizadas para la evaluación de reservas marinas. Trabajos anteriores incluyen el manual generalizado de evaluación de reservas marinas en México (Villaseñor-Derbez et al., 2017) y la publicación arbitrada que presenta a MAREA¹ como una herramienta amigable y gratuita (Villaseñor-Derbez et al., 2018). Esta versión del manual pretende incorporar partes de ambos trabajos, pero también incluye una serie de ejercicios prácticos para el uso de MAREA y la nueva App de Costeo de Reservas. Además, el manual está públicamente disponible en internet², donde el lector puede descargar el manual como PDF o EPUB para Kindle.

Aunque el manual y la Aplicación para Evaluación de Reservas Marinas (MAREA) pueden ser utilizados alrededor del mundo, es importante mencionar que el proyecto fue diseñado para evaluar la efectividad de las reservas marinas en México. Por lo tanto, las metodologías utilizadas reflejan las necesidades de las comunidades costeras mexicanas, y no debe de interpretarse como un conjunto de instrucciones definitivas. Aún así, creemos que la guía ha sido creada para permitir su aplicación en otros lugares con el mismo fin.

0.1. Requisitos

MAREA y la nueva App de Costeo de Reservas son aplicaciones web, y para poder utilizarlas es necesario tener un explorador de internet y una conexión estable. Aunque no siempre tenemos acceso a internet, este formato nos evita problemas de compatibilidad entre diferentes sistemas operativos. Si tienes un explorador de internet y una conexión estable, puedes usar estas Apps.

Si participaste en uno de los cursos presenciales, el USB que recibiste contiene este manual como PDF y EPUB además de los datos sintéticos³ para los

¹<https://turfeffect.shinyapps.io/marea/>

²https://jcvdav.github.io/curso_marea/

³https://github.com/jcvdav/curso_marea/materiales/datos

ejercicios prácticos y las diapositivas del curso⁴. Puedes distribuir libremente estos materiales, o descargarlos desde el repositorio de GitHub⁵. La versión en línea siempre será la más actualizada.

0.2. Sobre este libro

0.2.1. Motivación

El desarrollo de MAREA fue motivado por la necesidad de proveer metodologías estandarizadas para evaluar las zonas de refugio pesquero, un tipo de reservas marinas diseñadas como herramientas de manejo pesquero (NOM-049-SAG/PESC, 2014). MAREA es una plataforma amigable que usa técnicas econométricas de inferencia de causalidad para estimar el efecto de una reserva en una serie de indicadores de interés. Los resultados generados pueden ser comunicados con las tarjetas de puntuaciones o con el reporte automatizado que el usuario puede descargar.

La aplicación de costeo es mucho más sencilla. Esta app permite obtener los costos de operación asociados al diseño, implementación y monitoreo y evaluación de una reserva marina comunitaria siguiendo la metodología de COBI⁶ (Uribe et al., 2010). Aunque el usuario puede agregar diferentes rubros, las categorías predeterminadas están basadas en la experiencia que COBI ha adquirido a lo largo de los años.

0.2.2. Estructura

Este manual se divide en dos partes. La Parte 1 se compone de tres capítulos: El Capítulo 1 presenta una revisión de otros métodos usados para evaluar reservas marinas. El Capítulo 2 introduce la metodología usada por MAREA, con un énfasis en los *Objetivos* e *Indicadores* utilizados, así como el modelo de Diferencias entre Diferencias para estimar el efecto de la reserva. Finalmente el Capítulo 3 provee una introducción a MAREA, incluyendo el tipo y formato de datos necesarios, los 6 pasos de la evaluación, la interpretación de los resultados y una discusión de sus capacidades y limitaciones.

La Parte 2 consta de dos capítulos. El Capítulo 4 contiene cinco ejercicios,

⁴https://github.com/jcvdav/curso_marea/materiales/diapositivas

⁵https://github.com/jcvdav/curso_marea

⁶<https://cobi.org.mx/>

representativos de operaciones comunes a realiza con MAREA. El Capítulo 5 presenta algunos de los errores comunes y sus soluciones.



Parte I

Parte I



1

Antecedentes

La evaluación de reservas marinas no es algo nuevo. Sin embargo, muy pocos trabajos las han evaluado utilizando técnicas que permitan atribuir las diferencias observadas únicamente a las reservas. Por lo tanto, es útil hacer una recapitulación de metodologías comúnmente usadas antes de presentar la metodología utilizada por MAREA. Este capítulo se enfoca en los indicadores y diseños muestrales, presentando casos publicados en la literatura científica. Revisaremos tres diseños de muestreo generales que se han utilizado en la evaluación de reservas marinas y discutiremos sus ventajas y desventajas, así como las implicaciones en el manejo.

1.1. Antes-Después

Una de las formas más comunes de evaluar reservas marinas es mediante la comparación de indicadores biológicos antes y después de la implementación de la reserva. Por ejemplo Wantiez et al. (1997) evalúan el efecto de las reservas marinas en las comunidades de peces de cinco islas en Nueva Zelanda. El trabajo compara número de especies (riqueza), número de organismos (densidades) y biomasa obtenidas para nueve sitios en 1990 y 1994. Aunque las reservas fueron establecidas en 1989, la vigilancia y cumplimiento de las reglas comienza en 1990. Aunque los autores identifican pocos cambios estadísticamente significativos (solamente dos sitios muestran un incremento en densidad), la metodología empleada ignora otros eventos que puedan haber causado los efectos observados.

Por ejemplo, es posible que entre 1990 y 1994 hayan existido intervenciones de manejo pesquero que redujeran el esfuerzo de pesca, el ambiente pudo haber sufrido cambios que modificaran la productividad del sistema, la sobrepesca de especies depredadoras o una serie de años de buen reclutamiento podrían llevar a observar incrementos en densidad (Szuwalski et al., 2017; Chavez et al., 2003). Para poder distinguir este tipo de cambios, sería necesario un sitio control con el cual comparar (Betti et al., 2017). Un sitio control podría

ser un área con hábitat similar al de la reserva, pero que presenta actividad pesquera.

