



RAFE SAGARIN (1972-2015)
"Esta es mi oficina favorita"
(13 de enero, 2014)

Sobre la versión original

"La ecología observacional demuestra cómo y por qué la conciencia sensorial directa del mundo natural es un puente hacia una comprensión ecológica más profunda. Este es un trabajo pionero para oceaneros, científicos, legisladores y ciudadanos. Le permite al lector combinar la observación disciplinada con la ciencia rigurosa. Explica por qué la inmersión en terreno es clave para comprender e internalizar el cambio ambiental global. Este es una guía brillante y una base para cualquiera que quiera hacer accesible el aprendizaje ecológico".
MITCHELL THOMASHOW, autor de *Bringing the Biosphere Home*, rector emérito, Unity College.

"Este libro es un tratamiento inspirador, estimulante y críticamente necesario sobre cómo usar nuestro poder de observación para expandir el conocimiento ecológico y contribuir con soluciones ambientales prácticas. *Ecología y observación* presenta y desarrolla un enfoque holístico y audaz para la investigación ecológica, realizado a través de nuestra capacidad de integrar diversas señales y patrones. Es una lectura obligada para los ecólogos actuales y futuro".
FLORENZA MITCHELL, profesora, Estación Marina Hopkins, Universidad de Stanford.

"Ecología y observación es un manifiesto oportuno, magníficamente escrito y altamente innovador sobre la importancia de observaciones inteligentes para resolver problemas fundamentales en ecología y gestión ambiental. Disfruté mucho leyendo el libro y lo recomiendo a todos los interesados en comprender el complejo funcionamiento de los ecosistemas en nuestro mundo dominado por los humanos".
DAVID W. RICHARDSON, director del Centro de Invasiones Biológicas, Universidad de Stellenbosch, Sudáfrica.



Universidad de Concepción
Chile



Sagarin • Pauchard

Ecología y observación

Rafe Sagarin y Aníbal Pauchard

Ecología y observación

Ampliando el enfoque de la ciencia para entender un mundo complejo



RAFE SAGARIN (1971 - 2015), ecólogo marino y analista de políticas ambientales, hizo su pregrado en la Universidad de Stanford y su doctorado en la Universidad de California, Santa Bárbara. Obtuvo una beca de gobierno y fue miembro de la Sociedad Geológica de América. Fue profesor de ecología y política ambiental en la Universidad Estatal de California - Bahía de Monterrey, la Universidad de Stanford y la Universidad de California - Los Ángeles. Su investigación apareció en *Science*, *Nature*, *Conservation Biology*, *Ecological Monographs*, *Trends in Ecology and Evolution*, *Foreign Policy*, *Homeland Security Affairs*, entre otras revistas líderes y periódicos. Con Terence Hayes, fue el editor del volumen *Natural Security: A Darwinian Approach to a Dangerous World* (University of California Press, 2008) y el autor de *Learning from the Octopus: How Secrets from Nature Can Help Us Fight Terrorist Attacks, Natural Disasters, and Diseases* (Basic Books, 2012).

ANÍBAL PAUCHARD nació en Santiago de Chile en 1974. Es ingeniero forestal de la Universidad de Concepción (1998) y doctor del College of Forestry and Conservation de la Universidad de Montana, EE.UU. (2002). Desde 2003 trabaja en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, donde actualmente es profesor titular y director del Laboratorio de Invasiones Biológicas (LBI). También es investigador del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB, Chile). Además, es profesor adjunto de la Universidad de Montana. Su investigación se centra principalmente en la ecología y la biogeografía de las invasiones biológicas y sus impactos en la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas. Aníbal ha publicado más de 100 artículos en revistas nacionales, internacionales y capítulos de libros editados, todas relacionadas con ecología y conservación. Desde 2015 ha actuado como Autor Líder del capítulo de Las Américas del Informe de IPBES (Intergovernmental Panel of Biodiversity and Ecosystem Services).

RAFE SAGARIN y ANÍBAL PAUCHARD

Ecología y observación

*Ampliando el enfoque de la ciencia
para entender un mundo complejo*

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Serie CIENCIA

Título original: *Observation and Ecology: Broadening the Scope of Science to Understand a Complex World*,
Rafe Sagarin and Aníbal Pauchard, Island Press, Washington, USA, 2012

Ecología y observación. Ampliando el enfoque de la ciencia para entender un mundo complejo
Rafe Sagarin y Aníbal Pauchard

Primera edición en español, noviembre de 2018
© Universidad de Concepción
Registro de Propiedad Intelectual N° 296.181
ISBN 978-956-227-443-2
Editorial Universidad de Concepción
Biblioteca Central, Of. 11, Campus Universitario
Concepción - Chile, selloeditorial@udec.cl

Copyright © 2012 Rafe Sagarin and Aníbal Pauchard
Published by arrangement with Island Press,
Washington, USA.

Traducido de la versión original por
Consuelo Quevedo Ballesteros

Imágenes de portada: *Honeycreeper Phylogeny* por H. Douglas Pratt, hdouglaspratt.com; 3D Concept with wall clock © mipan, iStockphoto.com; *Whaling Contract—1723*,³ Nicholson Whaling Collection, Providence Public Library Special Collections, <http://pplspcoll.wordpress.com/2009/12/01/early-whaling-contract/>
Diseño de portada: Maureen Gatley, Island Press, de la edición original.

Producción editorial
Oscar Lermenda

Corrección de pruebas
José Uribe M.

Impresión
Trama Impresores S.A.
Hualpén, Chile

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de la presente obra sin la autorización por escrito de los editores.

IMPRESO EN CHILE / PRINTED IN CHILE

CONTENIDOS

Prólogo a la edición en español / vii

Agradecimientos / xi

Prefacio / xvii

Introducción / 1

PARTE I El rol de la observación en la ciencia ecológica / 15

1 Un enfoque de observación en la ecología / 17

2 Enfoques de observación en un contexto histórico / 33

PARTE II Usando observaciones en ecología / 51

3 Utilizando todos los sentidos en ecología / 53

4 Usando la tecnología para expandir nuestros sentidos observacionales / 69

5 Observadores y observaciones ecológicas locales, tradicionales y accidentales / 81

PARTE III Los desafíos planteados por un enfoque de observación / 93

6 Trabajando con demasiadas o muy pocas observaciones / 95

7 ¿Es científica la ecología basada en la observación? / 117

PARTE IV Más allá de la academia: el poder de los enfoques observacionales / 141

8 La renovada importancia de la ecología en la política / 143

9 Acercando la naturaleza a una nueva generación de ciudadanos y ecólogos / 163

Conclusiones / 181

Referencias / 191

Sobre los autores / 213

Sobre los colaboradores / 215

RECUADROS

- 1.1 Historia Natural: La raíz primaria de la ecología / 23
Thomas L. Fleischner
- 1.2 Ciencia ciudadana: Seguimiento del cambio global con la participación pública en la investigación científica / 28
Jake F. Weltzin
- 3.1 La importancia de la sensación / 54
Geerat J. Vermeij
- 3.2 El arte de la ecología: cómo las notas de campo y los bosquejos entregan conocimiento sobre la naturaleza / 61
Anne Salomon y Kirsten Rowell
- 5.1 Conocimiento ecológico tradicional y ecología basada en la observación / 84
Gary Nabhan
- 6.1 Los registros históricos ayudan a entender las invasiones biológicas / 99
Julie Lockwood
- 6.2 Los ricos se vuelven más ricos en ecología de invasiones / 102
Tom Stohlgren
- 7.1 Cambiar de lentes para observar, conservar y convivir con la biodiversidad: casualidad en el extremo sur de las Américas / 124
Ricardo Rozzi
- 7.2 Modelos de distribución de especies basados en datos observacionales / 129
Erica Fleishman, Bret T. G. Dickson, Steven S. Sesnie, and David S. Dobkin
- 8.1 Observación y política: La importancia de estar ahí / 145
Stuart Pimm
- 9.1 Observando especies invasoras y nuevos ecosistemas en áreas urbanas / 169
Brendon Larson
- 9.2 Akshen en las comunidades y el medio ambiente con tecnologías móviles, sociales y geoespaciales / 173
Kristin D. Wisneski and Barron J. Orr

PRÓLOGO A LA EDICIÓN EN ESPAÑOL

Aníbal Pauchard

Pocas veces en la vida uno tiene la sensación de estar haciendo algo excepcional, algo que puede marcar una diferencia, abriendo la puerta para buenas ideas y acciones, no sólo propias, sino de muchos. Afortunadamente, junto a Rafe Sagarin siento haber tenido esa oportunidad.

En el año 2007, leyendo una de mis revistas favoritas de ecología, *Frontiers in Ecology and Evolution*, me topé con una opinión muy clara y directa, lo que conocemos comúnmente como un reply, sobre un artículo publicado en un tomo anterior de esa revista. El artículo en cuestión (Agrawal et al. 2007) establecía una agenda de investigación en ecología de comunidades basada fundamentalmente y de manera casi excluyente en la experimentación acuciosa y controlada y, por lo tanto, dejando fuera otras aproximaciones para el desarrollo de la ecología. El reply de Rafe Sagarin argumentaba que el artículo de Agrawal et al. sufría de un irremediable sesgo al descartar de plano los enfoques observacionales como métodos objetivos de avanzar en el desarrollo de las ciencias ecológicas. No puedo negar la sorpresa y alegría que tuve cuando leí este reply, que sin duda capturaba fielmente mi visión del tema y en particular mi parecer sobre este artículo. Inmediatamente, sin pensarlo, busqué el email de Rafe y le escribí.

No conocía a Rafe Sagarin, ni menos de su carrera ni intereses científicos, sólo sabía que nos unía una suerte de rebeldía hacia el establishment en ecología. Rafe recibió con entusiasmo mi email y empeza-

mos rápidamente a trabajar en un artículo de síntesis para desarrollar y abogar por nuestras ideas sobre el uso amplio y moderno de los enfoques observacionales en ecología. ¿Cuáles eran estas ideas? Básicamente, ambos pensábamos que nos enfrentábamos a un renacimiento de los enfoques observacionales en ecología, y que estos nos permitirían entender mejor los procesos ecológicos a múltiples escalas, especialmente en una era de grave crisis ambiental y bajo la urgencia de responder con rapidez a los desafíos de la sociedad.

Rafe como biólogo marino había estudiado las comunidades intermareales y también marinas del sur de EE.UU. y Baja California, México. Yo, por mi lado, había pasado mi carrera desde mis estudios de biólogo e ingeniero forestal observando las comunidades de plantas de Chile y luego de EE.UU. Ambos teníamos una profunda preocupación por la degradación de estos ecosistemas que veíamos destruirse bajo la influencia de una presión antrópica irracional y, lamentablemente, siempre creciente. Entonces, nos preguntábamos, ¿cómo podremos resolver las preguntas críticas sobre ecología de una manera más integral?, ¿habrá una forma de hacer ecología que vaya más allá de la irrestricta visión reduccionista de los experimentos a pequeña escala y que incorpore otras aproximaciones, incluyendo, por ejemplo, el creciente interés por la historia natural, la ciencia ciudadana y el fascinante desarrollo de las tecnologías de sensoramiento remoto? Hay que entender que tanto Rafe como yo habíamos sido educados bajo el reconocido éxito de la ecología de los 1980s, donde la experimentación se veía como la salvación para esta disciplina, muchas veces considerada una disciplina blanda en comparación con otras ciencias más exactas. Sin embargo, con Rafe creíamos, y aún creo, que como ecólogos podemos hacer mucho más para lograr respuestas sobre el funcionamiento de los ecosistemas y como poder manejarlos y conservarlos de manera más efectiva, y que los enfoques observacionales, es decir aquellas observaciones que hacemos sin manipular los sistemas, son claves para tal objetivo.

Así fue que luego de publicar nuestra propia perspectiva en la revista *Frontiers in Ecology and the Environment* (Sagarin & Pauchard

2010), incluso logrando la portada con una hermosa foto de Rafe de sus moluscos de Baja California, era hora de dar otro paso. Inicialmente pensamos en un libro con capítulos autoreados por estudiantes de postgrado, a quienes nosotros pensábamos debía llegar este mensaje y quienes en general se mostraban más abiertos a lo que Rafe llamaba las *revoluciones* en ecología (yo siempre le dije que eran *evoluciones*). Después de aproximarnos a Island Press, los editores nos recomendaron que fuéramos nosotros quienes escribiéramos el libro. Así lo hicimos. Y lo que ustedes hoy van a leer es el resultado de un arduo trabajo durante dos años de múltiples emails y discusiones vía Skype, Rafe poniendo la elocuencia y yo, la prudencia. Rafe aportando ejemplos marinos; yo, terrestres. Rafe hablando de política y filosofía de la ciencia; yo de psicología y educación.

Al final, ambos quedamos muy satisfechos, ya que además de elaborar nuestro mensaje, pudimos incorporar la visión de numerosos destacados investigadores con amplia experiencia en el aporte de la ecología observacional, como así también de algunos investigadores jóvenes que con creatividad estaban explorando el uso de metodologías observacionales. La versión en inglés de este libro publicada en el año 2012, y presentada en la Reunión Anual de la Sociedad de Ecología de América (ESA), fue muy bien recibida entre los colegas, recibiendo muy buenos reviews en revistas de ecología y conservación. Hay que mencionar que hubo a quienes, no muy numerosos, les incomodó nuestro mensaje. De hecho, algunos pensaron que estábamos atacando el núcleo experimental de la ecología de fines del siglo XX. Creo que nunca fue ese nuestro interés, por el contrario, siempre quisimos mostrar que la ecología observacional habría nuevas puertas, complementarias a los aportes más experimentales, pero que era fundamental para el avance de la ecología mantener un balance entre las aproximaciones experimentales, observacionales y de modelamiento.

En mayo del 2015, y en pleno desarrollo y promoción de nuestras ideas, me encontraba sentado en el aeropuerto de Madrid, cuando recibí un correo electrónico que me informaba de la trágica partida de Rafe. Creo que desde ese momento no ha pasado un día en que no

piense como honrar la obra de Rafe, quien, además de ser un hombre inteligente y perspicaz, fue un gran amigo y, más importante aún, una buena persona con todos a quienes conoció, en especial con su hermosa familia, Rebecca y sus dos hijas, Ella y Rosa.

Poder publicar este libro en español, mi lengua materna, es una segunda instancia de hacer algo extraordinario. Por ello debo agradecer tremendamente a Consuelo Quevedo, quien en su afán inquisidor y también “re-evolucionario” vio en este libro una oportunidad para todos los jóvenes de habla hispana en Latinoamérica y el mundo. Sin su implacable insistencia y su admirable uso de la lengua española, no hubiéramos llegado nunca a este producto.

Para esta edición, hemos querido mantener la forma y el fondo del libro lo más fiel a su versión original en inglés. Por lo tanto, es posible que el lector note algunos anglicismos en la redacción, los cuales hemos intentado minimizar. Sin duda, invitamos a aquellos lectores bilingües a que se atrevan también a revisar la versión original de manera de poder captar esas diferencias sutiles entre ambos idiomas. También, hemos querido mantener el diseño de la portada que fue fruto de un arduo proceso entre Island Press, sus diseñadores y nosotros como autores y que refleja fielmente el espíritu del libro. Por todo ello, agradecemos profundamente que Island Press haya accedido a facilitar la obra completa para su adaptación al español.

Espero que este libro les sirva a todos, jóvenes y no tan jóvenes, de inspiración para mejorar la manera que entendemos y nos relacionamos con el mundo natural, y como seguimos avanzando en el desarrollo de las ciencias ecológicas, siempre teniendo en cuenta que este es el único planeta que, por lo menos por ahora, puede sostener la vida como la conocemos.

AGRADECIMIENTOS

Rafe Sagarin y Aníbal Pauchard están extremadamente agradecidos por las contribuciones reflexivas hechas por todos los autores de los recuadros en cada capítulo. Agradecemos a nuestra editora de Island Press, Barbara Dean, quien mostró una aguda percepción, una cuidadosa atención y una inmensa paciencia durante cada etapa de la producción de este libro. Paul Alaback, Martin Núñez, Brendon Larson, Christoph Kueffer y miembros del Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB) discutieron ideas sobre el libro con nosotros y nos proporcionaron una retroalimentación crítica. Retta Breugger, Benjamin DeGain, Ami Kidder, Laura Marsh, Kristin Wisneski, estudiantes del curso de Rafe sobre ciencia observacional en la Universidad de Arizona, brindaron excelentes ejemplos y comentarios críticos sobre muchas de las ideas que aparecen en este libro.

Rafe agradece el apoyo de una beca de la Fundación John Simon Guggenheim Memorial, que fue fundamental durante la redacción del libro. El Instituto del Medio Ambiente y la Oficina del Vicepresidente de Investigación de la Universidad de Arizona también apoyaron la investigación y redacción de este libro. El Departamento de Colecciones Especiales de las Bibliotecas de la Universidad de Stanford otorgó acceso a los documentos de Edward Ricketts, que se citan en este libro. Las ideas de Rafe sobre el valor de los enfoques de observación han sido moldeadas por dos mentores científicos, Chuck Baxter, profesor emérito en la Estación Marina Hopkins de la Universidad de Stanford,

y Steven Gaines, Decano de la Escuela Bren en la Universidad de California, Santa Bárbara. Chuck ayudó a Rafe a aprender cómo ver el mundo natural de una manera científica y filosófica, y, como consejero de posgrado, Steve le enseñó a Rafe que las buenas preguntas y análisis críticos pueden hacer que la ciencia aflore de todo tipo de observaciones. Finalmente, Rafe desea agradecer a su esposa Rebecca Crocker y a sus hijas, Ella y Rosa, por su paciencia, buen humor y gran ánimo durante la escritura de este libro y en su carrera serpenteante, a veces frustrante y con frecuencia aventurera como ecólogo observador.

A Aníbal le gustaría agradecer a Paula Díaz por su paciencia infinita durante la redacción de este libro y para compartir ideas sobre la conexión entre la psicología y la ecología. A Aníbal le gustaría dedicar este libro a su hijo Benjamín, quien ha sido una fuente de inspiración sin límites y siempre sorprendente al pensar sobre ecología y sociedad. A Aníbal le gustaría agradecer también a Paul Alaback, quien le brindó un excelente ejemplo de naturalista, ecólogo y científico. Aníbal fue parcialmente financiado por el Instituto de Ecología y Biodiversidad a través de las subvenciones CONICYT Basal Funding grant PFB-23 e Iniciativa Científica Milenio del Ministerio de Economía de Chile, una subvención P05-002. Un agradecimiento especial a la beca MECESUP y la Universidad de Concepción, que financió la estadía de Aníbal en la Universidad de Arizona.

Agradecimientos de la edición en español

Aníbal Pauchard quiere agradecer la colaboración de diversas personas en el logro de esta edición al español. A la Editorial Island Press por facilitar la transferencia de los derechos de autor, además de los archivos originales que incluyen el diseño gráfico de la portada y las figuras del libro. A Consuelo Quevedo por una eficiente y acuciosa labor de traducción. A Rebecca Crocker por siempre mostrarse optimista con la idea de honrar la memoria de Rafe con esta versión en español. A Óscar Lermenda y a la Editorial de la Universidad de Concepción por acoger y respaldar esta idea, y realizar la diagramación. A Paulina Sán-

chez por ayudar en la edición final de esta edición. A los integrantes del Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB); a CONICYT PIA APOYO CCTE AFB170008 del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), y a Julia Cortés por revisar y comentar los borradores de la traducción de la versión al español. Al Proyecto CONICYT PFB-23 del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), que financió parcialmente el trabajo de traducción de Consuelo Quevedo.

Ecología y observación

P R E F A C I O

Paul K. Dayton

Lo mejor de la ciencia no consiste en modelos matemáticos y experimentos, como los libros de texto lo hacen ver. Esos vienen más tarde. Surgen a partir de un modo de pensamiento más primitivo, en el que la mente del cazador entretiene ideas de hechos antiguos, metáforas frescas y las locas imágenes revueltas de cosas recientemente vistas. Avanzar es inventar nuevos patrones de pensamiento, que a su vez dictan el diseño de los modelos y experimentos. Fácil de decir, difícil de lograr.

E. O. Wilson, *The Diversity of Life* (1992)

Las observaciones hábiles son la base de la ciencia ecológica. Los ecosistemas son complejos y confusos. Están compuestos por un gran número de especies y un gran número de interacciones en las que las relaciones no son lineales y se caracterizan por muchos umbrales. Debido a que los mejores enfoques no siempre son obvios, nos basamos en técnicas analíticas clásicas de simplificación, análisis y síntesis. Cada paso depende absolutamente de buenas observaciones de la historia natural. El proceso de simplificación de la naturaleza es difícil pero esencial. El principal objetivo de la ciencia es hacer generalizaciones interesantes y precisas sobre la naturaleza, basándose en los pocos parámetros relevantes que sean necesarios: toda la naturaleza está relacionada de algún modo, y los parámetros marginalmente importantes deben eliminarse para centrarse en los parámetros esenciales para la generalización. Descubrir la simplificación adecuada es un componente crítico del proceso científico.

Nuestro objetivo es comprender los procesos, no solo los patrones que estudiamos mediante el uso de observaciones. Uno se basa en las agudas observaciones de expertos naturalistas para definir hipótesis sobre los procesos que parecen ser particularmente importantes, y estas hipótesis se prueban de muchas formas legítimas que dependen

de la comprensión correcta de la naturaleza. Idealmente, los modelos se crean para generalizar los procesos que han surgido de las pruebas. Cada paso depende de las observaciones de la naturaleza, y un buen ecólogo debe tener una mente sintética amplia, habilidad para practicar inferencia fuerte y sentido de pertenencia o sentimientos por la naturaleza (es decir, debe ser respetuoso, alerta, observador e intuitivo).

