

Juan Carlos Villaseñor-Derbez

Costeo y Evaluación de Reservas Marinas

Villaseñor-Derbez J.C. 2018. Costeo y Evaluación de Reservas Marinas: Una
guía para gestores ambientales.

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. App de costeo	3
1.1. Uso de la App	5
1.1.1. Ejercicio	5
1.1.2. Pasos sugeridos	5
1.1.3. Resultados	5
II Parte II	7
2. Antecedentes	9
2.1. Antes-Después	9
2.2. Dentro-Fuera	10
2.3. Antes-Después-Dentro-Fuera	11
3. Evaluación de reservas	15
3.1. Objetivos e indicadores	15
3.2. Análisis	17
3.2.1. Inferencia de causalidad	17
3.2.2. Socioeconómicos y de gobernanza	22
4. Uso de MAREA	23
4.1. Tipos y formatos de datos	23
4.1.1. Datos biológicos	23
4.1.2. Datos socioeconómicos	25
4.1.3. Gobernanza	25
4.1.4. Notas importantes	25
4.2. Evaluación de reservas en 6 etapas	26
4.3. Interpretación de resultados	27
III Parte III	31

5. Ejercicios con MAREA	33
5.1. Indicadores biológicos	33
5.2. Especie objetivo	33
5.3. Datos de biometría	33
5.4. Más de una reserva a la vez	34
5.5. Todos los indicadores	34
6. Errores y soluciones	35
6.1. Especie / Indicador no tiene diseño BACI	35
6.2. Diferentes especies en bases biológicas vs pesca	35
Apéndice	35
A. Datos sintéticos	37

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 Kindle³.

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 desarrolladas en R utilizando el paquete `shiny` (R Core Team, 2018; Chang et al., 2018). Para poder utilizarlas es necesario tener un explorador de internet y una conexión estable. Aunque no siempre tenemos acceso a internet, utilizar

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

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

³El manual puede ser compartido y distribuido libremente. Sin embargo, esta versión se encuentra en proceso de edición y puede contener errores. Comentarios y sugerencias de edición son bienvenidos en juancarlos@ucsb.edu o con el botón de edición en la barra de herramientas de la versión online. La versión más actualizada siempre estará disponible en internet en: https://jcvdav.github.io/curso_marea. El manual fue generado utilizando `bookdown` (Xie, 2018).

aplicaciones “*en la nube*” nos evita problemas de compatibilidad entre diferentes sistemas operativos. Si tienes un explorador de internet y una conexión estable, puedes usar estas Apps.

Este manual va acompañado de datos sintéticos para los ejercicios prácticos. Puedes descargar estos materiales gratuitamente en el repositorio de GitHub⁴, y distribuirlos con atribución.

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, así como la evaluación de una reserva marina comunitaria siguiendo la metodología de COBI⁵ (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 tres partes. La Parte 1 presenta la App de Costeo (Capítulo 1) y describe las secciones de la ventana, así como su uso y funcionalidad.

La Parte 2 se compone de tres capítulos: El Capítulo 2 presenta una revisión de otros métodos usados para evaluar reservas marinas. El Capítulo 3 introduce la metodología usada por MAREA, con un énfasis en los *Objetivos* e *Indicadores* utilizados, así como el modelo de Diferencias entre Diferencias

⁴https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos

⁵<https://cobi.org.mx/>

para estimar el efecto de la reserva. Finalmente el Capítulo 4 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 3 consta de dos capítulos. El Capítulo 5 contiene cinco ejercicios, representativos de operaciones comunes a realiza con MAREA. El Capítulo 6 presenta algunos de los errores comunes y sus soluciones.



Parte I

Parte I



1

App de costeo

El número de iniciativas para establecer redes de reservas marinas está en aumento, y la gran mayoría de los esfuerzos se realizan con fondos filantrópicos. Sin embargo, al iniciar el proceso para establecer reservas marinas es común que los costos proyectados al futuro no estén claramente definidos. Esto puede afectar la sustentabilidad de la reserva marina al largo plazo, sobre todo si el costo de mantenerla y operarla es mayor al beneficio que puede proporcionar a la comunidad.

COBI¹ ha trabajado durante 19 años para establecer, evaluar y mantener las reservas marinas en colaboración con las comunidades pesqueras de México. Nuestro modelo de reservas marinas comprende de cuatro fases:

1. **Implementación** - procesos inclusivos en el que las partes interesadas participen en el proceso de diseño, definición de objetivos y la selección del sitio
2. **Monitoreo** - después de que la reserva se ha creado, miembros de la comunidad están capacitados para recopilar datos para evaluar la reserva
3. **Operación** – acciones relacionadas a la vigilancia comunitaria, señalización y comunicación de resultados
4. **Renovación** – manejo adaptativo basado en los datos recogidos por la comunidad para garantizar el funcionamiento eficaz de la reserva.

Este calculador de costos contempla todos los pasos necesarios para establecer una reserva marina utilizando el modelo COBI, con el objetivo de ayudar a comunidades, organizaciones de la sociedad civil y tomadores de decisiones a planear sus inversiones con mayor claridad y transparencia. La Figura 1.1 presenta la pantalla de bienvenida de la aplicación.

La app tiene dos secciones principales. Del lado izquierdo se muestra una barra de herramientas que el usuario puede usar para navegar por las secciones de **Ingresar costos** y **Presupuesto**, así como ajustar el tipo de cambio, ver los cambios en el total en tiempo real y eventualmente descargar el presupuesto detallado u obtener un link para compartir el estado de la app. La barra de

