



El Colegio de la Frontera Sur Université de Sherbrooke

El papel de la ciencia ciudadana en el monitoreo y manejo sustentable de los
recursos naturales

Tesina

Presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestro en Ecología
Internacional

Por

Raúl Moreno Jordán

Director

Dr. David González Solís

2020



PORTADILLA TESINA DE MAESTRÍA

El Colegio de la Frontera Sur

Abril de 2020

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de Raúl Moreno Jordán, hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesina titulada “El papel de la ciencia ciudadana en el monitoreo y manejo sustentable de los recursos naturales” para obtener el grado de Maestro en Ecología Internacional.

Nombre

Firma

Director: Dr. David González Solís

Evaluador: Dr. José Rogelio Cedeño Vázquez

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudiar la Maestría en Ecología Internacional, así como por los apoyos complementarios que me permitieron realizar las estancias correspondientes al programa. A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por permitirme ser parte de esta gran institución.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi director el Dr. David González Solís por sus sugerencias de rigor y por su paciencia durante la maestría. De igual manera, a la M.C. Caroline Cloutier quien fue de gran ayuda durante mi estancia en la Universidad de Sherbrooke y en la ONG Nature Canton de l'Est. También a la Dra. Sofie Calmé y a los coordinadores de la Maestría en Ecología Internacional en ECOSUR, así como al personal del SIBE por su apoyo durante la maestría.

También quiero agradecer a mis compañeros y amigos de la maestría, quienes me ayudaron en más de una forma.

A mi familia que siempre me ha apoyado en todas las decisiones que he tomado.

Resumen

El monitoreo de los recursos naturales es esencial para lograr un manejo sustentable, pero éste no se ha desarrollado de forma apropiada debido a diversas restricciones logísticas, metodológicas y de percepción. En años recientes, la ciencia ciudadana (CC) ha logrado posicionarse como un mecanismo complementario que contribuye a solucionar ciertas limitantes que presenta el monitoreo de forma rentable, tales como la generación de información a escalas espaciales y temporales considerables. Además, la CC tiene el potencial de ofrecer beneficios adicionales para los participantes. Por esto, diversos países incluyendo México, han incorporado este proceso novedoso para monitorear los recursos naturales. Sin embargo, este proceso debe abordarse desde una perspectiva crítica, tomando en cuenta sus alcances y limitaciones para poder aprovechar los beneficios que la CC ofrece.

Sommaire

La surveillance des ressources naturelles est essentielle pour assurer une gestion durable, mais elle n'a pas été développée correctement en raison de diverses contraintes logistiques, méthodologiques et de perception. Ces dernières années, la science citoyenne (SC) a réussi à se positionner comme un mécanisme complémentaire qui contribue à résoudre certaines limites que présente la surveillance de manière rentable, comme la production d'informations à des échelles spatiales et temporelles considérables. La SC a en outre le potentiel d'offrir des avantages supplémentaires aux participants. C'est pourquoi plusieurs pays, dont par exemple le Mexique, ont intégré ce nouveau processus de contrôle des ressources naturelles. Toutefois, ce processus doit être abordé d'un point de vue critique, en tenant compte de sa portée et de ses limites afin de profiter des avantages qu'offre la SC.

Palabras clave

Ciencia ciudadana; monitoreo de la biodiversidad; aplicaciones web para el monitoreo; manejo sustentable de recursos naturales

Índice

Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Sommaire.....	iii
Palabras clave.....	iii
Lista de figuras.....	v
Glosario.....	vi
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Capítulo 1. El monitoreo en el manejo de los recursos naturales.....	3
Importancia del monitoreo.....	3
Restricciones logísticas y metodológicas.....	5
Restricciones derivadas de la cultura de manejo y académica.....	6
Enfoques adaptativos.....	7
Relación del monitoreo con la investigación a largo plazo.....	8
El monitoreo en México.....	9
Capítulo 2. La ciencia ciudadana.....	11
Historia.....	13
Aportaciones de la ciencia ciudadana.....	15
Retos de la ciencia ciudadana.....	16
Calidad de la información.....	16
Colaboración abierta distribuida y macrodatos.....	16
Ética de la ciencia ciudadana.....	17
Perspectivas de la ciencia ciudadana a futuro.....	17
Capítulo 3. El monitoreo por medio de la ciencia ciudadana: una herramienta eficiente en el contexto del manejo sustentable de recursos naturales y la conservación.....	18
La web 2.0 en el monitoreo.....	18
Aportaciones del monitoreo por medio de la ciencia ciudadana.....	21
Retos del monitoreo mediante la ciencia ciudadana.....	22
Uso inapropiado de la información.....	22
Redundancia de iniciativas.....	22
Retos asociados a la calidad de la información.....	23

Brecha digital.....	24
Participación de voluntarios	24
Capítulo 4. Monitoreo en México, por medio de aplicaciones web de ciencia ciudadana, en el contexto del manejo sustentable de recursos naturales.....	25
Iniciativas coordinadas por la Conabio	25
Iniciativas desde la academia y la sociedad civil	28
Conclusiones.....	30
Referencias	32

Lista de figuras

Figura 1. Desarrollo de la teoría ecológica en relación con el MSRN...	9
Figura 2. Tipología de Haklay (2013) para la CC.....	13
Figura 3. La CC en relación con la generación de hipótesis científicas	20
Figura 4. Componentes del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad.....	26

Glosario

Abundancia	Es la representación relativa de una especie en un ecosistema particular.
Biodiversidad	Es la variedad de la vida, abarcando los distintos niveles de organización biológica, es decir, los animales, plantas, hongos y microorganismos que habitan un espacio determinado, su variabilidad genética; los ecosistemas a los que pertenecen los organismos y las regiones donde se ubican los ecosistemas. Este concepto incluye los procesos ecológicos y evolutivos en todos los niveles de organización de la vida.
Conservación	Movimiento que incluye la protección de las especies de la extinción, mantener y restaurar los hábitats, mejorar los servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad.
Distribución de especies	Forma en la que los taxones biológicos están geográficamente distribuidos.
Error de observador	Es un error de observación o de medición debido a la falla del observador en identificar, medir con precisión o interpretar algún aspecto del fenómeno que se está observando.
Especie indicadora	Especie que sirve para evaluar las condiciones ambientales de un espacio determinado.
Especie invasora	Especie que no es nativa de una localidad específica (introducida), la cual tiene una tendencia a dispersarse a un grado en el que puede causar un daño al ambiente, a la salud humana o a la economía.

Fenología	Ciencia que estudia la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos.
Integridad ecológica	Es la capacidad de los sistemas ecológicos de mantener la estructura y función, usando los procesos y elementos característicos para su ecorregión.
Macroecología	Es el estudio de los procesos y patrones ecológicos a grandes escalas.
Políticas públicas	Acciones de gobierno que buscan dar respuestas a las diversas demandas de la sociedad.
Resiliencia (Ecológica)	Cantidad de perturbación que un ecosistema puede soportar sin cambiar sus procesos de autoorganización y estructura.

Introducción

En las últimas tres décadas se ha incrementado el interés por desarrollar mecanismos que permitan evaluar de forma eficaz la integridad ecológica y la conservación de los ecosistemas, así como la efectividad del financiamiento para lograr el manejo sustentable de recursos naturales (MSRN) (Parrish et al. 2003a). Uno de estos mecanismos ha sido el monitoreo de la biodiversidad y de las variables ambientales, el cual es un componente fundamental para el MSRN y la conservación, ya que permite diseñar políticas, acciones y programas con base en información específica y relevante para diversas situaciones, así como evaluar y justificar su efectividad a corto, mediano y largo plazos. Sin embargo, el monitoreo también presenta restricciones metodológicas, logísticas y teóricas, tales como el costo, escala temporal (largo plazo), espacial (gran escala) y el uso de herramientas estadísticas complejas para la interpretación de la información (Lindenmayer y Likens 2009). De igual manera, el monitoreo es subestimado por los gestores de recursos naturales y científicos, debido a que se considera superfluo, costoso y desligado de la ciencia (Lovett et al. 2007). Una solución que ha sido propuesta para aumentar los proyectos de monitoreo, así como sus restricciones asociadas, ha sido emplear procesos innovadores, como la ciencia ciudadana (CC) por medio de aplicaciones web (Pocock et al. 2018).

El crecimiento de la CC en las últimas décadas, debido a la democratización del internet, el desarrollo de las plataformas web 2.0 y un mayor acceso a teléfonos inteligentes, ha permitido una participación extraordinaria de voluntarios. Esto ha creado una ruta de generación de información original que es rentable, con una variada resolución geográfica, llegando a escalas continentales, y producida en un corto periodo de tiempo con relativa facilidad (Dickinson et al. 2010). Además, la CC está siendo aprovechada para generar avances tecnológicos, científicos y para la resolución de problemas complejos, por lo que se ha comenzado a emplear cada vez más (Aceves-Bueno et al. 2015; Irwin 2018).

Emplear la CC en el monitoreo permite rastrear procesos complejos, como el cambio de distribución de especies, la dispersión de enfermedades, patrones de migración y patrones poblacionales a gran escala, por lo que muchos países, incluyendo México, están empleando este proceso de forma rutinaria (Dickinson et al. 2010; Aceves-Bueno et al. 2015). Además, se han documentado beneficios adicionales para los voluntarios que participan (ej. incremento del capital social) y para los sitios que son monitoreados (ej. reducción del cambio de uso del suelo) (Kosmala et al. 2016). El uso de la CC genera nuevos retos, ya que se requiere infraestructura especializada, especialistas para evaluar, administrar e interpretar la información generada, medios para almacenar y recabar grandes cantidades de información, difundir las iniciativas y estrategias para asegurar participantes suficientes y asegurar su permanencia a largo plazo (McKinley et al. 2017). La CC valida su información por medio de una serie de filtros metodológicos, en los que participan especialistas de diversas áreas para verificar y examinar la información recabada, interpretar grandes cantidades de información, así como para reclutar y capacitar a los participantes (Adler et al. 2020). No obstante, al igual que otros métodos de monitoreo y evaluación, no está libre de sesgo; sin embargo, existe el interés por parte de académicos para contribuir al aprovechamiento de este mecanismo de monitoreo al implementar optimizaciones en los diseños de muestreo específicos para cada iniciativa (Callaghan et al. 2019). Probablemente, emplear a la CC para el monitoreo no reduce la inversión, pero tiene el potencial de aumentar su capacidad e impacto, así como una mayor continuidad a largo plazo, lo cual incrementa su rentabilidad (Aceves-Bueno et al. 2015).

Para maximizar su potencial, es necesario cambiar la percepción negativa respecto a la CC y el monitoreo por parte de la comunidad científica y algunas autoridades, así como comprender mejor sus limitaciones y su funcionamiento para obtener sus beneficios. En este trabajo se describe el papel actual de la CC en el monitoreo para contribuir en el MSRN en México, resaltando los beneficios potenciales añadidos que genera este proceso.

Objetivos

General

Determinar la eficiencia de la ciencia ciudadana, como proceso complementario para el monitoreo en el manejo sustentable de los recursos naturales en México, mediante plataformas web 2.0.

Secundarios

- Argumentar la importancia y situación del monitoreo ecológico en México.
- Describir el proceso de la CC y su uso para el monitoreo en México.
- Describir los beneficios de la CC para la ciencia, el monitoreo y la sociedad.

Capítulo 1. El monitoreo en el manejo de los recursos naturales

Importancia del monitoreo

El monitoreo, en general, se define como una serie de tiempo basada en mediciones efectuadas de forma sistemática para estimar el cambio de un sistema en el tiempo (Spellerberg 2005). Sin embargo, la medición de una sola variable, a lo largo del tiempo, no es suficiente, ya que debe ser guiado por preguntas de investigación, un diseño experimental, un marco conceptual y la integración de información mediante la aplicación de protocolos apropiados (Lindenmayer y Likens 2010a). El monitoreo es necesario para asegurar el MSRN y la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas; por lo tanto, se requiere monitorear los recursos naturales (RN) en

distintas escalas y niveles de organización para asegurar su estado de integridad (Lovett et al. 2007). Lograr esto es un gran reto, si se considera que los ecosistemas pueden ser muy variables en el tiempo y el espacio, por lo tanto el monitoreo debe realizarse a largo plazo y a escalas espaciales amplias para obtener mayor precisión en el conocimiento de los factores que contribuyan en el MSRN (Carpenter 1998; Owens 2013). Aunado a esto, en ocasiones, las repercusiones en los ecosistemas se manifiestan varios años después de un evento y los cambios pueden ocurrir de forma rápida, por lo que establecer las causas en ocasiones no es sencillo, ya que se requiere realizar el monitoreo a largo plazo y de forma continua (Carpenter 1998; Jardel et al. 2013).