La Figura 1.1A muestra un caso hipotético de una evaluación antes-después. En este caso, el indicador en la reserva incrementó de 4 a 9 unidades. En esta evaluación, concluiríamos que la reserva resulta en un incremento de 5 unidades al año. Sin embargo, la línea azul muestra la tendencia temporal del control, mostrada en opaco para representar que el evaluador no observa esa información.

1.2. Dentro-Fuera

Muchos trabajos evitan el problema de cambios temporales al evaluar indicadores dentro y fuera de las zonas protegidas en una fecha única. Por ejemplo, Guidetti et al. (2014) comparan 30 localidades del Mediterráneo, que dividen en reservas estrictas, reservas intermedias y áreas de pesca. El trabajo reporta diferencias en biomasa y riqueza -pero no en densidades- con las reservas estrictas mostrando el mayor efecto. Aunque el hábitat es similar entre grupos de sitios, esta aproximación no toma en cuenta las trayectorias o estados intrínsecos de cada localidad ni otras inherentes diferencias espaciales que uno debe tomar en cuenta.

En este caso, es posible que los sitios de pesca y reservas intermedias siempre mostraran menor biomasa y riqueza, incluso antes de la implementación de las reservas estrictas. También es posible que los valores dentro de las reservas se hayan mantenido constantes desde su creación, pero que las condiciones fuera de las reservas se hayan deteriorado. Cualquiera de estas situaciones podría causar los patrones observados, y un diseño muestral que compare reservas contra zonas control difícilmente podrá rechazar estas explicaciones alternas.

La Figura 1.1B muestra un ejemplo de una evaluación donde se compara dentro-fuera. Esta comparación indica que hay 4 unidades más en la reserva que en el control. Este ejercicio ignora el hecho de que, incluso antes de la implementación de la reserva, el sitio de reserva presentaba una diferencia de 2 unidades. En este diseño muestral el evaluador no observa los valores históricos, por lo que aparecen en opaco. Estos ejemplos muestran como los mismos datos pueden resultar en estimaciones distintas, según la información que se tome en cuenta. ¿Entonces, cuál es el valor correcto? En realidad, ninguno de estos.

1.3. Antes-Después-Dentro-Fuera

Las secciones anteriores muestran que las evaluaciones antes-después o dentro-fuera pueden ignorar factores importantes y, por lo tanto, producir estimaciones incorrectas del efecto de una reserva. ¿Esto quiere decir que las evaluaciones de Wantiez et al. (1997) y Guidetti et al. (2014) están equivocadas? ¡Para nada! Sus conclusiones indican que hay diferencias a través del tiempo, o entre sitios reserva y sitios control, lo cual es cierto. Sin embargo, no es posible atribuir la totalidad de las diferencias observadas a las reservas.

Cuando hablamos de intervenciones de manejo, nos interesa saber cual es el *impacto neto* de la intervención. En este sentido, y retomando los ejemplos de las Figuras 1.1A-B, queremos descomponer el incremento de la reserva en sus tres partes: i) El incremento causado por la evolución temporal, ii) el incremento *aparente* causado por las diferencias originales, y iii) el *incremento neto* una vez que tomamos en cuenta los anteriores.

Para poder medir el impacto neto, es necesario conocer las trayectorias temporales (diferencia a través del tiempo) y las diferencias entre sitios. Para esto, es necesario tener un diseño muestral de antes-después-control-impacto. En otras palabras, debemos tener observaciones en la reserva y el control antes y después de la implementación de la reserva. Una menor cantidad de trabajos han evaluado reservas marinas con esta aproximación, pues requiere de muchos datos (Moland et al., 2013; Villaseñor-Derbez et al., 2018). Sin embargo, esto permite atribuir parte de los cambios observados a las reservas.

Por ejemplo, en la Figura 1.1C se muestran las mismas tendencias que en los casos anteriores. En este caso, el evaluador conoce las diferencias temporales de la reserva (de 4 a 9 = 5) y del control (de 2 a 5 = 3). Como se mencionó antes, hay muchos factores que podrían causar cambios a través del tiempo, incluso en la ausencia de una reserva. En este caso, el sitio control presenta un incremento de 3 unidades. ¿Entonces, qué habría pasado con el sitio de reserva si no hubiera recibido protección?

En teoría, el sitio debería de haber seguido la misma tendencia que el sitio control. Es decir, debería de mostrar un incremento de 3 unidades. La Figura 1.1C muestra una línea roja punteada representando este caso hipotético. Por lo tanto, la diferencia entre lo observado (línea sólida) y lo que habría pasado (línea punteada) puede ser atribuida a la protección. En otras palabras, de las 5 unidades de diferencia que muestra la reserva, 3 son por otros factores y 2 por la reserva. En este caso, podríamos entonces concluir que 2 de las unidades son causadas por la reserva.

Esta técnica se conoce en econometría como *Diferencia entre Diferencias*, pues se calcula la diferencia a través del tiempo y a través de sitios. El remanente

de esta operación es entonces el efecto neto observado. Desde luego, hay una serie de supuestos que debemos tener en cuenta, como la factibilidad de que nuestro sitio control sea realmente representativo. Además, al evaluar una reserva no tendremos solamente 4 puntos, pues por lo general usaremos datos de monitoreos submarinos con muchas más observaciones. El siguiente capítulo (Capítulo 2) habla más sobre los métodos de regresiones utilizados en este caso, así como las otras dimensiones evaluadas por MAREA.