¹<https://cobi.org.mx/>

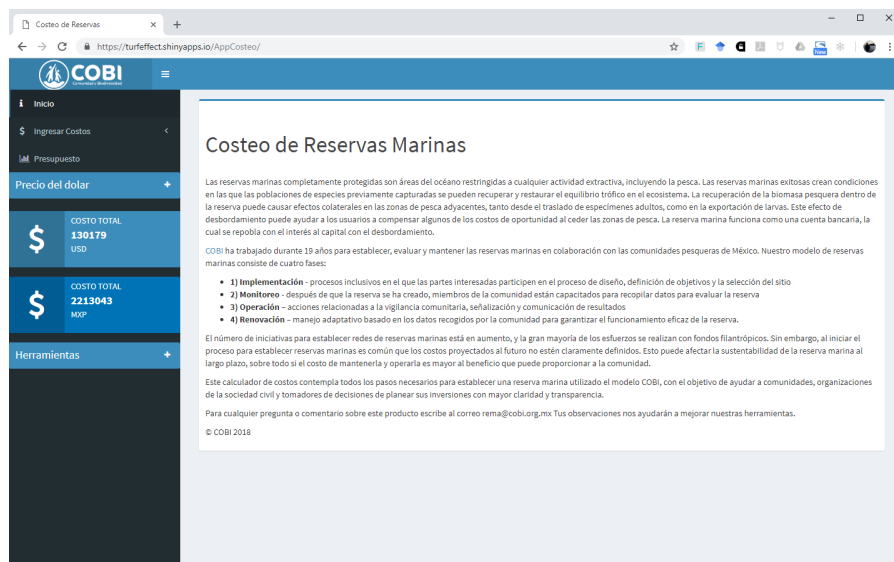


Figura 1.1: Shiny app de Costeo de Reservas, la app está disponible en <https://turfeffect.shinyapps.io/AppCosteo/>

herramientas se puede ocultar y mostrar. La segunda sección es el área de trabajo, que al inicio muestra una descripción similar a la del texto anterior.

Los costos unitarios y cantidades pueden ser editados en la sección de **Ingresar costos**. La app de costeo contiene los rubros más comunes de cada fase, además de presentar valores predeterminados y editables para cada uno. Por ejemplo, navegando a **Ingresar costos >> Implementación >> Definición de objetivos >> Gasolina** veremos un valor de 1 en la columna de costos y 80 en la columna de cantidades. En este caso, los costos están en dólares estadounidenses, pero la app es agnóstica a una moneda en especial.

Este proceso se repite para cada una de las fases y rubros necesarios. Una vez terminado, el usuario puede navegar a la sección de **Presupuesto**. Aquí aparecen gráficas interactivas que muestran en detalle los costos estimados por fase y concepto. Las gráficas pueden editarse para mostrar los costos en otras unidades, cambiar el tamaño del texto e incluso el esquema de colores.

Al confirmar que el presupuesto es correcto, el usuario puede ir a la sección de herramientas y seleccionar la opción de **Descargar presupuesto** que se muestra en el botón opaco. Esto descargará un archivo de excel con el presupuesto detallado.

1.1. Uso de la App

1.1.1. Ejercicio

Supongamos que queremos diseñar e implementar (pero no monitorear ni evaluar aún) una red de reservas marinas. ¿Cuál sería el costo total?

Responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el monto total en dólares?
- ¿Cuál es el monto total en tu moneda local?

Al terminar, descarga una de las figuras después de incrementar el tamaño de letra y cambiar el esquema de colores. Descarga también el presupuesto detallado.

1.1.2. Pasos sugeridos

- Navega a la App de Costeo en <https://turfeffect.shinyapps.io/AppCosteo/>.
- Inicia navegando a las secciones de **Monitoreo**, **Operación** y **Renovación** y modificando todos los valores de las columnas de cantidades para que estén en 0. Ahora, regresa a la primera sección (**Implementación**) y modifica los valores de acuerdo a tus necesidades y conocimientos de costos.
- Usa la caja de conversión de moneda y ajusta el valor de 1 dolar estadounidense al valor de tu moneda.
- Ahora navega a la sección de **Presupuesto** y modifica las gráficas para que el tamaño de letra sea de 12 y el esquema de colores sea “Pares”.
- Al poner el cursos sobre las imágenes, aparecerá una barra de herramientas. Utiliza el ícono de una cámara para exportar la imagen como *.PNG.
- En la sección de **Herramientas**, haz click en el boton de **Descargar presupuesto**.

1.1.3. Resultados

Mis resultados se muestran en la Figura 1.2. En mi caso, el proyecto de implementación tiene un costo de \$10,058 USD o \$201,160 MXP. Puedo ver que la mayor parte de los costos (¡\$5,000 USD!) provienen de la estrategia de comunicación.

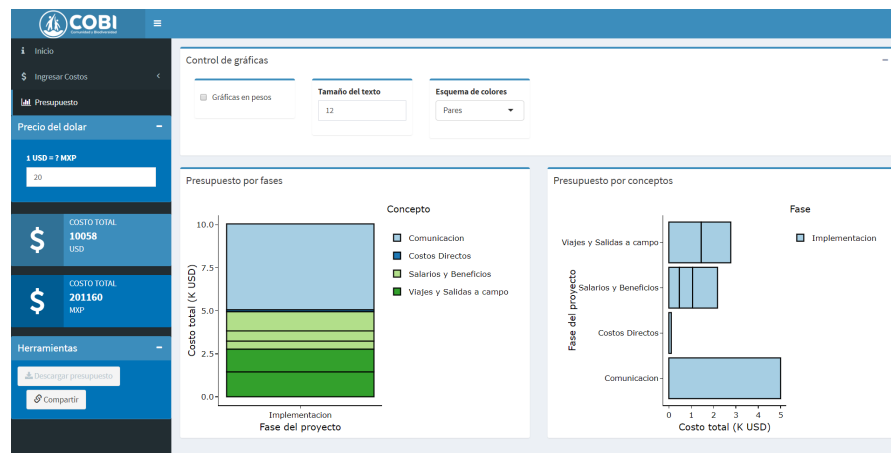


Figura 1.2: Shiny app de Costeo de Reservas mostrando los costos de diseño e implementación de una reserva.

Parte II

Parte II



2

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.

2.1. 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 2.1A 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.

2.2. 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 2.1B 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.

2.3. 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 2.1A-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 2.1C 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 2.1C 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 3) habla más sobre los métodos de regresiones utilizados en este caso, así como las otras dimensiones evaluadas por MAREA.