Estos procedimientos se entienden bien, pero muchos han lamentado el hecho de que poderosas herramientas moleculares y analíticas se han unido a modelos teóricos generales que en realidad no están basados en la naturaleza. Si bien estos enfoques teóricos pueden ser muy poderosos, la comprensión real y las soluciones a los problemas ambientales deben basarse en la biología de la historia de vida, una profunda comprensión de la taxonomía, la identificación de interacciones fuertes y una apreciación intuitiva de la compleja dinámica de los ecosistemas. Lamentablemente, esta última experiencia ha caído en desgracia en el mundo académico. Un problema común es que las hipótesis se basan y se prueban con simplificaciones y suposiciones inapropiadas, debido a la falta de historia natural sólida. El peligro es que las suposiciones erróneas pueden ser medibles y precisas, estéticamente agradables y aparentemente útiles, pero las hipótesis pueden ser irrelevantes para el mundo natural y/o hacer las predicciones correctas por las razones equivocadas.

El progreso real en la comprensión de la naturaleza debe basarse, en primer lugar, en una profunda sensibilidad a los patrones y procesos naturales en amplias escalas en el espacio y el tiempo, además, en una comprensión profunda de la literatura y las poderosas herramientas necesarias para probar y generalizar los resultados de investigaciones científicas. Nuestro éxito como científicos depende de la integración exitosa de la teoría general y la historia natural. Este libro está dedicado al objetivo de recuperar el respeto por las excelentes observaciones de la naturaleza. Tales observaciones son fundamentales para cada componente del proceso que conlleva hacer una investigación ecológica significativa. Este libro debe ser leído y apreciado particularmente por ecólogos y por todos los docentes de biología.

Un tiempo de cambio y adaptación en ecología

Todos nosotros vivimos en un momento de transformación: los cambios económicos, sociales, políticos y ambientales nos desafían constantemente y en todas partes. Parece obvio, entonces, que la ciencia de la ecología, que se ocupa de la compleja red de relaciones entre los organismos y el mundo biogeoquímico en el que vivimos, también debería estar en un período de transformación. Los métodos, objetivos, participantes e incluso la filosofía de la ecología están cambiando. Los cambios que estamos viendo ahora provienen de una convergencia de desafíos ambientales sin precedentes y nuevas oportunidades notables para estudiar los sistemas ecológicos. Tanto la señal de este cambio en la ciencia ecológica como el vehículo para la transformación continua es cómo utilizamos la *observación* para descubrir nuevos fenómenos, lograr la comprensión ecológica y compartir ideas ecológicas.

Este libro trata de aprovechar el poder de la observación para participar en este momento único del estudio de la ecología. En esencia, toda la ecología se trata principalmente de la observación de la naturaleza, pero en la realidad de la ecología académica, las observaciones se transforman rápidamente en teorías que se prueban en una computadora o en tratamientos experimentales de campo o en un laboratorio donde se manipulan para probar hipótesis bien definidas. Estas son formas importantes de lograr la comprensión ecológica, métodos que han dominado la ecología durante más o menos el último medio siglo, pero

tienen limitaciones que se hacen evidentes a medida que van cambiando los sistemas ecológicos.

Aquí nos centramos en la “ecología basada en la observación”, que definimos como la ecología que se basa en observaciones de sistemas que no han sido manipulados con fines científicos. Esta es una definición amplia que abarca una variada gama de poderosas formas de observar y dar sentido a los sistemas ecológicos. Descubrir estos enfoques, sus fortalezas y sus debilidades, es de lo que trata este libro.

¿Cómo se ven este tipo de observaciones? Pueden ser las notas de campo de los naturalistas sobre el momento de las floraciones de primavera, los registros de antiguos barcos balleneros que documentan la extensión de campos de hielo o imágenes de satélite de muy alta resolución que recopilan datos sobre la productividad primaria. Pueden referirse a las preguntas ecológicas más básicas como “¿Por qué las estrellas de mar presentan diferentes colores?”. O las preocupaciones socioecológicas más apremiantes, como “¿Qué tan rápido se propagará la gripe aviar?”. Pueden centrarse intensamente en una proteína en particular y lo que dice sobre el entorno de un animal, o pueden abordar la interacción de una población, los nutrientes y los ciclos de temperatura a lo largo de décadas y continentes enteros. Estas observaciones pueden ser producto de programas de monitoreo a largo plazo patrocinados por el gobierno, los esfuerzos colectivos de los ciudadanos que cuentan aves en su vecindario cada Navidad, o las historias de viejos pescadores que han documentado meticulosamente cambios en sus bancos de pesca durante décadas. En otras palabras, las observaciones que se están volviendo críticas para la comprensión ecológica de hoy en día pueden provenir de cualquier parte y de cualquier persona, incluso si se han tomado con un propósito completamente diferente, a menudo no científico. Además pueden incluir desde las escalas más pequeñas hasta las más amplias, siendo un registro instantáneo de momentos únicos en la historia de la Tierra o largas series de observaciones realizadas durante décadas, siglos o milenios.

¿Cómo utilizamos estas observaciones? Algunos enfoques observacionales simplemente proporcionan nuevos descubrimientos sobre los sistemas ecológicos y, por lo tanto, no son muy diferentes del enfoque

de los primeros exploradores y naturalistas. A menudo, sin embargo, estamos construyendo una comprensión de la dinámica ecológica al correlacionar un conjunto de datos observados con otros, como observar la relación a largo plazo entre los aumentos de la temperatura y el avance de los eventos primaverales, como la gemación y la migración. A veces estamos verificando las observaciones contra un patrón esperado, como por ejemplo, cuando observamos los rangos geográficos de las mariposas a través del tiempo para ver si cumplen con la expectativa de que a medida que el clima se calienta, los rangos de especies se desplazarán hacia los polos más fríos. Y dado que vivimos en un planeta cambiante, las observaciones son valiosas por su capacidad para documentar estos cambios, especialmente en las últimas décadas, a medida que las huellas de los humanos en la Tierra se vuelven cada vez más difíciles de ignorar. Las concentraciones variables de ozono en la atmósfera superior sobre el polo sur, los patrones de oscilaciones de El Niño y la propagación de una plaga agrícola invasora a través de un paisaje son todos ejemplos de transformaciones incontrolables que pueden estudiarse observacionalmente.

¿Son los tipos de observaciones de las que estamos hablando, “científicas”? Usualmente, las observaciones tomadas como parte de un experimento no reciben este escrutinio, porque tendemos a pensar que la experimentación y la manipulación de los datos están en el centro de lo que es la ciencia y el quehacer científico. Tal observación sólo existe porque un científico ideó una forma de probar una hipótesis y luego registró lo que resultó. Pero el tipo de observaciones que estamos discutiendo en este libro se puede poner en un contexto científico antes o después, incluso a veces mucho tiempo después.

Debido al carácter, a menudo no planificado, de cómo se hacen estas observaciones, se debe tener mucho cuidado en su interpretación. Por lo general, ningún científico prepara o planifica de antemano exactamente qué observaciones hacer. Incluso en el caso de los datos a largo plazo de un programa de monitoreo diseñado por científicos, las observaciones suelen usarse de forma inesperada.

En muchos casos los tipos de observaciones que discutimos aquí también son incontrolables: muchas variables, como la depredación,

los factores climáticos, el tamaño de la población y quizás los impactos humanos interactúan en grandes escalas de tiempo y espacio en conjuntos de datos de observación. A menudo no pudimos elegir cuáles de estas variables formaron parte del conjunto de datos y cuáles fueron controladas. Sin embargo, en algunos casos, existen controles “naturales” que se pueden usar para evaluar los efectos de una variable de interés (Diamond y Robinson 2010). Por ejemplo, el área ahora restringida alrededor de la planta nuclear de Chernobyl en Ucrania, que explotó en 1986, es un tipo de control sobre los impactos de los humanos en la vida silvestre. Sin humanos presentes durante 25 años, ahora podemos observar una proliferación de vida silvestre e incluso la evolución selectiva de organismos sin impactos humanos (Mycio 2006).

Sin embargo, en la mayoría de los casos, cuando las comparaciones controladas no son inherentes a los datos, corresponde al ecólogo realizar controles después del hecho dividiendo los datos de manera que se aislen los diferentes factores. Por ejemplo, cuando Rafe estudió los cambios en las comunidades de las pozas intermareales de la Bahía de Monterrey entre 1930 y 1993, obviamente no pudo controlar factores como la calidad del agua durante las seis décadas intermedias, pero pudo observar cómo se desempeñaron los organismos filtradores (que serían más afectados por cambios en la calidad del agua que otros animales) en relación con carroñeros o depredadores.

A pesar de las opciones para lidiar con variables no controladas ni manipuladas, la ecología basada en la observación aún plantea la pregunta: “¿Qué es la ciencia?” —y debajo de esa pregunta se encuentran otras incertidumbres que ponen nerviosos a algunos científicos. ¿Cómo se puede confiar en las reflexiones de un viejo naturalista muerto? ¿Cómo se pueden replicar las observaciones de una flota ballenera retirada? ¿Qué pueden decirnos las imágenes tomadas a millas de distancia de la Tierra sobre los mecanismos de las interacciones ecológicas en el suelo? Estos tipos específicos de preguntas reflejan una crítica más general de los enfoques observacionales. Esta línea de crítica enfatiza que no podemos acceder a los mecanismos que subyacen a los fenómenos ecológicos simplemente observándolos. O que las observaciones de naturalistas y pescadores son solo anecdóticas “historias de así fue” que

pueden sonar interesantes, pero que no equivalen a pruebas contundentes, confunde en lugar de resolver cuestiones ecológicas. Según este punto de vista, las observaciones equivalen a “coleccionar estampillas”, un pasatiempo sin un propósito mayor. Y siempre existe la advertencia, escuchada muchas veces en las críticas de nuestro propio trabajo, de que “la correlación no implica causalidad”. Todos estos argumentos tienen raíces legítimas, y ninguno de ellos puede descartarse con una sola defensa general, en otras palabras, se deben aplicar a cada estudio de observación. Al mismo tiempo, ninguno de estos argumentos es fatal para la premisa de que los enfoques de observación, incluso sin manipulaciones experimentales, pueden ser una fuente legítima de conocimiento científico ecológico.

En muchos casos, los enfoques observacionales pueden ser la única forma de entender algunos fenómenos ecológicos, especialmente a medida que esos fenómenos crecen en escala o se vuelven más inseparables, en sus causas y efectos, de la actividad humana. Argumentamos en este libro que nuestras habilidades de observación innatas son enormemente poderosas y subutilizadas. Creemos que estas habilidades se pueden entrenar para ser mejores, e incluso cuando nuestras habilidades de observación agudamente entrenadas alcanzan sus límites, podemos extenderlas aún más, expandiendo la escala y resolución de nuestras observaciones, fusionando nuestros sentidos innatos con las nuevas tecnologías. También rechazamos la noción de que nuestras habilidades de observación son demasiado propensas a los prejuicios como para ser confiables. De hecho, argumentamos lo contrario: a través del proceso de convertirnos en observadores más astutos del cambio ambiental a múltiples escalas de espacio y tiempo, nos volvemos más conscientes de nuestros posibles sesgos y, por lo tanto, somos más capaces de dar cuenta de ellos.

En las últimas décadas ha habido una creciente cantidad de investigación ecológica basada principalmente en datos de observación. El cambio en la ecología hacia la adopción de métodos de observación no es especulativo ni una tendencia pasajera, tanto cuantitativa como cualitativamente es muy real. Ya hay tendencias discernibles en las publicaciones científicas que indican este cambio; por ejemplo, tres revistas

líderes revisadas por pares actualmente publican un mayor porcentaje de estudios basados en la observación que hace 20 años, tal como discutimos en el Capítulo 2. A pesar de las malas condiciones económicas, surgen nuevos conjuntos de datos observacionales y esquemas de monitoreo a largo plazo.

Pero gran parte del cambio en la ecología no se cuantifica fácilmente. Esto se debe en parte a lo que sucede en el nivel de los estudiantes que desean tener una visión amplia de los métodos y los resultados de su investigación, pero cuyas contribuciones están subrepresentadas en el “fenotipo” general o apariencia exterior de la ciencia ecológica. Los estudiantes a veces se interesan en los métodos de observación arrasando a sus asesores hacia sus “nuevas” formas de hacer ecología. Pero estos estudiantes no están solos. Incluso los ecólogos que han construido carreras enteras con enfoques experimentales ingeniosamente diseñados están redescubriendo y defendiendo el poder de la observación. Además, la necesidad de abordar rápidamente los problemas mundiales está forzando a los ecólogos a saltar a las aguas impredecibles de la ecología basada en la observación.

En conjunto, todo esto significa que hay un impulso detrás de la expansión de los enfoques observacionales en ecología, y predecimos que continuarán desempeñando un papel más importante en la ecología. Pero hay dos características inusuales de este crecimiento. Primero, no creemos que este crecimiento deba hacerse a expensas de otros enfoques en ecología. Una mayor apreciación del poder de los estudios observacionales no significa que suplantarán los enfoques experimentales o teóricos. De hecho, ocurrirá todo lo contrario: abrazar la observación hace que los métodos experimentales sean más valiosos y eficientes porque en vez de tratar de responder preguntas que se abordan mejor mediante observaciones no manipuladas, los experimentos pueden usarse estratégicamente para llenar los vacíos que quedan una vez que se han realizado muchas observaciones en torno a un problema. Los enfoques observacionales también hacen que la teoría sea más valiosa porque proporcionan una vía de validación a partir de datos reales. Vemos este crecimiento de la observación como algo que estará completamente integrado dentro de la ecología. No hay necesidad de

declarar un nuevo campo de la ecología en la forma en que “biología de la conservación” o “ecología molecular” tienen sus propios cursos, revistas y sociedades lingüísticas y profesionales especializados. Más bien, el poder más importante de los enfoques observacionales es su potencial para crear una mejor integración dentro de la ciencia ecológica y entre la ciencia ecológica y el mundo en general.

El otro aspecto radica en que la ecología basada en la observación atraerá a más personas e ideas al mundo de la ecología, tanto por su simplicidad como por su complejidad. La simplicidad de salir a la naturaleza para contar, medir, observar y registrar abre la ecología a un mundo no elitista, no profesional, donde las personas que no se pasan la vida como ecólogos pueden, no obstante, contribuir a la ciencia ecológica como colectores de datos y consumidores de ideas ecológicas que luego pueden difundir e inculcar en otras disciplinas, como la política y el arte. El lado complejo de la ecología basada en la observación es un desafío que ya está siendo abordado por todo tipo de científicos que pueden no considerarse ecólogos, desde matemáticos con nuevos enfoques para el manejo de datos, biólogos moleculares con nuevas técnicas para observar relaciones ecológicas a escalas inferiores, hasta científicos del espacio que están diseñando nuevas misiones a los asteroides para estudiar la ecología de la Tierra primitiva.

Lo que encontrarás en este libro

En este libro abordamos cuatro desafíos principales. Primero, queremos dar una idea clara de cuáles son los enfoques observacionales de la ecología y dónde encajan en el contexto de la naturaleza cambiante de la ciencia ecológica. En segundo lugar, queremos considerar toda la gama de capacidades de observación que tenemos a nuestra disposición, desde nuestras capacidades de observación innatas (que van más allá de lo que podemos ver) hasta nuestras tecnologías y los muchos observadores entusiastas del mundo que ni siquiera se consideran científicos o ecólogos. En tercer lugar, queremos analizar los desafíos y las dificultades prácticas de utilizar un enfoque principalmente observa-

cional para lograr una comprensión científica del mundo ecológico. Finalmente, queremos mostrar cómo las observaciones pueden ser un puente entre la ciencia ecológica y la educación, la política ambiental y la gestión de los recursos naturales. El libro está dividido en cuatro partes que reflejan estos desafíos.

La Parte I establece el marco para comprender el papel de la ecología basada en la observación como parte de una iniciativa científica y social. En el Capítulo 1 establecemos cómo es la ecología basada en la observación, cómo se relaciona con su ascendencia en la historia natural y por qué es diferente del modo experimental dominante en la forma de hacer ecología. Ilustramos el alcance de los enfoques de observación, utilizando ejemplos de nuestro propio trabajo y otros para demostrar que los enfoques de observación se pueden utilizar en una amplia gama de actividades relacionadas con la ciencia ecológica. Vamos a delinear el (a veces sorprendente) rango de fuentes de datos, desde concursos de apuestas en Alaska hasta los registros eclesiásticos centenarios, que ya han contribuido a nuestra comprensión moderna del cambio ecológico. En el Capítulo 2 rastreamos la historia cíclica que han tenido los enfoques observacionales dentro de la ciencia ecológica formal, desde finales del siglo XIX cuando, por ejemplo, el naturalista Teddy Roosevelt se quejó de sus estudios en Harvard que “la tendencia era tratar como no serio, ni científico, cualquier tipo de trabajo que no se llevase a cabo con minuciosidad en el laboratorio” (Millard 2006), a la reciente reactivación del interés en la historia natural como un modo válido de investigación científica (por ejemplo, Greene 2005, Dayton 2003). Este capítulo nos llevará a la confluencia actual, donde tanto la historia natural tradicional como los nuevos enfoques observacionales que hubieran sido ajenos a los primeros historiadores naturales, están asumiendo un papel más respetable dentro de las ciencias ecológicas actuales.

La Parte II aborda el “cómo” de la ecología basada en la observación. Comenzamos en el Capítulo 3 ilustrando la importancia de utilizar múltiples sentidos de observación para lograr la comprensión ecológica. Usando ejemplos como las notables habilidades de observación del paleontólogo Geerat Vermeij a pesar de su ceguera permanente, demostramos que existe abundante información ecológica más allá de

nuestro campo visual. En el Capítulo 4 discutimos cómo ampliar nuestras capacidades de observación mediante la revisión de nuevas tecnologías que nos permiten expandir nuestros sentidos de observación innatos en las dimensiones del espacio, tiempo y espectros sensoriales. Los sensores remotos, por ejemplo, nos permiten ver cambios fenológicos y el avance de especies invasoras en regiones enteras y a diferentes escalas espaciales (Pauchard y Shea 2006). La biología molecular, que en el siglo XX causó una profunda brecha entre naturalistas y biólogos supuestamente más “rigurosos” (Wilson 1994), se presta a enfoques de observación que ahora se integran completamente con estudios ecológicos (p. Ej., Kozak, Graham y Wiens 2008; Alter, Rynes y Palumbi 2007; Sagarin y Somero 2006). Los sensores transportados por animales están convirtiendo esencialmente a los animales en observadores del mundo natural y en el proceso derrumbando suposiciones históricas sobre la ecología básica incluso de organismos altamente estudiados (Moll et al. 2007; Block 2005). Aquí consideramos a la metáfora del ecólogo Carlos Martínez del Río como el “cyborg ecológico” (Martínez del Río 2009), un organismo que combina las habilidades de observación de un científico, la pasión de un naturalista y la perspicacia técnica de un robot. En el Capítulo 5 argumentamos que el resurgimiento de los enfoques observacionales presenta una oportunidad sin precedentes para crear una ciencia ecológica más inclusiva, una tendencia que se hace evidente en la gran consideración actual a las formas locales y tradicionales de conocimiento ecológico, en el surgimiento de programas de ciencia ciudadana que son a la vez una herramienta educativa y una fuente de datos importante, y críticamente, en una aceptación de las metodologías de las ciencias sociales.

Este libro está destinado a ser un manual sobre las promesas y las trampas del creciente papel de la observación en la ecología. Por lo tanto, en la Parte III nos esforzaremos por abordar las deficiencias conocidas y potencialmente desconocidas de los enfoques observacionales. En el Capítulo 6 tratamos con las preguntas prácticas que surgen: ¿cómo podemos lidiar con la avalancha de datos que a menudo viene con los enfoques de observación? O, por otro lado, ¿cómo podemos lidiar con conjuntos de datos irregulares, a menudo recopilados por

observadores hace mucho tiempo? ¿Cómo podemos hacer ecología basada en la observación en circunstancias adversas, especialmente en el mundo en desarrollo, donde la ecología es a la vez pobre en recursos y en datos? Tales preguntas surgen en cierto grado en toda la ciencia, pero son especialmente agudas cuando existen restricciones significativas a la escala de los estudios ecológicos o al tipo de generalizaciones que se puede extraer de ellos. Argumentaremos en este libro que ya no podemos contar con poder manipular todas las variables que deseamos si vamos a avanzar en ecología, pero hacer ciencia sin manipulación revive muchas preguntas que condujeron inicialmente a la ecología hacia el experimentalismo. En el Capítulo 7 abordaremos estos desafíos de la misma forma en que los experimentamos como ecólogos observacionales, como preguntas difíciles que surgieron durante el curso de la planificación de nuestra investigación, luego de largas horas llenas de dudas en terreno, o como las críticas que recibimos cuando comenzamos a compartir nuestro trabajo (y en nuestras primeras presentaciones fueron abordados por asesores, miembros del comité de graduados y profesores despiadados). ¿Cuándo las correlaciones entre los datos son lo suficientemente fuertes como para ser científicamente defendibles? ¿Podemos hacer ciencia sin hipótesis claras? ¿Y cómo podemos descubrir los mecanismos subyacentes de las interacciones ecológicas cuando todo lo que tenemos es lo que se ha observado?

La Parte IV se enfoca en lo que se puede hacer con todas estas observaciones y cómo pueden tener un impacto real en nuestra sociedad, yendo más allá de las vías tradicionales de publicación académica y presentaciones en conferencias. Una vez más, volvemos al poder potencial de los estudios basados en la observación para afectar la educación, las políticas y la gestión relacionadas con los recursos naturales y el cambio ambiental. En el Capítulo 8 argumentamos que los enfoques de observación pueden ser especialmente influyentes e informativos para los debates sobre políticas ambientales. Consideramos que los enfoques de observación no solo transmiten la información técnica necesaria para tomar decisiones políticas sólidas y claras, sino que también influyen en los aspectos emocionales y sociológicos de la formulación de políticas de una manera que otros pocos tipos de ciencia pueden. En el Capí-

tulo 9 argumentamos que las mismas reacciones viscerales que pueden ubicar los estudios observacionales en el centro de los debates sobre políticas también hacen que los estudios basados en la observación sean adecuados para la educación pública mejorando nuestras capacidades para relacionarnos con la naturaleza, sus problemas ambientales y de conservación. Tanto en la recopilación y el análisis de datos de la naturaleza como en la presentación de estudios ecológicos basados en la observación, los enfoques observacionales se traducen naturalmente en narrativas y metáforas convincentes que pueden comunicarse en una variedad de medios. Esto incluye la educación formal e informal en ciencias, desde revitalizar los sencillos cursos de campo basados en la historia natural hasta películas de naturaleza que usan sensores transportados por animales para revelar la ecología de organismos a los que pocos han tenido acceso previamente.