Implementar un programa de monitoreo permite a las autoridades y gestores de los RN diseñar leyes, políticas, programas y acciones basados en información relevante y específica; por consiguiente, se genera evidencia robusta para evaluar la eficacia de las acciones relativas al MSRN (Gibbs et al. 1999; Yoccoz et al. 2001; Nichols and Williams 2006; Lovett et al. 2007; Lyons et al. 2008). De igual manera, permite identificar el momento en el que se requiere una intervención de manejo en los sistemas monitoreados (Lindenmayer et al. 2012). Asimismo, el monitoreo permite identificar eventos inusuales y extremos, lo que posibilita efectuar acciones de manejo que aumenten la resiliencia de los sistemas naturales administrados (Lindenmayer y Likens 2010; Hughes et al. 2017). Además, proporciona las bases para realizar investigaciones y corroborar modelaciones mediante las observaciones efectuadas (Lovett et al. 2007).

Existe una gran cantidad de programas de monitoreo por parte de instituciones de gobierno, organizaciones civiles y la academia, derivados del interés por guiar y conocer la efectividad de las iniciativas de conservación alrededor del mundo. Muchos de estos programas han resultado exitosos, aumentando la precisión del conocimiento respecto a las dinámicas naturales y contribuyendo a la conservación de los RN, tales como la predicción de inundaciones y estimación del aprovisionamiento de agua (Lovett et al. 2007). Sin embargo, muchas otras han resultado ineficaces debido a la naturaleza compleja de diseñar, ejecutar y mantener

a largo plazo un programa de monitoreo (Théau et al. 2018; Likens y Lindenmayer 2018). Por esto, es necesario realizar esfuerzos encaminados a mejorar las prácticas de monitoreo, tomando en cuenta las restricciones y limitaciones que existen, con el fin de hacer eficientes los proyectos de monitoreo.

Restricciones logísticas y metodológicas

El monitoreo es una actividad compleja que presenta limitantes inherentes, relacionadas con la complejidad de las interacciones de los sistemas ecológicos en el espacio y en el tiempo, las cuales en su mayoría son tomadas en cuenta durante el diseño de los programas de monitoreo. Otras surgen durante el diseño, como la carencia de objetivos claros, un diseño experimental pobre, falta del elemento adecuado a monitorear, entre otros. Por otro lado, en ocasiones no se le otorga suficiente importancia a los elementos de financiamiento, liderazgo, burocracia, administrativos y legales de las instituciones que llevan a cabo la administración de los RN, lo que adquiere mayor relevancia por la necesidad de realizarse a largo plazo (Likens y Lindenmayer 2018).

Existen sesgos metodológicos inevitables en un programa de monitoreo, como el de medición o error del observador, que podrían tener un efecto mayor al ser a largo plazo (Gitzen y Millspaugh 2012). En algunos casos, para evitar el error del observador, se ha favorecido el uso de métodos que lo eliminen al emplear sensores remotos automáticos (García-Alaniz et al. 2017). De igual manera, no es sencillo detectar tendencias significativas que reflejen de forma precisa los cambios en los ecosistemas, además de que es necesario un análisis complejo interdisciplinario para analizar cuál es la magnitud de la tendencia mínima necesaria que debe detectarse. Es común que no se realice el análisis del poder estadístico requerido en un monitoreo a largo plazo durante su diseño (Gibbs et al. 1999). Esto puede llevar a iniciativas ineficaces de monitoreo, ya que no tienen mucha probabilidad de detectar tendencias, sino a realizar esfuerzos mayores a los necesarios. Por ejemplo, Meyer et al. (2010) detectaron que es necesario llevar a cabo un monitoreo durante 20 años para encontrar un cambio del 5% anual en la abundancia de una población de murciélagos, mientras que realizarlo sólo por 10 años no es suficiente para detectar tendencias significativas.

De igual forma es primordial realizar un monitoreo con un diseño espacial específico, ya que al elegir los sitios de muestreo, se emplean metodologías de otras investigaciones ecológicas, lo que puede generar sesgos por sus distintas naturalezas y objetivos (McDonald 2012). Un adecuado diseño reduce la inversión necesaria, ya que aumenta su eficiencia al estimar el esfuerzo requerido desde un inicio, lo que genera un beneficio adicional para su factibilidad y eficiencia (Field et al. 2004; Bart y Beyer 2012). Para lograr un programa de monitoreo eficiente es necesaria la participación de expertos de distintas áreas, incluyendo expertos en estadística para establecer un adecuado tamaño de muestra, así como de ecólogos para determinar los elementos que son más pertinentes para monitorear y detectar cambios, así como científicos sociales que tomen en cuenta el aspecto social.

El financiamiento continuo es vital para asegurar la subsistencia del monitoreo. Para lograr esto, es imprescindible considerar la estructura y dinámica de las organizaciones e instituciones que lo implementan, contemplar los posibles conflictos futuros y diseñar estrategias que aseguren su continuidad (Danielsen et al 2005; Likens y Lindenmayer 2018). Por ejemplo, Meyer et al. (2010) proponen una estrategia para reducir los costos de un programa de monitoreo de murciélagos en el trópico que deben llevarse a cabo por lo menos durante 20 años. El monitoreo debe realizarse de forma anual durante los primeros 10 años), posteriormente reducir la frecuencia a un esquema bianual. De esta manera pueden encontrarse estrategias que permitan reducir el esfuerzo e inversión sin que se afecte la calidad del monitoreo.

[Restricciones derivadas de la cultura de manejo y académica](#)

El monitoreo permanece subestimado por los científicos ya que lo consideran como una actividad meramente de manejo alejado de la ciencia y por gestores de RN debido a un escepticismo de su eficiencia (Lovett et al. 2007; Gitzen y Millspaugh 2012). Esta percepción ha ocasionado que distintas iniciativas de monitoreo resulten ineficaces, al no destinar los recursos necesarios para plantear preguntas y diseños adecuados. Esta percepción repercute en financiamientos a corto plazo y la exclusión de especialistas adecuados en el diseño y ejecución (Lindenmayer y Likens 2009; Gitzen y Millspaugh 2012; Reynolds 2012) generando un círculo

vicioso porque iniciativas ineficaces generan una percepción errónea, lo que repercute en su subestimación (Yoccoz et al. 2001). Lo anterior provoca que los recursos disponibles sean destinados preferentemente a otro tipo de iniciativas de manejo o de investigación. Otro ejemplo de esta situación es el impulso de obtener información, sin plantear qué elementos son los más apropiados para evaluar, esta percepción es peligrosa ya que se empieza un monitoreo sin las bases necesarias, únicamente por la percepción de que “algo es mejor que nada” (Likens y Lindenmayer 2018). Esta situación se debe en parte, a la presión que el gobierno y agencias financiadoras ejercen sobre los gestores de los RN que exigen evidencia de la efectividad de la inversión en la conservación, sin tomar en cuenta la dificultad de evaluar con precisión elementos como la integridad ecológica (Gitzen y Millspaugh 2012).

Los estudios a largo plazo no suelen ser atractivos en las carreras académicas, debido a que sus estándares favorecen la producción académica rápida y su publicación. De igual forma, diversas dinámicas ecológicas son lo suficientemente lentas para durar más que la carrera de cualquier investigador o gestor de RN (Carpenter 1998). Esto repercute en que los experimentos a largo plazo y los programas de monitoreo no se lleven a cabo cuando son requeridos. Una solución es desarrollar nuevas formas de recompensa y reconocimiento, así como motivar a los investigadores para que hagan su información pública mediante medios alternos a la publicación, la cual es parcialmente accesible la mayor parte del tiempo (Lindenmayer et al. 2012; Hampton et al. 2013). Debido a que los recursos son limitados, lo más recomendable es elegir el diseño más adecuado, tomando en cuenta los recursos financieros, técnicos, logísticos, temporales y culturales.

Enfoques adaptativos

Estos enfoques buscan comprender los sistemas por medio de una retroalimentación sistemática, la cual se obtiene de la observación y la comprobación de hipótesis, es decir se aprende de los resultados (Williams 2011). Los enfoques adaptativos han sido propuestos como los más propicios para el MSRN, debido a la alta incertidumbre de los ecosistemas y socio-ecosistemas (Aceves-Bueno et al. 2015; Arciszewski et al. 2017). Sin embargo, estos procesos

pocas veces se realizan, debido a su complejidad metodológica, ya que dependen de un monitoreo constante, el cual se ha detectado como su principal limitante, lo que limita la capacidad de evaluar su efectividad (Westgate et al. 2013).

Una dificultad para integrar prácticas adaptativas al monitoreo, como la prueba de hipótesis y los modelos conceptuales, es que los científicos consideran que el entendimiento de los procesos en algunos sitios es suficiente para hacer predicciones a grandes escalas (Yoccoz et al. 2001). De igual manera muchas veces se considera que es suficiente replicar los mismos modelos en distintos sitios, cuando cada contexto tiene condiciones particulares (Likens y Lindenmayer 2018). Un caso similar es la predicción de tendencias a largo plazo empleando información a corto plazo, lo cual puede llevar a conclusiones erróneas (Field et al. 2004; Bart y Beyer 2012). El monitoreo por medio de la ciencia ciudadana (CC) podría ser una solución actual para poder continuar con el desarrollo de este tipo de enfoques (Aceves-Bueno et al. 2015).

Relación del monitoreo con la investigación a largo plazo

El monitoreo ha sido considerado como una actividad alejada de la ciencia, aunque actualmente se reconoce como parte de las observaciones a largo plazo fundamentales para aportar conocimiento en la teoría ecológica, fundamental en el MSRN (Fig. 1) (Lindenmayer et al. 2012; Jardel et al. 2013). El monitoreo, por sí mismo, debe incorporar elementos similares a los del proceso científico: preguntas relevantes, objetivos claros, diseño estadístico robusto y desarrollar modelos asociados a los sistemas de respuesta de manejo (Nichols y Williams 2006). La investigación ecológica a largo plazo enfrenta limitantes similares al monitoreo a largo plazo, a pesar de esto, son imprescindibles para la comprensión de los ecosistemas.

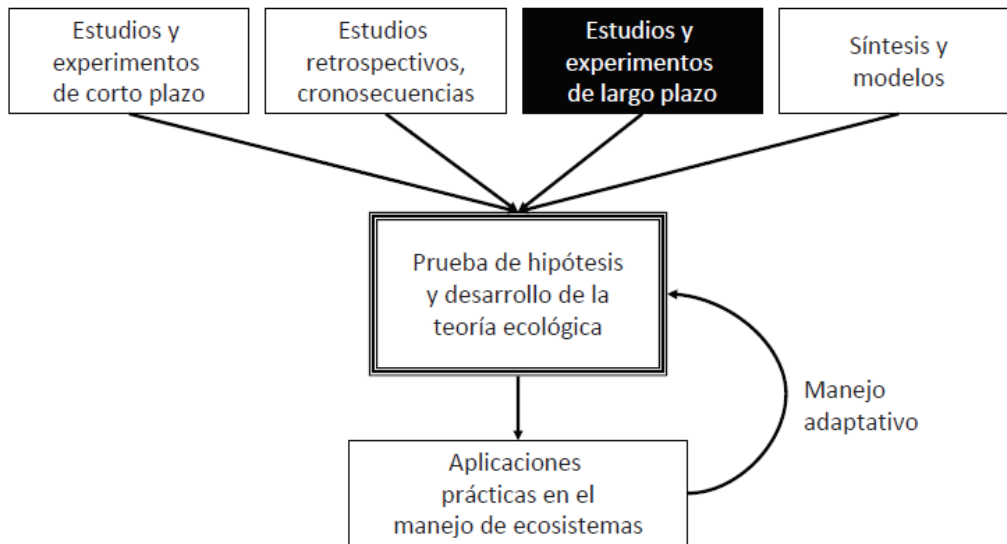


Figura 1. Desarrollo de la teoría ecológica en relación con el manejo sustentable de recursos naturales (tomado de Jardel et al. 2013)

La investigación a largo plazo proporciona el componente científico del manejo. Como parte de la investigación a largo plazo se resalta la necesidad de implementar programas de monitoreo y experimentación específicos para el MSRN. Existe una Red Internacional de Investigación Ecológica a largo plazo (ILTER, por sus siglas en inglés), de la cual México es miembro desde 2004, con la Liga Mexicana de Investigación a Largo Plazo (Mex-LTER). Esta red está formada por distintos grupos de investigación ecológica a largo plazo, los cuales están adscritos a instituciones de investigación en México. Estos esfuerzos han contribuido en el conocimiento ecológico, el cual se ha empleado para definir leyes y políticas relativas al manejo de los RN (Jardel et al. 2013).