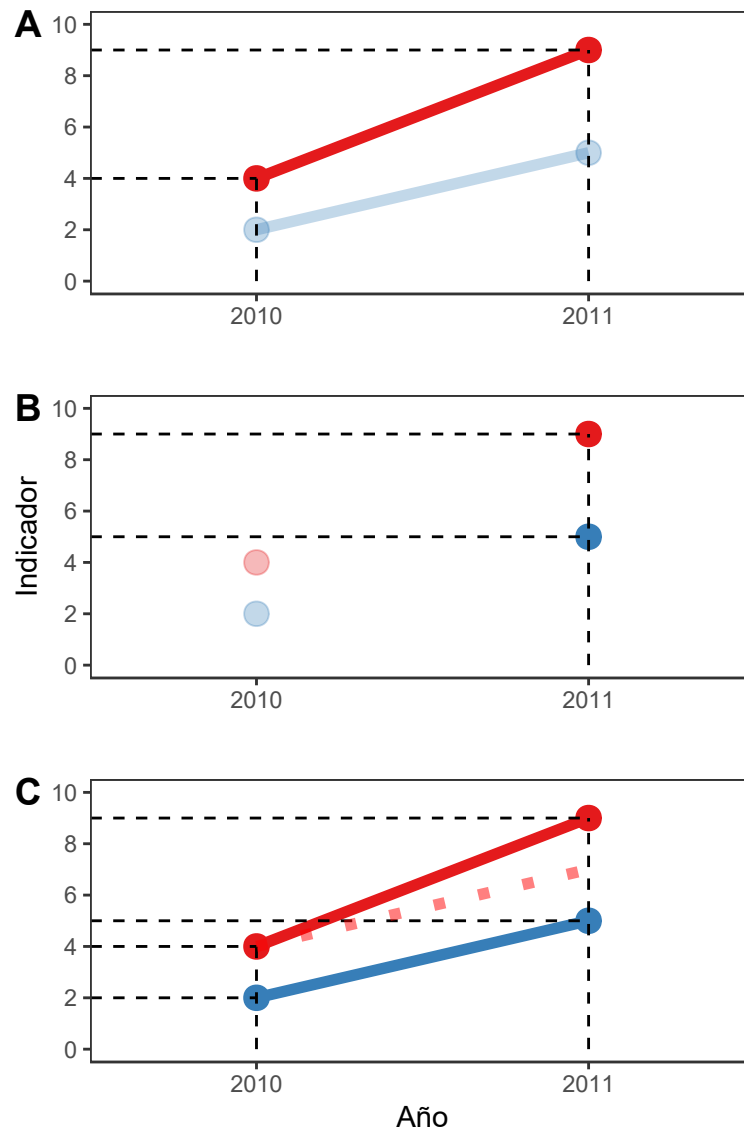


Figura 2.1: Ejemplos de evaluaciones antes-después (A), dentro-fuera (B) y antes-después-dentro-fuera (C) para una reserva hipotética implementada al final del 2010. Rojo representa reserva y azul control, los colores opacos indican datos no observados u omitidos en cada tipo de evaluación. La línea punteada en la figura C represente la evolución que se hubiera esperado del sitio protegido si la reserva no se hubiera implementado.



3

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, así como 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 2).

3.1. 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 la 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. En otras, las reservas

¹Idealmente, usaremos objetivos SMART²

Tabla 3.1: 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 defecto de la reserva (por ejemplo, **B** - Biomasa) o indicadores que pueden explicar la efectividad 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

3.2. Análisis

Una vez definidos los indicadores, debemos establecer formas de analizarlos. La metodología de colecta de datos no es parte central de este manual, y ha sido descrita a detalle en otros trabajos (Suman et al., 2010; Villaseñor-Derbez et al., 2017, 2018). En esta sección describimos el análisis de Diferencias entre Diferencias empleado para estimar el efecto de la reserva en los indicadores biológicos y los análisis para indicadores socioeconómicos y de gobernanza.

3.2.1. Inferencia de causalidad

Como se mencionó en la Sección 2.3, MAERA usa un análisis de Diferencias en Diferencias. Pero ¿cómo funciona este análisis cuando tenemos más de cuatro

observaciones? El análisis puede hacerse por medio de una regresión lineal múltiple.

Retomando el ejemplo del capítulo anterior (Captítulo 2), podemos imaginarnos un caso en el que tenemos dos observaciones para cada sitio en cada periodo. En tal caso, podríamos calcular el promedio de cada sitio en cada periodo. La Figura 3.1 muestra las observaciones como puntos y los promedios como líneas. En este caso, podríamos calcular la pendiente de cada línea (esto es, el cambio en el tiempo) y así obtener el contrafactual (línea punteada roja) y calcular el efecto de la reserva.

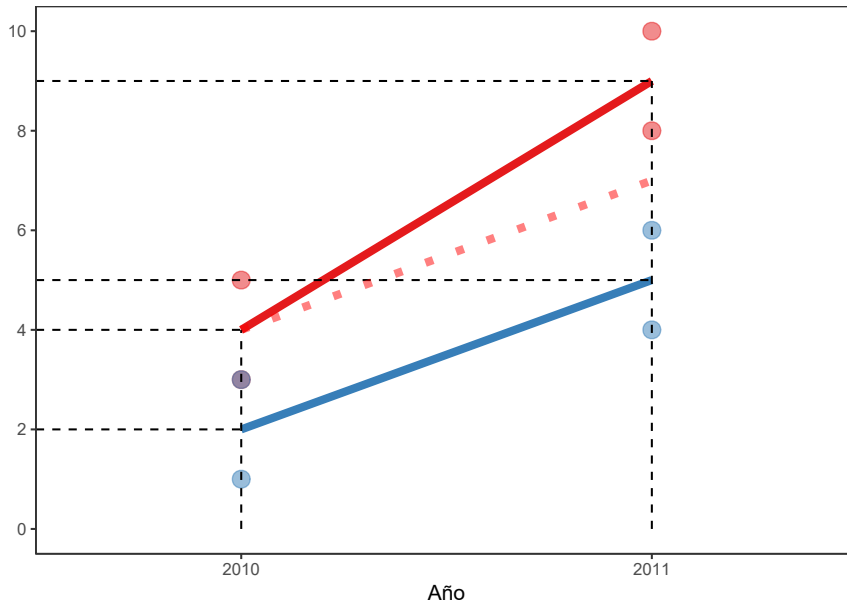


Figura 3.1: Diseño muestral antes-después-dentro-fuera con dos observaciones por sitio y periodo (puntos). Las líneas sólidas muestran las tendencias promedio de cada sitio con azul para el control y rojo para la reserva. La línea punteada roja muestra el contrafactual de la reserva. Las líneas punteadas negras horizontales y verticales presentan los promedios de cada sitio y periodo.

Como el cambio a través del tiempo es básicamente una pendiente, podemos usar una regresión lineal múltiple para obtener esos valores. En el caso de Diferencias en Diferencias, nos interesan 3 cambios o pendientes: i) La diferencia a través del tiempo y ii) La diferencia entre sitios y iii) La diferencia entre estas diferencias.