Concluimos considerando algunas de las propiedades emergentes de un enfoque observacional de la ecología. ¿Cómo podemos adoptar enfoques de observación para alejarnos de nuestros laboratorios y computadoras y volver a la apreciación de la naturaleza que impulsó la mayoría de nuestras carreras en la ciencia? Y, asimismo, ¿cómo puede la sociedad acercarse a la naturaleza al adoptar algunos principios básicos de la ecología basada en la observación?

A diferencia de un libro de texto, este libro combinará el análisis bastante serio de cuestiones como la filosofía de la ciencia con reflexiones muy personales de nuestro entusiasmo por los estudios observacionales y las dificultades que hemos tenido trabajando de una manera que aún no es parte de la corriente principal de la ecología científica. Además, aunque usamos análisis cuantitativos cuando es posible, muchos de los mensajes que esperamos transmitir serán contados a través de historias, que argumentamos (en el Capítulo 7) son medios válidos para expresar pensamientos científicos. Algunas de estas historias vendrán de algunos de los ecólogos más creativos que conocemos, quienes han escrito cuadros de textos complementarios en cada uno de los capítulos del libro. Esperamos, entonces, que leer este libro sea una experiencia amena y cautivadora.

El espíritu de este libro es que están surgiendo grandes e importan-

tes preguntas en vastos periodos de tiempo y espacio en nuestro planeta en constante cambio y que una creciente dependencia de la ecología basada en la observación —una tendencia que ya está ocurriendo— puede permitirnos finalmente responder estas preguntas. Esperamos que nuestra aproximación hacia ciertos temas a veces controvertidos rompa las viejas barreras entre los enfoques experimentales y de observación. Reconocemos que las manipulaciones experimentales han jugado y siempre seguirán desempeñando un papel vital en la ecología. Así como hay preguntas que los experimentos no pueden responder, también existen preguntas que las observaciones simples nunca podrán responder. De hecho, sostenemos que los estudios ecológicos más sólidos combinarán enfoques observacionales y experimentales en un intercambio iterativo entre las formas de lograr la comprensión ecológica.

Esperamos que la lección más importante de este libro sea que estamos ante un momento increíblemente emocionante para participar en la ciencia de la ecología. Estamos en medio de una nueva era de descubrimiento. Los avances en tecnologías de observación han documentado nuevas especies e incluso filos completos de organismos (Bourlat et al. 2006) y han revelado nuevos descubrimientos sorprendentes sobre especies tan familiares como las ardillas (Rundus et al. 2007), tan valoradas como el atún rojo (Block et al. 2005), y tan veneradas como las enormes ballenas (Alter, Rynes y Palumbi 2007). Los descubrimientos que se están realizando son asombrosos y aterradores. Además, la participación creciente de los no científicos en la observación ecológica (véase el Capítulo 5) está borrando la frontera entre científicos y no científicos. Y los enfoques observacionales permiten una transición más directa entre la ciencia en la práctica y la ciencia a la vista del público, disolviendo el límite percibido entre la comunicación científica y la comunicación pública. La ecología basada en la observación se construye a partir de historias que surgen directamente de las observaciones; cuando reporteros de periódicos, escolares, cineastas y funcionarios públicos nos preguntan “¿qué está pasando con este sistema?”, podemos comenzar a responder directamente, no con una explicación técnica y altamente calificada que depende de un escalamiento dudoso de los resultados de un metro cuadrado a miles de kilómetros cuadra-

dos, pero con una llamada directa para simplemente mirar los datos. Y finalmente, los límites que definen lo que se puede estudiar en ecología científica también están desapareciendo. Incluso los departamentos de ecología de las universidades más tradicionales y serias, ahora se encuentran llenas de estudiantes y profesores jóvenes interesados en temas como economía, derecho, política pública, historia y antropología para guiar sus investigaciones. Un efecto secundario inesperado de esto es que los ecólogos de hoy, especialmente los estudiantes, se liberan de la presión de “encontrar resultados publicables” a partir de experimentos que tienen un alcance bastante limitado. Por el contrario, a medida que un conjunto de variables cada vez mayor se vuelve disponible para su examen, las oportunidades para el descubrimiento fortuito de algo completamente inesperado son tan grandes como lo fueron cuando Darwin navegó alrededor del mundo en el *Beagle*.

Al igual que en los primeros días del descubrimiento ecológico, ahora hay razones profundamente apremiantes para abrazar la ecología basada en la observación. El planeta está cambiando, en muchos casos como resultado de nuestra incapacidad para administrar los sistemas naturales, pero ahora tenemos una mejor capacidad para comprender los patrones, la magnitud de esos cambios y compartir ese conocimiento con personas de todo el mundo.

EL ROL DE LA OBSERVACIÓN EN LA CIENCIA ECOLÓGICA

La ecología siempre ha sido una ciencia basada en la observación del mundo natural, entonces, ¿qué ha cambiado que ahora nos debería llamar la atención el acto de observación en un contexto científico? En una palabra, Todo. Darse cuenta de cuán profundos son los cambios en nuestro ambiente y en nuestra forma de estudiar el medio ambiente requiere poner la ecología en su contexto. La parte inicial de este libro examina las antiguas raíces de la ecología en la historia natural, sus manifestaciones más modernas como una ciencia rigurosa que se ha consolidado en las instituciones académicas y su actual trayectoria para convertirse en una ciencia multidisciplinaria, que es más integrada con las actividades y preocupaciones de la sociedad.

En el Capítulo 1 exponemos la premisa de que la ecología siempre ha sido una ciencia adaptativa y se argumenta que mientras la ecología inicialmente experimental nos ha servido bien en el siglo XX, las condiciones actuales presionan la ecología a adaptarse a un nuevo nicho donde las observaciones generales son un medio cada vez más importante y a veces único, para comprender un mundo complejo. En el Capítulo 2 profundizamos un poco más en la historia de las observaciones en la ecología, con el fin de entender cómo las ciencias ecológicas han evolucionado y explicar por qué las observaciones son ahora más relevantes y más poderosas que nunca antes.

Un enfoque de observación en la ecología

Para entender cómo la ecología nos servirá en esta era de acelerados cambios medioambientales, necesitamos entender que la ecología no es una disciplina estática. Está continuamente adaptándose ante el cambiante mundo en que los ecólogos se encuentran viviendo y trabajando. Este capítulo trata sobre la más reciente adaptación en ecología, que puede verse en un incremento de uso y diversidad de enfoques de observación para comprender fenómenos ecológicos. Esta adaptación, tal como las adaptaciones graduales en la naturaleza, no ha creado una entidad completamente nueva e irreconocible, más bien ha crecido recursivamente desde los inicios de la ecología. En consecuencia, discutimos primero qué era la ecología durante gran parte de su existencia y luego exploramos la urgencia del cambio ambiental y la oportunidad de cómo estudiar ese cambio sin precedentes, es proporcionar un camino para la adaptación de la ciencia de la ecología.

La ecología como una ciencia experimental

Una de las características relevantes de la ecología desde mediados del siglo XX ha sido la importancia de los métodos experimentales. Esto en sí mismo fue una evolución de los métodos ecológicos anteriores. Durante este tiempo, la ecología dejó atrás su etapa exploratoria y progresó a través de avances graduales mediante experimentos inteligentemente diseñados y cuidadosamente controlados a escalas relativamente pe-

queñas para aislar los mecanismos subyacentes de varios fenómenos ecológicos. Esta es una atractiva manera de hacer ciencia. Mediante la creación de experimentos que modifican sólo un pequeño número de variables y controles estrictos, a menudo se puede determinar con cierta certeza que un determinado factor causal conduce a un cambio ecológico particular. Por ejemplo, un experimento para observar los efectos de la depredación se establecería levantando barreras alrededor de una parcela para mantener a los depredadores afuera y el control sería parcelas donde los depredadores vagan libremente. Además, puede haber controles en el equipo experimental, tales como barreras parciales que dejen a los depredadores, permitiendo al investigador determinar si el equipo experimental en sí podría haber afectado los resultados del estudio, al producir sombra o al perturbar el sustrato al instalar el equipo.

El enfoque experimental de manipulación también es susceptible de replicación, siempre que haya suficiente espacio para colocar múltiples copias de las parcelas experimentales y de control. Esto da a un investigador la confianza de que puede probar una hipótesis sobre un fenómeno ecológico –es decir, una suposición comprobable, tal como “la diversidad de especies en este pastizal es mantenida por la herbivoría en las especies x, que de otro modo sobrecrecerían en relación a todas las otras especies”–. Si el sistema es susceptible a tratamiento experimental, un buen ecólogo experimental probablemente será capaz de concebir no sólo una, sino múltiples hipótesis alternativas. Demostrar múltiples hipótesis alternativas que podrían ser rechazadas en serie fue la aspiración del altamente influyente enfoque para la ecología de John Platt “Inferencia Fuerte” (Platt 1964). A principios de los años sesenta, Platt argumentó que la ecología como ciencia permanecería para siempre en un esfuerzo de segunda clase relativo a disciplinas científicas aparentemente más nobles como la química, la física y la biología molecular, hasta que logró consolidarse y desarrolló un marco más riguroso

Es fácil notar por qué este enfoque experimental ha sido tan ampliamente adoptado por los ecólogos. Con un experimento manipulable, sabes que vas a obtener un resultado, o sabes los pasos que tienes que tomar para obtener un resultado. Bueno, al menos es más probable que

no obtener un resultado —en la realidad muchos experimentos van mal a causa de inesperadas fuerzas de la naturaleza (Quizás fuertes tormentas de El Niño que arrancaron todas las parcelas experimentales de las rocas intermareales donde fueron minuciosamente instaladas). Y mientras que el trabajo experimental rara vez es fácil (nuestros colegas han pasado innumerables horas de buceo en aguas frías de Alaska, senderismo en las tierras altas del Pacífico Sur con un 99 por ciento de humedad y merodeando alrededor de pantanos con malaria para desplegar, revisar, reparar y recoger datos de sus estaciones experimentales) aun así es bastante llevadero. Es decir, es muy probable que alguien pueda concebir, planificar, desplegar, analizar y escribir sobre un buen experimento dentro de la duración de un curso de campo prolongado o una carrera de postgrado. Y lo más importante, estas características hacen el trabajo experimental intrínsecamente financiable, porque el experimento tiene un propósito específico, etapas metodológicas claras y un conjunto relativamente limitado de posibles resultados (muy poco se deja al azar). Una vez que el experimento ha sido concebido, es bastante sencillo explicar a una agencia de financiamiento como la Fundación Nacional de Ciencias (NSF en inglés) que el experimento cumplirá con lo prometido, que entregará un conjunto particular de datos y que responderá a un determinado conjunto de preguntas ecológicas.

Los experimentos manipulativos y la inferencia fuerte han sido importantes durante mucho tiempo en la ecología. Se han utilizado para abordar cuestiones en el espectro de la investigación ecológica: Desde ¿qué controla la dinámica de una comunidad ecológica? hasta ¿por qué se comporta ese animal de una manera tan extraña?, ¿cómo una lapa navega su camino a casa hasta el mismo lugar, después de cada marea alta? Al mismo tiempo, es fácil ver por qué nosotros como ecólogos hemos sido forzados a expandirnos hacia afuera de este nicho. Aunque los experimentos manipulados por si solos pueden hacer mucho, son insuficientes exactamente en el lugar donde ahora desesperadamente necesitamos más comprensión ecológica. La escala y la dinámica de muchos fenómenos ecológicos observados han saltado más allá de las escalas de tiempo y espacio que se controlan fácilmente en experimentos. En particular, los problemas ambientales realmente grandes

que enfrentamos hoy en día —el cambio climático global, el colapso de la biodiversidad, la acidificación de los océanos, la nitrificación de grandes masas de agua, la aparición generalizada de especies invasoras y nuevas enfermedades infecciosas, por nombrar algunos- son todos muy difíciles de estudiar manipulando variables y repitiendo experimentos inteligentemente diseñados.

Ciertamente, puedes poner algunas criaturas marinas en un vaso con agua de mar, bajar el pH unos pocos puntos y ver si todavía se pueden formar conchas calcificadas, y eso es un hallazgo importante. Pero te va a decir muy poco sobre el destino de esas mismas criaturas extendidas a través de toda una cuenca oceánica que se está acidificando, debido a la deposición de carbono en algunos lugares, mientras que los organismos navegan girando en remolinos entre torbellinos de basura, experimentan incontables interacciones ecológicas y evolucionan con las condiciones ambientales en constante cambio. En otras palabras, tanto la escala como la dinámica de pequeños experimentos de laboratorio y de campo suelen tener poca semejanza con lo que ocurre en el mundo real. Y aun cuando pudiéramos obtener el financiamiento y la logística para probar y controlar experimentalmente todas estas dinámicas complejas, en las escalas en las que se desarrollan, ¿sería ético hacerlo? Entonces, no parece tener sentido, si estamos preocupados por los efectos potencialmente catastróficos del cambio ambiental (como la acidificación de los océanos), replicar estos cambios a una gran escala experimental.

También hay una urgencia por los problemas ambientales que enfrentamos, lo que representa una enorme carga para los estudios ecológicos. Para ser verdaderamente útiles tanto para identificar como potencialmente resolver estos problemas, necesitamos información rápido (*como en el ahora*), necesitamos que nos muestre lo que está pasando a través de grandes escalas espaciales y necesitamos que nos diga algo sobre la relación entre los componentes ecológicos humanos y los no humanos en el centro del problema. Estas cosas están muy fuera del nicho de los estudios ecológicos experimentales típicos.

Adaptándose al cambio

Pero aun cuando la ecología está superando su nicho, ya se está adaptando para tratar con estas dificultades. ¿Cómo es esta adaptación en ecología? Argumentamos en este libro que se basa en enfoques observacionales y que puede parecer un retorno a las viejas formas de la ecología, pero también es mucho más que eso. Por ejemplo, hay un fuerte elemento de anticuada buena historia natural en los nuevos enfoques de observación que estamos considerando: la antigua práctica humana de observar y registrar la diversidad y los cambios de la naturaleza (como lo muestra Thomas Fleischner en el Recuadro 1.1). Hay, de hecho, muchos conceptos de lo que es la “historia natural” (Attenborough 2007; Fleischner 2005; Arnold 2003; Dayton and Sala 2001; Applegate 1999; Bartholomew 1997), y sin duda habrá momentos en este libro donde nuestras ideas convergen casi totalmente con uno de ellos, y habrá momentos en los que nos alejamos bastante de las definiciones habituales de la historia natural. Nuestro concepto de los enfoques observacionales de la ecología es más y menos que la historia natural. Es más que historia natural porque incorpora observaciones remotas, como las del mapeo satelital y las cámaras fotográficas colocadas en ballenas, que están muy alejadas de la experiencia humana de la naturaleza generalmente asociada con la historia natural (aunque algunos pensadores audaces como Carlos Martínez del Río argumentan que los historiadores naturales modernos deben abrazar plenamente estas tecnologías como parte de su práctica, véase el Capítulo 4). La ecología es también menos que la historia natural porque estamos, en la medida de lo posible, limitando nuestra discusión a la práctica científica de la ecología, mientras que la historia natural, aunque potencialmente científica, abarca también ampliamente la escritura, la poesía, el arte y la filosofía. (Visita naturalhistorynetwork.org para ver ejemplos del amplio enfoque de la historia natural).

Los enfoques observacionales de la ecología que analizamos en este libro también reflejan un retorno a investigaciones ecológicas anteriores porque a menudo son integradores del componente social de los sistemas ecológicos, tanto en los tipos de datos que utilizan como en los

tipos de preguntas que están abordando. Los primeros ecólogos eran naturalistas que tomaron observaciones minuciosas de los sistemas naturales y trataron de agrupar esas observaciones como una comprensión más holística del mundo. Muchos eran devotos a la idea de que mediante la comprensión de los sistemas ecológicos podíamos obtener la comprensión de los sistemas sociales humanos. También eran sorprendentemente *interdisciplinarios* sin siquiera invocar esa compleja palabra. Trabajando después de los horrores de la Primera Guerra Mundial y en la creciente sombra de la Segunda, estaban intensamente interesados en lo que los estudios de las relaciones de los organismos en la naturaleza tenían que decir sobre el conflicto y la cooperación entre los seres humanos. Warder Allee, por ejemplo, sintió que los beneficios inesperados provienen de la cooperación entre los animales y que beneficios emergentes similares podrían llegar a las sociedades humanas que se modelaron después de las comunidades animales (Allee 1951, 1943). Uno de sus estudiantes, el ecólogo marino Edward Ricketts, señaló que “las leyes de los animales deben ser las leyes de los hombres” y refinó su pensamiento a través de fructíferas colaboraciones con escritores como John Steinbeck y filósofos como el mitólogo Joseph Campbell (Rodger 2006; Tamm 2004).

Del mismo modo, la ciencia ecológica hoy es cada vez más consciente de las implicancias sociales de los sistemas ecológicos. Algunos campos dentro de la ecología, como la biología de la conservación, ya están en este camino. Pero los métodos de observación están apareciendo en toda la investigación ecológica y también extendiendo la ecología hacia otros reinos de investigación. Uno de los proyectos más inusuales de Rafe, por ejemplo, está trabajando con un grupo interdisciplinario de ecólogos, antropólogos, psicólogos, expertos en salud pública y expertos en contraterrorismo, así como soldados, policías, bomberos y espías para averiguar qué podemos aprender de 3.500 millones de años de evolución biológica para las cuestiones de seguridad en la sociedad humana moderna (Sagarin 2012; Sagarin et al. 2010; Sagarin 2010). Aunque algunas personas han llamado a este proyecto de “Seguridad Natural” un “nuevo” enfoque de las cuestiones de seguridad,

es esencialmente hacer exactamente lo que Allee y Ricketts y muchos otros antiguos ecólogos estaban haciendo décadas atrás —tomando su conocimiento observacional acerca de cómo los organismos naturales resuelven problemas ambientales y conectándolo a problemas sociales no resueltos.

RECUADRO 1.1

Historia natural: La raíz primaria de la ecología

THOMAS L. FLEISCHNER

Una docena de estudiantes universitarios se inclinan en la ladera empinada por encima del morro del enorme glaciar del valle. Por el momento, sin embargo, no prestan atención a la colosal masa de hielo —su atención se centra en las encantadoras estructuras internas dentro de las corolas tubulares. El mundo adquiere repentinamente una nueva profundidad y belleza, ya que estos detalles emergen como pequeños patrones significativos.

Grupos de curiosos urbanos —con ropa brillante y botas de goma— se meten en el arroyo de la montaña con redes de inmersión, chillando de sorpresa y deleite mientras emergen los retorcidos invertebrados del barro negruzco.

Un joven Charles Darwin desembarca en las islas ecuatoriales, a medio camino de un viaje de cinco años, y observa cuidadosamente, luego anota, las longitudes y formas de los picos de las pequeñas aves que encuentra.

En un momento determinado, pequeños grupos de biólogos comienzan a identificar y contar aves playeras en los inmensos lodazales, tratando de averiguar la importancia de este estuario de manglares para las vidas de estos inmigrantes intercontinentales.

Cada uno de estos encuentros es un ejemplo del esfuerzo humano continuo más antiguo: la historia natural, la práctica de la atención intencionada y enfocada y la receptividad a un mundo más que humano. Barry López señaló que la historia natural “es tan antigua como la interacción de las personas con el paisaje”. En pocas palabras, nunca han existido personas sin historia natural. Toda cultura de recolectores y cazadores a lo largo de la historia de nuestra especie practicaba una cuidadosa y deliberada atención a la naturaleza; de hecho, la supervivencia dependía de ella. Plinio el Viejo acuñó el término historia natural en el siglo I dC con la publicación de su enciclopédica *Historia Naturalis* —literalmente, “la historia de la naturaleza”.

La historia natural —la descripción cuidadosa basada en la observación directa— proporciona la base empírica para la biología, la geología, la antropología, y la ecología. El primer libro de texto en ecología, Charles Elton's *Animal Ecology* (1927), comienza con: "La ecología es un nuevo nombre para un tema muy antiguo. Simplemente significa historia natural científica". La mayoría de los avances teóricos en ecología han venido de pensadores consumados en la historia natural de campo. Por ejemplo, recordemos a Charles Darwin y Alfred Russel Wallace, ambos comprometidos naturalistas, y E. O. Wilson, quien tituló su autobiografía *Naturalista*. Sin embargo, la ciencia académica del siglo XX colocó la teoría abstracta en un pedestal y devaluó la ciencia descriptiva básica en la que se basan todos los modelos abstractos.

La línea de fondo: sin observaciones empíricas precisas, la teoría es insignificante. Tal como ha señalado Harry Greene, la nueva información de la historia natural acerca de los organismos reajusta continuamente las agendas de investigación, ayudando a los abstractos científicos a plantear mejores preguntas y a refinar sus teorías.

La conservación, también, siempre ha dependido directamente de la historia natural. ¿Cómo podemos salvar a las especies de la extinción si no sabemos dónde están, cuándo están allí y qué están haciendo? Por otra parte, para muchos de nosotros que hacemos ecología de campo, sospecho, nuestro compromiso con la conservación se ha profundizado tanto por nuestros encuentros personales directos con la brillante naturaleza en el mundo, como por los datos que hemos recopilado.

Aldo Leopold con frecuencia deploraba la pérdida del estudio tradicional de la historia natural. En 1938 pronunció un discurso titulado "Historia natural - la ciencia olvidada", en el que criticaba la nueva ola de ciencia que cada vez más separaba las cosas, pero no explicaba cómo estaban conectadas. Leopold se opuso a la manera en que la ciencia abandonó la historia natural cuando, según su visión, la sociedad la necesitaba más.