El monitoreo en México

Existen diversas iniciativas de monitoreo en México, motivadas por el marco legal mexicano que integra a la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de 2003 y la Ley General del Cambio Climático, en las cuales se incluye el monitoreo como mecanismo de MSRN (Medellín et al. 2019). Otra motivación legal importante se deriva de los compromisos que se han adquirido mediante las ratificaciones de los convenios con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). De igual manera, existe un interés de la sociedad y la academia por monitorear los RN

(von Bertrab y Zambrano 2010; Ortega-Álvarez et al. 2015; Perevochtchikova et al. 2016). Como ejemplo, en el monitoreo de bosques se han desarrollado 23 proyectos que incluyen al sistema de alerta de incendios, al sistema de monitoreo de manglares de México, el monitoreo de cobertura del suelo, entre otras, donde cada uno tiene objetivos, duración y metodologías distintos (Medellín et al. 2019). A continuación, se describen algunas de las iniciativas relevantes en el MSRN en México.

Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC). En 2001, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) inició el diseño de este sistema, cuyo objetivo es la creación de un mecanismo capaz de planear, dar seguimiento y evaluar la efectividad de diversas políticas aplicadas a las Áreas Naturales Protegidas (ANP), por medio de indicadores biológicos, geográficos y sociales (Conanp 2010). Este sistema cuenta con tres subsistemas: información, monitoreo y evaluación, que tienen como objetivo generar información útil para los tomadores de decisiones. Sin embargo, esta iniciativa redujo la producción de información en el periodo 2014-2018 (Gómez et al. 2019), probablemente debido a la complejidad de mantener un programa de tal envergadura.

Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Es un instrumento por el cual se genera información relevante para la administración del recurso forestal mexicano. Existe una red nacional de muestreo forestal de diversa índole que permite inferir su nivel de integridad. Este instrumento se implementó desde la creación de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) en 2004, cuando se estableció un muestreo nacional cada 5 años. Previamente, existían 4 inventarios nacionales que datan de 1961, aunque a partir de 2015 se comenzó a monitorear aspectos de la biodiversidad para complementar la información recabada, integrándose al Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad (SNMB) en colaboración con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y la Conanp (Leyva-Ovalle et al. 2017).

Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad y Degradación de los ecosistemas. Es una iniciativa interinstitucional de la Conafor, Conanp y Conabio

que inició su funcionamiento en 2015 y cuenta con el apoyo del Instituto de Ecología, UNAM e instituciones internacionales, como el PNUD, entre otros. Es una iniciativa novedosa que implementa sensores remotos y trabajo intensivo en campo, y que analizan la información mediante plataformas estadísticas y computacionales avanzadas (García-Alaniz et al. 2017).

Resulta complicado evaluar la integridad de los sistemas naturales, por lo que muchas iniciativas han resultado ineficaces, lo que ha generado cierto escepticismo por parte de las autoridades. Esto se intenta solucionar implementado mecanismos eficaces que evalúen la efectividad de las acciones de conservación, tales como el monitoreo (Parrish et al. 2003). Lo anterior ha resultado en el incremento en el número de iniciativas de monitoreo que se han iniciado en las últimas décadas y que refleja el interés de los administradores de las ANP, así como de las autoridades y organizaciones civiles, por generar herramientas que evalúen y justifiquen de forma objetiva las acciones de manejo y conservación (Parrish et al. 2003; Théau et al. 2018). La ciencia ciudadana (CC), por medio de tecnologías innovadoras como el desarrollo de plataformas web, manipulación de macrodatos, sensores remotos y teléfonos inteligentes, tiene el potencial de aumentar la capacidad y efectividad de las iniciativas de monitoreo. Por esta razón, es necesario comprender la pertinencia de la CC en el monitoreo, sus alcances y limitaciones.

Capítulo 2. La ciencia ciudadana

La ciencia ciudadana (CC) se concibe como el proceso en el cual ciudadanos no expertos se involucran activamente en la generación de conocimiento científico, generalmente, en colaboración con científicos profesionales y empleando las normas y valores establecidos para la ciencia (Miller-Rushing et al. 2012, 2020). La CC no abarca únicamente proyectos que desarrollan y ponen a prueba hipótesis de investigación, sino también otro tipo de actividades, como proyectos de monitoreo y la resolución de problemas complejos (Auerbach et al. 2019).

Actualmente, no se ha concertado una definición internacional que abarque la variedad de iniciativas que involucran la participación del público en la ciencia. Esta ausencia de definición es aceptada, ya que permite una innovación metodológica que contribuye al progreso de la CC (Auerbach et al. 2019). Por otro lado, esta indefinición presenta un reto para determinar qué proyectos clasifican en la categoría de CC, lo que podría reducir la participación de voluntarios en las distintas iniciativas. El auge actual de la CC ha generado un debate sobre el establecimiento de una definición que propicie su progreso, sin afectar su rigor (Heigl et al. 2019).

Existen distintos sinónimos de CC, entre los que destacan: Ciencia Participativa, Ciencia Colaborativa, Ciencia de Colaboración Abierta Distribuida, Ciencia Comunitaria, Ciencia Pública, Ciencia 2.0, entre otros. Estos términos hacen referencia a distintas formas de participación del público en la ciencia, aunque cada uno tiene modelos y mecanismos específicos de participación (Strasser et al. 2018). El debate sobre el término de CC es vigente, ya que por sí mismo podría carecer de precisión y ser interpretado de diversas formas, sin embargo, es el más conocido y con mayor difusión para denominar las iniciativas participativas de la ciencia (Eitzel et al. 2017). Existen distintas tipologías dentro de la CC que contribuyen a clasificar las iniciativas en función de su objetivo y nivel de participación. Una de las más empleadas se basa en la forma, nivel y etapa de participación de los voluntarios. Por ejemplo, Haklay (2013) desarrolla una tipología en función del nivel de participación, la cual varía en la profundidad e implicación y va desde la aportación pasiva de capacidad de computación por medio de una computadora personal, hasta la definición de una pregunta de investigación (Fig. 2).

La terminología empleada para la CC es importante, porque influye en la participación del público, en la percepción de las iniciativas por parte del gobierno y otras instancias financiadoras, e incluso, en la forma en que se construye el conocimiento (Eitzel et al. 2017). El diccionario Oxford incorporó el término CC en 2014; sin embargo, las iniciativas de CC han existido desde hace varios años, en una variedad de formas de participación.

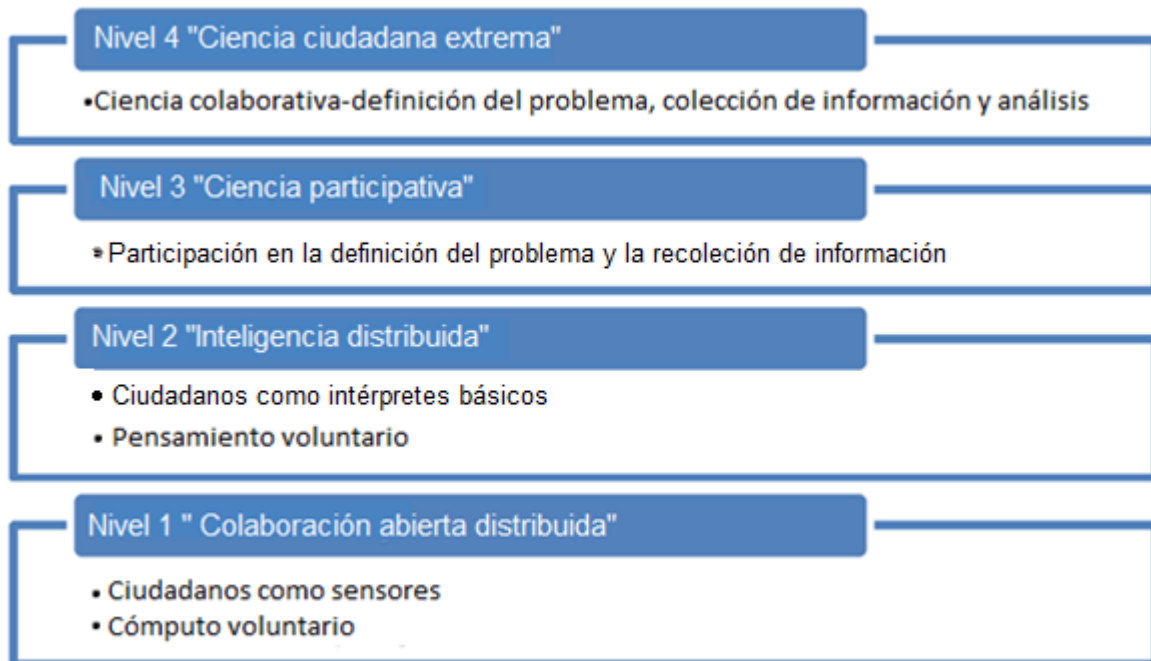


Figura 2. Tipología para clasificar las iniciativas dentro de la ciencia ciudadana (tomado de Haklay 2013).

Historia

Previo al incremento de la profesionalización de la ciencia a finales del siglo XIX, podría decirse que la mayoría de la actividad científica era ciencia ciudadana (CC) (Silvertown 2009). La figura de científico profesional no era común y la actividad científica se realizaba en su mayoría por "naturalistas" o "filósofos de la naturaleza", quienes usualmente gozaban de los medios suficientes para realizarla (Strasser et al. 2018). Algunas de las figuras icónicas de la ciencia, como Darwin, podrían ser catalogados hoy en día como científicos aficionados o científicos ciudadanos (Silvertown 2009).

Los profesionales y aficionados eran reconocidos como líderes expertos en distintas áreas, que en ocasiones reclutaban a otros aficionados o al público en general para llevar a cabo proyectos de investigación. Existe evidencia de la colaboración entre estos expertos y el público desde hace siglos, incluso milenios (Miller-Rushing et al. 2012). Por ejemplo, Linnaeus fue asistido con contribuciones de aficionados para crear colecciones científicas de gran importancia. Además, existen registros en los

que campesinos chinos monitoreaban y registraban brotes de plagas en campos de cultivos desde hace 3,500 años (Tian et al. 2011).

La profesionalización de la ciencia creó la dicotomía entre la figura del científico profesional y la del científico aficionado, lo que generó un cambio en la cultura científica e influyó en la concepción actual de la CC (Vetter 2011). Este acontecimiento relegó al aficionado en el quehacer científico, aunque esta figura no desapareció por completo. Un ejemplo de la colaboración entre aficionados y profesionales es el conteo de aves de navidad, llevado a cabo por la National Audubon Society, que inició en 1900 y continúa en la actualidad (Dunn et al. 2005).