Para calcular la diferencia a través del tiempo, podemos definir una variable llamada *Post* que tomará un valor $Post = 0$ para todas las observaciones

antes de la implementación de la reserva y un valor de $Post = 1$ una vez que la reserva haya sido implementada. Al igual que cuando comparamos 2011 contra 2010, la diferencia entre años o entre $Post$ será de 1 ($2011 - 2010 = 1$; $1 - 0 = 1$).

Para obtener la diferencia entre sitios, definimos otra variable llamada *Zona* que tomará un valor de $Zona = 0$ para las observaciones realizadas en el control y un valor de $Zona = 1$ para las observaciones de la reserva. Finalmente, podemos “interactuar” (multiplicar) estas variables para generar un *término de interacción*, de tal manera que $Zona \times Post = 0$ para todas las observaciones del control y la observación de la reserva **antes** de la implementación, y $Zona \times Post = 1$ para las observaciones de la reserva **después** de la implementación.

Por lo tanto, podemos definir un modelo lineal múltiple que contenga una variable para el tiempo, una para la zona y otra para la interacción entre estas, de la siguiente manera:

$$I = \alpha + \beta_1 Post + \beta_2 Zona + \beta_3 Zona \times Post + \epsilon \quad (3.1)$$

En esta especificación, estimamos los coeficientes α , β_1 , β_2 y β_3 por medio de mínimos cuadrados ordinarios. Estos coeficientes presentarán la siguiente información:

- α : promedio del indicador en la zona control antes de la implementación
- β_1 : cambio a través del tiempo
- β_2 : cambio a través de sitios
- β_3 : restante del cambio entre reservas y sitios (este es el efecto de la reserva)

Esto es equivalente a un ANOVA de dos vías con un término de interacción. La ventaja de hacerlo así es que no solamente podemos decir si hay o no diferencias, si no que también inferir algo sobre la magnitud de estas diferencias. La interpretación de estos coeficientes puede ser un poco compleja, pero el siguiente ejemplo puede ayudarnos a aclarar dudas. Ajustando el modelo lineal a los datos de la Figura 3.1, obtenemos los coeficientes mostrados en la Tabla 3.2.

La Tabla 3.2 muestra los valores estimados para los coeficientes. Los números entre paréntesis presentan el error estándar al rededor de la estimación. Además, presenta la varianza explicada por el modelo, en este caso con un valor de $R^2 = 0.87^3$.

³El modelo completo de MAREA incluye covariables que pueden ayudar a explicar mayor parte de la variación en los datos. Estos incluyen la profundidad, visibilidad y temperatura asociadas a cada observación. En este caso, 13 % de la variación faltante es debido a la manipulación manual de los datos, pero podríamos esperar que las covariables antes mencionadas expliquen algo de la variación en los datos.

Tabla 3.2: Coeficientes estimados mediante la regresión lineal múltiple.

	Variable dependiente
	indicador
alpha	2.000 (1.000)
B1	3.000 (1.414)
B2	2.000 (1.414)
B3	2.000 (2.000)
Observations	8
R ²	0.867
Residual Std. Error	1.414 (df = 4)
F Statistic	8.667** (df = 3; 4)
<i>Note:</i>	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Para interpretar los coeficientes, debemos sustituirlos en la ecuación anterior. Por lo tanto, obtenemos lo siguiente:

$$I = 2 + (3 \times Post) + (2 \times Zona) + (2 \times Zona \times Post)$$

Podemos usar esta ecuación para calcular el valor promedio del indicador I en cada sitio y cada periodo según los valores de las variables $Post$, $Zona$ y $Zona \times Post$.

3.2.1.1. Valor antes en el control

Primero, debemos definir los valores de las variables según el sitio y periodo en el que estamos. Para los valores antes de la implementación sabemos que $Post = 0$. Para los valores del sitio control sabemos que $Zona = 0$. Sustituimos estos valores en la fórmula anterior y obtenemos

$$\begin{aligned} I &= 2 + (3 \times 0) + (2 \times 0) + (2 \times 0 \times 0) \\ I &= 2 + 0 + 0 + 0 \\ I &= 2 \end{aligned}$$

Este ejercicio sugiere que el valor promedio del indicador en el control antes de la intervención es de 2. La inspección visual de la Figura 3.1 confirma esto.

3.2.1.2. Valor después en el control

En este caso, $Post = 1$ pero seguimos con $Zona = 0$:

$$\begin{aligned}
I &= 2 + (3 \times 1) + (2 \times 0) + (2 \times 0 \times 0) \\
I &= 2 + 3 + 0 + 0 \\
I &= 5
\end{aligned}$$

Ahora identificamos que el promedio del indicador en el control después de la intervención es de 5, como lo vemos en la Figura 3.1.

3.2.1.3. Valor antes en la reserva

Ahora, regresamos a tener $Post = 0$ pero con $Zona = 1$, pues estamos en la reserva:

$$\begin{aligned}
I &= 2 + (3 \times 0) + (2 \times 1) + (2 \times 0 \times 0) \\
I &= 2 + 0 + 2 + 0 \\
I &= 4
\end{aligned}$$

En este caso el promedio del indicador en la reserva antes de la intervención es de 4 (Figura 3.1).

3.2.1.4. Valor después en la reserva

Para calcular el valor en el sitio de reserva después de la intervención, tendremos $Post = 1$ y $Zona = 1$. Hagamos el ejercicio sin incluir el término de interacción por ahora:

$$\begin{aligned}
I &= 2 + (3 \times 1) + (2 \times 1) \\
I &= 2 + 3 + 2 \\
I &= 7
\end{aligned}$$

¿Por qué obtenemos un valor de 7 si la reserva presenta un valor de 9 después de su implementación? En este caso, no hemos aún incluido el valor del término de interacción, por lo que obtenemos el valor que la reserva habría presentado si la reserva no se hubiera implementado. Este es el contrafactual, mostrado como la línea punteada roja en la Figura 3.1. Al incluir el término de interacción, obtenemos:

$$\begin{aligned}
I &= 2 + (3 \times 1) + (2 \times 1) + (2 \times 1 \times 1) \\
I &= 2 + 3 + 2 + 2 \\
I &= 9
\end{aligned}$$

El término de interacción captura la diferencia entre lo que debería de haberse

observado para la reserva y lo que realmente se observó. Es decir, la diferencia entre las líneas rojas. Este término es el **efecto de la reserva**. En este sentido, podemos entonces concluir que una reserva marina causó un incremento de 2 unidades en el indicador.