La sociedad todavía necesita a la historia natural. La ecología basada en la mejor historia natural es más confiable y menos vulnerable a la intromisión política, que la ciencia flotando en un mar de abstracciones. La gestión sostenible de los recursos naturales depende de la comprensión de la historia natural. Y además, la historia natural puede aportar a la sociedad con la apreciación de la belleza del mundo, y la humildad que esto conlleva.

Pero también hay una gran diferencia entre lo que los ecólogos están haciendo ahora y lo que estaban haciendo esos hombres y mujeres renacentistas, y esto tiene que ver con las diferentes oportunidades disponibles para los ecólogos de hoy, surgidas de nuevas tecnologías y

avances en antiguas tecnologías que nos permiten observar los sistemas ecológicos de una manera sin precedentes. Gracias a la teledetección, la proyección genómica y los sensores implantados en animales, para nombrar algunas maravillas técnicas, ahora podemos llevar a cabo la ecología en los niveles más pequeños de organización biológica y también en los niveles más amplios, observando regiones enteras del planeta a la vez. Incluso estamos rompiendo los límites del planeta Tierra y considerando cuestiones ecológicas extraterrestres tales como, ¿cuáles son las condiciones disponibles para sustentar la vida en Marte?

Redescubriendo la historia natural. Abarcando las ciencias sociales. Mirando más allá de la academia para el conocimiento. El uso de los seres humanos como los puntos focales de los estudios ecológicos y a los animales como observadores. Adoptando tecnologías alguna vez reservada para la CIA, la NASA y las corporaciones de biotecnología. Todas estas adiciones relativamente recientes al repertorio de un ecólogo están ampliando y empujando la ciencia colectivamente en todo tipo de nuevas direcciones. Además de sus raíces comunes como métodos esencialmente observacionales para observar las relaciones ecológicas, ¿existe alguna manera de caracterizar cómo estas nuevas herramientas están afectando a la ciencia ecológica?

Los dominios de la ecología basada en la observación

Una manera de organizar todas estas formas diferentes de utilizar observaciones en ecología es considerar el “dominio” en el que nos gustaría realizar la ciencia. Steward Pickett y sus colegas, que han intentado definir una nueva filosofía del siglo XXI para lograr la comprensión ecológica (Pickett, Jones y Kolasa 2007), utilizan el concepto de dominio para referirse a los “fenómenos o escalas de interés” de un estudio ecológico. En su forma más simple, el dominio se define cuando preguntamos, “¿de qué trata este estudio?”.

El dominio actúa entonces como un filtro a través del cual todos los datos que recogemos, las teorías que consideramos y las hipótesis que concebimos deben pasar en orden para formar parte de nuestro estudio. Por ejemplo, si nuestra pregunta es: “¿Por qué hay algunas estrellas

de mar púrpura y algunas de color naranja?”. Nuestro dominio es la ecología básica, y es probable que las teorías sobre justicia ambiental o conjuntos de datos sobre la desigualdad de ingresos entre las poblaciones humanas costeras no sean tan importantes en nuestro estudio.

Hay al menos cuatro dominios en los que los enfoques observacionales pueden desempeñar un papel expansivo. Primero, está el dominio del “propósito” que trata de los objetivos o aspiraciones de un estudio en particular. ¿Es ecología básica, dirigida a descubrir o describir un nuevo fenómeno? ¿Se aplica? ¿O es para educar? Los enfoques de observación funcionan bien en todos estos ámbitos. Hay innumerables preguntas básicas sobre la ecología que se pueden abordar con grandes cantidades de datos de observación. Por ejemplo, Rafe y sus colegas usaron 14.000 observaciones de color y tamaño de estrellas de mar para revelar que a través de casi toda la gama de las estrellas de mar, la proporción de estrellas de color naranja a oscuro permaneció prácticamente sin cambios, un patrón completamente inesperado y difícil de explicar basándose en teorías derivadas experimentalmente del polimorfismo del color (Raimondi et al. 2007). Si bien los enfoques experimentales también son adecuados para abordar las cuestiones ecológicas básicas, a menudo no han logrado proporcionar una visión necesaria para las preguntas aplicadas. Por ejemplo, en el Laboratorio Friday Harbor, el segundo laboratorio de biología marina más antiguo de la costa oeste de los Estados Unidos, la ecóloga Terrie Klinger se sintió frustrada y avergonzada al descubrir que prácticamente ninguno de los estudios ecológicos llevados a cabo durante el siglo pasado (que en su mayoría eran experimentales) podrían ayudar a las comunidades locales que le pidieron consejo científico para abordar temáticas de conservación y planificación para la restauración ecológica (Klinger 2008). Incluso un simple esquema de monitoreo para rastrear poblaciones de especies clave en varios sitios alrededor de Friday Harbor no habría tenido valor.

En segundo lugar, hay un dominio que trata del nivel de complejidad biológica que se está estudiando. Aquí, también, los enfoques observacionales consideran un espectro amplio, proporcionando desde una visión a nivel molecular hasta el nivel de los ecosistemas globales. Por ejemplo, estudios como el de Brian Helmuth que usan sensores de

temperatura que imitan a un mejillón vivo para analizar el calor ambiental al que se encuentran los organismos intermareales (Helmuth 1998), se pueden combinar con un estudio poblacional de dónde abundan o no los mejillones, análisis moleculares de proteínas de choque térmico (un indicador de estrés en un organismo) (Roberts, Hofmann y Somero 1997; Somero 1995) e incluso con análisis genómicos de los genes que regulan las proteínas del estrés (Hofmann y Place 2007) para obtener una caracterización realista de cómo los organismos responden al estrés, o para probar teorías biogeográficas tales como: “Las especies marinas estarán más estresadas y mostrarán poblaciones más bajas en la medida que se encuentren más cerca del ecuador”.

En tercer lugar, hay un dominio que se ocupa de la escala del estudio en el tiempo y el espacio. A menudo es difícil llevar a cabo manipulaciones experimentales a través de múltiples escalas de espacio y tiempo y es imposible realizar una manipulación de un estado ecológico pasado. Por ejemplo, el ecólogo marino Bruce Menge y sus colegas intentaron replicar uno de los experimentos clásicos de Robert Paine, en los que las estrellas de mar depredadoras fueron excluidas de parcelas experimentales a lo largo del litoral rocoso de la Costa Oeste de los Estados Unidos, pero encontraron un obstáculo. El tipo de hábitat era muy diferente en California que en Washington, donde los experimentos originales fueron conducidos, confundiendo algunos de los resultados (Menge et al. 2004). Las observaciones llenan vastas áreas del espacio y largos períodos de tiempo, así la variación encontrada a través de esas escalas no se considera una confusión molesta, sino otro aspecto del sistema de estudio a considerar. Las observaciones pueden ayudar a los experimentos llenando los espacios oscuros —aquellas escalas donde las manipulaciones experimentales son incapaces de arrojar luz— y pueden usarse para identificar las escalas más importantes para realizar experimentos.

En cuarto lugar, existe un ámbito institucional que se ocupa del tipo de personas y organizaciones que participan en la ciencia ecológica. Este dominio representa un reconocimiento de que el conocimiento ecológico se genera no sólo en las instituciones académicas, sino también a través de los esfuerzos de ciencia ciudadana (como la Red Nacio-

nal de Fenología de los Estados Unidos, descrita por Jake Weltzin en el Recuadro 1.2), a través de proyectos científicos colaborativos entre administradores y usuarios de recursos, a través de una gama de medios nuevos y tradicionales. Fuera de las partes académicas y de las agencias de recursos gubernamentales de este dominio, los datos recopilados y los métodos utilizados aquí son casi exclusivamente observacionales, en vez de experimentales o teóricos. Los encargados de pesca necesitan observaciones simples de las poblaciones y tamaños individuales provenientes de los pescadores-observadores con los que trabajan. Las comunidades preocupadas por la calidad del agua local quieren una manera de hacer observaciones de la carga bacteriana o el contenido de metales del agua y compartir estas observaciones con los funcionarios electos o los contaminadores locales. Y el Discovery Channel quiere mostrar los colmillos, la sangre y el terror cuando un lince se come una liebre, antes de un fondo ártico, y no las oscilaciones trigonométricas de los ciclos predadores-presas teóricos determinados por las ecuaciones de Lotka Volterra. Esta distinción con la ecología académica pone de relieve el hecho de que la vía que conecta la ciencia ecológica y los esfuerzos sociales se ejecuta directamente a través de un enfoque observacional de la ecología.

RECUADRO 1.2
Ciencia ciudadana: Seguimiento del cambio global con la participación pública en la investigación científica
<p>JAKE F. WELTZIN</p> <p>En los campos de la ciencia y la conservación de los recursos naturales, el acceso público sin precedentes a la tecnología y a la información (por ejemplo, herbarios en línea, las herramientas de identificación de especies, las aplicaciones móviles para la captura de imágenes y la introducción de datos y debates comunitarios) son contribuciones significativas al conocimiento científico. Este hecho, combinado con una creciente conciencia por parte de los científicos de que sus números son muy bajos para responder adecuadamente a las preguntas de escala continental y global en un mundo que cambia rápidamente, ha llevado al desarrollo de la "ciencia ciudadana". Cómo la ecología, la ornitología, la</p>

astronomía y la salud pública, las colaboraciones de investigación entre científicos y miembros del público no sólo ayudan a recolectar y organizar información y datos de otra manera inaccesibles, sino también avanzar en el conocimiento científico que se está aplicando a temas relacionados con entornos rápidamente cambiantes tanto a escala local como global.

Uno de esos proyectos que agrupa a ciudadanos con científicos es la Red Nacional de Fenología de los Estados Unidos (USA-NPN; usanpn.org). El objetivo de la red es establecer una iniciativa nacional de ciencia y monitoreo enfocada en el calendario de eventos biológicos estacionales, tales como floración, migraciones y cría. La fenología es un aspecto crítico de la vida humana, que afecta, por ejemplo, a la agricultura, la jardinería, la salud, los eventos culturales, la recreación, así como también a casi todas las relaciones y procesos ecológicos. Los cambios en la fenología están entre las respuestas más sensibles y ampliamente observadas al cambio climático, y son relativamente fáciles de observar. La gente ha estado siguiendo la fenología durante miles de años con fines agrícolas y culturales, actualmente todavía se consideran ciertos eventos fenológicos, como la aparición y caída de las hojas, al igual que la llegada y salida de las aves migratorias, para rastrear las estaciones.

La Red busca integrar la ciencia y la educación alentando a las personas a hacer observaciones fenológicas que las conecten con la naturaleza involucrándose en el proceso científico, al mismo tiempo que captan datos que los científicos están ansiosos de usar. La fenología es muy adecuada para este propósito porque ya es una forma primaria en que las personas conectan con la naturaleza (a pesar de que la mayoría de la gente no está familiarizada con el término fenología), y es un área de creciente interés científico. La Red ha trabajado con científicos y educadores para desarrollar una serie de herramientas con el fin de reclutar y retener observadores, compartir información con otros científicos, educadores y para proporcionar retroalimentación a los observadores. También estamos desarrollando sistemas para almacenar, compartir, visualizar y analizar la gran cantidad de datos que recibimos.

Así, al involucrar a un público dispuesto en una actividad científica significativa, en colaboración con científicos expertos, la Red se enfrenta a la verdadera cuestión del cambio climático global, comprometiéndose al público al mismo tiempo que proporciona información crítica para la sostenibilidad en un mundo que cambia rápidamente. Nuevas redes de fenología también están apareciendo en Australia, Italia, Suiza y Turquía y se unen a proyectos establecidos en Austria, Holanda, China y Gran Bretaña, entre otros. El próximo desafío será integrar, compartir y aplicar datos a escala internacional para iluminar mejor los patrones y procesos que operan a través de las fronteras nacionales.

En conjunto, estos enfoques nos dan muchas maneras de estudiar algo, casi cualquier cosa, en un contexto ecológico. Es fácil encontrar ejemplos de todas estas maneras de utilizar las observaciones en la literatura ecológica actual (véase el Capítulo 2) y al hacerlo, se nos recuerda rápidamente que una diversidad de enfoques conduce a una diversidad aún mayor de hallazgos. Por ejemplo, si observamos cómo se utilizan nuevas técnicas de observación molecular en ecología (véase el Capítulo 4), encontramos estudios que estiman las poblaciones históricas de ballenas en peligro de extinción (Alter, Rynes y Palumbi 2007), estudios que revelan que la caza tiene efectos tanto en los organismos individuales como en sus poblaciones (Allendorf et al. 2008), y estudios que examinan el estrés en los organismos a través de su área geográfica (Sagarin y Somero 2006).

En cierto sentido, la diversidad de hallazgos que provienen de los enfoques observacionales surge de los propios métodos. Los estudios teóricos y experimentales prueban necesariamente hipótesis bajo una serie de supuestos restrictivos y están diseñados para controlar cuidadosamente la variación que no encaja dentro de esos supuestos. Esto hace que estos estudios tengan más probabilidades de obtener resultados, pero los resultados encajarán en un conjunto bastante restringido. Aunque los estudios observacionales también pueden usarse para probar hipótesis específicas, a menudo tienen un componente exploratorio o especulativo, lo que significa que casi cualquier cosa puede aparecer en los resultados. Por ejemplo, un estudio de John McGowan y Dean Roemmich que mostró una disminución de 70 por ciento en el zooplancton en el sur de California, surgió de un estudio a largo plazo diseñado para averiguar por qué las poblaciones de sardinas estaban colapsando a mediados del siglo XX (Roemmich y McGowan 1995). Otro estudio realizado por Rafe sobre los impactos de la caza furtiva en las poblaciones de lapa fue posible debido a un programa de monitoreo a largo plazo para caracterizar las comunidades intermareales en el caso de un derrame de petróleo (Sagarin et al. 2007).

Tan amplias e impredecibles como son estas posibilidades de observación, es notable que todavía estén bien contenidas dentro de la ciencia de la ecología. Los enfoques basados en la observación no re-

presentan una ecología “nueva”, sino una ecología evolucionada que se ha adaptado a las fuerzas externas y ha aprovechado abundantes oportunidades. El cambio ha sido bastante rápido. Hemos visto como ocurre en los pocos años entre nuestros estudios de postgrado y nuestras posiciones actuales de enseñanza e investigación de la ecología en Concepción, Chile y Tucson, Arizona, e incluso mientras escribimos este libro sabemos que la ciencia continúa cambiando. Como todos los caminos evolutivos, el viaje de la ecología a su forma actual tiene una historia única que es inseparable de su estado actual. Y al igual que con los organismos naturales, entender que la historia, como tratamos de hacer en el próximo capítulo, es esencial para comprender la forma actual de la ecología y su potencial futuro.

Enfoques de observación en un contexto histórico

¿De dónde vinieron todos estos enfoques observacionales de la ecología?, ¿y por qué ahora?, considerando que la ecología ha tenido una historia bastante larga como una disciplina respetable usando una teoría robusta y experimentos controlados, ¿han comenzado estos enfoques observacionales a surgir en todas partes? Este capítulo aborda el contexto histórico de cómo la ciencia de la ecología ha evolucionado para ilustrar que los cambios actuales son a la vez un reflejo de un período previo en la ecología, así como también una manifestación única, propia del período actual en la historia ambiental.

Las raíces de la ecología

En sus raíces, la ecología ha sido una ciencia observacional, surgida desde el trabajo de los naturalistas aficionados y transformada gradualmente a finales del siglo XIX y principios del XX en una disciplina profesional en laboratorios privados y universidades (Fleischner 2005), pero nunca ha sido una disciplina rígida con un enfoque particular y un único camino para lograr la comprensión ecológica. A lo largo de esta historia ha existido una tensión entre concepciones amplias y expansivas de la ecología, representadas por los esfuerzos para relacionar las observaciones de fenómenos naturales con cuestiones más amplias en biología y sociología, y el deseo de hacer de la ecología una ciencia

“rigurosa” representada por pruebas bien controladas a partir de teorías e hipótesis predeterminadas.

Esta tensión ha provocado un cambio continuo en la ciencia ecológica, pero los cambios no han sido aleatorios. Como la mayoría de las ciencias y los organismos biológicos, la ecología ha crecido recursivamente, es decir, construyendo sobre su propio pasado, e incluso, al explorar nuevas ideas y ampliar el espacio de resolución de problemas en el que trabaja, a menudo vuelve a ideas anteriores. De esta manera el crecimiento de la ecología es como el crecimiento del caparazón de un molusco —es un camino en espiral. Las coordenadas a lo largo de esta espiral en cualquier momento dan a la ecología su identidad dominante, pero dado su forma recursiva con una historia trazable, sus identidades pasadas son casi siempre accesibles y reconocibles.

Tanto los temas dominantes, como la naturaleza continuamente cambiante de la ecología son fáciles de observar con sólo hacer clic en los archivos electrónicos de una prestigiosa revista como *The American Naturalist*. Consideremos un artículo curioso de 1869 por Samuel Lockwood en el volumen 3, número 5, con su vago e inocuo título, “Algo sobre Cangrejos” (Lockwood 1869). El artículo simboliza tanto el tipo de personas que realizaban investigaciones ecológicas en la Edad Dorada, como el espíritu vertiginoso de descubrimiento que impulsó a los primeros ecólogos. Utilizando el “nosotros” de un caballero apropiado del siglo XIX, Lockwood relata algunas anécdotas encantadoras sobre varios cangrejos, haciendo alusiones literarias, dibujando metáforas de gran alcance y, a menudo, profundizando en lo que los científicos modernos llamarían sarcásticamente “antropomorfismo” para describir a los cangrejos como caballeros con armadura, señoras de alta estatura o prostitutas vulgares. Describiendo el cangrejo araña *Libinia canaliculata* (ahora llamado *Libinia emarginata*), Lockwood escribe:

Ella no codicia a la sociedad y se retira así a una acogedora gruta, cuyas paredes son verdes, con las tiernas y pequeñas frondas de la joven lechuga de mar, la *Ulva latissima* y las hojas delicadamente rizadas de la *Enteromorpha intestinalis*. No nos complacía mucho ver a la impertinente *Libinia*, con sus pinzas como tijeras, cortando el revestimiento

de terciopelo de la cueva. Siendo indulgente no interferimos, pero la dejamos a su propio placer. Cuando volvimos, salió la señora *Libinia* vestida para recibirnos. En cada espina dorsal de su caparazón había una cinta verde, todo agitándose graciosamente mientras se pavoneaba en los terrenos abiertos del establecimiento. ¡Qué espectáculo! ¡Y qué lección de psicología animal! ¿Cuál fue el proceso mental? ¿Era un artefacto —“una arboleda en movimiento”, como el de Macduff*, para engañar a su presa? Si es así, ¡qué inteligencia! ¿O era su vanidad? ¡Hecho sólo para mejorar la apariencia! Si es así, ¡qué inexplicable capricho!

Informes anecdóticos como este sobre la ecología de las especies fueron considerados cruciales para avanzar en la comprensión del mundo natural. Considerando que éstos fueron los primeros registros de muchos fenómenos naturales, en lugar de investigaciones detalladas de diminutos subcampos, autores como Lockwood intentaron hacer que el lenguaje se relacionara ampliamente con ideas familiares.

Pero a medida que se hizo más especializada, la ecología desarrolló su propio lenguaje y métodos. Avanzando rápidamente desde finales del siglo XIX hasta la última parte del siglo XX, en *The American Naturalist* se puede encontrar un artículo como el de Laurence D. Mueller “Crecimiento de la población dependiente de la densidad y la selección natural en los ambientes limitados por alimento: el modelo *Drosophila*” (Mueller 1988). Este artículo utiliza un “sistema modelo” (como denominan los biólogos a los animales con rasgos fácilmente manipulables como la mosca de la fruta *Drosophila* y el nematodo *Caenorhabditis elegans*) para probar una teoría altamente simplificada y matemáticamente derivada sobre cómo las poblaciones de organismos deberían crecer (una función “dependiente de la densidad”, lo que significa que a medida que aumenta la densidad de la población, la tasa de crecimiento cambia, tal vez debido a la limitación de alimentos o a la reproducción). El autor argumenta que, aunque la dependencia de la densidad rara vez se ha demostrado en las poblaciones naturales, y que “intentos por

* Personaje de la obra *Macbeth*, William Shakespeare.

modelar la densidad de la selección natural dependiente en entornos variables... han producido extraños resultados”, sin embargo, sería valioso probar los principios formales de la teoría de la dependencia de la densidad con un sistema modelo en un ambiente altamente controlado. Observemos, así, las muchas maneras en que esto difiere de los intentos de Lockwood de conectar sus observaciones directas de un organismo relativamente desconocido a cosas con lo que una audiencia podría relacionarse. Ahora hay un lenguaje especializado e incluso hay organismos especializados. El método no es comparar algo que se había observado con un constructo antropomórfico, sino comparar algo que debería haber sido observado (pero que aún no se había observado) con un constructo matemático.

Avanzando de nuevo a través de las páginas electrónicas de *The American Naturalist*, esta vez al siglo XXI, encontrarás “La importancia de las ciencias naturales para la conservación” por Paul Dayton (Dayton 2003), un ecólogo marino conocido por sus estudios experimentales clásicos en las pozas intermareales del Pacífico. Dayton hace una estridente súplica contra el reduccionismo en la ecología (incluso a la obra sobre la que construyó su carrera inicial) y a favor de un enfoque renovado en la enseñanza observacional de las ciencias naturales en todos los niveles, para que la ecología pueda restaurar su capacidad de ser útil para la conservación biológica. Este artículo no está lleno de teoría o experimentación, sino de observaciones —fotografías históricas de grandes róbalo en las redes de pescadores, campos llenos de enormes cadáveres de langostas y rocas intermareales alfombradas por abalones—, imágenes que hablan de sistemas naturales que alguna vez fueron saludables.