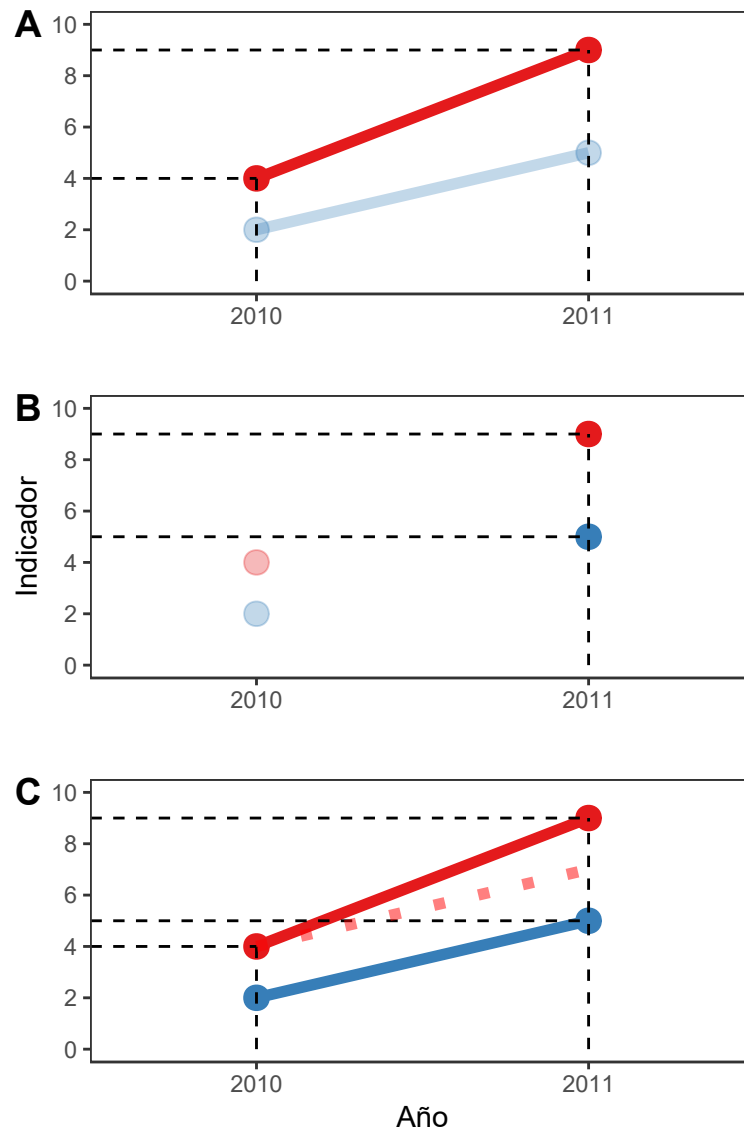


Figura 1.1: Ejemplos de evaluaciones antes-después (A), dentro-fuera (B) y antes-después-dentro-fuera (C) para una reserva hipotética implementada al final del 2010. Rojo representa reserva y azul control, los colores opacos indican datos no observados u omitidos en cada tipo de evaluación. La línea punteada en la figura C represente la evolución que se hubiera esperado del sitio protegido si la reserva no se hubiera implementado.



2

Evaluación de reservas

Las reservas marinas son sistemas socio-ecológicos complejos. Su efectividad depende de las interacciones y combinaciones de factores sociales y ambientales. Por muchos años, la ciencia de reservas marinas se ha enfocado en comprender los efectos ecológicos de estas áreas, reportando aumentos en biomasa, riqueza y densidad de organismos o beneficios de mitigación de cambio climático y protección ambiental (Lester et al., 2009; Micheli et al., 2012; Giakoumi et al., 2017; Sala and Giakoumi, 2017; Roberts et al., 2017). Más recientemente, algunos trabajos se han enfocado en la relación entre estructuras de gobernanza y aspectos socioeconómicos y la efectividad de las reservas (Halpern et al., 2013; López-Angarita et al., 2014; Mascia et al., 2017). Por lo tanto, es importante que la evaluación de reservas tome en cuenta las dimensiones ecológicas, socioeconómicas y de gobernanza.

La metodología propuesta e implementada en MAREA utiliza una serie de indicadores de cada dimensión. Los indicadores sugeridos pueden ser usados en función de los objetivos de la reserva o de otras preguntas de interés. En este capítulo definimos los objetivos generales para los cuales las reservas pueden ser implementadas y los indicadores sugeridos para cada caso. Después explicamos a profundidad cómo MAREA utiliza el análisis de Diferencias entre Diferencias presentado previamente en el capítulo anterior (Capítulo 1).

2.1. Objetivos e indicadores

Como cualquier otra intervención de manejo, las reservas marinas deben de tener objetivos claros¹. Los objetivos nos ayudan a identificar los cambios que deseamos ver y, por lo tanto, seleccionar indicadores para evaluar la efectividad de la intervención.

En práctica, los objetivos suelen ser difusos y se encuentran escondidos en documentos oficiales. Habrá ocasiones en las que diferentes agencias, cuerpos o actores tengan percepciones distintas sobre los objetivos. Otras, las reservas

¹Idealmente, usaremos objetivos SMART²

Tabla 2.1: Matriz de objetivos e indicadores. Cada columna representa un indicador biológico (B) o socioeconómico (S). Los indicadores de gobernanza no se muestran, pues sugerimos que todos sean utilizados sin importar el objetivo.

Objetivo	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S1	S2	S3
Evitar la sobreexplotación			x	x	x	x	x	x	x	x
Conservar especies bajo protección especial			x		x			x	x	x
Mantener procesos biológicos	x	x		x	x	x	x			x
Mejorar la productividad de las zonas de pesca				x	x		x	x	x	x
Preservar la biodiversidad y los ecosistemas	x	x		x	x	x	x			x
Recuperar especies sobreexplotadas			x		x					x
Recuperar especies de interés comercial			x		x					x

tendrán objetivos muy específicos (por ejemplo “Duplicar la biomasa de mero en los primeros 10 años”). Por lo tanto, es difícil generar una lista de todos los objetivos e indicadores posibles.

En su lugar, la metodología desarrollada por Villaseñor-Derbez et al. (2018) e implementada en MAREA presenta una serie de 7 objetivos generales a los cuales se asignan 25 indicadores divididos en indicadores biológicos ($n = 7$), socioeconómicos ($n = 3$) y de gobernanza ($n = 15$). Los 7 objetivos están inspirados en la normatividad de las zonas de refugio pesquero (NOM-049-SAG/PESC, 2014), pero agrupan muchos otros objetivos más particulares.

La lista de indicadores presentada es el resultado de un proceso de depuración de más de 40 indicadores iniciales obtenidos de la literatura científica (Halpern and Warner, 2002; Lester et al. (2009); Lester and Halpern, 2008; Micheli et al., 2012; Halpern et al., 2013; Basurto et al., 2013; Leslie et al., 2015). El proceso de selección incluyó pescadores, investigadores, gestores ambientales y personal de agencias de gobierno. Los indicadores fueron elegidos según su facilidad de medición, la existencia de información anterior y presencia de programas de monitoreo que los midan anualmente. Además de separar explícitamente los indicadores en las categorías previamente mencionadas, también hay una separación implícita entre indicadores que cambian por efecto de la reserva (por ejemplo, **B** - Biomasa) o indicadores que pueden explicar la efectividad -o ausencia de- de la reserva, como **G5** - Pesca ilegal.