Aunque la regresión lineal y el álgebra pueden parecer complicados, en la realidad todo puede implementarse con una línea de código (como `lm(indicador ~ post * zona, data = datos)`). Mejor aún, MAREA se encarga de generar las variables *Post* y *Zona*, ajustar el modelo, obtener los coeficientes y reportar los resultados. En el siguiente capítulo (Capítulo 4), describimos el uso de MAREA y demostramos que con 6 sencillos pasos podemos evaluar todos los indicadores y obtener reportes para compartir.

3.2.2. Socioeconómicos y de gobernanza

Ahora pasamos a describir el análisis de los indicadores socioeconómicos y de gobernanza. Los primeros dos indicadores socioeconómicos son numéricos, puesto que representan los arribos (masa) e ingresos (dinero) que generan las pesquerías de la comunidad. En este caso, no tenemos una comunidad control, pero podemos aún inferir algo de los cambios mediante una evaluación antes-después. Para esto, MAREA implementa una forma reducida del modelo anterior:

$$I = \alpha + \beta_1 Post + \epsilon$$

Lo anterior es equivalente a realizar una prueba t de student de dos colas con muestras pareadas. Un valor de $\beta_1 = 0$ indicaría que no hay cambio en el indicador. Como se mencionó en el Capítulo 2, una evaluación antes-después no toma en cuenta otros factores exógenos y por lo tanto no podemos inferir causalidad. Sin embargo, la información obtenida sigue siendo útil al evaluar las reservas y el contexto social en el que se desarrollan.

La mayoría de los indicadores de gobernanza son cuantitativos. Por lo tanto, no existe una evaluación numérica de estos. En su lugar, Villaseñor-Derbez et al. (2018) realizaron una revisión literaria para identificar valores asociados a impactos positivos y negativos en la reserva. Por ejemplo, el indicador **G5** - Pesca Ilegal nos indica la presencia y / o el grado de pesca ilegal en la reserva, lo que sabemos es detrimental.

4

Uso de MAREA

El Capítulo 2 describió las diferentes formas de evaluar reservas. El Capítulo 3 describió la lista de objetivos e indicadores y la metodología de MAREA. Este capítulo presenta los pasos necesarios para evaluar una reserva con MAREA. Comenzamos con una breve descripción de los datos, seguido de los seis pasos necesarios para realizar la evaluación, la guía de interpretación de resultados y una breve mención de las capacidades y limitaciones de MAREA.

Los participantes del curso recibirán datos simulados para hacer los ejercicios del Capítulo 5. Sin embargo, el usuario de MAREA puede descargar ejemplos de datos en la pestaña de datos dentro de la aplicación.

4.1. Tipos y formatos de datos

Para poder usar MAREA sin problemas, es necesario que los datos tengan el formato correcto y estén en formato comaseparado (*.csv). Esta sección no pretende discutir en su totalidad el formato de datos. En su lugar, mencionamos brevemente algunos detalles importantes sobre el formato. La descripción detallada de los datos puede encontrarse en el manual operativo de MAREA (Villaseñor-Derbez et al., 2017).

4.1.1. Datos biológicos

MAREA utiliza tres tipos de datos: biológicos, socioeconómicos y de gobernanza. Los datos biológicos provienen de los censos visuales hechos en las zonas reserva y control. MAREA puede recibir dos bases biológicas distintas, una de peces y otra de invertebrados. Las bases de datos biológicos deberán contener, por lo menos, las columnas presentadas en la Tabla 4.1.

Otras columnas importantes, pero no estrictamente necesaria podrían ser:

1. BuzoMonitor: El nombre del buzo que colectó la información

Tabla 4.1: Requerimientos mínimos para los nombres de columna de la base de datos biológicos.

Orden de columna	Nombre de Columna	Descripción
1	id	Un código único de identificación del transecto, compuesto por
2	Dia	El día de muestreo, un número entre 1 y 31
3	Mes	El mes de muestreo, dos dígitos entre 1 y 12
4	Ano	El año de muestreo, expresado en 4 dígitos
5	Comunidad	La comunidad asociada al sitio
6	Sitio	El nombre del sitio de muestreo
7	Zona	Indica si es un sitio control o reserva
8	RC	Los pares reserva-control
9	Latitud	Latitud, expresada en grados decimales de por lo menos cuatro
10	Longitud	Longitud, expresada en grados decimales de por lo menos cuatro
11	Transecto	Utilizar números enteros consecutivos para cada año y sitio.
12	Profundidad	Profundidad del transecto, en metros
13	Visibilidad	Visibilidad del transecto, en metros
14	Temperatura	Temperatura del fondo, en °C
15	GeneroEspecie	El nombre científico de la especie
16	Longitud*	Longitud total, en centímetros
17	Abundancia	Número de organismos observados
18	a*	El índice ponderal en la ecuación de crecimiento alométrico
19	b*	El factor alométrico en la ecuación de crecimiento alométrico
20	NivelTrofico*	El nivel trófico de la especie
21	LT50*	La longitud de primera madurez de la especie

2. Tiempo de inicio del transecto, en minutos de buceo
3. Tiempo final del transecto, en minutos de buceo
4. Habitat: Tipo de hábitat en el sitio
5. Genero: El género de la especie
6. Especie: La especie de la especie
7. NombreComun: Nombre común de la especie en español
8. Observaciones: Notas de interés u observaciones relevantes.

De las columnas presentadas en la Tabla 4.1, la más importante es RC. Esta columna es la que le indica a MAREA la relación entre sitios reserva y control. En una base con más de 2 sitios, MAREA utiliza esta columna para saber qué sitios seleccionar al hacer el análisis.

Tabla 4.2: Requerimientos mínimos para los nombres de columna de la base de datos socioeconómicos.

Orden de columna	Nombre de Columna	Descripción	Ejemplo
1	Ano	El año, expresado como un entero de 4 dígitos	2017
2	GeneroEspecie	El nombre científico del recurso	Panulirus inter
3	NombreComun	El nombre común del recurso	Langosta roja
4	ArribosTotales	Arribos anuales, en Kg	40000
5	IngresosTotales	Los ingresos generados, en pesos mexicanos	10000000
6	CPI	Índice de Precio al Consumidor	4.018617
7	PrecioPromedio	Valor promedio en pesos / Kg	250

4.1.2. Datos socioeconómicos

Los datos socioeconómicos deberán contener información de los arribos e ingresos anuales de cada especie. Además, deberán de contar con el índice del precio al consumidor usado para normalizar los datos de ingresos. Este índice puede ser obtenido por medio de la OCDE¹.