Aunque estos trabajos son cuidadosamente elegidos de forma ilustrativa, ellos representan bien las diferentes fases por las que ha pasado la ciencia ecológica. Estas fases comprenden, en primer lugar, un período de descubrimiento de finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, seguido por medio siglo de creciente dominación por enfoques teóricos y experimentales que buscaban leyes generales en ecología o por lo menos el aislamiento bien fundado de los mecanismos causales y, más recientemente, el siglo actual de la ecología basada

en la observación, en el que un renovado enfoque en la historia natural es el catalizador (si no el ímpetu completo) que está transformando la ecología.

El primer período de la ciencia ecológica formal estuvo marcado por nuevas observaciones de la naturaleza asociados a muchas preguntas especulativas y a la formación de teorías básicas. Los primeros ecólogos como Joseph Grinnell se hicieron complejas preguntas que requerían extensos conjuntos de datos de observación, tales como: “¿Cuál es el papel de lo *accidental*?” (Refiriéndose a la frecuencia y las perspectivas futuras de las aves que aparecieron sólo una vez en una determinada lista de aves de una región en particular) (Grinnell 1922). Se debatió si las comunidades ecológicas eran o no organismos identificables complejos, como argumentaba Frederic Clements (Clements 1936), o simplemente el resultado de muchas contribuciones individuales, como argumentó H. A. Gleason en un artículo clásico, “El concepto individualista de la asociación de plantas” (Gleason 1926). Estas preguntas estaban en el corazón de lo que Sharon Kingsland más tarde se refirió como “a los a veces crudos, pero a menudo imaginativos y optimistas comienzos” de la ciencia ecológica (Kingsland 1991).

Mejorando la ecología con enfoques experimentales

A mediados y finales del siglo XX los ecólogos buscaban mayor rigor en su trabajo y esperaban identificar leyes consistentes en sus hallazgos. Durante este período, la ecología matemática floreció en un intento de simplificar y comprender la complejidad ecológica utilizando un lenguaje común y surgió un experimentalismo más riguroso para tratar de ir más allá de los argumentos basados simplemente en la asociación con fenómenos observados, los que hacían parecer a la ecología menos “científica” que otras disciplinas de las ciencias naturales.

Que esta fase surgiera luego del descubrimiento del ADN y el rápido crecimiento de la biología molecular parece no ser un accidente. La misma ciencia de la biología se estaba redefiniendo, y la ecología se oscureció ante la sombra de la brillante luz emanada por los descubrimientos moleculares. La tensión entre la ecología y la biología mole-

cular fue personificada en los caminos divergentes de dos jóvenes profesores de biología que iniciaban sus carreras en Harvard en 1956 —el ecólogo E. O. Wilson y el co-descubridor de la estructura del ADN, James Watson. Como Wilson lo cuenta, mientras que el impetuoso Watson fue alabado por su pasión por la modernización de la biología, los ecólogos como Wilson fueron considerados nada más que “coleccionistas de estampillas”, siendo relegados a los rincones del departamento de biología de Harvard hasta el punto que se les aconsejó evitar el uso de la *sucia* palabra “ecología” en las reuniones de la facultad (Wilson 1994). Con tantas preguntas moleculares urgentes que sólo esperaban ser resueltas, la idea de apoyar o contratar a más ecólogos con sus ideas especulativas parecía contraproducente para los departamentos de biología universitaria.

Tal vez como resultado de este maltrato y de un sincero deseo de demostrar que la ecología podría producir el mismo tipo de progreso “orientado a los resultados” que marcó la biología molecular, los ecólogos (incluyendo Wilson) cada vez más se enfocaron hacia experimentos manipulativos, llevados a cabo tanto en el laboratorio como en terreno, lo cual podría aislar un conjunto limitado de parámetros y probar hipótesis teóricas. Estos experimentos se realizaron en gran medida en pequeñas escalas espaciales y en períodos cortos de tiempo. En muchos casos, tales como la investigación de Mueller sobre *Drosophila*, los experimentos se llevaron a cabo en gran medida para probar teorías en lugar de responder directamente a observaciones inexplicadas de terreno (véase Weiner 1995).

La explosión de los enfoques experimentales de la ecología proporcionó innumerables enfoques teóricos con las que se aprecia más claramente la complejidad ecológica. Este período estuvo marcado por los experimentos de Wilson y Daniel Simberloff que usaron bromuro de metilo para despoblar islas de manglares enteras con el fin de probar los principios clave de la teoría de la biogeografía de islas (que buscaba explicar patrones en la colonización inicial y tendencias subsecuentes de la población por islas remotas). Las décadas de trabajo de Robert Paine que manipulaban poblaciones de depredadores a lo largo de las costas rocosas del Océano Pacífico se convirtieron en el fundamento

de ideas sobre si las comunidades ecológicas estaban controladas por fuerzas “descendentes” (es decir, los efectos de los depredadores en los niveles tróficos inferiores) o fuerzas ascendentes (es decir, el efecto de la productividad primaria en los niveles tróficos superiores), incluido el desarrollo del concepto de especie “clave”, en que ciertas especies muestran efectos desproporcionados sobre la estabilidad de las comunidades ecológicas en su conjunto.

Este tipo de experimentos, y el gran cuerpo de teoría que creció a partir de ellos, parecían proporcionar a la ecología la legitimidad que le había faltado en los días en que se retraía a la sombra de la biología molecular. Las reflexiones a menudo no concluyentes de Grinnell, Gleason y Ed Ricketts (que surgieron de las fiestas en su laboratorio de Cannery Row o de largas excursiones de campo) fueron reemplazadas por pruebas binarias que rechazaron o alternativamente, fallaron en rechazar, hipótesis predeterminadas, generando conclusiones que otorgaron a la ecología una renovada confianza. En vez de oponerse sin resultados a los crecientes feudos de la biología molecular, los ecólogos empezaron a establecer sus propios departamentos académicos. La Fundación Nacional de la Ciencia de EE.UU. también estableció sus propias divisiones dedicadas a la ecología y, aunque esto no se declaró formalmente, el enfoque de los esfuerzos de financiamiento en estas divisiones se centraba directamente en la ecología experimental y no en la ciencia exploratoria dirigida a generar nuevos descubrimientos.

Así, el enfoque experimental de la ecología parece haber traído éxito a la disciplina. Los departamentos de ecología son miembros consolidados de las principales universidades, hay decenas de revistas de ecología que publican miles de artículos al año y agencias de financiamiento, como la Fundación Nacional de la Ciencia de EE.UU., han logrado mantener o incluso aumentar su financiamiento anual para la ecología.

Una nueva época de cambio en la ecología

A pesar de estos éxitos, la ecología está cambiando nuevamente. Algunos de estos cambios no están registrados formalmente, sino que se manifiestan de maneras que aún no están reconocidas dentro del

progreso académico: en conversaciones en el pasillo y grupos de trabajo multidisciplinarios dirigidos por los estudiantes; en aplicaciones de smartphones desarrolladas por estudiantes que ayudan a las personas a participar de ciencia ciudadana; en cursos excéntricos como “Holismo en Biología”, un curso de campo en el Golfo de California enseñado conjuntamente por el neurobiólogo William Gilly y la investigadora literaria Susan Shillinglaw.

Incluso en el principal indicador del progreso académico, es decir, artículos en revistas revisadas por pares, los enfoques observacionales están dejando su marca. Como ejemplo, hemos revisado más de 650 artículos de investigación y sus metodologías en tres revistas de alto rango de ecología general (basadas en ISI Journal Citation Reports) a través de un período que abarca nuestras propias carreras ecológicas. Excluyendo revisiones y síntesis o artículos de opinión, el porcentaje de artículos que utilizan explícitamente enfoques observacionales para probar hipótesis declaradas (en oposición a simplemente apoyar la creación de manipulaciones experimentales) subió del 28 al 39% en *The American Naturalist* y del 38 al 55% en la revista *Ecology* entre 1990 y 2010. En *Ecology Letters*, la revista de investigación ecológica clásica mejor rankeada, el porcentaje creció de 45% en su primer año (1998 - 99) a 54% en 2010.

Este aumento de los estudios observacionales no puede explicarse simplemente como resultado de un interés decreciente en los estudios experimentales. No se encontró ninguna tendencia general en el porcentaje de estudios experimentales manipulativos, que fue similar en *The American Naturalist* (38 a 36%), disminuyó en *Ecology* (66 a 44%), y aumentó en *Ecology Letters* (33 a 45%). Y como una señal esperanzadora de un futuro integrador de la ecología, entre el 6 y el 14%, de los artículos en las revistas estudiadas en 2010, utilizan una combinación de enfoques experimentales y observacionales, un ligero aumento en cada revista para el periodo estudiado.

¿Cómo son estos estudios? Los ejemplos que se enumeran en la Tabla 2.1 nos dan al menos un sentido cualitativo de que hay una amplia gama de avances científicos, que van desde las preguntas básicas hasta las aplicadas, que surgen de los enfoques observacionales. Hemos cla-

sificado algunos tipos de enfoques principales, como el uso de datos de detección remota o herramientas moleculares, encontrando dentro de ellos una amplia gama de técnicas particulares que conducen a una gama aún más amplia de conclusiones ecológicas que pueden extraerse de forma robusta de un mundo complejo. Por lo tanto, incluso esta tabla condensada, difícilmente es una revisión exhaustiva de todos los trabajos recientes de estudios observacionales, lo que muestra que hay hoy en día mucho más en la ecología basada en la observación que simplemente salir al mundo y registrar lo que ves.

Por qué la ecología está cambiando ahora

¿Qué factores están impulsando este cambio en la ecología, haciendo que el tipo de estudios enumerados en la Tabla 2.1 se esté volviendo cada vez más común? Una pista de lo que sucede podría estar en el creciente interés en restaurar el lugar de la historia natural en las ciencias de la vida, disciplina que juega un papel importante en muchos enfoques observacionales de la ecología. Hay un gran número de artículos recientes en revistas de ecología que advierten sobre la insuficiente atención a la historia natural como un problema importante para el presente y el futuro de la ecología, quejas que están resonando dentro de la ciencia de la ecología (Greene 2005, Dayton y Sala 2001, Weber 1999, Futuyma 1998). Por ejemplo, el argumento de Reed Noss contra la muerte de la historia natural en la ecología académica, publicado en la revista *Conservation Biology* (Noss 1996), resultó en números records de cartas de respuestas positivas en la revista (Fleischner 2005). En 2007 un grupo de ecólogos, educadores y escritores formó la Red de Historia Natural para promover el valor de la historia natural dentro de la ciencia y asociado a los intereses de la sociedad en las artes y la construcción comunitaria (www.naturalhistorynetwork.org). De hecho, Aníbal y Rafe formaron parte de un simposio sobre la importancia de la historia natural para la ecología en la reunión anual 2009 de la Sociedad Ecológica de América que atrajo a más de 200 miembros en la audiencia y ayudó a catalizar la formación de una sección de “Historia Natural” dentro de la Sociedad.

El enfoque en la historia natural capta el núcleo esencial del cambio en la ciencia ecológica, pero este enfoque no puede explicar todo este cambio. Por un lado, las quejas de destacados profesores acerca de la pérdida de la historia natural en las revistas académicas, por desgracia, no conllevan a impulsar cambios globales en cómo se lleva a cabo la ciencia de la ecología. Además, estos lamentos son tan antiguos como el estudio ecológico formalizado y han sido planteados muchas veces a través de la historia de la ecología. A finales del siglo XIX, por ejemplo, el futuro presidente estadounidense, Theodore Roosevelt, fue desalentado como estudiante universitario por el decaimiento de la historia natural en las ciencias naturales académicas (Millard 2006). A finales de la década de 1930 Aldo Leopold utilizó historias de naturalistas “aficionados” para ilustrar la importancia de la historia natural para la ciencia (Leopold 1966). El ecólogo marino J. R. Lewis escribió una carta a la revista *Nature* en 1975, en la que señalaba claramente que los biólogos no podrían ayudar a la sociedad con la “crisis ecológica” porque no habían practicado suficiente historia natural básica (Lewis 1975). Además, la historia natural no se limita a los enfoques observacionales de la ecología. Renombrados ecólogos experimentales como Robert Paine (2010) y Daniel Simberloff (2004) afirman que la historia natural sólida es fundamental para crear estudios efectivos de manipulación a pequeña escala, aunque ellos mismos minimicen la importancia de la “macro” ecología a gran escala y el hallazgo observacional de patrones.

Por último, los cambios en la ecología que estamos viendo ahora —aunque muy dependientes de la historia natural— están precediendo a la reincorporación de la historia natural en los planes de estudios universitarios, como se pide en las críticas recientes. Fuera de un pequeño número de universidades de carácter visionario (o quizás tradicional) como el Prescott College en Arizona o la Universidad de Antioch en Nueva Inglaterra, la historia natural y los planes de estudios sobre biología de organismos aún no han sido ampliamente reintroducidos en biología. Además, las posibilidades de viajes de campo se limitan cada vez más a medida que los presupuestos universitarios se reducen y se pide a los estudiantes que aprueben más y más cursos requeridos en menos años de estudio. (Otras escuelas con planes de estudios con énfasis en la historia natural se enumeran en naturalhistorynetwork.org).

Tabla 2.1. La diversidad de enfoques de observación en ecología.

Enfoque de observación	Ejemplo de técnicas	Ejemplo de hallazgos
Medición de atributos básicos de organismos, poblaciones y comunidades para comprender los cambios ambientales.	<p>Muestréos poblacionales.</p> <p>Análisis de tamaño y estructura poblacional.</p> <p>Monitoreo a largo plazo.</p>	<p>Las poblaciones, cuando se miden en diferentes sitios a lo largo del rango geográfico, generalmente no se ajustan a la distribución esperada (Sagarin, Gaines, y Gaylord 2006).</p> <p>La acción antrópica está causando la pérdida de individuos de gran tamaño altamente reproductivos en las poblaciones (de Roos, Boukal y Persson 2006).</p> <p>El 70% de pérdida en la biomasa del zooplankton está asociada con el calentamiento a largo plazo en aguas meridionales de California (Roemmich y McGowan 1995).</p>
Uso de registros antiguos para documentar el cambio ambiental.	<p>Dendrocronología, el estudio de los patrones de los anillos de crecimiento de un árbol.</p> <p>Reconstrucción de registros fósiles.</p> <p>Muestreo de sedimentos biológicos (depósitos de polen y conchas marinas)</p> <p>Muestreo de depósitos de conchas de moluscos en asentamientos humanos.</p>	<p>La extinción masiva del cretácico-paleógeno fue asociada probablemente a un impacto extraterrestre (Álvarez y Asaro, 1990).</p> <p>La tendencia hacia dietas más especializadas (hipercarnívoras) conduce a un mayor riesgo de extinción en mamíferos (Van Valkenburgh, Wang y Damuth 2004).</p> <p>Los sedimentos de carbón en lagos demuestran que el rango de edad natural de bosques boreales no se incluyen bajo las prácticas de manejo actuales (Cyr et al. 2009).</p>
Utilización de registros históricos para documentar cambios.	<p>Análisis de fotografías coincidentes (Paisaje, cambios de vegetación).</p> <p>Mapas georreferenciados.</p> <p>Examinar los cuadernos de campo de naturalistas.</p> <p>Registros fenológicos.</p> <p>Colecciones de museos de historia natural.</p> <p>Registros de aficionados no tradicionales (registros de navegación, menús de restaurantes, concursos, obras de arte, literatura, etc.).</p>	<p>La supresión de incendios y el cambio climático han cambiado drásticamente paisajes (Webb, Boyer y Turner 2010).</p> <p>La extinción del lobo en Yellowstone produjo la declinación de las poblaciones de álamo (Beschta 2005).</p> <p>Los registros históricos sugieren gran pérdida de las playas de anidación de la tortuga de mar del Caribe (McClennan, Jackson y Newman 2006).</p> <p>El material genético de los especímenes de los museos puede utilizarse para rastrear los orígenes de la resistencia a los plaguicidas (Hartley et al. 2006).</p>

Tabla 2.1. (continuación)

<p>Utilización de observaciones remotas para documentar patrones y cambios a múltiples escalas.</p>	<p>Imágenes satelitales (resolución multiespectral e hiperespectral) (Turner et al. 2003). LIDAR (detección de luz y alcance). Fotografías aéreas de baja elevación. Cámaras-trampa para rastrear animales esquivos.</p>	<p>Los sensores remotos pueden detectar eficazmente especies invasoras a través de diferentes escalas espaciales (Underwood, Ustin y Ramirez 2007). Los seres humanos han modificado el uso de la tierra y la configuración del paisaje exponencialmente en las últimas décadas (Tang, Wang y Yao 2006).</p>
<p>Observación de cómo los organismos y los objetos naturales experimentan fenómenos ecológicos.</p>	<p>Data-loggers en animales. "Cámaras critter". Data-loggers de datos ambientales (físicos).</p>	<p>Monitoreo satelital revela que el atún azul del Atlántico atraviesa los límites administrativos, proporcionando una visión para una mejor gestión (Block et al., 2005). Las cámaras en animales revelan comportamientos previamente desconocidos en tortugas marinas y pingüinos (Moll et al. 2007). El estrés térmico experimentado por los organismos intermareales no sigue el gradiente latitudinal esperado (Helmuth, Kingsolver y Carrington 2005).</p>
<p>Utilización de herramientas moleculares para entender las relaciones y dinámicas de las poblaciones.</p>	<p>Los ensayos in situ de las concentraciones de ARN, ADN y proteína de choque térmico (HSP). Estructura genética de la población. Filogeografía. Genómica.</p>	<p>Las poblaciones históricas de ballenas grises probablemente fueron mucho más grandes de lo estimado basado en los registros pesqueros (Alter, Rynes y Palumbi 2007). Las especies explotadas muestran efectos genéticos a largo plazo en individuos y poblaciones (Allendorf et al. 2008). La pirosecuencia del ADN eucariota en los sedimentos de un estuario se utilizó para caracterizar la diversidad y diferenciar los sitios contaminados y no contaminados (Chariton et al. 2010).</p>

Tabla 2.1. (continuación)

<p>Usando experimentos naturales para probar hipótesis ecológicas.</p>	<p>“Controlar” variables a través de comparaciones a gran escala en el espacio o tiempo, antes / después de un evento catastrófico, dentro / fuera de una reserva protegida. Observaciones comparativas a lo largo de un gradiente.</p>	<p>Los caminos facilitan el movimiento de las plantas invasoras hacia las áreas protegidas (a través de una mayor perturbación y presión de propágulo) (Pauchard y Alaback 2004). Las comparaciones históricas, políticas y económicas entre Haití y la República Dominicana revelan causas de destrucción ecológica relativamente mayor en Haití (Diamond y Robinson 2010).</p>
<p>Uso de grandes conjuntos de datos recopilados con múltiples propósitos para extraer generalizaciones.</p>	<p>Evaluación multidisciplinaria de los impactos ambientales. Meta-análisis de estudios publicados.</p>	<p>La revisión global de los impactos oceánicos muestra que ninguna parte del océano no es afectada por los humanos y el 41% está fuertemente impactado (Halpern et al. 2008). Múltiples estudios sobre el cambio poblacional y comunitario revelan una señal consistente y globalmente distorsionada del cambio climático (Parmesan y Yohe 2003).</p>
<p>Aprendizaje de las personas que interactúan estrechamente con el medio ambiente.</p>	<p>Evaluación de los conocimientos, leyendas y mitos de los pueblos indígenas. Evaluación de los conocimientos de los agricultores y pescadores. Tomando en cuenta historias orales. Encuestas de ciencias sociales.</p>	<p>Reconocer la existencia de “especies clave culturales” puede mejorar los esfuerzos de conservación (Garibaldi y Turner 2004). Las diferencias en el conocimiento entre generaciones de pescadores artesanales se pueden utilizar para inferir las tendencias históricas de la población (Saenz-Arroyo et al. 2005).</p>

Creemos que existen al menos cuatro razones principales —tanto externas como internas a la ecología— para el resurgimiento y la creciente importancia de los enfoques observacionales.

La primera es que el mundo está cambiando debido a la actividad humana y estos cambios están afectando a los sistemas naturales a escalas espaciales y temporales más amplias que nunca en la historia humana. Como lo han señalado Peter Vitousek y colaboradores (Vitousek et al. 1997), ningún paisaje está exento de alteraciones humanas significativas, una conclusión más tarde extendida a los ambientes oceánicos por Ben Halpern y colaboradores (Halpern et al. 2008). Incluso ser capaz de alcanzar estas asombrosas conclusiones requirió la compilación de un gran número de estudios observacionales, pero el problema fundamental es ¿por qué tan pocos estudios experimentales en las últimas décadas (que a menudo se llevaban a cabo en microcosmos artificiales o en reservas naturales científicas “prístinas”) incluyeron explícitamente los comportamientos humanos que conducen a la degradación ambiental como variable de interés? Como un ejercicio de pensamiento, podemos imaginar un conjunto de experimentos bien controlados que pueden determinar el papel variable de un parásito asociado a un insecto voraz que favorece a una rara especie de planta, sin embargo, también podemos imaginar que si los seres humanos (a través de un conjunto complejo de mecanismos sociales, económicos y políticos) deciden poner un Walmart (o cualquier otro mega-supermercado) en uno de los últimos parches remanentes de la planta huésped, los seres humanos, y no el parásito, se convierten en el actor más importante en la ecología de la planta. Para bien o para mal, en la mayoría de los casos los comportamientos humanos no pueden ser controlados o manipulados experimentalmente. Estudios de observación, que en este ejemplo podrían incluir análisis históricos de la distribución histórica y actual de la planta o evaluaciones socioecológicas de las motivaciones y alternativas para colocar un Walmart justo encima de un parche de una planta escasa, son necesarios en conjunto con estudios funcionales-experimentales a pequeña escala para comprender la real, en contraposición a la idealizada, ecología del sistema.