Los indicadores biológicos son:

- **B1** - Índice de diversidad de Shannon
- **B2** - Riqueza de especies
- **B3** - Densidad de organismos maduros (proporción de organismos mayores a la talla de primera madurez)
- **B4** - Densidad de organismos

- **B5** - Presencia de una perturbación ambiental
- **B6** - Nivel trófico medio
- **B7** - Biomasa

Los indicadores socioeconómicos son:

- **S1** - Arribos totales
- **S2** - Ingresos totales
- **S3** - Oportunidades económicas alternativas a la pesca

Los indicadores de gobernanza son:

- **G1** - Acceso a la pesquería
- **G2** - Número de pescadores
- **G3** - Reconocimiento legal de la reserva
- **G4** - Tipo de reserva
- **G5** - Pesca ilegal
- **G6** - Plan de manejo
- **G7** - Procuración y vigilancia de la reserva
- **G8** - Tamaño de la reserva
- **G9** - Razonamiento para la localización de la reserva
- **G10** - Presencia de organizaciones pesqueras
- **G11** - Tipo de organizaciones pesqueras
- **G12** - Representación
- **G13** - Regulaciones internas
- **G14** - Efectividad percibida
- **G15** - Impacto social de la reserva

2.2. Análisis

2.2.1. Inferencia de causalidad

2.2.2. Socioeconómicos y de gobernanza



3

Uso de MAREA

Presentaremos los pasos necesarios para evaluar una reserva con MAREA. Ya conoceremos los datos y análisis, por lo que no nos limitaremos a aprender su uso, sino comprender las operaciones y procesos que realiza. Esto permitirá anticipar errores y comprender las capacidades y limitaciones de MAREA. Comentaremos sobre la manera de prevenir errores y, en caso de que existan, reportarlos para su arreglo. Usaremos Isla Natividad como ejemplo para llevar a cabo la evaluación de la reserva de “La Plana / Las Cuevas”.

3.1. Tipos y formatos de datos

Para poder usar MAREA sin problemas, es necesario que los datos tengan el formato correcto. Se presentarán los conceptos de datos largos y anchos, y discutiremos sobre las ventajas de cada uno. Usaremos bases en ambos formatos para identificar las ventajas / desventajas de cada una y justicaremos el uso de datos largos en MAREA. Hablaremos sobre buenas prácticas de mantenimiento de bases de datos, nombres de columnas y metadatos. Terminaremos hablando de las extensiones (e.g. *.csv) en las que se pueden exportar los datos / importar datos desde Excel.

3.2. Evaluación de reservas en 6 etapas

3.3. Interpretación de resultados

Comenzaremos por describir los resultados que produce MAREA: la tabla de puntuación y el reporte técnico. Primero discutiremos sobre el desempeño de la reserva utilizando únicamente la tabla de puntuación. Después, descargaremos

el reporte técnico que produce MAREA para llegar a conclusiones definitivas sobre el desempeño de la reserva.

3.4. Capacidades y limitaciones

Parte II

Parte II



4

Ejercicios con MAREA

4.1. Indicadores biológicos para 1 reserva

4.2. Indicadores biológicos y especie objetivo para 1 reserva

4.3. Todos los indicadores para 1 reserva

4.4. Indicadores biológicos para varias reservas, simultáneamente



5

Errores y soluciones

5.1. Especie / Indicador no tiene diseño BACI

5.2. Diferentes especies en bases biológicas vs pesca



A

Datos sintéticos

Este apéndice muestra el código usado para obtener los datos sintéticos del curso y el manual de evaluación. Primero, debemos definir una serie de variables que contengan los valores predeterminados o rangos de valores que cada variable puede tomar. Para los propósitos del curso, generaremos únicamente información biológica y económica de peces.

```
# Cargamos los paquetes que necesitamos
suppressPackageStartupMessages({
  library(magrittr)
  library(tidyverse)
})

#####
# Generar variables predeterminadas
#####

# Las fechas estaran centradas en el dia 1 de cada mes
dia <- 1

# Los muestreos ocurren aleatoriamente entre abril y junio
mes <- 4:6

# Generaremos datos del 200 al 2018
ano <- 2000:2018

# El estado va a ser NA
estado <- NA

# La comunidad imaginaria va a ser Las Positas
comunidad <- "Las Positas"

# En Las Positas hay 4 sitios, dos reservas y dos controles
# el tipo de sitio se define mas adelante
sitio <- c("Las cruces",
```

```
      "Cerro prieto",
      "Calencho",
      "Popotla")

# No es necesario definir el habitat
habitat <- NA

# La zona es determinada con esta funcion
zona <- function(sitio){
  ifelse(sitio %in% c("Las cruces",
                    "Cerro prieto"),
        "Reserva",
        "Control")
}

# Tipo de proteccion es NA
tipo_proteccion <- NA

# ANP es NA
ANP <- NA

# Lista de posibles buzos monitores
# (http://www.laff.bren.ucsb.edu/laff-network/alumni)
buzo_monitor <- c("Caio Faro",
                  "Alexandra Smith",
                  "Diana Flores",
                  "Ignacia Rivera",
                  "Wagner Quiros",
                  "Gonzalo Banda",
                  "Camila Vargas",
                  "Diego Undurraga",
                  "Denise Garcia",
                  "Cristobal Libertad",
                  "Catalina Milagros")

# Horas iniciales arbitrarias
hora_inicial <- c("6:50",
                  "8:40",
                  "10:20",
                  "12:15",
                  "13:40",
                  "14:45",
                  "15:20")
```

```
# Rango de profundidades iniciales posibles
profundidad_inicial <- 5:27

# Esta funcion inventa una profundidad final
# segun la profundidad inicial
profundidad_final <- function(profundidad_inicial){
  round(profundidad_inicial + rnorm(n = 1, mean = 0, sd = 1),
        digits = 1)
}

# Rango de temperaturas
temperatura <- 25:27

# Rango de visibilidades
visibilidad <- 3:12

# Corriente es NA
corriente <- NA

# Numeros de transectos
transecto <- 1:12

# Crear un origen en comun para las secuencias aleatorias
set.seed(42)

# De la lista de especies filtramos para tener
# especies menores a 160 cm y que tengan todos
# los parametros de a,b, NT y Lmax
spp <- MPAtools::species_bio %>%
  filter(Lmax < 160) %>%
  select(GeneroEspecie, a, b, NT, Lmax) %>%
  drop_na() %>%
  sample_n(15)

# Crear un vector con todas las especies
genero_especie <- spp$GeneroEspecie

# Esta funcion inventa una talla observada con una
# distribucion normal con promedio = la mitad entre
# 0 y la longitud maxima reportada y desviacion
# estandar = 0.3 * el promedio
tallas <- function(spp, generoespecie){

  # calcular talla media
```

```

talla <- spp %>%
  filter(GeneroEspecie == generoespecie) %$%
  Lmax / 2

# obtener ruido al rededor de la talla media
noise <- rnorm(n = 1, mean = 0, sd = 0.3 * talla / 2)

# Redondear para evitar decimales
round(talla + noise)
}

# Esta funcion regresa la abundancia de la especie
# que es un numero que sigue una distribucion de
# poisson con Lambda = 12
mean_sp <- function(generoespecie){
  rpois(n = 1, lambda = 12)
}

# Esta funcion regresa el par RC para cada sitio
rc <- function(sitio){
  ifelse(sitio %in% c("Las cruces",
                     "Calencho"),
         "Las cruces - Calencho",
         "Cerro prieto - Popotla")
}