4.1.3. Gobernanza

Los datos de gobernanza se obtienen por medio de entrevistas y por lo tanto son más complejos. Para facilitar el uso de la entrevista sugerida, MAREA provee también una base de datos de Access que permite capturas la información de las entrevistas y obtener la base con el formato deseado. La base de Access se puede descargar en el menú lateral de MAREA.

4.1.4. Notas importantes

4.1.4.1. Nombres de columnas

Los nombres de columnas deben de evitar utilizar caracteres especiales (por ejemplo, ° / * % #) y otros que puedan hacer tu base imposible de leer en otras plataformas, como los acentos y las diéresis. Los nombres de columnas también deberán evitar espacios o paréntesis. Si una variable está compuesta por dos palabras, deberás considerar renombrarla a algo más simple. Por ejemplo “número de transecto” puede ser simplemente “transecto”. Alternativamente, si reducir el nombre de la variable no es una opción, puedes escribirlo en formato “camllo” (i.e. usar una mayúscula para cada primer letra de cada

¹<https://data.oecd.org/price/inflation-cpi.htm>

palabra). Por ejemplo, la variable “Genero especie” se convierte en “GeneroEspecie”. Además, omite utilizar unidades en los nombres de las columnas. Como se explicó antes, los nombres de columnas deben de incluir la menor información posible, y las unidades están disponibles en los metadatos.

4.1.4.2. Comunidades y sitios

Algo importante para mantener presente es la necesidad de usar nombres idénticos para comunidades y sitios de muestreo en toda la base de datos. Por ejemplo, nombrar a la comunidad “Santa Maria” en la base de datos biofísica, pero “Sta. Maria” en la base de datos socioeconómica no es un procedimiento correcto. Como humanos, somos capaces de identificar esas diferencias. Sin embargo, una computadora las identificará como palabras estrictamente diferentes y causará que MAREA falle.

4.2. Evaluación de reservas en 6 etapas

MAREA está diseñada para evaluar las reservas en seis pasos, divididos por pestañas mostradas en la App. La Figura 4.1 presenta la pantalla de bienvenida de la aplicación.

- La primer pestaña presenta una introducción a MAREA y un resumen del proceso de evaluación (Figura 4.2).
- El usuario navega a la segunda pestaña, donde especifica los objetivos de las reservas a evaluar y MAREA selecciona los objetivos según la Tabla 3.1. Recuerda que puedes modificar los indicadores seleccionados según tu interés.
- La tercer pestaña permite al usuario cargar los datos y descargar bases de ejemplo.
- La cuarta pestaña utiliza la columna RC mencionada en la Tabla 4.1 para presentar las reservas y controles que pueden ser evaluados, así como el año de implementación de la reserva, información sobre el tamaño y la lista de especies objetivo a elegir.
- La quinta pestaña presenta una confirmación de lo que el usuario seleccionó.
- La sexta presenta los resultados de forma resumida con una tarjeta de puntuación y un botón para descargar el reporte en *.pdf.

Villaseñor-Derbez et al. (2017) presenta una descripción detallada de cada una de las pestañas.

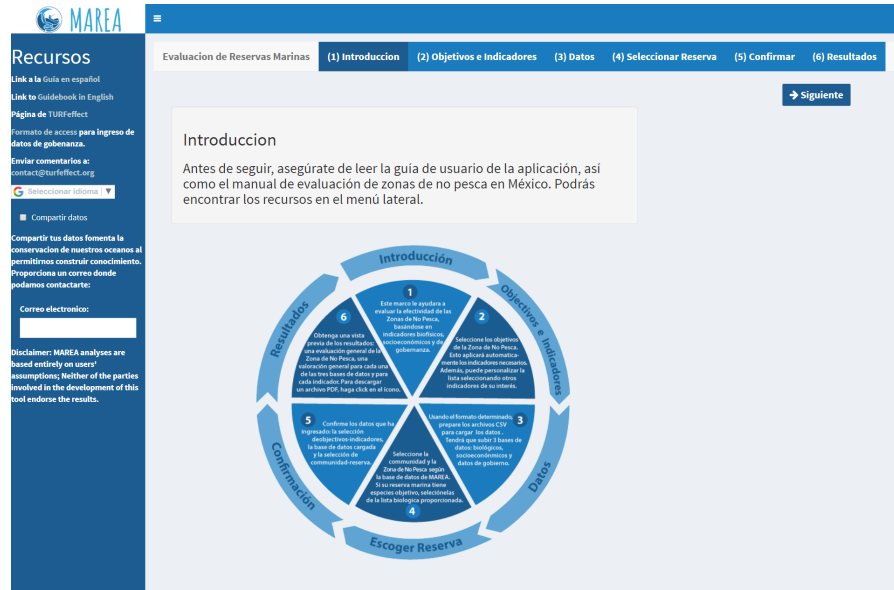


Figura 4.1: Aplicación para la evaluación de reservas marinas, la app está disponible en <https://turfeffect.shinyapps.io/marea/>

4.3. Interpretación de resultados

El primer resultado es la tarjeta de puntuación (Figura 4.4), que presenta un recuadro coloreado para cada indicador evaluado. El código de colores está indicado por la leyenda mostrada en la Figura 4.3.

Para los indicadores biológicos, el color está dado por el signo y significancia del efecto de la reserva (el β_3 de la ecuación (3.1)). Para los socioeconómicos, el color está dado por el signo y significancia de la pendiente de la regresión. Para los indicadores de gobernanza, el rojo señala que el valor del indicador tiene efectos negativos y el verde efectos positivos. Color amarillo para los indicadores de gobernanza indica que la influencia del valor no está clara o que el indicador no fue definido. El usuario puede descargar un reporte en extenso al oprimir el botón **Descargar Reporte** en la esquina superior derecha.