Segundo, no en pequeña medida, debido a estos cambios ambien-

tales masivos, la actitud de los ecólogos, especialmente de los nuevos estudiantes ha cambiado. Los estudiantes de hoy están decididos a ayudar en la resolución de desafíos ambientales y son, casi sin esfuerzo, interdisciplinarios. Sus actitudes en muchos casos contagiando a sus profesores, que también están cada vez más abiertos a los estudios aplicados e interdisciplinarios. Por ejemplo, Rafe se interesó por los métodos de observación de las ciencias sociales, tales como entrevistas con usuarios de recursos y encuestas de opinión pública, principalmente porque eso es lo que sus estudiantes estaban haciendo para entender cosas como si los programas de ecoetiquetado ayudarían a los pescadores y al medio ambiente (Goyert, Sagarin y Annala 2010). Las preguntas más aplicadas que estos estudiantes y sus profesores necesitan, y las escalas más amplias a las que se aplican, requieren herramientas relativamente nuevas de observación tomadas de otras disciplinas, por ejemplo, entrevistas estructuradas de sujetos humanos y análisis lingüístico de documentos de políticas, así como el uso de herramientas de observación, como el SIG y las estadísticas espaciales, que ya son ampliamente utilizados en ecología.

En tercer lugar, una oportunidad sin precedentes se ha hecho posible para estudiar los sistemas ecológicos a través de escalas de espacio y tiempo a través de nuevas tecnologías, la acumulación de datos a largo plazo y el simple paso del tiempo en relación con las primeras descripciones históricas de los sistemas ecológicos. Las preguntas sobre los sistemas ecológicos y los cambios en aquellos sistemas, que nunca podrían haber sido respondidas previamente, ahora pueden ser descifradas —sólo por la observación. Las nuevas tecnologías crean oportunidades para responder a preguntas sencillas, pero nunca respondidas como “¿Vive algo en los rincones más profundos del mar?” y “¿adónde va el atún rojo?”. Incluso preguntas que no se habían formulado anteriormente están siendo contestadas. Los estudios genómicos, como la detección de genomas microbianos dentro de una gota de agua de mar, han revelado nuevos reinos de diversidad biótica (Breitbart et al. 2007). También hay oportunidades para responder a enigmas que habría sido imposible resolver incluso para los ecólogos más astutos de tiempos pasados. Por ejemplo, tanto Henry David Thoreau como Aldo Leopold

hicieron extensas observaciones de las fases fenológicas (cambios en el tiempo) de las plantas y animales en su ambiente, pero no vivieron lo suficiente ni tuvieron la comprensión del cambio global que tenemos hoy, para saber que estos registros se convertirían un día en indicadores esenciales de los efectos del cambio climático sobre los sistemas naturales (Nijhuis 2007, Bradley et al. 1999).

En cuarto lugar, los nuevos enfoques observacionales de la ecología en referencia a problemas tan diversos como el cambio climático, la acidificación de los océanos, las especies invasoras y el manejo de especies en peligro ya han acumulado un historial probado de éxito. Los estudios observacionales han sido críticos para entender cómo los eventos de gran escala, de alto impacto y no replicables afectan los sistemas ecológicos. Por ejemplo, de los 143 artículos no-redundantes citados como evidencia en las dos revisiones de cómo los sistemas naturales ya han respondido al cambio climático, 132 (92%) fueron estudios observacionales (Sagarin y Pauchard 2010). Asimismo, los efectos ecológicos del desastre nuclear de Chernobyl (Bradbury 2007), los servicios de protección proporcionados por los manglares intactos durante las tormentas tropicales (Granek y Ruttenberg 2007), el destino del petróleo del desbordamiento del Deepwater Horizon en el Golfo de México (Camilli et al. 2010), al igual que los efectos de los viajes en avión sobre el clima (según lo determinado, ingeniosamente, mediante el estudio de los patrones climáticos comparativos en los pocos días después de los atentados terroristas del 11 de septiembre, cuando ninguna aerolínea comercial volaba sobre Norteamérica [Travis, Carleton, y Lauritsen 2002]) se han basado en estudios observacionales. Pero la escala extremadamente pequeña también está siendo capturada por la nueva ecología observacional.

No es sólo coincidencia que estos factores se unieran para cambiar la ecología. Más bien, son un conjunto interactivo de atractores que generan un impulso auto-sostenido y se construyen recursivamente unos a otros. Es decir, a medida que la tecnología de observación y el paso del tiempo nos brindan mayores oportunidades de ver un cambio a gran escala en el mundo, los ecólogos y aquellos inclinados hacia el estudio de sistemas naturales (es decir, aquellos con un fuerte sentido de lo que

EO Wilson llama *biofilia*) desarrollan más motivación para entender y hacer algo acerca de esos cambios, lo que les obliga a adquirir conocimientos o desarrollar relaciones con expertos en una amplia gama de campos y, en muchos casos, aprovechar al máximo los conjuntos de datos observacionales. A medida que los resultados de su trabajo ganan aceptación y se validan en la academia —en publicaciones en *Nature* y *Science*, para científicos como Barbara Block, que desarrolló etiquetas remotas para rastrear atún rojo (Block 2005), y David Montgomery, un geomorfólogo que sobrepasó los límites de su campo para comprender las complejas relaciones entre las personas, el medio ambiente y el salmón (Montgomery 2003) — no sólo existe un incentivo para continuar tales líneas de exploración, sino para ampliar las oportunidades. Por ejemplo, desarrollar nuevos programas de monitoreo a largo plazo, desenterrar más datos históricos, lanzar nuevas plataformas satelitales, desplegar más “cámaras critter”. Estas oportunidades aportan una imagen más clara del cambio ambiental, y también atraen a nuevas personas —estudiantes, científicos-ciudadanos y observadores a largo plazo del mundo natural como pescadores y agricultores— en el creciente mundo de la investigación ecológica. En otras palabras, al igual que la historia de la ecología a largo plazo, la tendencia actual en los enfoques basados en la observación está siguiendo un camino en espiral, creciendo recursivamente y expandiendo su influencia a otros campos.

La siguiente sección de este libro trata acerca de cómo involucrarse en esta espiral de cambio que está ocurriendo en la ecología. Comienza en el núcleo de nuestros propios sentidos humanos, que son a la vez los primeros y los más subutilizados instrumentos para lograr la comprensión ecológica. Después de hablar sobre el poder de nuestros propios sentidos, reconocemos sus limitaciones y sugerimos cómo podemos expandir nuestra comprensión de la complejidad ecológica, al entrar en alianzas simbióticas con la tecnología de observación y los computadores, siempre que tengamos cuidado con que tales asociaciones no eclipsen nuestras innatas habilidades de observación. Finalmente, sugerimos que estas herramientas de observación innatas y adquiridas no se limitan de ninguna manera a los ecólogos científicos. Si la ecología va a abrirse a todo tipo de nuevas metodologías de observación,

también debe abrirse al hecho de que los mejores ecólogos ni siquiera podrían sospechar que son ecólogos.

USANDO OBSERVACIONES EN ECOLOGÍA

La actividad principal de la ecología es la “observación”. Los seres humanos hemos sido observadores perspicaces del mundo natural desde que habitamos la Tierra. Evidentemente, esto ha servido a un propósito crítico: observar los peligros inmediatos, así como las relaciones de los organismos biológicos entre sí y sus cambios a lo largo de las estaciones, resultó esencial para la supervivencia. Pero desde los primeros registros de observaciones humanas —pictografías, figuras talladas y pinturas rupestres— podemos ver también un gran temor y admiración hacia el mundo natural. No creemos que estos dos factores de la observación humana —el contenido informativo y los retornos emocionales— deban separarse al considerar un enfoque observacional en ecología. Hoy en día, más que nunca, las observaciones de nuestro planeta cambiante son profundamente importantes para nuestra supervivencia, pero el amor a la naturaleza misma y nuestra curiosidad inherente sobre ella son motivaciones esenciales para lograr mejores observaciones.

Empezamos en el Capítulo 3 ilustrando la importancia de utilizar múltiples sentidos observacionales para lograr la comprensión ecológica. Utilizando ejemplos de la naturaleza y de distintos observadores de la naturaleza, mostramos que existe abundante información ecológica más allá de nuestro campo visual y que muchos secretos ecológicos sólo se revelan cuando ampliamos nuestros sentidos y practicamos continuamente la habilidad de observar. En el Capítulo 4 extendemos aún más nuestras capacidades de observación revisando la vasta gama de

nuevas tecnologías que nos permiten ampliar nuestros sentidos observacionales innatos en extensiones de espacio, tiempo y espectro sensorial que antes eran inimaginables. Sensores remotos nos permiten ver los cambios fenológicos y las olas de invasiones de especies a través de regiones enteras y a diferentes escalas espaciales. La biología molecular, que en el siglo XX causó una profunda fisura entre los naturalistas y biólogos supuestamente más “rigurosos”, se presta a los enfoques de observación que ahora se están integrando plenamente con los estudios ecológicos. Los sensores transportados por animales están convirtiendo esencialmente a los animales en observadores del mundo natural y en el proceso están derrumbando incluso supuestos clásicos sobre la ecología básica de organismos bien estudiados. En el Capítulo 5 argumentamos que el resurgimiento de los enfoques observacionales presenta una oportunidad sin precedentes para abrir la ecología a una población más amplia. Esta ecología más inclusiva se está haciendo evidente en todos los aspectos de la ciencia, incluyendo un mayor respeto a las formas locales y tradicionales de conocimiento ecológico, la aparición de programas de ciencia ciudadana como una herramienta educativa generadora de diversas fuentes de datos y la adopción de metodologías de ciencias sociales. Aquí presentamos el sorprendente rango de fuentes de datos que ya han contribuido a nuestra comprensión moderna del cambio ecológico.

Utilizando todos los sentidos en ecología

Este capítulo trata sobre cómo nuestras capacidades sensoriales para percibir la naturaleza son esenciales para un enfoque de observación en ecología. Estas capacidades sensoriales son universales a la humanidad y al mismo tiempo únicas para cada individuo, sobre la base de sus antecedentes personales, habilidades y motivaciones. Nuestros sentidos son nuestra herramienta más elemental en la construcción de una comprensión observacional de las relaciones ecológicas, pero a menudo están subutilizados e incluso a veces son vistos con escepticismo en un contexto científico. En este capítulo se muestra cómo cada uno de los sentidos puede contribuir a la ciencia ecológica. Utilizamos las experiencias de ecólogos históricos y contemporáneos, para argumentar que la forma en la cual empleamos nuestros sentidos puede ser una ventaja que nos motiva a explorar el mundo natural y nos abre a nuevos descubrimientos ecológicos.

Sintiendo a la naturaleza

La capacidad humana para observar el mundo natural es muy diversa y variable a través del tiempo, por lo tanto, puede aumentar o declinar con el tiempo y se puede mejorar a través de la experiencia. Geerat Vermeij, un paleobiólogo, ha escrito que “la habilidad de observar —es una habilidad, que para ser desarrollada y perfeccionada— debe ser enseñada y fomentada. Es algo que todo estudiante de ciencias debe

poseer” (Vermeij 2002). Vermeij así pone la observación en el núcleo de la cultura científica, este sentimiento ha sido repetido por otros prestigiosos ecólogos que lamentan la pérdida de las clases basadas en historia natural en todos los niveles de la educación (Dayton y Sala 2001). Su énfasis en la observación no es sorprendente, ya que trabaja en un campo donde pocos experimentos son posibles y grandes conjuntos de datos de observación recogidos en el registro fósil deben ser analizados. Sin embargo, este enfoque de observación ciertamente no ha limitado a Vermeij como científico. Él no sólo ha contribuido en gran medida a la ecología y el estudio de la evolución, sino también a una amplia gama de estudios sociales —desde la economía a la seguridad— a lo largo de su carrera (Vermeij 2004).

RECUADRO 3.1
La importancia de la sensación
<p>GEERAT J. VERMEIJ</p> <p>Los científicos se deleitan a partir de una forma de conocimiento, que destaca una aproximación de la verdad verificable mediante la observación, la evaluación y la inferencia. Hemos perfeccionado este método, pero los científicos no lo inventaron. Desde el principio, los seres vivos han sentido, interpretado y respondido a las circunstancias que podrían hacer la diferencia entre la vida y la muerte, el éxito y el fracaso. Informados por sus sentidos, los organismos encarnan una hipótesis de su entorno; y cuando esta hipótesis se pone a prueba —es cuando la estructura del organismo, fisiología y comportamiento responden de manera adecuada— puede mejorarse a medida que el organismo y el medio ambiente, tal como los detecta e interpreta el organismo, se retroalimentan entre sí, tanto a través de efectos inmediatos como durante el tiempo evolutivo mediante la selección natural. Existe un profundo paralelo entre la evolución adaptativa y la forma más útil de conocimiento científico. El medio ambiente y la hipótesis se comunican, ya sea en el cuerpo de un organismo adaptado o en la mente de un ser humano.</p> <p>Este paralelo destaca el papel esencial y cada vez más ignorado, de la sensación —de la observación con el cerebro atento— en el aprendizaje sobre el mundo. No hay nada como quedar desconcertado por una observación, una oportunidad para despertar la curiosidad, nada como escuchar con cuidado, mirar, sentir</p>

y oler, concebir ideas, hacer preguntas, y formular teorías de cómo el mundo de las cosas y las personas funciona.

Como niño ciego, soñaba despierto con el trópico. Había atractivos libros descriptivos sobre la exuberante vegetación, aves de colores y las playas sembradas de conchas maravillosas; y tengo un indicio de que algunos de los grandes científicos naturales del mundo —von Humboldt, Darwin, and Wallace, entre otros— fueron tan estimulados por las cosas que vieron en las regiones ecuatoriales que cambiaron nuestra concepción del mundo de los seres vivos. Pero necesité experiencia de primera mano —literalmente, por supuesto, de una primera experiencia auditiva y olfativa también— para hacerme preguntas y en última instancia, tal vez para entender los bosques húmedos, cálidos y los increíblemente diversos arrecifes y bancos de arena de los trópicos. Fueron estas experiencias, delatadas por los sentidos, que ayudaron a dar forma a mi visión del mundo científico.

A los niños actualmente, se les enseña a tomar pruebas. Ellos estudian representaciones virtuales, y se encuentran en posición de consumidores pasivos en tiempo real, mientras otros exploran el mundo a través de sus propias sensaciones. Lo desconocido, en la medida en que sea accesible a todos, viene empaquetado y fabricado. ¿No es de extrañar que nuestra curiosidad se marchite y nuestro contacto con el mundo se atrofie?

Una buena observación corresponde a una habilidad, para ser perfeccionada, alimentada y mejorada. Es como la lectura o la escritura: cuanto más lo haces, mejor te vuelves en ello y más el mundo se abre para ti. Educadores, presten atención.

Lo sorprendente es que él ha sido ciego desde una temprana edad, dependiente de su sentido del tacto para “observar” el mundo natural, como se describe en el Recuadro 3.1. Muchos científicos videntes se han maravillado de cómo las observaciones táctiles de Vermeij describen intrincados detalles y las historias de vida de conchas fosilizadas que ellos mismos no podían ver con sus propios ojos. Su historia es inquietante para los videntes, porque la mayoría de nosotros acudimos de inmediato a nuestro sentido de la vista cuando pensamos en “observación”.

La historia de Vermeij comienza a revelar la asombrosa capacidad de adaptación de nuestras habilidades de observación, y esta capacidad se hace aún más clara cuando consideramos otro maestro altamente con-

sumado que también resulta ser ciego. Daniel Kish observa el mundo principalmente a través del sonido. Se auto-enseñó a una temprana edad a usar su propio sistema de sonar, haciendo clics audibles y escuchando sus ecos (Kish 2009). Pronto pudo identificar la forma y los materiales de los objetos en su entorno. Podía ir a la escuela y vivir el día a día por su cuenta. Incluso podía montar en bicicleta. Y ahora enseña a otros estudiantes ciegos a hacer lo mismo, principalmente mediante la observación del mundo a través de sus oídos.

Estos dos notables observadores del mundo destacan la amplia gama de posibilidades inexploradas para la mayoría de nuestros sentidos de observación y las limitaciones de confiar demasiado en la observación visual. Debería ser evidente que la ecología requiere de todos nuestros sentidos. Después de todo, el mundo ecológico es una madeja confusa de información sensorial. Las relaciones entre las plantas, animales, microbios y el mundo físico a su alrededor son todas desarrolladas por el contacto —picaduras mortales y bigotes hipersensibles; en la visión —destellos de colores de advertencia y camuflaje; en el olfato —olores que atraen y repelen; en sonidos —las llamadas de alarma y cantos de apareamiento; y en el gusto —la amargura de compuestos químicos de protección y la dulzura del néctar. Del mismo modo, el estudio ecológico se agudiza con el notable uso de los sentidos, visuales y de otro tipo.

El pleno uso de nuestros sentidos puede hacer la diferencia entre simplemente seguir a través de los retos inmediatos de nuestra vida cotidiana y el desarrollo de una comprensión ecológica profunda y científica. Salir a una caminata con muy buenos observadores de aves es una experiencia auditivamente reveladora. La mayoría de las aves que ellos identifican ni siquiera las ven, o sólo obtienen una visión fugaz de ellas. En cambio, los observadores de aves han registrado una inmensa colección de llamadas, canciones y variaciones para poder identificarlas por el sonido, no sólo la especie de ave, sino también su género, su comportamiento e incluso revelar la presencia de otros animales en sus proximidades.

De hecho, el sonido crea su propia ecología, que afecta a las relaciones entre individuos de la misma especie y otras especies, pero debido a que subestimamos las observaciones del sonido, es que a menudo no

somos conscientes de esta ecología del sonido. David Dunn, que ha pasado su vida realizando el catálogo ecológico de “paisajes sonoros” mediante el uso de una variedad de sensores caseros de bajo costo, ha descubierto a través del sonido una enorme cantidad de relaciones que fueron pasadas por alto incluso por los biólogos especialistas más experimentados. Su trabajo sobre escarabajos de la corteza, que han dañado a millones de acres de bosques en el suroeste de los Estados Unidos ha puesto de manifiesto que son vulnerables a los estímulos auditivos (www.fs.fed.us/r3/resources/health/beetle/). Cuando se reproducen sonidos en la frecuencia correcta cerca de ellos, los machos de los escarabajos de la corteza dejan de consumir la corteza interior de árboles, en lugar de ello, atacan a las hembras, lo que sugiere una posible vía para el control del escarabajo de la corteza*.

A veces, la naturaleza debe ser tocada para ser entendida. Cuando Rafe lleva a los niños de paseo a las pozas intermareales, siempre se asegura de que toquen tanto como les sea posible. Los padres, maestros y chicas scout “Den Mothers” que los acompañan, a menudo se lo toman por sorpresa. Por lo general, a los niños se les han dado instrucciones estrictas de antemano de no tocar nada. Estas prohibiciones, sin duda, provienen de un deseo bien intencionado para proteger el medio ambiente, sin embargo, son innecesarias y contraproducentes. Son innecesarias porque es en realidad bastante difícil para un individuo humano, incluso en un grupo, hacer mucho daño permanente en la mayoría de los ecosistemas por el sólo hecho de tocar. Hay excepciones, por supuesto —pisar los corales vivos durante el buceo, senderismo a través de los delicados suelos criptogámicos en el desierto—, pero muchos organismos, especialmente aquellos que han evolucionado para soportar algunas de las fuerzas más duras y estresantes en el planeta, son lo

* “Aquí viene el sonido”, entrevista en el programa de radio Live on Earth, se emitió el 10 de febrero de 2010 (loe.org/shows/segments.htm?programID=10-P13-00009&segmentID=6, consultado el 14 de octubre de 2010). Esta entrevista con David Dunn y los investigadores Richard Hofstetter y Reagan Mac Guire revela tanto el poder de las colaboraciones interdisciplinarias como las enormes brechas en nuestra comprensión de la ecología sensorial.

bastante robustos. Al mismo tiempo, las prohibiciones para evitar el contacto son contraproducentes porque poco o nada se puede aprender de la naturaleza sin tocarla. El tacto es una forma natural para los niños de explorar su mundo y que crea instantáneamente todo tipo de preguntas ecológicas: ¿Por qué esas plantas acuáticas son rígidas y estas laxas? ¿Por qué esta anémona verde está cubierta de conchas y residuos y aquella otra totalmente lisa?

Una muy interesante anécdota del viaje de Ed Ricketts a las costas lejanas del Noroeste del Pacífico demuestra que hasta bien avanzada su carrera como biólogo usó su sentido del tacto para hacer nuevos descubrimientos: “Otro gran pulpo. A menudo me he preguntado si los pulpos muerden. Hoy descubrí que sí lo hacen, sin duda lo hacen” (Ricketts 2006).

El sabor es un asunto complicado cuando se trata de un estudio ecológico. Los organismos contienen una amplia gama de productos químicos de defensa que en algunos casos pueden ser tóxicos para los seres humanos, por lo que probablemente no es una gran idea alentar a las chicas Scouts a degustar los animales que encuentran en las pozas intermareales. Y como no podemos saborear con nuestros brazos como lo hace un pulpo, utilizar las partes sensibles de nuestra boca para fines ecológicos puede ser una propuesta peligrosa, especialmente si se suele hacer ecología en ambientes hostiles —desiertos y zonas intermareales, por ejemplo— donde los organismos están bien armados. No obstante, existen oportunidades para llevar incluso nuestro sentido del gusto a la ecología. Entre los cientos de especies de algas que habitan en las orillas de la Costa del Pacífico, hay algunas, como las del género *Osmundea* (anteriormente *Laurencia*), que puede ser identificada por su sabor distintivo. Muchas plantas tienen gustos distintivos que pueden ayudar a identificarlas; los botánicos y ficólogos que se han tomado el tiempo para aprender la diferencia entre lo tóxico y simplemente aquellas plantas de mal gusto, han utilizado el sentido del gusto durante mucho tiempo para identificar plantas y algas.