El término de ciencia ciudadana fue mencionado por primera vez a mediados de los años 90 del siglo XX por el sociólogo Alan Irwin y el ornitólogo Richard Bonney, quienes lo emplearon con distintos objetivos y contextos (Strasser et al. 2018). Irwin (1995) hizo una reflexión de los ideales participativos del público en la ciencia, con el objetivo de fomentar una ciudadanía científica, involucrada en la creación de conocimiento, con el fin de tener una influencia en políticas públicas. Además, hizo énfasis en el conocimiento producido por la gente, fuera de las instituciones científicas. Por su parte, Bonney (1996) visualiza la CC como la participación del público en la investigación científica y como una herramienta para mejorar la comprensión de la ciencia por parte del público en general. Estas dos nociones se relacionan con el entendimiento actual de la CC como una forma de participación pública en la ciencia, en la que el público puede cooperar en la producción de conocimiento científico y obtener educación como un producto secundario (Hecker et al. 2018b).

Se identifican dos eventos relevantes previos a la CC que influenciaron la forma de participación del público en la ciencia: la transición hacia la ciencia profesional en el siglo XX, y los movimientos de ciencia radical entre los 60 y 70 de dicho siglo. La ciencia radical proponía una ciencia con sentido de servicio público, que incitaba a dirigir los esfuerzos de los investigadores a resolver cuestiones sociales. Esto contribuyó a que en décadas posteriores se considerara la opinión de los

ciudadanos en la formulación de políticas científicas nacionales en Europa y los Estados Unidos (Strasser et al. 2018).

Posteriormente, el desarrollo de plataformas digitales de CC, impulsado por la democratización del internet y el desarrollo de la web 2.0 o web social, resultaron en una gran participación del público en iniciativas de CC y en la formación de una red internacional de científicos ciudadanos. Se puede notar un incremento exponencial de publicaciones científicas que emplean CC a partir de 2010 (Kullenberg y Kasperowski 2016), que se relaciona con la creación de distintos proyectos que emplean plataformas en línea como: Galaxy Zoo (astrofísica), eBird (ornitología/ecología), iNaturalist (biología), FoldIT (bioquímica) y Planet Hunters (astronomía). Actualmente, existen miles de proyectos de CC de distintas disciplinas: física, historia, ecología, toxicología, medicina, biología evolutiva, geología, paleontología, entre otras. Además de que numerosas revistas científicas de diversas disciplinas han realizado publicaciones especializadas en CC, así como la creación de una revista científica dedicada exclusivamente a la CC llamada Citizen Science: Theory and Practice (Hecker et al. 2018a; Irwin 2018; Kerstes et al. 2019).

[Aportaciones de la ciencia ciudadana](#)

Las principales aportaciones derivadas de los proyectos de ciencia ciudadana (CC) son: la democratización de la ciencia, la alfabetización científica y una contribución a generar descubrimientos científicos (Strasser et al. 2018). La primera se refiere a que cada vez más personas pueden formar parte del proceso científico, además de compartir información relevante entre científicos y aficionados, lo que contradice la visión elitista y cerrada de la producción científica bajo el enunciado “todo el mundo puede participar”. La segunda se refiere a lograr mejorar la comprensión del proceso científico, así como el acceso y entendimiento de la información científica por parte del público en general. La tercera se plantea como el potencial que surge al expandir la variedad de colaboradores en la construcción del conocimiento. La cuarta se refiere a que la inclusión de otras áreas de la ciencia, o incluso de personas ajenas a los procesos académicos, tiene el potencial de insertar nuevas perspectivas,

experiencias y conocimientos que podrían contribuir a la solución de retos actuales en la ciencia (Shirk y Bonney 2018).

Además de estas aportaciones, se ha documentado que la CC tiene el potencial de aumentar el capital social como resultado de proyectos de monitoreo comunitario (Conrad y Hilchey 2011). Estos proyectos pueden evaluarse mediante el incremento de la confianza, la armonía y la cooperación entre las comunidades participantes. Todos estos elementos hacen atractiva la implementación y desarrollo de la CC para conducir la ciencia, no solo para la academia, sino también como herramienta para instituciones gubernamentales y la sociedad en general. A pesar de estos beneficios, es necesario continuar con su estudio y comprensión, ya que en algunos casos no se tiene información suficiente que concluya el cumplimiento de estas aportaciones en todos los contextos de la CC (Strasser et al. 2018).

Retos de la ciencia ciudadana

Calidad de la información

Uno de los principales argumentos que se emplea en contra de la CC es la calidad de la información, el cual continúa en debate (Callaghan et al. 2019). Sin embargo, esta cuestión no es exclusiva de la CC, encontrándose en muchos estudios de biodiversidad, por ejemplo. Algunos factores que influyen en la calidad de la información son los observadores, su tiempo de entrenamiento, edad, nivel de estudios, nivel de compromiso, entre otros. Sin embargo, mediante el establecimiento de calibraciones de protocolos de muestreo, y la forma de captura de datos en las plataformas web, se ha logrado que los voluntarios recaben información de gran calidad, comparable con aquella recolectada por investigadores profesionales (van der Velde et al. 2017).

Colaboración abierta distribuida y macrodatos

El desarrollo de las nuevas plataformas digitales ha permitido la colaboración abierta distribuida, que es un modelo de participación abierto cuyo objetivo es encontrar a las personas adecuadas para recabar información y capacidades (inteligencia colectiva) para la resolución de problemas de forma rentable (Brabham 2008). Esto, a su vez, genera un fenómeno denominado macrodatos que representa la generación de un gran volumen de información, el cual requiere de un tratamiento

especial por medio de especialistas y técnicas sofisticadas para poder ser utilizados (Hampton et al. 2013). Esta situación genera nuevas necesidades técnicas respecto a la administración, procesamiento e interpretación de grandes volúmenes de información, así como la necesidad de almacenar dicha información de forma apropiada y la implementación de herramientas estadísticas para su análisis en el futuro (Bonney et al. 2009).

Ética de la ciencia ciudadana

La ética de la ciencia ciudadana (CC) se relaciona con la propiedad de la información generada, los conflictos de interés y la posible explotación de los participantes (Resnik et al. 2015; Adler et al. 2020). La propiedad de la información es de importancia cuando se trata de conocimiento tradicional de especies, medicina, clima, ecología, geografía o innovación tecnológica. Para ello, los encargados del proyecto deben establecer desde el principio la propiedad de la información generada para que los participantes estén enterados (Resnik et al. 2015). Los conflictos de interés están relacionados con ámbitos políticos o legales, a diferencia de otras áreas de la ciencia donde la mayoría de estos son financieros (Resnik et al. 2015). Estos son relevantes debido a que también tienen el potencial de generar sesgos que perjudican la objetividad y credibilidad de las iniciativas de CC. Tradicionalmente, los conflictos se han combatido por medio de apertura, transparencia y haciendo pública la información, después de su publicación, para su análisis e interpretación independiente. Por su parte, la explotación se presenta cuando un grupo obtiene una ventaja injusta sobre otro en una relación de transacción, no existe consentimiento, y existe perjuicio o inequidad y puede ser ejercida en ambos sentidos, ya sea por parte de los encargados de la iniciativa de CC o por los voluntarios (Adler et al. 2020). Por ejemplo, se da cuando no se reconoce de manera apropiada la participación de los voluntarios, la cual puede ir desde el reconocimiento por su participación, hasta la autoría en alguna publicación, si se amerita.

Perspectivas de la ciencia ciudadana a futuro

El enfoque colaborativo e inclusivo, del que forma parte la ciencia ciudadana (CC), está cambiando la forma en la que se lleva a cabo la ciencia y la construcción del

conocimiento, tanto en las instituciones académicas como en las comunidades humanas. Aunado a esto, se proyecta que el rápido desarrollo tecnológico facilitará la implementación de prácticas adecuadas, lo que mejorará la calidad de la información que se obtiene mediante la CC. Esto contribuirá a la rápida adaptación de tecnologías y a crear nuevos objetivos de desarrollo científico, la adaptación de tecnologías y la resolución de problemas complejos. Por tanto, es necesario identificar los métodos más eficientes para desarrollarla, implementarla y evaluarla, y así aprovechar su potencial, sin desvirtuar su rigor (Shirk y Bonney 2018).

Existe cierto escepticismo por parte de científicos y autoridades gubernamentales respecto a la capacidad de la CC para aportar información relevante para la ciencia o para políticas públicas. A pesar de esto, actualmente distintos gobiernos, como el de los Estados Unidos, Escocia y México, emplean rutinariamente a la CC como herramienta de participación pública para obtener información relevante sobre el monitoreo ambiental. De igual manera, el Programa Ambiental de las Naciones Unidas está explorando la posibilidad de realizar monitoreos por medio de CC, mientras se sensibiliza al público respecto al cuidado del ambiente (Irwin 2018). La gran cantidad de proyectos, publicaciones, congresos internacionales, asociaciones nacionales e internacionales, así como revistas científicas exclusivas sobre CC, hacen que cada vez más se valide como una forma adicional de obtener información y construir conocimiento.

Algunos de las primeras aplicaciones de la CC fueron en proyectos relacionados con la ecología y el monitoreo ambiental. Recientemente, han tenido un crecimiento notable en el contexto del MSRN y la conservación, lo cual podría hacer esta tarea más transparente y accesible.

[Capítulo 3. El monitoreo por medio de la ciencia ciudadana: una herramienta eficiente en el contexto del manejo sustentable de recursos naturales y la conservación.](#)

[La web 2.0 en el monitoreo](#)

El monitoreo participativo (i.e., en colaboración con voluntarios) tiene una larga historia en la ecología y el manejo de recursos naturales, y ha contribuido a generar

nuevo conocimiento, educación y conservación (Silvertown 2009). Estas aportaciones están siendo impulsadas por medio del empleo de plataformas digitales que emplean la World Wide Web (WWW) como interfase, las cuales se caracterizan por una alta interacción de los usuarios con la información, lo que les permite crearla y compartirla (Tulloch et al. 2013). Algunas plataformas, como eBird y iNaturalista, generan millones de observaciones cada año por medio de voluntarios, las cuales son empleadas por científicos y tomadores de decisiones (Sullivan et al. 2014). Por medio de estas plataformas se realizan monitoreos de la biodiversidad, contaminación (aire, agua, lumínica, suelo), ecológico, de las ANP, de los océanos, de los efectos del cambio climático, entre otros (Wiersma 2010; Hampton et al. 2013; Cooper et al. 2014; Callaghan and Gawlik 2015; Kyba et al. 2015; Chandler et al. 2017). La información generada por medio de colaboración abierta distribuida es relevante, costo-eficiente, se genera con mayor velocidad, abarca una gran diversidad de escalas temporales y geográficas, es de adecuada calidad y resolución, y puede ser de fácil acceso público, por lo cual es apropiada en el contexto del MSRN (Hampton et al. 2013; Aceves-Bueno et al. 2015; McKinley et al. 2017; Gurnell et al. 2019). En contraste, obtener el mismo volumen de información por medio del monitoreo convencional resultaría demasiado costoso, debido a la frecuencia de los muestreos, su duración, escala geográfica y personal especializado que lo realiza (Aceves-Bueno et al. 2015). Dentro del monitoreo, existen dos enfoques principales: de vigilancia y el focalizado. El primero se refiere a monitorear una serie de elementos de forma simultánea para detectar un cambio que indique la necesidad de realizar una intervención de manejo. Por el contrario, el segundo sugiere monitorear elementos específicos que aportan más información para determinar el grado de conservación o algún elemento de interés (e.g., una población en estado crítico). Anteriormente, se consensuaba que el enfoque focalizado se priorizaba sobre el de vigilancia, debido a que monitorear cada componente de un sistema implica utilizar una gran cantidad de recursos (Nudds y Villard 2009; McDonald-Madden et al. 2010; Likens y Lindenmayer 2018). Sin embargo, el monitoreo participativo, mediante plataformas de CC, es una forma novedosa que permite monitorear una gran cantidad de elementos sin tener

forzosamente un fin preestablecido. Esta modalidad permite un monitoreo constante que contribuye a detectar amenazas imprevistas para la biodiversidad, tales como la introducción de especies invasoras o la desaparición de especies nativas (Dickinson et al. 2010).