```

```

#####
# Simular datos
#####

# Crear un data.frame vacio
datos <- tibble(Dia = NA,
                 Mes = NA,
                 Ano = NA,
                 Estado = NA,
                 Comunidad = NA,
                 Sitio = NA,
                 Latitud = NA,
                 Longitud = NA,
                 Habitat = NA,
                 Zona = NA,
                 TipoProteccion = NA,
                 ANP = NA,

```



```
BuzoMonitor = NA,  
HoraInicial = NA,  
ProfundidadInicial = NA,  
ProfundidadFinal = NA,  
Temperatura = NA,  
Visibilidad = NA,  
Corriente = NA,  
Transecto = NA,  
Genero = NA,  
Especie = NA,  
GeneroEspecie = NA,  
Sexo = NA,  
Talla = NA,  
ClaseTalla = NA,  
Abundancia = NA,  
RC = NA)  
  
# Definir un ciclo para iterar cada año  
for(i in ano){  
  # El año es determinado por el ciclo  
  Ano <- i  
  
  # El estado es constante  
  Estado <- estado  
  
  # La comunidad es constante  
  Comunidad <- comunidad  
  
  # Definir un ciclo para iterar cada sitio  
  for(j in sitio){  
  
    # El sitio es determinado por el ciclo  
    Sitio <- j  
  
    #La latitud y longitud son NAs  
    Latitud <- NA  
    Longitud <- NA  
  
    # El habitat es constante (NA)  
    Habitat <- habitat  
  
    # Definir la zona segun la funcion anterior  
    Zona <- zona(j)
```

```
# El tipo de proteccion es constante (NA)
TipoProteccion <- tipo_proteccion

# El ANP es constante (NA)
ANP <- ANP

# Definir un ciclo para iterar cada transecto
for(k in transecto){

  Dia <- dia

  # Aleatoriamente muestreamos un mes de la lista anterior
  Mes <- sample(x = mes,
               size = 1L)

  # Escoger aleatoriamente un buzo monitor
  BuzoMonitor <- sample(x = buzo_monitor,
                       size = 1L)

  # Escoger aleatoriamente la hora inicial
  HoraInicial <- hora_inicial[sample(x = 1:7,
                                    size = 1L)]

  # Escoger aleatoriamente la profundidad inicial
  ProfundidadInicial <- sample(x = profundidad_inicial,
                              size = 1L)

  # Calcular la profundidad final segun la funcion anterior
  ProfundidadFinal <- profundidad_final(ProfundidadInicial)

  # Escoger una temperatura aleatoria
  Temperatura <- sample(x = temperatura,
                       size = 1L)

  # Escoger una visibilidad aleatoria
  Visibilidad <- sample(x = visibilidad,
                      size = 1L)

  # Corriente es NA
  Corriente <- NA

  # El transecto esta determinado por el ciclo
  Transecto <- k
```

```
# Obtener un numero aleatorio para la riqueza
n_spp <- runif(n = 1, min = 0, max = 10) %>%
  as.integer()

# Muestrear la lista de especies para obtener las
# observadas en este transecto
GeneroEspecie <- sample(genero_especie,
  size = n_spp)

# Sexo es NA
Sexo <- NA

# La funcion rc me dice los pares RC
RC <- rc(Sitio)

# Definir un ciclo para iterar cada especie
for(l in GeneroEspecie){

  # Separar genero y especie
  Genero <- str_split(1, " ")[[1]][[1]]
  Especie <- str_split(1, " ")[[1]][[2]]

  # Obtener un numero aleatorio entre 1 y 5 para
  # definir el numero de grupos de tallas observados
  nobs <- sample(x = 1:5, size = 1L)

  # Definir un ciclo para iterar cada grupo de
  # observaciones de una spp
  for(m in 1:nobs){

    # Escoger una talla aleatoria segun la funcion anterior
    Talla <- tallas(spp = spp, generoespecie = l)

    # Clase talla es constante (NA)
    ClaseTalla <- NA

    # Muestrear una abundancia segun la funcion
    Abundancia <- mean_sp(generoespecie = l)

    # Juntar las observaciones de este grupo de tallas
    datos_ijklm <- tibble(Dia,
                          Mes,
                          Ano,
                          Estado,
                          Comunidad,
```

```

        Sitio,
        Latitud,
        Longitud,
        Habitat,
        Zona,
        TipoProteccion,
        ANP,
        BuzoMonitor,
        HoraInicial,
        ProfundidadInicial,
        ProfundidadFinal,
        Temperatura,
        Visibilidad,
        Corriente,
        Transecto,
        Genero,
        Especie,
        GeneroEspecie = 1,
        Sexo,
        Talla,
        ClaseTalla,
        Abundancia,
        RC)

    datos <- rbind(datos, datos_ijklm)
  } # Fin nobs
} # Fin especie
} # Fin transecto
} # Fin sitio
} # Fin años

# Borrar los NAs originales y agrupar grupos de
# talla en caso de que esten duplicados
datos %<>%
  drop_na(dia) %>%
  group_by(Dia, Mes, Ano, Estado, Comunidad, Sitio, Latitud,
            Longitud, Habitat, Zona, TipoProteccion, ANP,
            BuzoMonitor, HoraInicial, ProfundidadInicial,
            ProfundidadFinal, Temperatura, Visibilidad, Corriente,
            Transecto, Genero, Especie, GeneroEspecie, Sexo,
            Talla, ClaseTalla, RC) %>%
  summarize(Abundancia = sum(Abundancia, na.rm = T)) %>%
  ungroup() %>%
  select(Dia, Mes, Ano, Estado, Comunidad, Sitio, Latitud,