El sentido olfativo conduce numerosas interacciones ecológicas. Muchos mamíferos utilizan marcas de olor para reclamar su territorio o comunicar información sobre jerarquías de dominio. El salmón y otros

peces anádromos utilizan señales olfativas, en parte, para guiarlos de regreso a sus cursos de agua natales (Montgomery 2003). Las langostas utilizan olores en complejos rituales de apareamiento (Corson 2004). En efecto, los olores juegan un papel menor, pero no insignificante en la observación ecológica y para los ecólogos de plantas terrestres, el olor puede ser un buen sustituto para la degustación. Buenos rastreadores de animales reportan que pueden oler el almizcle en un árbol que ha sido frotado por un ciervo macho. Las áreas más húmedas en un bosque pueden ser reconocidas por su aroma. Incluso a los niños muy pequeños se les puede enseñar a diferenciar plantas por su olor. En los ecosistemas secos, como el matorral mediterráneo chileno, las plantas han desarrollado particularmente fuertes compuestos bioquímicos que permiten una fácil identificación de las especies (Muñoz, Montes, and Wilkomirsky 1999; Hoffmann 1989). En los ecosistemas costeros, las mismas algas pertenecientes al género *Osmundea* se pueden identificar por su sabor, también pueden ser localizadas en una noche de excursión a las pozas intermareales por su olor amargo, mientras que una esponja intermareal común, *Halichondria panicea*, tiene un olor sulfuroso muy distintivo que puede ser utilizado para confirmar su identidad*.

Entrenando nuestros sentidos para la ecología

Pero ¿qué tan diferente es utilizar nuestras habilidades de observación como ecólogos a simplemente ir por nuestro mundo cotidiano viendo, oyendo, tocando, oliendo y degustando cosas? Una vez más, Daniel Kish, el maestro ciego que utiliza la ecolocalización, proporciona una pista al respecto.

Cuando durante una entrevista se le preguntó si las personas videntes podrían aprender ecolocalización, Kish expresó sus dudas, y señaló que se requieren grandes dosis de “motivación, necesidad y práctica”, ninguna de las cuales son muy frecuentes en las personas con visión en

* Los ejemplos de aromas y sabores distintivos de organismos intermareales, así como la historia del nombramiento del alga “Izzie” Abbott, provienen de dos grandes naturalistas de la Costa Oeste, John y Vicki Pearse).

lo que respecta a la ecolocalización (Mithra 2004). Afortunadamente, los ecólogos entusiasmados por sus materias de estudio tienden a ser altamente *motivados, y practican* mucho sus habilidades de observación. Una de las formas más útiles para la práctica de un ecólogo es mantener un cuaderno de terreno, como el que las ecólogas Ana Salomon y Kirsten Rowell han compartido con nosotros y se describe en el Recuadro 3.2. Y la *necesidad* viene de la naturaleza de la obra misma —si no se es un buen observador, es casi imposible encontrar algo interesante y mucho menos, desarrollar puntos de vista ecológicos o desentrañar misterios ambientales. Es este trío de ingredientes que separa las observaciones ecológicas realmente útiles —las que podrían ayudar a lograr una comprensión científica de la complejidad ecológica— de las observaciones estándar que realizamos en el día a día.

La prueba más evidente de esto surge cuando llevamos diferentes estudiantes a terreno. Hay ciertos estudiantes que inevitablemente ven mucho más que los otros. Ellos son los que localizan al elusivo suño cornudo (un pequeño tiburón marrón con puntos negros) difícil de identificar en un viaje de buceo a través del bosque de algas o son capaces de identificar las especies de árboles en el dosel del bosque. Nos resulta notable que estos hábiles estudiantes, a menudo, nunca han estado en el sitio que estamos explorando o incluso el mismo tipo de ecosistema. Los estudiantes con “buen ojo” invariablemente comparten ciertas características, ellos siempre son los estudiantes que han pasado abundantes horas al aire libre cuando niños. Muchos de los buenos observadores han sido criados en localidades rurales o han estado en el campo desde la infancia. Es posible que hayan crecido caminando entre bosques, pescando con sus padres o simplemente encontrando la soledad en pequeños parches suburbanos de bosque, pero rápidamente se encontrarán como en casa cuando se les lleva al bosque, el desierto, o la costa. Estos “talentosos” estudiantes son casi siempre los primeros en adentrarse y los últimos en regresar en las excursiones de terreno. Estarán llenos de barro incluso antes que la mitad de los estudiantes haya terminado de bajar del vehículo. En una noche de buceo en las aguas frías del Pacífico van a durar más que los otros estudiantes y su instructor, tiritando por 20 o 30 minutos.

RECUADRO 3.2**El arte de la ecología: cómo las notas de campo y los bosquejos entregan conocimiento sobre la naturaleza****ANNE SALOMON Y KIRSTEN ROWELL**

Durante miles de años, los seres humanos han utilizado dibujos para comunicarse y documentar los misterios de la naturaleza. Desde los pictogramas paleolíticos de Pech-Merle (Pruvost et al. 2011) hasta los cuadernos meticulosos de los biólogos del siglo XX como Joseph Grinnell, la tradición de la ilustración de campo y toma de notas del mundo natural ha demostrado ser un medio digno para desarrollar entendimiento ecológico. Ya sea en roca o en un cuaderno con espiral, bocetos y notas de campo son un invaluable primer paso para iluminar las consultas emergentes y la comprensión sintética que conducen a la ciencia predictiva. En la antigüedad y aún hoy en día, el arte y la ciencia se han utilizado en conjunto para buscar esas verdades ecológicas fundamentales de los que depende nuestra supervivencia.

Nuestros procesos cognitivos mejoran al sintetizar y mantener registro de las observaciones in situ del mundo natural. Al detallar los aspectos íntimos de la morfología de la especie (Figura 3.1), o los matices de un proceso ecológico (Figura 3.2), dibujos y notas de campo pueden ayudar a refinar nuestros pensamientos, aclarar nociones y enriquecer nuestras intuiciones ecológicas, incluso antes de que tengamos una comprensión a cabalidad, y menos aún las palabras, para describir los fenómenos que estamos presenciando. En pocas palabras, dibujar puede mejorar nuestra visión (Edwards 1999). Al recopilar observaciones, los seres humanos graban en sus mentes ideas ecológicas desde su infancia. Y las notas y dibujos pueden no solo engendrar la intuición ecológica, sino también pueden ayudar a decodificarla.

La práctica de identificar y dibujar las características clave de una especie, paisaje o ecosistema, promueve la simplificación de la naturaleza compleja hacia sus parámetros esenciales, desde los cuales se pueden hacer generalizaciones precisas acerca de ella. Esto, después de todo, es el objetivo principal de la ecología. Son estos registros en bruto de los elementos indispensables de la naturaleza, que pueden proporcionar una visión profunda que conduce a hipótesis nuevas y comprobables. Las observaciones competentes son los cimientos fundamentales del proceso de investigación, y por lo tanto su documentación cuidadosa es un aspecto fundamental de la “alfabetización ecológica”.

Los beneficios de archivar el contexto y los personajes de nuestra investigación a veces se manifiestan en el tiempo. Al igual que los curadores de museos, los biólogos que reúnen, organizan y preservan las observaciones y puntos de

vista ecológicos tienen un recurso eterno para futuros estudios. Las notas de campo e ilustraciones, independientemente de qué tan rudimentarias sean, pueden capturar las impresiones fugaces que en años posteriores ofrecen una base para la reflexión y la comparación (Greene 2011). Bocetos de Georg Steller de la antiguamente abundante vaca marina, son un ejemplo de cómo los dibujos de campo archivados pueden revelar fantasmas de los ecosistemas del pasado (Dayton et al. 1998) y evitar las poco claras líneas de base (Pauly 1995; Jackson et al. 2001).

Del mismo modo, petroglifos y pictografías que capturan las observaciones de historia natural que se hicieron hace miles de años, ofrecen líneas de base ecológica en un lenguaje universal que une culturas y trasciende el tiempo.

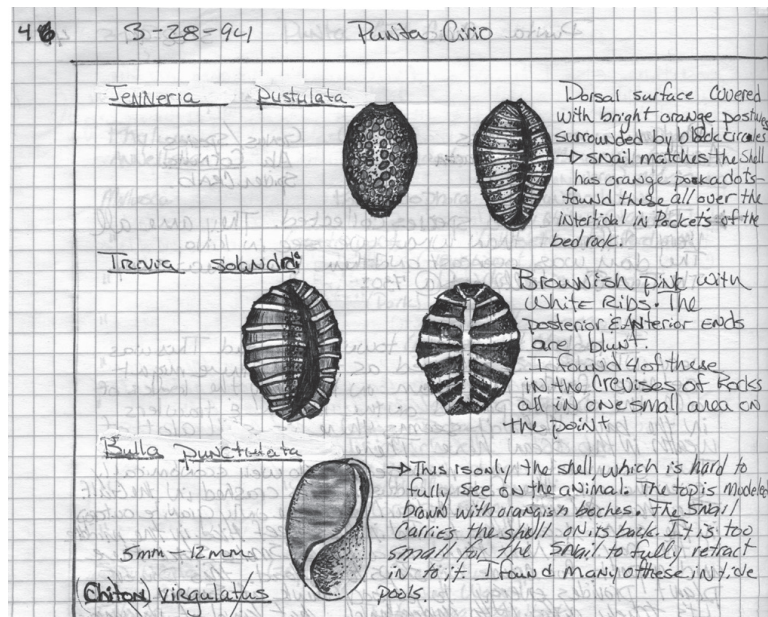


Figura 3.1. Estudios de pregrado sobre la ecología y morfología de la concha de los moluscos intermareales en el Golfo de California. Dibuja-do por Kirsten en 1994.

Hoy, sin embargo, con nuestra necesidad imperiosa de hacer de la ecología una ciencia más predictiva, el arte de la ilustración de campo y toma de notas ha pasado a segundo plano ante técnicas moleculares y la modelación ecológica moderna (Dayton y Sala 2001). Este cambio cultural ha modificado las habilidades que valoramos y por lo tanto las habilidades que enseñamos en la ecología, de tal manera que el dibujo en campo y la toma de notas están en peligro de desaparecer. Aunque los científicos tienen ahora mayor capacidad que nunca para modelar sistemas ecológicos, a menudo carecemos de la información básica de

historia natural necesaria para parametrizar modelos cada vez más complejos (Tewksbury et al. en revisión).

Sin embargo, la historia natural es el punto de partida para todos los avances en la ecología. Sin ella, incluso los modelos más complejos pueden producir predicciones inexactas que cuando se aplican para resolver problemas del mundo real, pueden tener consecuencias no deseadas. A medida que avanzamos en tecnologías ecológicas, debemos seguir y avanzar simultáneamente en el arte de la ilustración sencilla de campo y la toma de notas.

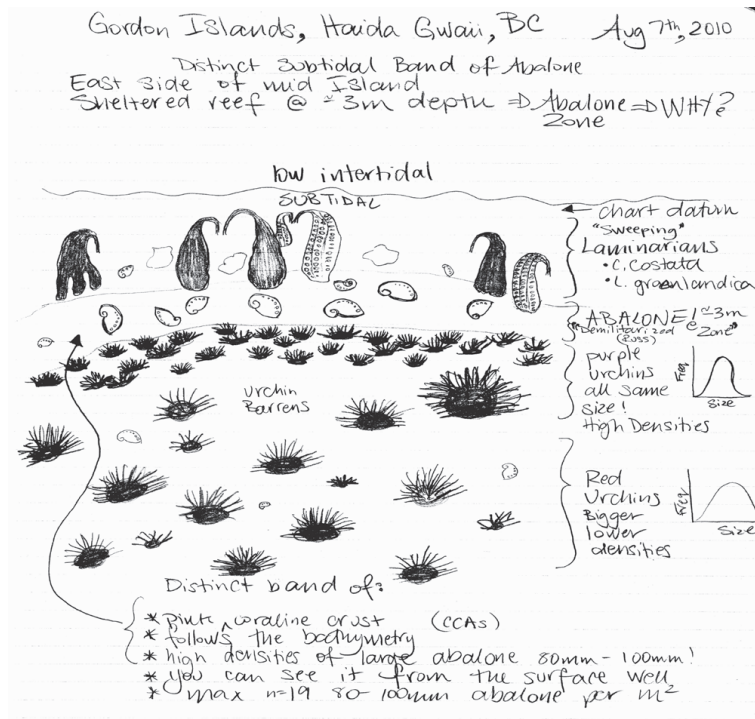


Figura 3.2. Un fenómeno aún no descrito en los arrecifes submarinos de Haida Gwaii, en la Columbia Británica, Canadá, donde un frente de alimentación de erizos marinos herbívoros de color púrpura y rojo se encuentra con las grandes algas laminares a una profundidad específica que probablemente cambia con las mareas, creando una banda horizontal rosada distinta de algas coralinas crustosas lisas con densidades inusualmente altas de orejas de mar del norte expuestas, abiertamente alimentándose. Dibujado por Anne en 2010.

Aun cuando imágenes satelitales, modelamiento jerárquico, y las firmas isotópicas estables se han convertido en herramientas vitales en el equipo de herramientas del ecólogo contemporáneo, igual importancia deberían tener las habilidades de dibujo de campo y la observación. Tal como Ramón Margalef (1997) dijo una vez, un naturalista es más un poeta que un ingeniero (Margalef 1997), entonces las habilidades de un artista son igualmente valiosas de entrenar.

En un artículo que escribió antes de que se hiciera famoso por libros como *The Tipping Point* y *Blink*, Malcolm Gladwell se dio cuenta de un fenómeno similar entre los “genios físicos” —grandes músicos como Yo-Yo Ma y talentosos deportistas como el jugador de hockey Wayne Gretzky (Gladwell 1999). Lo que Gladwell encontró fue que estas personas dedicaban una considerable cantidad de tiempo en la práctica de su disciplina, aun cuando ya eran, por lejos, los mejores en sus materias. Toda esa práctica les dio un enorme depósito de recuerdos “fragmentados” (Churchland, 2004) que podrían recuperarse y usarse para enfrentar incluso nuevas situaciones. (Gladwell amplió esta idea más adelante en su libro *Outliers*, donde citó investigaciones que sugieren que, además de las circunstancias afortunadas y una inteligencia basal mínima, los profesionales excepcionales entre nosotros poseen una enorme historia de la práctica de su oficio —típicamente al menos 10.000 horas [Gladwell 2008].)

En este sentido, la observación ecológica parece no muy diferente de la práctica de escalas musicales en un chelo, lanzar tiros en una pista de hockey, aprender a ecolocalizar o ver a través del tacto. Es una habilidad necesaria, aunque no suficiente en sí misma, que crea la oportunidad para la comprensión de sistemas complejos. En el sector forestal, un colega nuestro ha acuñado el término “horas bosque” (Eduardo Peña, com. pers. a A.P.), de la misma forma que los pilotos de aviones presentan “horas de vuelo”, para explicar cómo la exposición continua a los ecosistemas forestales puede ayudar a un profesional a adquirir una comprensión más amplia y profunda de la dinámica del bosque.

Entonces, ¿cuál es la base neurológica y psicológica para tal proceso de aprendizaje? El aprendizaje a través de la observación sensorial incluye al menos tres componentes clave: habilidades inherentes (nuestros antecedentes genéticos), la experiencia previa y conocimientos (especialmente experiencias de la infancia), y los antecedentes culturales (¿qué tan libre y fomentada fue la observación en el transcurso de nuestro desarrollo?). Al igual que tener un buen oído para la música, algunos de nosotros somos mejores o peores para observar fenómenos. Sin embargo, las primeras etapas de nuestro desarrollo son cruciales para refinar nuestros sentidos. Sin lugar a duda, para un niño que no sale de

su casa durante los tres primeros años de su vida, le resultará mucho más difícil el reconocimiento de cantos de aves. La experiencia previa y el conocimiento no sólo desarrollarán nuestras habilidades, sino también nos ayudarán a crear una red cognitiva o mapa mental mediante el cual la nueva información puede ser integrada en el complejo rompecabezas de todas nuestras observaciones anteriores (Bransford 2000). Por último, nuestro trasfondo cultural y valores nos brindan la motivación para continuar la observación de la naturaleza. Las familias donde la naturaleza es honrada como una parte importante de la vida, fomentarán una motivación mucho más fuerte en sus hijos para que sean conscientes y alerta a las señales de la naturaleza. Un tema común en las experiencias de la infancia de Geerat Vermeij y Daniel Kish como observadores ciegos, era que sus padres de forma entusiasta los animaban a salir y explorar el mundo.

A nivel más personal, de nuevo como se ilustra en grandes observadores como Vermeij y Kish, cada uno de nosotros usamos los sentidos de una manera que refleja nuestra propia historia y tendencias. Las habilidades personales y motivaciones únicas de los observadores ecológicos han sido poderosos determinantes del progreso que se ha hecho en la ecología. Con demasiada frecuencia asumimos que “personal” significa “sesgado” —una palabra que tiene connotaciones negativas en la ciencia. En ese sentido, estamos todos sesgados. Hemos elegido estudiar los bosques, las costas o las fumarolas hidrotermales de aguas profundas, y estas decisiones claramente dan color a nuestro punto de vista particular. Aunque Geerat Vermeij es cuidadoso para evitar retratar su ceguera como una desventaja, no hay duda de que la forma especial que utiliza sus sentidos ha formado el tipo de científico que es hoy y le ayudó a definir el alcance de los descubrimientos que ha hecho.

Pero el “sesgo”, en el peligroso sentido de generar resultados falsos o engañosos, es función del diseño del estudio y su ejecución, y no del propio investigador. Los autores han experimentado la amplia gama de habilidades de observación entre nuestros estudiantes y esto puede ser desconcertante si varios observadores están reuniendo datos de un gran proyecto. Una cosa que podemos hacer es idear pruebas tanto para entrenar sus habilidades de observación como para garantizar un cierto

nivel de coherencia en nuestras observaciones. Por ejemplo, los estudiantes o los nuevos técnicos de terreno pueden ser entrenados para estimar el porcentaje de cobertura de copa en parcelas con un porcentaje conocido de los valores de cobertura, antes de tomar datos de campo. Este entrenamiento puede ayudar a todos a entender un lenguaje común de observación, pero aun así no se eliminará todo el sesgo. Un estudio del impacto a largo plazo de sanidad forestal llevado a cabo por la Universidad de Arizona tiene una “parcela de entrenamiento”, entre varias docenas de grandes parcelas de observación en el sitio de estudio, donde los nuevos miembros del equipo de investigación aprenden las técnicas de terreno. Una manera de ver el sesgo en este tipo de estudios es analizar los datos de campo contrastándolos con los de la parcela de entrenamiento para ver si hay diferencias consistentes (variaciones en los datos para la cobertura del dosel) en los resultados obtenidos por los investigadores sin experiencia. Pretender que el sesgo no se produce, o que ha desaparecido por la aleatorización de nuestras observaciones, no significa que nos hemos deshecho de él. Más bien, lidiar con el sesgo requiere de otra habilidad aguda de observación —es decir, la capacidad de concebir y encontrar posibles fuentes de sesgo en un estudio o un conjunto de datos.

A veces sólo necesitamos una prueba para superar el escepticismo sobre la posibilidad de alcanzar notables habilidades de observación sólo a través del día a día del proceso de trabajo en terreno. Christopher Norment, ecólogo de aves, escribió en sus memorias *Return to Warden's Grove*, tanto su confianza como el escepticismo con respecto a su propia “intuición” acerca de dónde encontrar los nidos de gorrión difíciles de alcanzar (Norment 2008). Aunque tuvo que depender “a ojos cerrados” de esta intuición para conseguir algo útil de sus temporadas de campo en los remotos bosques del norte, cuando regresó a casa en el centro del país llevó a cabo una prueba inusual, pero científicamente rigurosa de sus habilidades. Sus estudiantes graduados le vendaron los ojos y lo trasladaron hasta un campo desconocido, luego se comparó la cantidad de hallazgos de nidos entre él y observadores no iniciados, y se encontró con que su intuición era de hecho correcta —se había convertido en un gran buscador de nidos.

Ed Ricketts argumentó que el proceso intensivo y personal de la observación era un antídoto para muchas formas de sesgo y también una fuerza impulsora detrás de algunas de las teorías ecológicas más robustas. Él abogó por un proceso de primero observar y luego proceder a la construcción de múltiples observaciones en teorías holísticas —lo que llamó el pensamiento “no-teleológico”— en lugar del enfoque deductivo de comenzar con una teoría y luego dividirlo en partes más pequeñas. Fue a través de este enfoque que partía, preguntándose “qué” era un sistema, en lugar de “por qué” un sistema funcionó como lo hizo, que los supuestos sesgados que aportan los investigadores podrían evitarse (Ricketts 2006). Pero fue —según Ricketts y su buen amigo, el autor John Steinbeck— la combinación de este método de observación para la ciencia y el aspecto profundamente personal y emotivo de las ciencias naturales, lo que realmente lo llevó a avances científicos. Ricketts y Steinbeck hicieron suyo un pasaje del Darwin’s *Voyage of the Beagle*, en el que Darwin exclamó sobre Valparaíso: “Cuando llegó la mañana, todo parecía delicioso... la atmósfera tan seca, los cielos tan claros y azules con el sol brillando, que toda la naturaleza parece reluciente con la vida” (Darwin 2004). Ricketts y Steinbeck especularon que esta naturaleza bidireccional de la historia natural estaba en el trabajo:

Darwin no estaba diciendo cómo estaba Valparaíso, sino más bien la forma en que éste estaba con él. Siendo un naturalista, dijo, “toda la naturaleza estaba reluciente con vida”, pero en realidad era él, el que estaba reluciente. (Steinbeck y Ricketts 1941).

Si bien existe una cualidad romántica en esta interpretación, hay que recordar que Darwin estuvo miserablemente enfermo durante casi todo su tiempo en el mar y, aunque hizo muchas contribuciones a la biología marina, estas vinieron en gran medida a través de las horas laboriosas que pasó en su país de origen, clasificando la taxonomía de los crustáceos cirrípedos y otros organismos (Stott 2003), pues él nunca volvió al mar después de su viaje de cinco años en el *Beagle*. Nos encontramos con que, para muchos ecólogos, estos momentos trascendentes cuando nuestras afinidades personales por nuestros organismos objeti-

vo y áreas se expresan plenamente, son los motivadores fundamentales que nos mantienen en marcha a través de las tediosas horas de trabajo de campo y laboratorio.