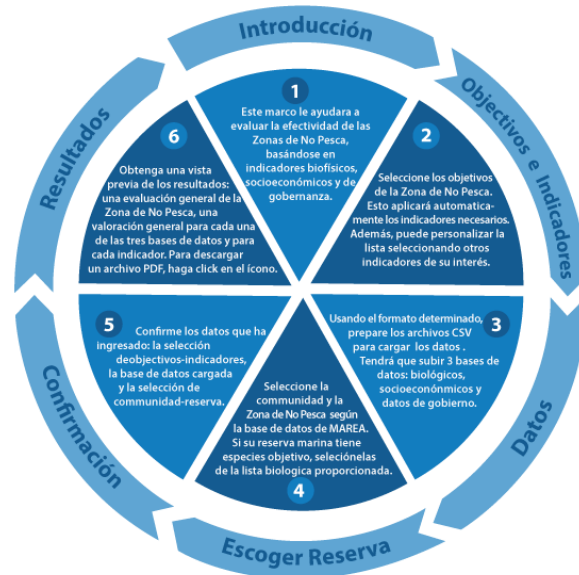


Figura 4.2: Diagrama de flujo de MAREA, explicando lo que sucede en cada una de las 6 pestañas.



Figura 4.3: Leyenda usada para la interpretación de la tarjeta de puntuación. Los colores indican la dirección del cambio y la intensidad la significancia estadística.



Figura 4.4: Scorecard produced by MAREA for the “La Plana / Las Cuevas” marine reserve in Isla Natividad, Mexico.



Parte III

Parte III



5

Ejercicios con MAREA

Paso a paso en vivo

5.1. Indicadores biológicos

Datos necesarios:

- `datos_peces.csv`¹

5.2. Especie objetivo

Datos necesarios:

- `datos_peces.csv`²

5.3. Datos de biometría

Datos necesarios:

- `datos_peces_abnt.csv`³

¹https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_peces.csv

²https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_peces.csv

³https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_peces_abnt.csv

5.4. Más de una reserva a la vez

Datos necesarios:

- `datos_peces_rc.csv`⁴
-

5.5. Todos los indicadores

Datos necesarios:

- `datos_peces2.csv`⁵
- `datos_socioeco2.csv`⁶
- `datos_gobernanza2.csv`⁷

⁴https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_peces_rc.csv

⁵https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_peces2.csv

⁶https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_socioeco2.csv

⁷https://github.com/jcvdav/curso_marea_datos/blob/master/datos_gobernanza2.csv

6

Errores y soluciones

Forzar algunos errores en vivo

6.1. Especie / Indicador no tiene diseño BACI

6.2. 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") +

```

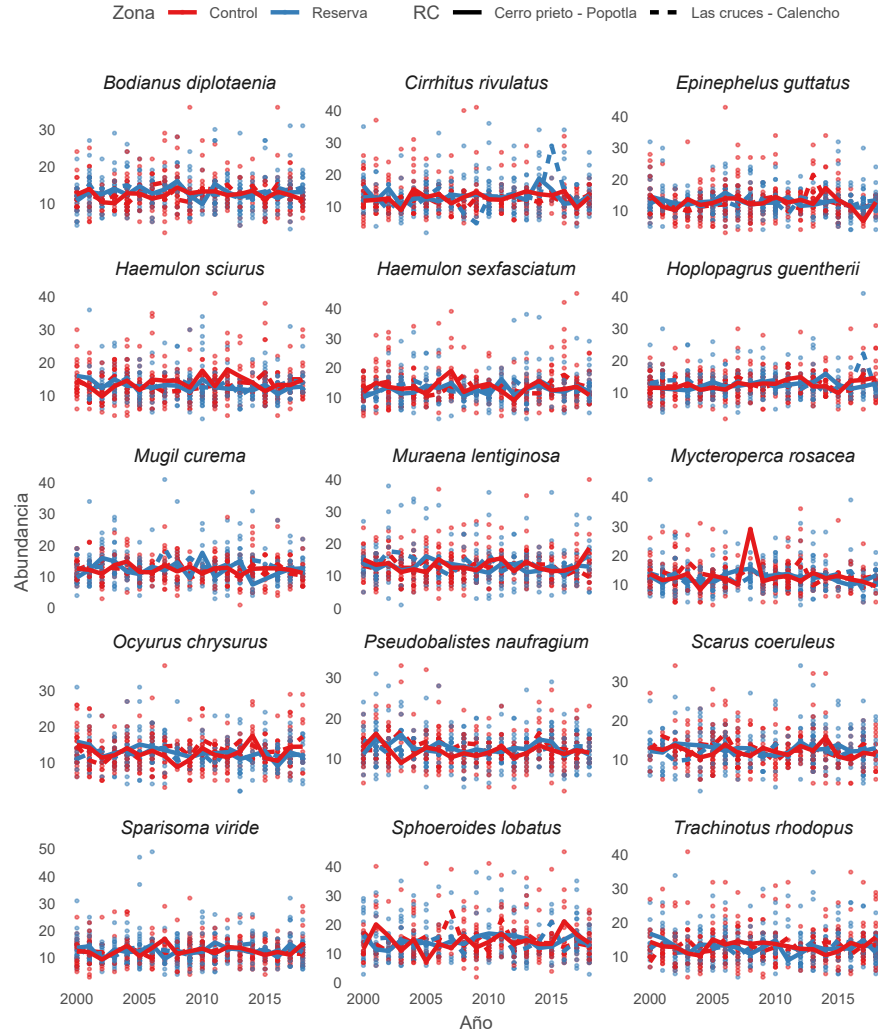


Figura A.1: Series de tiempo de los datos antes de agregar tendencias.

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

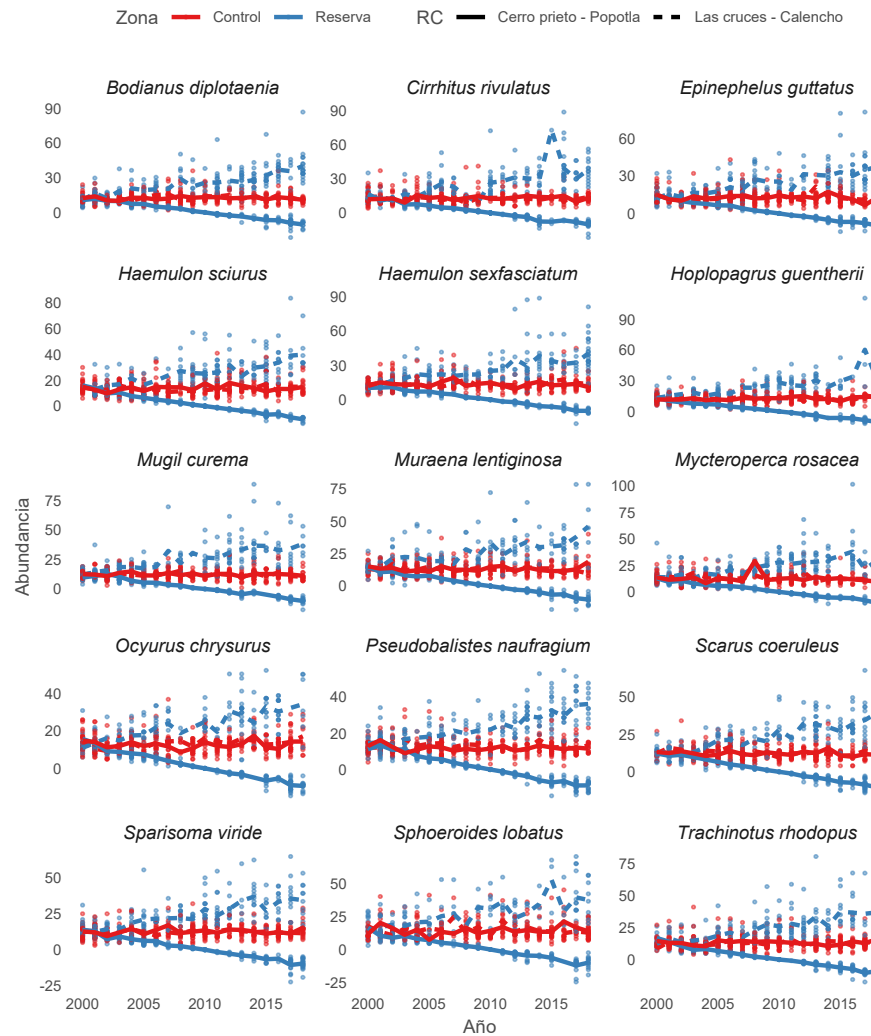


Figura A.2: Series de tiempo de las abundancias con tendencias (10 % anual) después del primer año. Note como una reserva funciona y otra no.