```

```

Longitud, Habitat, Zona, TipoProteccion, ANP,
BuzoMonitor, HoraInicial, ProfundidadInicial,
ProfundidadFinal, Temperatura, Visibilidad, Corriente,
Transecto, Genero, Especie, GeneroEspecie, Sexo,
Talla, ClaseTalla, Abundancia, RC)

```

```

# Graficar los datos
ggplot(data = datos,
       mapping = aes(x = Ano, y = Abundancia,
                     color = Zona, group = Sitio, linetype = RC)) +
  geom_point(alpha = 0.5, size = 0.5) +
  stat_summary(geom = "line", fun.y = "mean", size = 1) +
  facet_wrap(~GeneroEspecie, ncol = 3, scales = "free_y") +
  startR::ggtheme_plot() +
  theme(legend.position = "top") +
  scale_color_brewer(palette = "Set1") +
  xlab("Año")

```

```

# Ahora agregamos tendencias en abundancias y tallas.
# Las abundancias aumentan un 10% cada ano despues del 2000.
# Las tallas aumentan 1 cm cada año.
datos <- datos %>%
  mutate(neg = ifelse(RC == "Cerro prieto - Popotla", -1, 1),
         Abundancia = ifelse(Zona == "Reserva" & Ano > 2000,
                              Abundancia * (1 + (neg * ((Ano - 2000) * 0.1))),
                              Abundancia),
         Talla = ifelse(Zona == "Reserva" & Ano > 2000,
                        Talla + (neg * ((Ano - 2000) * 1)),
                        Talla)) %>%
  select(-neg)

```

```

# Graficar los datos
ggplot(data = datos,
       mapping = aes(x = Ano, y = Abundancia,
                     color = Zona, group = Sitio, linetype = RC)) +
  geom_point(alpha = 0.5, size = 0.5) +
  stat_summary(geom = "line", fun.y = "mean", size = 1) +
  facet_wrap(~GeneroEspecie, ncol = 3, scales = "free_y") +
  startR::ggtheme_plot() +
  theme(legend.position = "top") +

```

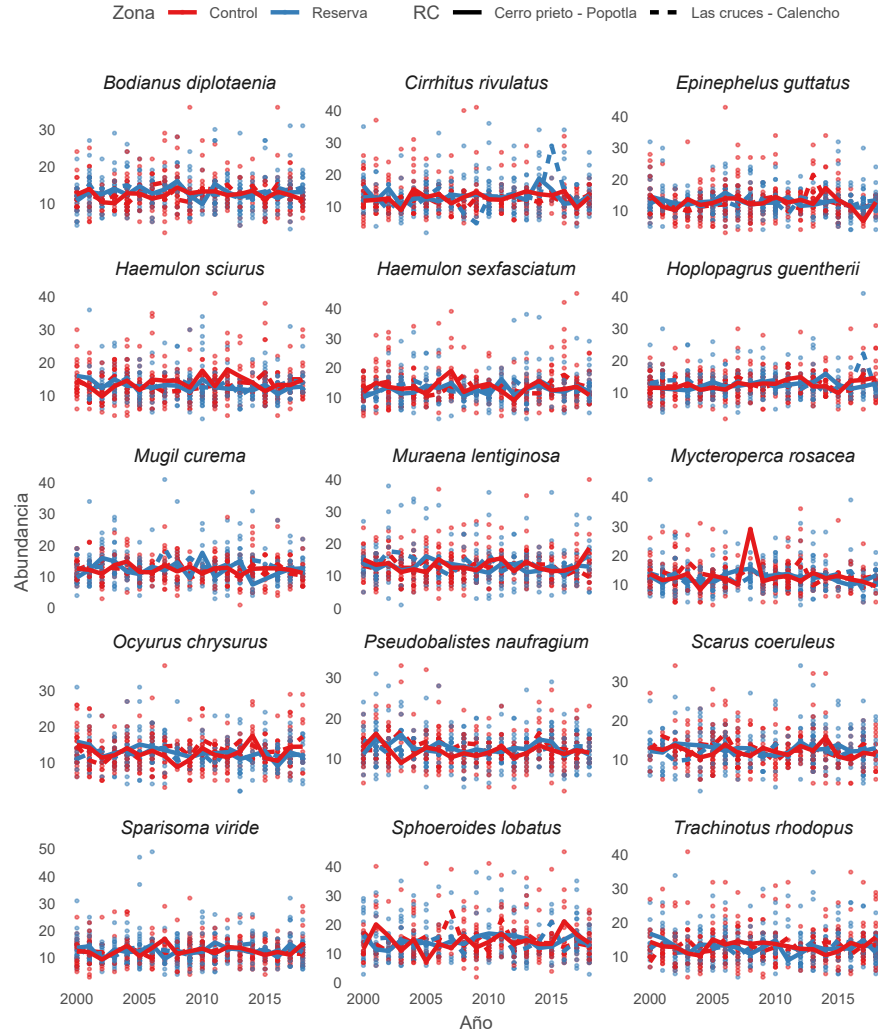


Figura A.1: Series de tiempo de los datos antes de agregar tendencias

```
scale_color_brewer(palette = "Set1") +  
xlab("Año")
```