De esta forma, la CC genera información, la cual se puede emplear para generar hipótesis científicas (Fig. 3). Un ejemplo es la contribución de la CC en las últimas décadas, en el impulso y desarrollo de la macroecología (Kobori et al. 2016). Actualmente, existe una gran diversidad de proyectos de CC que coadyuban en el avance de la ciencia y en el monitoreo para la conservación, así como iniciativas que han contribuido a describir especies nuevas para la ciencia, y monitorear una gran variedad de taxones y de hábitats, que en su conjunto contribuyen al MSRN y la conservación de la biodiversidad (Dickinson et al. 2010; Gurnell et al. 2019).

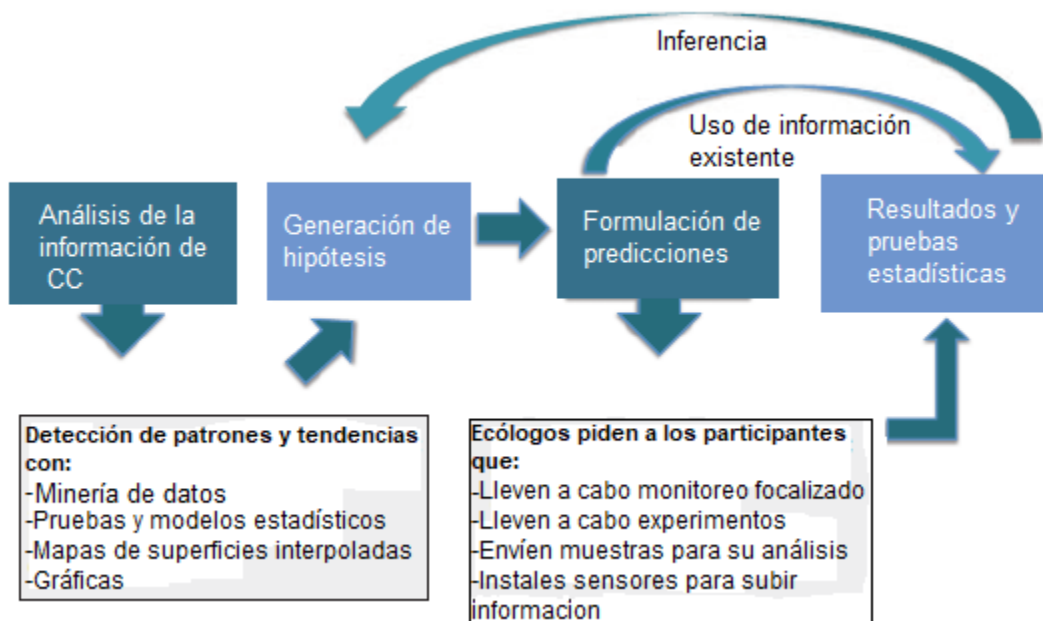


Figura 3. La ciencia ciudadana en relación con la generación de hipótesis científicas (tomado de Dickinson et al. 2010).

Un ejemplo de lo anterior es la evaluación poblacional a largo plazo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en el océano Atlántico, la cual emplea el método de la identificación por fotografías que son generadas gracias al ecoturismo asociado a esta especie. A pesar de ser un método oportunista, ha permitido determinar su

demografía, movimiento, fidelidad de sitios, uso de hábitat y conectividad de las poblaciones (Arzoumanian et al. 2005). Esta información ha sido corroborada por medio de información satelital y de estudios convencionales, y actualmente existen repositorios de información que aportan científicos y ciudadanos, los cuales son empleados para realizar investigaciones relacionadas con el tiburón ballena (McKinney et al. 2017).

[Aportaciones del monitoreo por medio de la ciencia ciudadana](#)

En circunstancias propicias, el monitoreo participativo tiene el potencial de ofrecer beneficios para los voluntarios y para los sitios donde se lleva a cabo, ya que permite la democratización ambiental, aumento del capital social, la inclusión de los ciudadanos en cuestiones locales relativas al MSRN, así como facilitar la administración para las autoridades gubernamentales (Conrad y Hilchey 2011). Además, tiene la capacidad de crear cambios culturales durables, como una conciencia del cambio de uso de suelo, lo que tiene efectos positivos a largo plazo a nivel paisajístico (Cooper et al. 2007). La participación ciudadana en la ciencia ha contribuido a refinar las preguntas de investigación, haciéndolas más relevantes respecto a los problemas percibidos por la población local (McKinley et al. 2017). Existen casos en los que se ha logrado involucrar a las partes interesadas y al público en general en la administración relativa al MSRN de localidades específicas (Pollock y Whitelaw 2005). De igual manera, los ciudadanos que pertenecen a comunidades con sistemas de monitoreo comunitario tienden a estar más involucrados en cuestiones locales, a participar más en el desarrollo comunitario y tienen más interacción con las autoridades locales (Conrad y Daoust 2008). Legg y Nagy (2006) documentaron cuantitativamente casos de éxitos en conservación, resultado del monitoreo comunitario participativo. Estos beneficios contribuyen a generar confianza y aceptación de la sociedad en los esfuerzos de conservación (McKinley et al. 2017). Además, ofrece la oportunidad de obtener información complementaria fuera de las ANP y otras áreas de interés, como las urbanas, privadas o de difícil acceso. Existen otras ciencias que empiezan a emplear información ecológica obtenida por la CC, como la fenología en las geociencias, lo cual genera un valor añadido a esta práctica para el conocimiento humano

(Hampton et al. 2013). Esto ha sido una motivación para el crecimiento de iniciativas relativas a la CC por medio de la web 2.0.

El monitoreo biológico comunitario es considerado como una forma de CC, la cual ha tomado fuerza en México durante las últimas décadas. Éste se caracteriza por ser realizado directamente y de forma independiente por las personas que habitan en áreas con alto interés, debido a que se encuentran en sitios prioritarios para la conservación. La información generada mediante este proceso se emplea para la toma de decisiones, además de que se han documentado grandes ventajas para la comunidad. Una de ellas es el empoderamiento interno, producto de la comprensión de los recursos que poseen, lo que más tarde contribuirá a generar innovaciones sustentables en su aprovechamiento y generará un beneficio directo para los integrantes de las comunidades (Ortega-Álvarez et al. 2015).

Retos del monitoreo mediante la ciencia ciudadana

Uso inapropiado de la información

Uno de los principales problemas que surgen con la generación de información es su potencial uso inadecuado, lo cual puede ser contraproducente para la conservación. Dado que la información es pública y de libre acceso, se puede emplear para conocer la distribución de ciertas poblaciones de fauna silvestre, y ser empleada para el furtivismo, cercamiento y el encuentro con fauna silvestre (Irwin 2018). Por otro lado, esta misma información puede ser empleada como herramienta para diseñar soluciones que contribuyan a revertir las posibles amenazas (Arts et al. 2015).

Redundancia de iniciativas

Existen varios proyectos e iniciativas de ciencia ciudadana (CC) que se generan de forma independiente y simultánea, que en ocasiones tienen objetivos similares, lo que podría resultar en duplicación de información y desaprovechar recursos (Hampton et al. 2013). Para revertir esta situación, se han creado repositorios para proyectos de CC, donde se pueden consultar iniciativas similares, como SciStarter, que fue creado en colaboración con la Universidad Estatal de Arizona. Otra solución ha sido emplear grandes plataformas que tienen una gran difusión a nivel nacional e internacional para crear proyectos específicos dentro de estas, como eBird. Un

problema adicional a la redundancia de iniciativas es el síndrome de fatiga informática, el cual se refiere a un cansancio producto de una exposición excesiva a la información, el cual es tomado en cuenta por académicos y gestores de proyectos de CC y tiene el potencial de reducir la participación del público (Irwin 2018). Por otro lado, este mecanismo complementario de monitoreo podría competir con iniciativas locales o que no emplean la CC. Lindenmayer et al. (2012) reportan una tendencia actual en la que se dificulta mantener estudios y monitoreo a largo plazo en campo, debido al énfasis que se les da a los enfoques de macrodatos, modelaje y metaanálisis. Para evitar esto, se deben reconocer los alcances y limitantes de las distintas modalidades de CC respecto al monitoreo, según los objetivos que se quieran alcanzar, así como explorar las virtudes de integrar elementos de las aplicaciones web.

Retos asociados a la calidad de la información

Ciertos obstáculos y limitaciones de emplear la CC en el monitoreo se relacionan con los macrodatos o volúmenes masivos de datos que las herramientas y prácticas habituales no manejan fácilmente y se requieren elementos técnicos, metodológicos y teóricos novedosos para ser útiles (Hampton et al. 2013). Otro ejemplo se debe a las plataformas de CC que son menos estructurados (oportunistas o incidentales) tales como iNaturalist. Esto se ve reflejado en que gran parte de las observaciones aumentan durante los fines de semana, cerca de caminos y áreas urbanas, y sitios de importancia para la conservación de la biodiversidad como ANP. Para remediar esto, se han desarrollado técnicas estadísticas y de visualización que permiten mejorar la información una vez recolectada. Se han adoptado modelos jerárquicos que incorporan la variación de los datos, tales como la sincronización, la intensidad de muestreo y el error de observador que han permitido modelar la distribución de especies y estimar la biodiversidad (Adler et al. 2020). La colaboración con científicos computacionales mejora la captura de la información mediante filtros desde las plataformas y la colaboración con expertos en estadística permite desarrollar nuevas técnicas de análisis. Es requerida la colaboración interdisciplinaria de científicos computacionales, estadísticos, biólogos, entre otros,

que se dediquen especialmente a la curación de la información generada por estas plataformas (Jiménez-Rosenberg 2018).

Brecha digital

La brecha digital o el acceso restringido de sectores de la población a las tecnologías de la comunicación, por la carencia de medios técnicos o financieros que aseguren acceso general a las telecomunicaciones, es un obstáculo en la eficacia de este modelo de participación ciudadana. Esto podría impedir su adopción, particularmente en países donde esta brecha es amplia. En México, se estima que solo el 29% de las personas tiene acceso a una computadora y 23% tiene acceso a internet en sus hogares (Andrés et al. 2016). Esto podría ser un obstáculo ya que existen ejemplos documentados en donde no se han detectado cambios en las motivaciones participativas de ciudadanos en sitios con un capital social reducido, aun cuando se ha empleado la CC para incentivar la participación (Conrad y Hilchey 2011).

Participación de voluntarios

Mantener la continuidad y el compromiso en la participación de los voluntarios es un reto para la mayoría de las iniciativas de CC. Debido a que el monitoreo debe llevarse a largo plazo, es importante analizar las motivaciones de los voluntarios, con el objetivo de asegurar su participación por el tiempo que sea necesario (Adler et al. 2020). Existen diferentes incentivos que motivan a los voluntarios a participar en las iniciativas de CC que dependen de las características de cada proyecto, como las gratificaciones, que van desde estímulos monetarios, hasta la autoría en artículos de investigación. La estrategia de la mayoría de las iniciativas de CC respecto a la participación se basa en la buena voluntad de los voluntarios y en ofrecer la oportunidad de aprendizaje. Es por esto que la comprensión de las motivaciones, interacciones sociales y retroalimentación son procesos que se estudian actualmente para aumentar el potencial de la CC (Richter et al. 2018).

La CC está inmersa en la llamada era de la información, la cual está caracterizada por una gran capacidad de acceso a la misma. Hampton et al. (2013) plantean que los procesos tradicionales de investigación y monitoreo generan información “oscuro”, ya que no es de acceso abierto y solamente una parte de ella está

disponible en las publicaciones. Esta situación se está revirtiendo con el desarrollo de nuevos mecanismos de publicación de la información tales como repositorios en línea, ya que se reconocen ampliamente las ventajas del libre acceso a la información. En este contexto, la CC tiene la virtud de que la información generada puede ser visualizada fácilmente, dependiendo de la plataforma e iniciativa.

Emplear las nuevas tecnologías en el monitoreo y en la investigación es una innovación que permite desarrollar soluciones y procesos costo-efectivos a largo plazo (Gavito et al. 2017). Sin embargo, estas innovaciones presentan retos particulares en contextos específicos, por lo que es necesario una implementación adaptativa para lograr los objetivos planteados en este proceso.

Capítulo 4. Monitoreo en México, por medio de aplicaciones web de ciencia ciudadana, en el contexto del manejo sustentable de recursos naturales.