```
# 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")
```

```
# Exportar datos
write.csv(x = datos,
         file = here::here("materiales", "datos", "datos_peces.csv"),
         row.names = F)
```

```
# Generar datos para comparación de todas las reservas y todos los controles.
datos_rc <- datos %>%
  mutate(RC = "Reserva - Control")
```

```
#Exportar datos RC
write.csv(x = datos_rc,
         file = here::here("materiales", "datos", "datos_peces_rc.csv"),
         row.names = F)
```

```
#Exportar datos RC
write.csv(x = datos_abnt,
         file = here::here("materiales", "datos", "datos_peces_abnt.csv"),
         row.names = F)
```

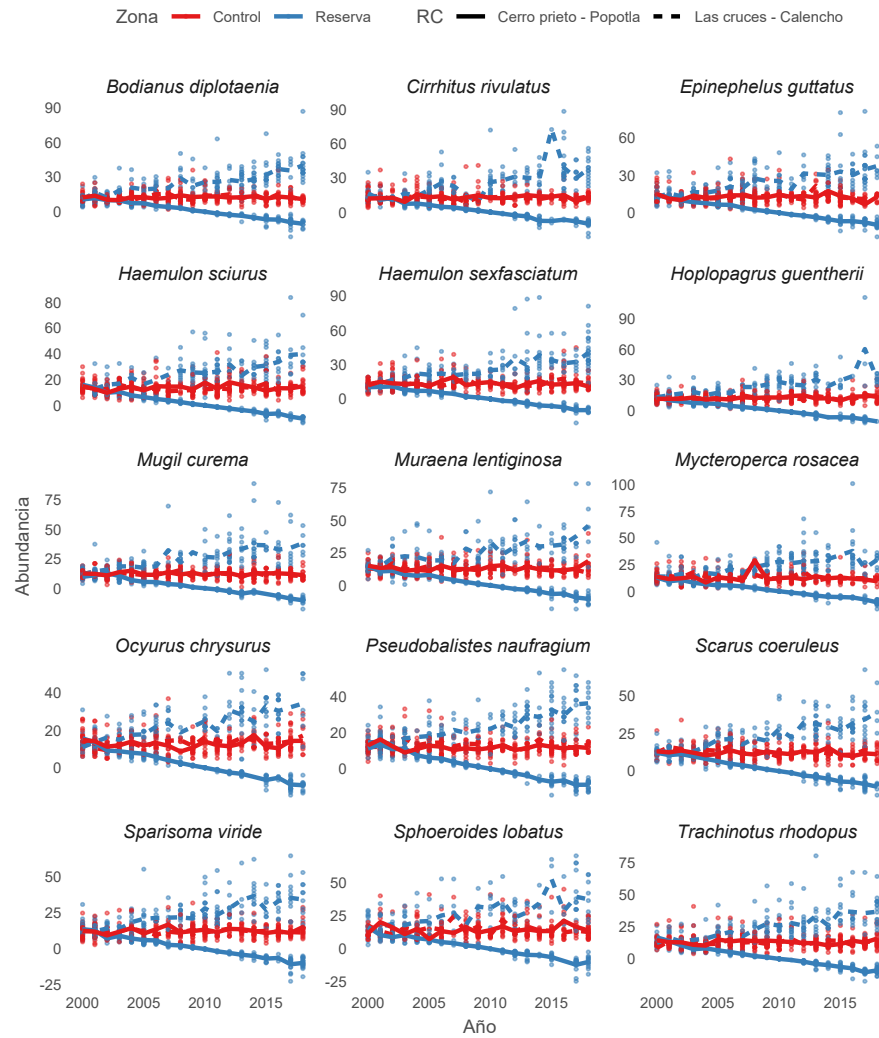



Figura A.3: Series de tiempo de las tallas con tendencias (+2 cm anual) después del primer año. Note como una reserva funciona y otra no.



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.
- Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Xie, Y., and McPherson, J. (2018). *shiny: Web Application Framework for R*. R package version 1.2.0.
- 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*.
- R Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 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*.
- Suman, C. S., Saenz-Arroyo, A., Dawson, C., and Luna, M. C. (2010). *Manual de Instrucción de Reef Check California: Guía de instrucción para el*

- monitoreo del bosque de sargazo en la Península de Baja California*. Reef Check Foundation, Pacific Palisades, CA, USA.
- 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.
- Xie, Y. (2018). *bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown*. R package version 0.7.