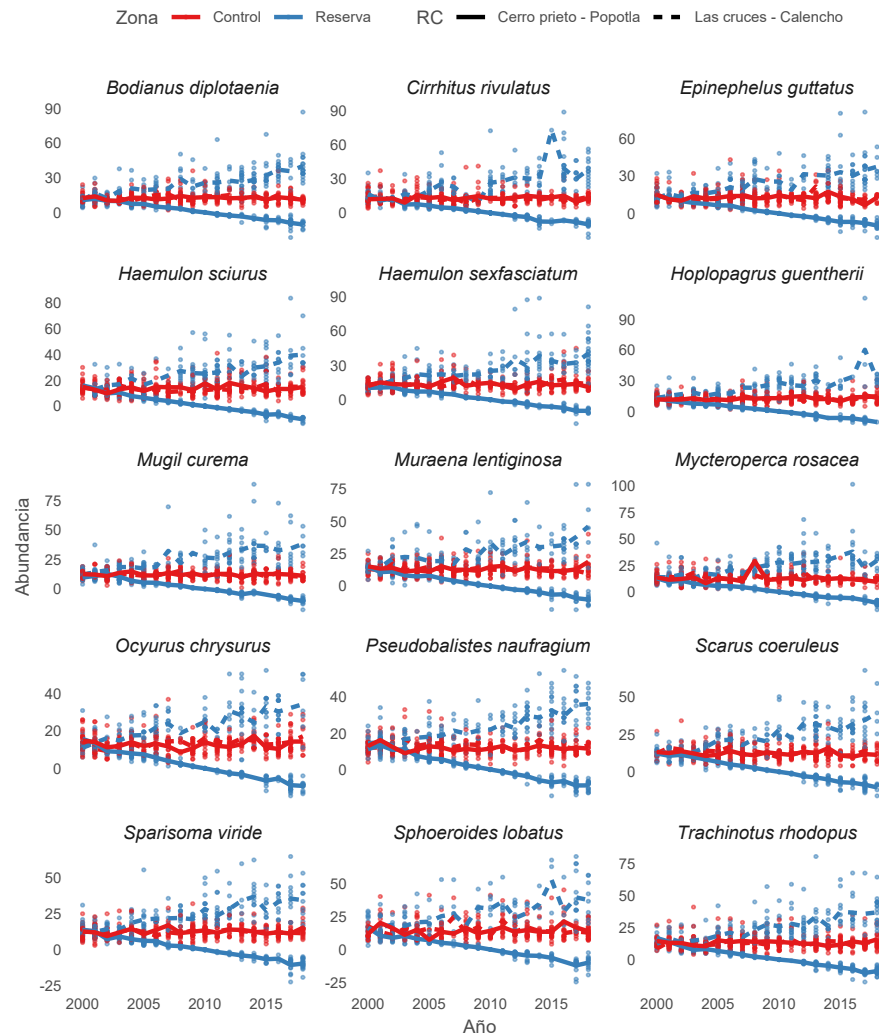


Figura A.2: Series de tiempo de las abundancias con tendencias (10 % anual) después del primer año. Note como una reserva funciona y otra no.

```
# Graficar los datos  
ggplot(data = datos,
```

```
mapping = aes(x = Ano, y = Abundancia,  
              color = Zona, group = Sitio, linetype = RC)) +  
geom_point(alpha = 0.5, size = 0.5) +  
stat_summary(geom = "line", fun.y = "mean", size = 1) +  
facet_wrap(~GeneroEspecie, ncol = 3, scales = "free_y") +  
startR::ggtheme_plot() +  
theme(legend.position = "top") +  
scale_color_brewer(palette = "Set1") +  
xlab("Año")
```

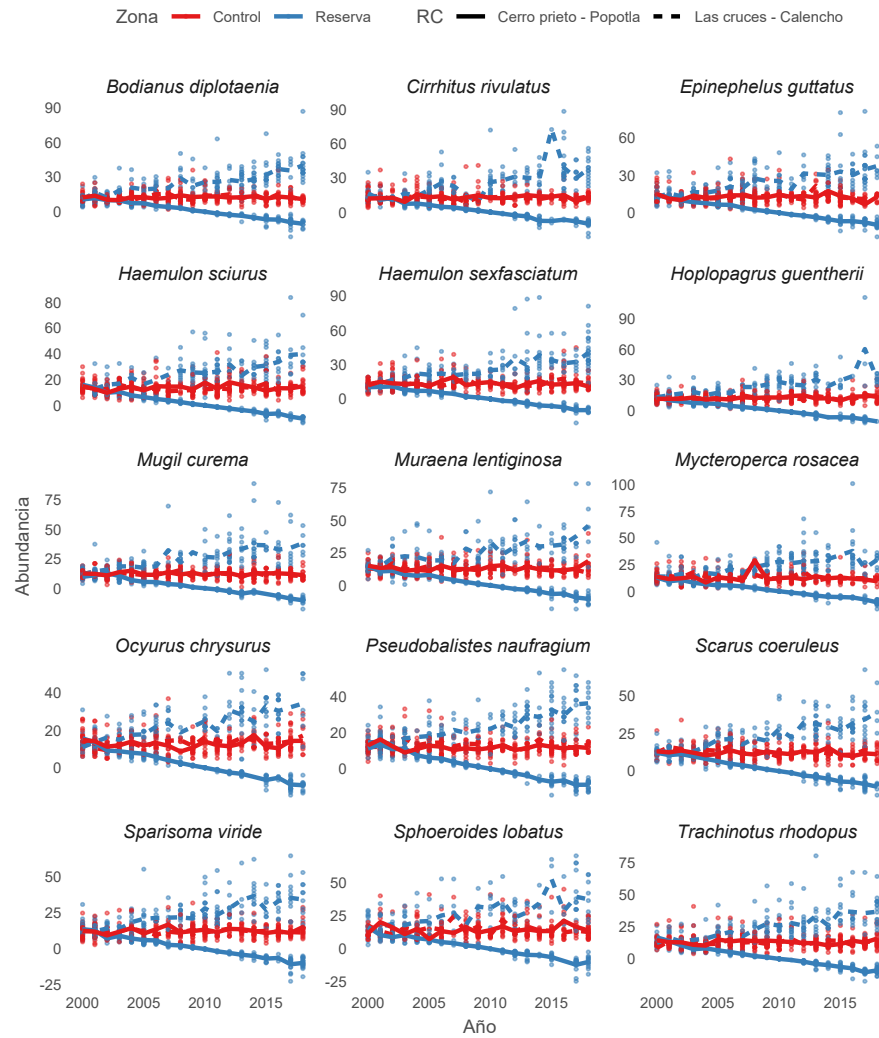



Figura A.3: Series de tiempo de las tallas con tendencias (+2 cm anual) después del primer año. Note como una reserva funciona y otra no.