Iniciativas coordinadas por la Conabio

El Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad (SNMB) es una iniciativa interinstitucional que inició en 2015, derivada de la participación de México en la estrategia internacional de la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación ambiental (REDD+). Tiene como objetivo la adquisición de información que permita inferir el grado de integridad de los ecosistemas de México, por medio de un sistema de monitoreo estandarizado. Este sistema integra información e infraestructura del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), Sistema Nacional de Información de la Biodiversidad (SNIB), Sistema para el Monitoreo de Datos de Actividad (Mad-Mex) y la capacidad operacional de la Conanp y Conafor para llevar a cabo monitoreos estandarizados en las ANP. Un componente importante de este sistema es la colaboración de la sociedad civil para el monitoreo de la biodiversidad mediante plataformas de CC, las cuales son administradas por la Conabio (García-Alaniz et al. 2017).

El SNIB compila, organiza, genera y distribuye información sobre la biodiversidad de México para adoptar las medidas que requiere el país en la gestión de su capital

natural (Koleff y Jiménez 2012). Este sistema es un conjunto de bases de datos que se alimenta de diversas fuentes y hace pública la información albergada en colecciones científicas nacionales e internacionales, imágenes satelitales y recopila la información producto del monitoreo de biodiversidad derivada de los esfuerzos de CC coordinados por la Conabio, aVerAves y iNaturalista (Fig. 4).



Figura 4. Componentes del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (tomado de Conabio-SNIB 2020).

La plataforma iNaturalista está diseñada para generar y recopilar información del monitoreo de la biodiversidad en general. Se diseñó en California en 2009 y fue desarrollada por la Universidad de Berkley; posteriormente, fue adoptada por la Conabio en 2013 y actualmente existe una red internacional. Esta plataforma no requiere conocimientos previos para generar registros, únicamente acceso a internet y a una cámara digital, pero a diferencia de aVerAves, no requiere el desarrollo previo de habilidades para la identificación de aves. En México se cuenta actualmente con 16 curadores, quienes son especialistas en distintos taxones y son los encargados de validar e identificar los registros que los usuarios suben a la plataforma. Esta plataforma ha contribuido a la descripción de 25 nuevas especies, más de 200 nuevos registros de especies que no existían para México, así como al monitoreo de especies prioritarias, amenazadas, e invasoras, que permiten

implementar acciones tempranas. Hasta 2019 se habían registrado 68,200 participantes (especialistas, ejidatarios, maestros, alumnos, asociaciones civiles, público en general) y siguen aumentando cada año, lo que la convierte en la iniciativa de CC más grande de México (Galindo Leal, 2020). Uno de sus principales retos es el reclutamiento y mantenimiento de los participantes, para lo cual se ideó la figura de tutores, los cuales se encargan de capacitar, mediante talleres, a las personas interesadas en este proceso en todo el país (Adler et al. 2020).

La plataforma aVerAves contiene una base de información sobre biodiversidad específica para aves, la cual es recopilada mediante una plataforma digital, en la que voluntarios profesionales y aficionados a la ornitología, hacen registros de aves observadas en lugares específicos, con la finalidad de crear una base de datos de libre acceso (Berlanga García et al. 2012). Esta aplicación, originalmente llamada eBird, fue desarrollada por la Universidad de Cornell y la Sociedad Nacional Audubon en 2002, la cual fue adaptada en 2004 con el nombre de aVerAves por la Conabio como parte de la Iniciativa para la Conservación de las Aves de América del Norte (NABCI, por sus siglas en inglés). La información que se genera tiene distintos filtros de calidad que involucran metodologías de verificación en la captura de la información, así como una validación rutinaria de los registros por especialistas y los demás miembros de esta plataforma; posteriormente es integrada al SNIB. Actualmente es posible añadir fotos, videos, grabaciones de audio, número de individuos, tipo de observación, entre otras precisiones, las cuales enriquecen los registros en la base de datos. Esta información se emplea para conocer y entender la distribución de las aves y su migración, así como la relación especie-hábitat. También puede ser usada para registrar variaciones en la productividad y sobrevivencia de las aves y realizar análisis demográficos en tiempo real, lo cual puede contribuir a enfocar los esfuerzos de conservación e investigación. La Conabio hace uso de esta información para opinar sobre manifestaciones de impacto ambiental, consulta del público en general, elaborar modelos bioclimáticos, listas rojas de especies en riesgo, estudios de ecología, proyectos de monitoreo específicos (cambio climático), monitorear especies indicadoras, entre otros (Berlanga García 2018). El número de participantes en México era de alrededor de

13 mil usuarios en 2019, los cuales han generado 5.4 millones de registros (Galindo Leal 2020). El Programa de América Latina para las Aves Silvestres (PROALAS) lanzó una iniciativa para homogenizar e integrar los esfuerzos de monitoreo de aves en todo México, siendo eBird la herramienta principal para lograrlo (Ruiz-Gutierrez et al. 2020).

En México, existe una red Nacional de Monitoreo Comunitario coordinada por la Conafor, Conanp y Conabio, la cual se encargan de crear proyectos de monitoreo dentro de las comunidades, mediante la formación de monitores y la generación de vínculos entre comunidades, organizaciones civiles, academia y gobierno. Esta red emplea las plataformas web, por ejemplo, la Red Nacional de Monitores Comunitarios de Aves, coordinado por la Conabio, usa aVerAves, que se ha convertido en una herramienta fundamental que ha facilitado y potenciado el trabajo que se realiza mediante esta iniciativa. Una problemática que se presenta en esta modalidad de CC es la falta de preguntas que guíen el monitoreo, lo que puede ser una debilidad para estos esfuerzos. Sin embargo, esto se ha logrado solucionar empleando plataformas de CC como aVerAves, ya que de esta forma la información recabada alimenta una base de datos que puede tener un rango de aplicación y análisis mayor, al ser accesible a un mayor número de personas e instituciones (Ortega-Álvarez et al. 2015). Hasta 2019, esta red contaba con 645 personas capacitadas y equipadas, distribuidas en 102 municipios de 15 estados mexicanos (Galindo Leal 2020). El Programa de avistamiento de aves urbanas (PAU) es una iniciativa coordinada por la Conabio que tiene como objetivo recabar e incrementar la información relacionada con las aves en sistemas urbanos, así como involucrar a los habitantes de las ciudades en el proceso de creación de este conocimiento, el cual también hace uso de la plataforma de aVerAves. Hasta 2019, el programa contaba con 130 coordinadores/capacitadores en 64 municipios de 26 estados de México (Galindo Leal 2020).

[Iniciativas desde la academia y la sociedad civil](#)

Existen proyectos relacionados con el manejo sustentable de recursos naturales (MSRN) que no están coordinados por la Conabio, sino por instituciones académicas y asociaciones internacionales. A continuación, se mencionan algunas

de ellas. Uno de los proyectos de CC es USUMAPPCINTA el cual tiene como objetivo mapear y comprender las percepciones que los habitantes de la cuenca del Usumacinta tienen sobre los sedimentos. La percepción de los actores locales puede contribuir a incrementar la legitimidad de las intervenciones que promueven el MSRN y la gobernanza participativa. Esta plataforma se desarrolla como parte del proyecto ValUses que hace una valoración integrada de los sedimentos de la cuenca del río Usumacinta y donde participan El Colegio de la Frontera Sur, Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial y Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología. En esta plataforma los usuarios registran y califican fotografías de cuerpos de agua y sedimentos, las cuales están georreferenciadas y tienen un comentario, lo que permite identificar la lógica de su calificación (Monzón-Alvarado et al. 2019).

Global water watch-México es una institución internacional con una sede en México, que acompaña a las comunidades humanas y grupos ciudadanos y promueve el monitoreo comunitario participativo, para la construcción co-responsable de propuestas relacionadas con sus intereses respecto al agua. Esto se hace mediante el monitoreo de características biológicas y fisicoquímicas del agua, con el fin de monitorear su calidad y su objetivo es generar información que permita a las comunidades orientarse e incidir en el manejo de los recursos hídricos (Flores-Díaz et al. 2013). Los grupos son propietarios de la información que ellos generan, aunque es pública y puede ser consultada en internet.

También existen iniciativas que están empleando aplicaciones web independiente para llevar a cabo proyectos de conservación. Un ejemplo es la conservación de áreas de arrecifes de coral donde ocurren agregaciones de peces para desovar en el Arrecife mesoamericano, donde se empleó la colaboración de monitores locales y la aplicación para teléfonos inteligentes, tales como ABALOB, las cuales facilitan la recopilación de información y su transmisión entre participantes (Fulton et al. 2018). Este tipo de iniciativas más puntuales y estructuradas son de gran valor ya que muchas tienen objetivos de conservación específicos, en lugares concretos, los cuales en ocasiones tienen objetivos distintos a las iniciativas más grandes como

eBird. De igual manera, estas iniciativas tienen otro tipo de retos como las metodologías de muestreo y la detección de tendencias, los cuales son cada vez más tomados en cuenta por especialistas debido al potencial que tienen (Callaghan et al. 2019)

Las iniciativas descritas anteriormente tienen un origen desde la academia, en instituciones gubernamentales o mixtos, aunque el contexto actual permite la creación de iniciativas completamente independientes. Irwin (2018) describe el caso de la organización Safecast, la cual se originó completamente desde la sociedad civil, sin apoyo institucional. Esta organización estructuró un monitoreo para evaluar el nivel de radiación después de la explosión del reactor de Fukushima en 2011. El gobierno japonés realizó evaluaciones y tomó medidas respecto a sus hallazgos, pero la organización realizó mediciones alternas y obtuvo como resultado una situación más grave, lo cual fue reconocido posteriormente. Este ejemplo resalta la conveniencia de tener iniciativas paralelas, independientes o descentralizadas en ciertas circunstancias.

Conclusiones

El monitoreo es esencial para lograr el MSRN, pero llevarlo a cabo presenta ciertos retos, debido a la complejidad de su diseño, las restricciones logísticas, la necesidad de llevarse a grandes escalas espaciales y temporales, y a las percepciones que se tienen respecto al monitoreo. En este contexto, el monitoreo por medio de ciencia ciudadana (CC) ha sido útil a lo largo de la historia para el manejo de los recursos. El reciente avance tecnológico ha impulsado la capacidad de esta modalidad de monitoreo mediante plataformas web, permitiéndole resolver algunas limitantes del monitoreo tradicional, como las escalas geográfica y temporal requeridas. Esto a su vez genera nuevas consideraciones para poder emplear la CC, las cuales abarcan aspectos éticos, teóricos, metodológicos y de infraestructura. El impulso que ha ganado la CC ha generado un gran interés para resolver los elementos que limitan su uso. La CC es cada vez más empleada por agencias gubernamentales, la academia y el público en general de todo el mundo para solucionar problemas complejos relativos al MSRN, mediante el monitoreo. México es uno de los países

que ha incorporado el monitoreo por medio de la CC en el manejo de sus recursos y la toma de decisiones, lo que lo coloca en la vanguardia.

En conclusión, el monitoreo por medio la CC con aplicaciones web es un mecanismo complementario en México, ya que aporta información útil que no puede obtenerse de otro modo, y contribuye a lograr un MSRN. Esta información es particularmente útil para monitorear y evaluar procesos que requieren escalas amplias, como la distribución de las especies, migraciones y los efectos del cambio climático (Adler et al. 2020). Además, este proceso genera beneficios añadidos de gran valor, como la educación y el involucramiento del público en general. Lo anterior se refleja en que actualmente el SNMB integra las observaciones realizadas mediante CC de las iniciativas coordinadas por la Conabio, las cuales han sido empleadas en la toma de decisiones. Una motivación adicional son los beneficios añadidos que genera la CC, como involucrar y sensibilizar al público en general, lo cual coadyuba al objetivo principal del monitoreo, la conservación y MSRN. Esto es posible gracias a la tarea de la Conabio, la cual almacena, analiza, interpreta y difunde un volumen considerable de información por medio del SNIB, gracias al financiamiento de fundaciones privadas y que podría evidenciar la debilidad de este mecanismo en México.