Bibliografía

- Basurto, X., Gelcich, S., and Ostrom, E. (2013). The social-ecological system framework as a knowledge classificatory system for benthic small-scale fisheries. *Global Environmental Change*, 23(6):1366–1380.
- Betti, F., Bavestrello, G., Bo, M., Asnaghi, V., Chiantore, M., Bava, S., and Cattaneo-Vietti, R. (2017). Over 10 years of variation in mediterranean reef benthic communities. *Marine Ecology*, 38(3):e12439.
- Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., and Niquen C, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the pacific ocean. *Science*, 299(5604):217–221.
- Giakoumi, S., Scianna, C., Plass-Johnson, J., Micheli, F., Grorud-Colvert, K., Thiriet, P., Claudet, J., Di Carlo, G., Di Franco, A., Gaines, S. D., García-Charton, J. A., Lubchenco, J., Reimer, J., Sala, E., and Guidetti, P. (2017). Ecological effects of full and partial protection in the crowded mediterranean sea: a regional meta-analysis. *Sci Rep*, 7(1):8940.
- Guidetti, P., Baiata, P., Ballesteros, E., Di Franco, A., Hereu, B., Macpherson, E., Micheli, F., Pais, A., Panzalis, P., Rosenberg, A. A., Zabala, M., and Sala, E. (2014). Large-scale assessment of mediterranean marine protected areas effects on fish assemblages. *PLoS ONE*, 9(4):e91841.
- Halpern, B. S., Klein, C. J., Brown, C. J., Beger, M., Grantham, H. S., Mangubhai, S., Ruckelshaus, M., Tulloch, V. J., Watts, M., White, C., and Possingham, H. P. (2013). Achieving the triple bottom line in the face of inherent trade-offs among social equity, economic return, and conservation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110(15):6229–6234.
- Halpern, B. S. and Warner, R. R. (2002). Marine reserves have rapid and lasting effects. *Ecology Letters*, 5(3):361–366.
- Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., Erisman, B. E., Finkbeiner, E., Hinojosa-Arango, G., Moreno-Báez, M., Nagavarapu, S., Reddy, S. M. W., Sánchez-Rodríguez, A., Siegel, K., Ulibarria-Valenzuela, J. J., Weaver, A. H., and Aburto-Oropeza, O. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 112(19):5979–5984.

- Lester, S. and Halpern, B. (2008). Biological responses in marine no-take reserves versus partially protected areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 367:49–56.
- Lester, S., Halpern, B., Grorud-Colvert, K., Lubchenco, J., Ruttenberg, B., Gaines, S., Aíramé, S., and Warner, R. (2009). Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 384:33–46.
- López-Angarita, J., Moreno-Sánchez, R., Maldonado, J. H., and Sánchez, J. A. (2014). Evaluating linked social-ecological systems in marine protected areas. *Conserv Lett*, 7(3):241–252.
- Mascia, M. B., Fox, H. E., Glew, L., Ahmadi, G. N., Agrawal, A., Barnes, M., Basurto, X., Craigie, I., Darling, E., Geldmann, J., Gill, D., Holst Rice, S., Jensen, O. P., Lester, S. E., McConney, P., Mumby, P. J., Nenadovic, M., Parks, J. E., Pomeroy, R. S., and White, A. T. (2017). A novel framework for analyzing conservation impacts: evaluation, theory, and marine protected areas. *Ann N Y Acad Sci*, 1399(1):93–115.
- Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza Montes, J. A., Rossetto, M., and De Leo, G. A. (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLoS ONE*, 7(7):e40832.
- Moland, E., Olsen, E. M., Knutsen, H., Garrigou, P., Espeland, S. H., Kleiven, A. R., Andre, C., and Knutsen, J. A. (2013). Lobster and cod benefit from small-scale northern marine protected areas: inference from an empirical before-after control-impact study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754):20122679–20122679.
- NOM-049-SAG/PESC (2014). Norma oficial mexicana nom-049-sag/pesc-2014, que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los estados unidos mexicanos. *DOF*.
- Roberts, C. M., OLeary, B. C., McCauley, D. J., Cury, P. M., Duarte, C. M., Lubchenco, J., Pauly, D., Sáenz-Arroyo, A., Sumaila, U. R., Wilson, R. W., Worm, B., and Castilla, J. C. (2017). Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proc Natl Acad Sci USA*, 114(24):6167–6175.
- Sala, E. and Giakoumi, S. (2017). No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES Journal of Marine Science*.
- Szuwalski, C. S., Burgess, M. G., Costello, C., and Gaines, S. D. (2017). High fishery catches through trophic cascades in china. *Proc Natl Acad Sci USA*, 114(4):717–721.
- Uribe, P., Moguel, S., Torre, J., Bourillon, L., and Saenz, A. (2010). *Implementación de Reservas Marinas en México*. Mexico, 1st edition.
- Villaseñor-Derbez, J. C., Faro, C., Wright, M., and Martínez, J. (2017). Una

guía para evaluar la efectividad de las zonas de no pesca en México. Technical report, TURFeffect.

Villaseñor-Derbez, J. C., Faro, C., Wright, M., Martínez, J., Fitzgerald, S., Fulton, S., Mancha-Cisneros, M. d. M., McDonald, G., Micheli, F., Suárez, A., Torre, J., and Costello, C. (2018). A user-friendly tool to evaluate the effectiveness of no-take marine reserves. *PLOS ONE*, 13(1):1–21.

Wantiez, L., Thollot, P., and Kulbicki, M. (1997). Effects of marine reserves on coral reef fish communities from five islands in New Caledonia. *Coral Reefs*, 16(4):215–224.