De igual manera, a pesar de cierto escepticismo, la CC se posiciona cada vez más como un método para realizar monitoreos que contribuyen al MSRN a nivel internacional por su amplio alcance, rentabilidad, capacidad de implementación a largo plazo y los beneficios que conlleva (Cooper et al. 2014; Chandler et al. 2017; McKinley et al. 2017). Sin embargo, la CC no sustituye otras variedades de monitoreo e investigación que son realizadas por especialistas en campo.

Es probable que en este trabajo no se hayan considerado todas las iniciativas existentes de monitoreo mediante CC que emplean aplicaciones web, como las de monitoreo más puntuales que involucran a los habitantes locales, los cuales emplean como herramienta estas plataformas para recolectar información, promoviendo la administración local y el manejo adecuado de los RN. De igual

manera, la percepción que se tiene sobre la CC limita la publicación de iniciativas que la emplean.

Debido al impulso que la CC ha tenido con el uso de plataformas digitales, es posible que aumente su alcance. No obstante, es necesario continuar el análisis de sus beneficios para comprobar su efectividad. Los beneficios relacionados con la sociedad han sido los menos estudiados; sin embargo, ahora se encuentran entre las prioridades de investigadores (Adler et al. 2020). La CC no es la panacea de los problemas relativos a la conservación y MSRN, aunque está contribuyendo a la solución de problemas complejos en este ámbito. Dado el panorama actual, es probable que el proceso de la CC continúe siendo usado como herramienta, además de ser cada vez más empleado para probar hipótesis científicas de forma rutinaria en el futuro (Pocock et al. 2018). El desarrollo de la tecnología diversificará su aplicación y generará procesos cada vez más especializados; por ejemplo, la capacidad de integrar biosensores en los teléfonos inteligentes para la detección de biomoléculas, lo cual tiene un gran potencial de aplicaciones en la medicina y el monitoreo ambiental y de la conservación de los recursos naturales.

Referencias

- Aceves-Bueno E, Adeleye AS, Bradley D, Tyler Brandt W, Callery P, Feraud M, Garner KL, Gentry R, Huang Y, McCullough I, et al. 2015. Citizen Science as an Approach for Overcoming Insufficient Monitoring and Inadequate Stakeholder Buy-in in Adaptive Management: Criteria and Evidence. *Ecosystems* 18(3):493–506. doi:10.1007/s10021-015-9842-4.
- Adler FR, Green AM, Şekercioğlu ÇH. 2020. Citizen science in ecology: a place for humans in nature: Citizen science in ecology: a place for humans in nature. *Annals of The New York Academy of Sciences* doi:10.1111/nyas.14340.

- Andrés AMM, Martínez JAA, Lugo DC. 2016. Brecha digital y desigualdad social en México. *Economía Coyuntural, Revista de Temas de Perspectivas y Coyuntura* 1(2):89–136.
- Arciszewski TJ, Munkittrick KR, Scrimgeour GJ, Dubé MG, Wrona FJ, Hazewinkel RR. 2017. Using adaptive processes and adverse outcome pathways to develop meaningful, robust, and actionable environmental monitoring programs. *Integrated Environmental Assessment and Management* 13(5):877–891. doi:10.1002/ieam.1938.
- Arts K, van der Wal R, Adams WM. 2015. Digital technology and the conservation of nature. *Ambio* 44(4):661–673. doi:10.1007/s13280-015-0705-1.
- Arzoumanian Z, Holmberg J, Norman B. 2005. An astronomical pattern-matching algorithm for computer-aided identification of whale sharks *Rhincodon typus*. *Journal of Applied Ecology* 42(6):999–1011. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01117.x.
- Auerbach J, Barthelme EL, Cavalier D, Cooper CB, Fenyk H, Haklay M, Hulbert JM, Kyba CCM, Larson LR, Lewandowski E, et al. 2019. The problem with delineating narrow criteria for citizen science. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(31):15336–15337. doi:10.1073/pnas.1909278116.
- Bart J, Beyer HL. 2012. Analysis options for estimating status and trends in long-term monitoring. En R. Gitzen, J. Millspaugh, A. Cooper, & D. Licht (Eds.), *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge: Cambridge University Press.:253–278. doi:10.1017/CBO9781139022422.016.
- Berlanga García H. 2018 Jan 25. Aves de México, conocimiento y conservación. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [consultada 2020 mayo 20]. <https://www.youtube.com/watch?v=2lgw5ARs8aM>.

- Berlanga García H, Rodríguez V, Gómez de Silva H. 2012. aVerAves: la ciencia ciudadana para la conservación. *Biodiversitas* 4–5(100).
- Bertrab A von, Zambrano L. 2010. Participatory Monitoring and Evaluation of a Mexico City Wetland Restoration Effort. *Ecological Restoration*. 28(3):343–353. doi:10.3368/er.28.3.343.
- Bonney R. 1996. Citizen science: A lab tradition. *Living Bird* 15(4):7–15.
- Bonney R, Cooper CB, Dickinson J, Kelling S, Phillips T, Rosenberg KV, Shirk J. 2009. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience* 59(11):977–984. doi:10.1525/bio.2009.59.11.9.
- Brabham DC. 2008. Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An Introduction and Cases. *Convergence* 14(1):75–90. doi:10.1177/1354856507084420.
- Callaghan CT, Gawlik DE. 2015. Efficacy of eBird data as an aid in conservation planning and monitoring. *Journal of Field Ornithology* 86(4):298–304. doi:10.1111/jfo.12121.
- Callaghan CT, Poore AGB, Major RE, Rowley JJJ, Cornwell WK. 2019. Optimizing future biodiversity sampling by citizen scientists. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286(1912):20191487. doi:10.1098/rspb.2019.1487.
- Carpenter SR. 1998. The Need for Large-Scale Experiments to Assess and Predict the Response of Ecosystems to Perturbation. In: Pace ML, Groffman PM, editors. *Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science*. New York, NY: Springer. p. 287–312. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1724-4_12.
- Chandler M, See L, Copas K, Bonde AMZ, López BC, Danielsen F, Legind JK, Masinde S, Miller-Rushing AJ, Newman G, et al. 2017. Contribution of citizen

science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation* 213:280–294. doi:10.1016/j.biocon.2016.09.004.

[Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas] Conanp. 2010. SIMEC | Conanp. [consultada 2020 mayo 13]. <https://simec.conanp.gob.mx/>.

Conrad CC, Hilchey KG. 2011. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment* 176(1–4):273–291. doi:10.1007/s10661-010-1582-5.

Conrad CT, Daoust T. 2008. Community-Based Monitoring Frameworks: Increasing the Effectiveness of Environmental Stewardship. *Environmental Management* 41(3):358–366. doi:10.1007/s00267-007-9042-x.

Cooper C, Dickinson J, Phillips T, Bonney R. 2007. Citizen Science as a Tool for Conservation in Residential Ecosystems. *Ecology and Society* 12(2). doi:10.5751/ES-02197-120211.

Cooper C, Shirk J, Zuckerberg B. 2014. The Invisible Prevalence of Citizen Science in Global Research: Migratory Birds and Climate Change. Guralnick R, editor. *PLOS ONE* 9(9):e106508. doi:10.1371/journal.pone.0106508.

Danielsen F, Burgess ND, Balmford A. 2005. Monitoring Matters: Examining the Potential of Locally-based Approaches. *Biodiversity and Conservation* 14(11):2507–2542. doi:10.1007/s10531-005-8375-0.

Dickinson JL, Zuckerberg B, Bonter DN. 2010. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41(1):149–172. doi:10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636.

Dunn EH, Francis CM, Blancher PJ, Drennan SR, Howe MA, Lepage D, Robbins CS, Rosenberg KV, Sauer JR, Smith KG. 2005. Enhancing the scientific value

of the Christmas Bird Count. *The Auk* 122(1):338–346. doi:10.1642/0004-8038(2005)122[0338:ETSVOT]2.0.CO;2.

Eitzel MV, Cappadonna JL, Santos-Lang C, Duerr RE, Virapongse A, West SE, Kyba CCM, Bowser A, Cooper CB, Sforzi A, et al. 2017. Citizen Science Terminology Matters: Exploring Key Terms. *Citizen Science: Theory and Practice* 2(1):1. doi:10.5334/cstp.96.

Field SA, Tyre AJ, Jonzén N, Rhodes JR, Possingham HP. 2004. Minimizing the cost of environmental management decisions by optimizing statistical thresholds. *Ecology Letters* 7(8):669–675. doi:10.1111/j.1416-0248.2004.00625.x.

Flores-Díaz AC, Ramos-Escobedo MG, Ruiz-Córdova SS, Manson R, Aranda E, Deutsch WG. 2013. Monitoreo comunitario del agua: retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México. México, DF: GWW Recuperado de <http://www.researchgate.net/publication/268803861>.

Fulton S, Caamal-Madrigal J, Aguilar-Perera A, Bourillón L, Heyman WD. 2018. Marine Conservation Outcomes are More Likely when Fishers Participate as Citizen Scientists: Case Studies from the Mexican Mesoamerican Reef. *Citizen Science: Theory and Practice* 3(1):7. doi:10.5334/cstp.118.

Galindo Leal C. 2020. La participación de la sociedad en el conocimiento de la naturaleza o ¿cómo sacar del clóset al naturalista que llevas dentro? Presentación. México Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

García-Alaniz N, Equihua M, Pérez-Maqueo O, Equihua Benítez J, Maeda P, Pardo Urrutia F, Flores Martínez JJ, Villela Gaytán SA, Schmidt M. 2017. The Mexican National Biodiversity and Ecosystem Degradation Monitoring System. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27:62–68. doi:10.1016/j.cosust.2017.01.001.

- Gavito ME, van der Wal H, Aldasoro EM, Ayala-Orozco B, Bullén AA, Cach-Pérez M, Casas-Fernández A, Fuentes A, González-Esquivel C, Jaramillo-López P, et al. 2017. Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:150–160. doi:10.1016/j.rmb.2017.09.001.
- Gibbs JP, Snell HL, Causton CE. 1999. Effective Monitoring for Adaptive Wildlife Management: Lessons from the Galápagos Islands. *The Journal of Wildlife Management* 63(4):1055–1065. doi:10.2307/3802825.
- Gitzen R, Millspaugh J. 2012. Ecological monitoring: the heart of the matter. En R. Gitzen, J. Millspaugh, A. Cooper, & D. Licht (Eds.), *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge: Cambridge University Press:3-22. doi:10.1017/CBO9781139022422.009.
- Gómez JCE, Rubio AO, Zavala JS. 2019. Programa Nacional para Áreas Naturales Protegidas en México en el periodo 2014-2018: análisis de dos de sus objetivos. *Sociedad y Ambiente* (21):33–51. doi:10.31840/sya.v0i21.2038.
- Gurnell AM, England J, Shuker L, Wharton G. 2019. The contribution of citizen science volunteers to river monitoring and management: International and national perspectives and the example of the MoRPh survey. *River Research and Applications* 35(8):1359–1373. doi:10.1002/rra.3483.
- Haklay M. 2013. Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation. In: Sui D, Elwood S, Goodchild M, editors. *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*. Dordrecht: Springer Netherlands. p. 105–122. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7.
- Hampton SE, Strasser CA, Tewksbury JJ, Gram WK, Budden AE, Batcheller AL, Duke CS, Porter JH. 2013. Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(3):156–162. doi:10.1890/120103.

- Hecker S, Bonney R, Haklay M, Hölker F, Hofer H, Goebel C, Gold M, Makuch Z, Ponti M, Richter A, et al. 2018. Innovation in Citizen Science – Perspectives on Science-Policy Advances. *Citizen Science: Theory and Practice* 3(1):4. doi:10.5334/cstp.114.
- Hecker S, Haklay M, Bowser A, Makuch Z, Vogel J, Bonn A, editors. 2018. *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy*. UCL Press.
- Heigl F, Kieslinger B, Paul KT, Uhlik J, Dörler D. 2019. Reply to Auerbach et al.: How our Opinion piece invites collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(31):15338–15338. doi:10.1073/pnas.1909628116.
- Hughes BB, Beas-Luna R, Barner AK, Brewitt K, Brumbaugh DR, Cerny-Chipman EB, Close SL, Coblenz KE, de Nesnera KL, Drobnitch ST, et al. 2017. Long-Term Studies Contribute Disproportionately to Ecology and Policy. *BioScience* 67(3):271–281. doi:10.1093/biosci/biw185.
- Irwin A. 1995. *Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. Psychology Press.
- Irwin A. 2018. No PhDs needed: how citizen science is transforming research. *Nature* 562(7728):480–482. doi:10.1038/d41586-018-07106-5.
- Jardel P, Maass M, Rivera-Monroy V. 2013. *La investigación ecológica de largo plazo en México*. Editorial Universitaria-Universidad de Guadalajara, Mexico.
- Jiménez-Rosenberg R. 2018. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB). [consultada 2020 Abril 23]. <https://www.youtube.com/watch?v=jRDGDOTLUVQ>.
- Kerstes NAG, Breeschoten T, Kalkman VJ, Schilthuizen M. 2019. Snail shell colour evolution in urban heat islands detected via citizen science. *Communications Biology* 2(1):1–11. doi:10.1038/s42003-019-0511-6.

- Kobori H, Dickinson JL, Washitani I, Sakurai R, Amano T, Komatsu N, Kitamura W, Takagawa S, Koyama K, Ogawara T, et al. 2016. Citizen science: a new approach to advance ecology, education, and conservation. *Ecological Research* 31(1):1–19. doi:10.1007/s11284-015-1314-y.
- Koleff P, Jiménez R. 2012. Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad. *Biodiversitas* 4–5(100).
- Kosmala M, Wiggins A, Swanson A, Simmons B. 2016. Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(10):551–560. doi:10.1002/fee.1436.
- Kullenberg C, Kasperowski D. 2016. What Is Citizen Science? – A Scientometric Meta-Analysis. *PLOS ONE* 11(1). doi:10.1371/journal.pone.0147152.
- Kyba CCM, Tong KP, Bennie J, Birriel I, Birriel JJ, Cool A, Danielsen A, Davies TW, Outer PN den, Edwards W, et al. 2015. Worldwide variations in artificial skyglow. *Scientific Reports* 5. doi:10.1038/srep08409.
- Legg CJ, Nagy L. 2006. Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal Environmental Management* 78(2):194–199. doi:10.1016/j.jenvman.2005.04.016.
- Leyva-Ovalle Á, Valdez-Lazalde JR, Santos-Posadas HM de los, Martínez-Trinidad T, Herrera-Corredor JA, Lugo-Espinosa O, García-Nava JR, Leyva-Ovalle Á, Valdez-Lazalde JR, Santos-Posadas HM de los, et al. 2017. Monitoreo de la degradación forestal en México con base en el inventario nacional forestal y de suelos (Infys). *Madera y Bosques* 23(2):69–83. doi:10.21829/myb.2017.2321431.
- Likens GE, Lindenmayer DB. 2018. *Effective ecological monitoring*. CSIRO publishing.

- Lindenmayer DB, Likens GE. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 24(9):482–486. doi:10.1016/j.tree.2009.03.005.
- Lindenmayer DB, Likens GE. 2010a. Improving ecological monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 4(25):200–201. doi:10.1016/j.tree.2009.11.006.
- Lindenmayer DB, Likens GE. 2010b. The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation* 143(6):1317–1328. doi:10.1016/j.biocon.2010.02.013.
- Lindenmayer DB, Likens GE, Andersen A, Bowman D, Bull CM, Burns E, Dickman CR, Hoffmann AA, Keith DA, Liddell MJ, et al. 2012. Value of long-term ecological studies. *Austral Ecology* 37(7):745–757. doi:10.1111/j.1442-9993.2011.02351.x.
- Lovett GM, Burns DA, Driscoll CT, Jenkins JC, Mitchell MJ, Rustad L, Shanley JB, Likens GE, Haeuber R. 2007. Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(5):253–260. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[253:WNEM]2.0.CO;2.
- Lyons JE, Runge MC, Laskowski HP, Kendall WL. 2008. Monitoring in the Context of Structured Decision-Making and Adaptive Management. *Journal of Wildlife Management* 72(8):1683–1692. doi:10.2193/2008-141.
- McDonald T. 2012. Spatial sampling designs for long-term ecological monitoring. En R. Gitzen, J. Millspaugh, A. Cooper, & D. Licht (Eds.), *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge: Cambridge University Press:102–125. doi:10.1017/CBO9781139022422.009.
- McDonald-Madden E, Baxter PWJ, Fuller RA, Martin TG, Game ET, Montambault J, Possingham HP. 2010. Monitoring does not always count. *Trends in Ecology & Evolution* 25(10):547–550. doi:10.1016/j.tree.2010.07.002.

- McKinley DC, Miller-Rushing AJ, Ballard HL, Bonney R, Brown H, Cook-Patton SC, Evans DM, French RA, Parrish JK, Phillips TB, et al. 2017. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation* 208:15–28. doi:10.1016/j.biocon.2016.05.015.
- McKinney JA, Hoffmayer ER, Holmberg J, Graham RT, Iii WBD, Parra-Venegas R de la, Galván-Pastoriza BE, Fox S, Pierce SJ, Dove ADM. 2017. Long-term assessment of whale shark population demography and connectivity using photo-identification in the Western Atlantic Ocean. *PLOS ONE* 12(8):e0180495. doi:10.1371/journal.pone.0180495.
- Medellín C, Corrales L. 2019. Sistemas de monitoreo forestal en México Nota técnica N° IDB-TN-01691. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Meyer CFJ, Aguiar LMS, Aguirre LF, Baumgarten J, Clarke FM, Cosson J-F, Villegas SE, Fahr J, Faria D, Furey N, et al. 2010. Long-term monitoring of tropical bats for anthropogenic impact assessment: Gauging the statistical power to detect population change. *Biological Conservation* 143(11):2797–2807. doi:10.1016/j.biocon.2010.07.029.
- Miller-Rushing A, Primack R, Bonney R. 2012. The history of public participation in ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(6):285–290. doi:10.1890/110278.
- Miller-Rushing A, Primack R, Bonney R, Albee E. 2020. The History of Citizen Science in Ecology and Conservation. En Lepczyk. A, Boyle O, Vargo T. (Eds). *Handbook of Citizen Science in Ecology and Conservation*:17-23. University of California Press.
- Monzón-Alvarado CM, Sánchez-Siordia OG, Roux Michollet D, Zamora Rendón A. 2019. USUMAPPCINTA: mapeo de percepciones locales sobre los

sedimentos de la Cuenca del Río Usumacinta a través de aplicaciones web. "I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas".

Nichols JD, Williams BK. 2006. Monitoring for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 21(12):668–673. doi:10.1016/j.tree.2006.08.007.

Nudds T, Villard M-A. 2009. Is Monitoring Growing Up? *Avian Conservation and Ecology* 4(1). doi:10.5751/ACE-00309-040107.

Ortega-Álvarez R, Sanchez-González LA, Berlanga García H. 2015. Plumas de multitudes: integración comunitaria en el estudio y monitoreo de aves en México. Primera. México D.F: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Owens B. 2013. Long-term research: Slow science. *Nature News* 495(7441):300. doi:10.1038/495300a.

Parrish JD, Braun DP, Unnasch RS. 2003b. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience* 53(9):851. doi:10.1641/0006-3568(2003)053[0851:AWCWWS]2.0.CO;2.

Perevochtchikova M, Aponte Hernández N, Zamudio-Santos V, Sandoval-Romero GE. 2016. Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(6):5–23.

Pocock MJO, Chandler M, Bonney R, Thornhill I, Albin A, August T, Bachman S, Brown PMJ, Cunha DGF, Grez A, et al. 2018. A Vision for Global Biodiversity Monitoring With Citizen Science. *Advances in Ecological Research* 59:169–223. doi:10.1016/bs.aecr.2018.06.003.

Pollock RM, Whitelaw GS. 2005. Community-Based Monitoring in Support of Local Sustainability. *Local Environment* 10(3):211–228. doi:10.1080/13549839.2005.9684248.

- Resnik DB, Elliott KC, Miller AK. 2015. A framework for addressing ethical issues in citizen science. *Environmental Science & Policy* 54:475–481. doi:10.1016/j.envsci.2015.05.008.
- Reynolds J. 2012. An overview of statistical considerations in long-term monitoring. En R. Gitzen, J. Millspaugh, A. Cooper, & D. Licht (Eds.), *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge: Cambridge University Press:23–53. doi:10.1017/CBO9781139022422.005.
- Richter A, Hauck J, Feldmann R, Kühn E, Harpke A, Hirneisen N, Mahla A, Settele J, Bonn A. 2018. The social fabric of citizen science—drivers for long-term engagement in the German butterfly monitoring scheme. *Journal of Insect Conservation* 22(5):731–743. doi:10.1007/s10841-018-0097-1.
- Ruiz-Gutierrez V, Berlanga García HA, Calderón Parra R, Savarino Drago A, Aguilar Gómez MÁ, Rodríguez-Contreras V. 2020. *Manual Ilustrado para el Monitoreo de Aves*. PROALAS: Programa de America Latina para las Aves Silvestres. Primera. Ciudad de México e Ithaca N. Y.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad /Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América, México y Laboratorio de Ornitología de Cornell.
- Shirk JL, Bonney R. 2018. Scientific impacts and innovations of citizen science. In: Hecker S, Haklay M, Bowser A, Vogel J, Bonn A, editors. *Citizen Science - Innovation in Open Science, Society and Policy*. London: UCL Press. p. 41–51. <https://doi.org/10.14324/111.9781787352339>.
- Silvertown J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* 24(9):467–471. doi:10.1016/j.tree.2009.03.017.
- Spellerberg IF. 2005. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press.
- Strasser BJ, Baudry J, Mahr D, Sanchez G, Tancoigne E. 2019. “Citizen Science”? Rethinking Science and Public Participation. *Science & Technology Studies* 32(2):52–76. doi:10.23987/sts.60425.

- Sullivan BL, Aycrigg JL, Barry JH, Bonney RE, Bruns N, Cooper CB, Damoulas T, Dhondt AA, Dietterich T, Farnsworth A, et al. 2014. The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation* 169:31–40. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.003.
- Théau J, Trottier S, Graillon P. 2018. Optimization of an ecological integrity monitoring program for protected areas: Case study for a network of national parks. *PLOS ONE* 13(9). doi:10.1371/journal.pone.0202902
- Tian H, Stige LC, Cazelles B, Kausrud KL, Svarverud R, Stenseth NC, Zhang Z. 2011. Reconstruction of a 1,910-y-long locust series reveals consistent associations with climate fluctuations in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(35):14521–14526. doi:10.1073/pnas.1100189108.
- Tulloch AIT, Possingham HP, Joseph LN, Szabo J, Martin TG. 2013. Realising the full potential of citizen science monitoring programs. *Biological Conservation* 165:128–138. doi:10.1016/j.biocon.2013.05.025.
- van der Velde T, Milton DA, Lawson TJ, Wilcox C, Lansdell M, Davis G, Perkins G, Hardesty BD. 2017. Comparison of marine debris data collected by researchers and citizen scientists: Is citizen science data worth the effort? *Biological Conservation* 208:127–138. doi:10.1016/j.biocon.2016.05.025.
- Vetter J. 2011. Introduction: Lay Participation in the History of Scientific Observation. *Science in Context* 24(2):127–141. doi:10.1017/S0269889711000032.
- Westgate MJ, Likens GE, Lindenmayer DB. 2013. Adaptive management of biological systems: A review. *Biological Conservation* 158:128–139. doi:10.1016/j.biocon.2012.08.016.
- Wiersma YF. 2010. Birding 2.0: Citizen Science and Effective Monitoring in the Web 2.0 World. *Avian Conservation and Ecology* 5(2). doi:10.5751/ACE-00427-050213.

Williams BK. 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management* 92(5):1346–1353. doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.041.

Yoccoz NG, Nichols JD, Boulinier T. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 16(8):446–453. doi:10.1016/S0169-5347(01)02205-4.