La combinación de un amplio uso de nuestros sentidos con un marco científico ecológico es una aplicación potente y flexible de la ecología basada en la observación, lo que permite una exploración amplia de los sistemas ecológicos, y también nos da la fuerza de la teoría ecológica sólida en la cual se acomoda nuestro “nuevo” conocimiento observacional. Las observaciones, entonces, se convierten en parte de un esfuerzo más grande, donde nuestra experiencia personal puede traducirse en una comprensión más profunda de la naturaleza. Este no es un proceso fácil —se requiere consistencia y la capacidad de conectar y comunicar nuestros hallazgos, además de ser capaces de probar científicamente las preguntas ecológicas (véase el Capítulo 7). Y teniendo en cuenta los retos del cambio ambiental y las oportunidades para los nuevos instrumentos de observación ya disponibles, cada vez nos obliga a ir más allá de nuestros cuerpos y combinar nuestros sentidos de observación naturales con sensores tecnológicos claramente no naturales, esto es, esencialmente la creación de un nuevo organismo simbiótico que nos encontraremos en el capítulo siguiente —un moderno tecnofílico naturalista-ecólogo para la era del cambio global.

Usando la tecnología para expandir nuestros sentidos observacionales

Aun considerando todo nuestro poder sensorial subutilizado, que hemos discutido en el capítulo anterior, nuestros sentidos son decididamente limitados, por lo que nuestra capacidad de aplicar un enfoque observacional en la ecología estaría restringida, si no fuera la tecnología que expande nuestros sentidos. Este capítulo aborda cómo podemos utilizar la tecnología a nuestro favor, cómo puede confundirnos y cómo armonizar la relación entre el observador biofílico del mundo natural y el científico tecnófilo que ve el mundo a través de sensores tecnológicos.

Observando lo inesperado y lo no descubierto

Algunas de nuestras limitaciones sensoriales reflejan el hecho de que los humanos carecemos de cierto equipo de observación. Esto puede obstaculizarnos en las escalas más finas y amplias de la observación detallada. No podemos enviar y recibir señales de luz polarizada como las sepias (Brooks 2008), ni tampoco podemos ver la adelgazada capa de ozono sobre la Antártida. A veces nuestro equipo sensorial parece ser la versión de descuento de aquellos que están mucho más desarrollados en otros organismos. Al igual que los perros, olfateamos con la nariz, y la información se procesa en un denso paquete de nervios conocido como el epitelio olfativo. Pero los perros tienen sus nervios olfativos insertos en un epitelio que es 17 veces más grande que el de los humanos. No

es de extrañar que el olfato juegue un papel menor y menos consciente en nuestras observaciones, mientras que probablemente desempeña un papel dominante en las observaciones caninas. Hemos evolucionado con un conjunto específico de sentidos para sobrevivir en un entorno específico, y esos sentidos a menudo se quedan cortos cuando tratamos de comprender el mundo complejo en el que vivimos.

Pero no tenemos que conformarnos con el equipo sensorial con el que nacimos o incluso con las habilidades sensoriales avanzadas que podemos desarrollar a través de la práctica. La combinación simbiótica de la historia natural observacional junto a la tecnología antigua y contemporánea nos permite ampliar nuestra caja de herramientas de observación. De hecho, nuestra capacidad de conceptualizar, observar y conducir la ciencia fuera de nuestro rango sensorial normal ha sido bien establecida, como se ilustra, por ejemplo, por el progreso alcanzado en la astronomía. Pero a diferencia de la astronomía de hoy en día, nuestra tecnología ecológica no tiene que ser extremadamente “de alta gama”. A veces sólo una ligera alteración de nuestras capacidades sensoriales aportado por la tecnología es suficiente para estimular sorprendentes nuevos descubrimientos ecológicos. Por ejemplo, Nico Michiels, ecólogo evolutivo y un ávido buceador de la Universidad de Tübingen en Alemania, hizo tal descubrimiento cuando simplemente agregó un filtro rojo a su máscara de buceo. En lugar de la oscuridad total esperada (porque la luz roja no penetra más de 15 metros aproximadamente en el agua de mar), Michiels encontró un mundo submarino repleto de señales rojas —destellos de ojos rojos de peces e incluso cuerpos de peces enteros que parecían rojos. La teoría por sí sola sugiere que el rojo tendría poca importancia para los peces en profundidad, pero observaciones —seguidas por experimentos controlados en el laboratorio de Michiels— están sugiriendo que los peces utilizan rojo fluorescente como un dispositivo de señalización secreto (Pain 2009).

En algunos casos las tecnologías que hemos tenido durante siglos se están volviendo dramáticamente más poderosas. Por ejemplo, la microscopía ha avanzado a la imagen tridimensional que puede proporcionar una visualización sin precedentes de la ecología del sistema inmunológico, revelando que las células inmunitarias y sus blancos in-

teractúan y se comunican de manera no muy diferente a las células nerviosas (Davis 2006). La microscopía de vídeo de alta velocidad ha descubierto los misterios de cómo pequeños copépodos pueden emboscar a las presas en un medio relativamente viscoso (Kiorboe et al. 2009).

En otros casos la combinación de nuevas tecnologías de detección y la capacidad de visualizar nuestra área de estudio en su totalidad, mediante el uso de sondas aerotransportadas y espaciales nos ha proporcionado una imagen mucho más completa de lo que nuestras frecuencias visuales innatas podrían proporcionar. Esta técnica se conoce como teledetección y se emplea en casi todos los campos de la ecología, desde el monitoreo de especies invasoras, la determinación de los flujos de nutrientes y hasta la documentación de las respuestas de las especies al cambio climático. Alejarse de la superficie de la Tierra para observar ha creado una revolución en la ecología y las ciencias de la Tierra. En primer lugar, los equipos aerotransportados utilizados principalmente con fines militares nos dieron una visión mucho más amplia de los ecosistemas. Después de la Primera Guerra Mundial, los geógrafos y los ecólogos empezaron a usar fotos aéreas para mapear las comunidades y hábitats de las plantas y para comprender patrones y procesos a partir de una escala que los humanos no podemos percibir desde el suelo. Esto se refleja en la definición pragmática del paisaje de Forman como “lo que uno ve hacia fuera desde la ventana de un avión” (1995). Otro avance fue la popularización de imágenes satelitales, revelando el paisaje de la Tierra desde el rango visual hasta infrarrojos e incluso otras longitudes de onda específicas. Los procesos ecológicos mundiales con importantes consecuencias para la conservación se han cuantificado y comprendido mediante el uso de información satelital. Una reconocida historia ecológica y de conservación que comenzó a desarrollarse en los años ochenta fue la cuantificación directa de las tasas de deforestación en el Amazonas y otras cuencas tropicales, desarrollada únicamente a partir de datos satelitales (Skole y Tucker 1993). Más recientemente, estos análisis se han vuelto más predictivos que descriptivos. Cassia Prates-Clark y sus colegas han utilizado varios tipos de datos de detección remota para predecir con mayor exactitud la presencia espacial de especies arbóreas particularmente vulnerables en la cuenca del Amazo-

nas (Prates-Clark, Saatchi y Agosti 2007). Actualmente, la tecnología de radar en forma de LIDAR ha abierto nuevas posibilidades para revelar la estructura del ecosistema a escalas muy finas desde el aire o el espacio (Vierling et al. 2008).

Las ciencias del cambio climático se han beneficiado enormemente de la teledetección. La información de satélites puede ayudar a confirmar los datos recolectados por las estaciones meteorológicas terrestres, y tiene una cobertura casi continua en toda la superficie de la Tierra. La comprensión de la distribución espacial de los procesos climáticos es un requisito para la simulación del clima y sin datos de satélite sería casi imposible. Por ejemplo, Nemani y colaboradores (2003) encontraron que el cambio climático ha estado cambiando la dinámica de las nubes en la Amazonia, lo que a su vez puede causar un aumento en la producción primaria en la zona (Arias et al. 2011). El sensor MODIS, lanzado a bordo de los satélites TERRA y AQUA en 1999 y 2002, respectivamente, nos permite tomar el pulso de la Tierra sin salir de nuestra oficina. Así MODIS está creando una enorme cantidad de datos en tiempo real que pueden ser aplicados a diversos propósitos ecológicos, como la detección de incendios y cambios en la vegetación del sotobosque en zonas afectadas por las actividades humanas (Morton et al. 2011).

La tecnología también está rompiendo la dicotomía de los seres humanos como observadores y animales como objetos de estudio, ya que nos permite experimentar el mundo natural a través del movimiento e incluso de las experiencias sensoriales de los organismos en la naturaleza. Etiquetado satelital, registradores de datos y las cámaras transportadas por los animales están convirtiendo a miles de organismos marinos en historiadores naturales, proporcionando registros sin precedentes del comportamiento animal y del medio marino (Moll et al. 2007). En algunos casos, estas observaciones proporcionadas por animales están causando estragos en nuestros supuestos derivados experimentalmente. Por ejemplo, varios mamíferos marinos equipados con sensores se hundieron mucho más profundo y por un tiempo más prolongado de lo que cualquier modelo fisiológico derivado de laboratorio había sugerido (Moll et al. 2007). En otros casos, las observaciones transmitidas por los animales están proporcionando formas de responder a comple-

jos problemas de gestión que han quedado sin respuesta durante años, debido a la falta de financiamiento para obtener las observaciones necesarias. Por ejemplo, las cámaras fijadas a las aves marinas, que han fotografiado tanto las actividades de alimentación de las aves bajo el agua como la actividad humana del tráfico de barcos por encima del agua, fueron útiles para demostrar que las flotas pesqueras y las aves marinas se concentraron en diferentes tipos de “parches de sardinas” al buscar alimento, lo cual tiene implicancias sobre cómo proteger y asignar los recursos de la sardina tanto a las aves como a las personas (Gremillet et al. 2010). Y en otros casos, dichas observaciones están destruyendo toda la base de nuestras estructuras de gestión. Barbara Block fue pionera en el uso de etiquetas satelitales sobre depredadores marinos, especialmente atún rojo en peligro de extinción, que ha sido gestionados en el Atlántico como dos reservas separadas, divididas por una línea imaginaria en medio del océano. El atún marcado de Block nos ha demostrado definitivamente que no prestan atención a los límites de la gestión humana, y se mezclan rutinariamente entre las poblaciones del Atlántico Este y Occidental (Block et al. 2005; Block 2005).

Las tecnologías pueden incluso revelar las formas sutiles en que los organismos perciben los fenómenos con sus propios sentidos. Por ejemplo, las ardillas usan llamadas auditivas para disuadir a aves y mamíferos que las depredan, pero usan un comportamiento diferente al enfrentarse a las serpientes —“la cola de señalización”, en donde hinchan y agitan sus colas para distraer y confundir serpientes que no oyen. Estas respuestas a la amenaza de depredación son bastante fáciles de observar para un humano, pero se necesitó de cámaras infrarrojas para revelar que mientras que la “cola señala”, las ardillas también aumentan la temperatura de sus colas en presencia de las serpientes de cascabel (que “ven” en infrarrojo), pero no lo hacen ante la presencia de serpientes de gopher, que carecen de la capacidad de detección de calor (Rundus et al. 2007). Aquí, la tecnología reveló a un animal con mecanismos de defensa que no sólo están adaptados a sus depredadores, sino precisamente adaptados a los sentidos observacionales de sus depredadores.

Las potenciales trampas de la tecnología

Gran parte de la tecnología que utilizamos en ecología ha sido desarrollada para otros fines y posteriormente adaptada a las necesidades de los ecólogos. La fotografía aérea, las imágenes satelitales y el GPS comenzaron como herramientas militares. Los instrumentos de análisis de gas (por ejemplo, LI-COR), utilizados por primera vez en química, se usan ahora para medir la fotosíntesis. Los microsensores de auto-grabación como los “iButtons” utilizados por los ecólogos para medir las temperaturas experimentadas por los organismos en terreno (como mejillones en la costa rocosa) fueron desarrollados por la industria alimentaria para asegurar que los alimentos se mantuvieran a una temperatura óptima mientras viajaban desde almacenes a los mercados. Y para el momento en que una nueva tecnología está disponible para los ecólogos, por lo general viene a un precio considerablemente reducido. Esta es una buena noticia, pero también refleja que como ecólogos, a menudo tenemos muy poco control sobre lo que está creando la nueva tecnología; más bien, usualmente adaptamos nuestros enfoques a las tecnologías existentes.

La tecnología ha ayudado continuamente a los ecólogos a ver más y profundizar en la complejidad de los sistemas ecológicos, pero no está exenta de problemas. La tecnología puede ser costosa, tiene la propensión al fracaso y puede conducirnos a un mundo lleno de datos sin sentido. Algunos problemas, especialmente el sesgo humano de “ver lo que queremos ver”, siempre han plagado la interfaz de la observación y la tecnología. Usando los primeros microscopios, los biólogos de la época estaban convencidos de que podían percibir pequeños humanos en miniatura en las cabezas de los espermatozoides. Otros son los tipos de problemas asociados a nuestra era.

Vemos cuatro grandes clases de problemas que deben ser considerados al incorporar observaciones tecnológicas en la ciencia ecológica. Estos son problemas específicamente relacionados con el uso de la tecnología, aunque reflejan algunas de las cuestiones metodológicas y filosóficas más grandes que discutimos en la Parte III de este libro. En primer lugar, hay cuestiones relativas a la disponibilidad desigual de la

tecnología. En segundo lugar, hay preocupaciones legítimas acerca de la accesibilidad a largo plazo de los datos de observación recopilados con las nuevas tecnologías y grabados digitalmente en medios de almacenamiento en constante cambio. En tercer lugar, existe una tendencia fundamental a extraer conclusiones fraudulentas de los datos vistos a través de un filtro tecnológico. En cuarto lugar, está el problema simple pero profundo de las tecnologías que ponen otra barrera, otra pantalla, entre nosotros y la naturaleza. Aquí presentamos ejemplos de estos cuatro tipos de problemas junto con sugerencias de cómo podríamos evitarlos mientras avanzamos, inevitablemente, hacia una ecología que es cada vez más basada en el carbono y el silicio.

Nuestra primera preocupación es que la tecnología no está fácilmente disponible para todos los ecólogos de todas partes del mundo, especialmente para los países en desarrollo. Incluso la información satelital no se recoge o no se hace fácilmente disponible en algunas zonas del mundo. La falta de financiamiento para la recolección extensa de datos sobre el terreno puede mejorarse mediante tecnología que permita recopilar más datos con recursos limitados (por ejemplo, teledetección, tecnología de evaluación rápida de campo, como grabación de vídeo o fotografía). Pero aun así, los datos recogidos y analizados pueden permanecer inaccesibles. En particular, muchos de los datos que podrían utilizarse en los metanálisis, que son cada vez más importantes para comparar la dinámica ecológica en grandes escalas (véase el Capítulo 6), quedan encerrados en artículos publicados en revistas científicas muy caras. Si bien existe un creciente movimiento hacia las revistas de “acceso abierto”, demasiados artículos, incluso los que resultan de la investigación financiada públicamente, son inaccesibles para demasiados ecólogos. Como resultado de estas fuerzas externas e internas, los países en desarrollo necesitan confiar en donaciones de datos y pueden carecer de las capacidades técnicas para el análisis de datos.

Afortunadamente, a medida que los científicos y los políticos se dan cuenta de que los problemas ecológicos no tienen fronteras, cada vez se obtienen más datos sin costo alguno para la comunidad científica mundial. El uso de tecnologías de Internet y redes de científicos (véase el Capítulo 6) que pueden facilitar la colaboración internacional tam-

bién puede ayudar a aliviar algunos de los problemas de accesibilidad. A medida que los teléfonos celulares se vuelven omnipresentes incluso en áreas remotas de países en desarrollo, las nuevas aplicaciones gratuitas como CyberTracker (cybertracker.org) y Ushahidi (ushahidi.com) están creando enormes comunidades de ciudadanos-científicos compilando y compartiendo datos sociales y ecológicos. No obstante, aún queda mucho por hacer para utilizar adecuadamente esta información con fines aplicados y científicos en los países en desarrollo.

En segundo lugar, aunque no se ha estudiado formalmente, la creciente tasa de cambio tecnológico y la rápida obsolescencia de los equipos y programas informáticos, así como la falta de capacitación y personal adecuados, pueden complicar el uso de la tecnología en la ecología. Un ejemplo claro es la aplicación de las técnicas espaciales disponibles para los análisis ecológicos, que son raramente utilizados por ecólogos que no tienen especialización en este método, limitando su uso a una pequeña proporción de investigadores. El ecólogo Thorsten Weigand ha tratado de dar un ejemplo de cómo superar este problema desarrollando un programa de análisis espacial de acceso abierto llamado Programita, que actualiza y prueba con cada iteración sucesiva de su curso de ecología espacial.

Kristin Wisneski, una estudiante de postgrado de la Universidad de Arizona que ha estado desarrollando y probando aplicaciones de teléfonos inteligentes para ayudar a jóvenes interesados en la ecología de campo y la historia natural, ha encontrado que mantener programas actualizados y ayudar a los profesores a aprender la tecnología requiere una tremenda inversión de tiempo. Los educadores en terreno también experimentan sus propios desafíos. Si bien las tecnologías móviles y de localización (como el GPS) facilitan la captura, el almacenamiento y el intercambio de datos observacionales, plantean grandes retos en situaciones de aprendizaje formal e informal. Las aplicaciones de los medios de comunicación social, música y vídeo para teléfonos inteligentes y el acceso a tiempo completo a un navegador de Internet traen distracciones al aula. Algunos profesores, sin embargo, ya han comenzado a explorar esas mismas distracciones como medio de motivar e inspirar a los estudiantes, por ejemplo, ayudándoles a desarrollar proyectos di-

rigidos por jóvenes que integran el aprendizaje informal y el uso de la tecnología para crear vínculos entre el aula y el mundo natural.

Una preocupación emergente acerca de la disponibilidad continua de alta tecnología es la impermanencia de los datos almacenados en la computadora. Algunos datos satelitales ya están siendo imposibles de acceder para los científicos debido a la incapacidad de los organismos gubernamentales encargados de los datos de mantener las bases de datos almacenadas en plataformas digitales obsoletas (Loarie, Joppa y Pimm 2007). Más alarmantes son las estimaciones de la rápida degradación y pérdida de archivos electrónicos. Daños a los medios de almacenamiento y a los archivos almacenados en ellos, así como la incompatibilidad del software y las diferencias en la forma en que los “metadatos” (datos sobre los datos, como las fechas en que se guardaron o modificaron los datos) se transfieren entre medios electrónicos. Pérdidas, incluso de datos relativamente recientes. Por ejemplo, Brad Reagan (2009) señala que una actualización electrónica del *Domesday Book* de Guillermo el Conquistador (que documentaba la vida cotidiana en Gran Bretaña en el siglo XI), compilado por la BBC a mediados de los años ochenta, ¡ahora es menos accesible, debido a la incompatibilidad de los archivos, que el *Libro Domesday* original escrito en pergamino en 1086! Este tipo de incompatibilidades ponen una prima adicional en la obtención de los metadatos bien documentados y respaldados. Como discutiremos en el Capítulo 6, redes científicas bien coordinadas ofrecen oportunidades para abordar algunas de estas cuestiones desarrollando incentivos que se refuerzan mutuamente para armonizar la recolección, el almacenamiento y la difusión de datos en todo el mundo.

En tercer lugar, el problema más grande con la tecnología es que incluso los mejores sensores tecnológicos pueden conducir a conclusiones completamente falsas sobre los fenómenos ecológicos subyacentes. Esto no es un problema de un progreso tecnológico inadecuado. A pesar de que en algunos casos los datos de teledetección siguen siendo demasiado groseros para documentar completamente algunos fenómenos ecológicos clave (Herrick y Sarukhan 2007), la historia sugiere firmemente que la tecnología mejorará para llenar estos vacíos y proporcionará nuevas herramientas inesperadas. De hecho, todos los

enfoques tecnológicos, ya sea que utilicen genética molecular o datos recopilados remotamente, deben estar respaldados por una sólida historia natural para evitar malas interpretaciones. La tecnología nos da una perspectiva muy estrecha sobre un fenómeno ecológico particular, y debemos ser particularmente cuidadosos con la generalización de resultados, teniendo en cuenta que nuestras conclusiones pueden cambiar con la escala temporal y espacial de observación, el área de estudio y los fenómenos específicos que estamos observando.

Hace varios años, alarmados por la pérdida de bosques de manglares costeros debido al desarrollo turístico, Exequiel Ezcurra y sus colegas calcularon el valor potencial en dólares de los bosques de manglares perdidos en México, considerando la pérdida de pesquerías, viveros y el hábitat para otros elementos clave en las redes alimentarias costeras (Aburto-Oropeza et al. 2008). En respuesta, algunos investigadores, utilizando el análisis de datos satelitales mostraron que en realidad la extensión de los bosques de manglares en México había aumentado, argumentando que la pérdida económica había sido sobrestimada. Basándose únicamente en las imágenes satelitales infrarrojas de la costa, era evidente que la extensión de los manglares había aumentado. Pero cuando Exequiel y sus colegas llegaron a terreno para observar el supuesto aumento de los manglares, encontraron una imagen mucho más compleja en la que el calentamiento climático, el aumento del nivel del mar y la destrucción del hábitat estaban en funcionamiento. Lo que ocurrió fue que el aumento del nivel del mar —probablemente causado por el calentamiento del clima—, así como las inundaciones durante los eventos de El Niño y las tormentas tropicales, conllevaron a una mayor inundación de los lodazales detrás de los manglares costeros (Lopez-Medellin et al. 2011). Esto significaba que los propágulos del manglar, que crecen mejor en un ambiente húmedo, podían en ocasiones establecerse detrás de un bosque de manglares durante las inundaciones temporales. El problema es que, pese a que estos pioneros se sumaron a la extensión total del manglar observada en los datos satelitales, proporcionaron poco servicio al ecosistema como hábitat para organismos o hábitat de reproducción de peces, ya que estos vivían en lodazales que rara vez estaban bajo el agua. Se han generado contro-

versias similares con respecto a la recuperación y degradación forestal en otras regiones como el Noroeste del Pacífico de los Estados Unidos, donde los árboles de crecimiento secundario ya tienen edad suficiente para ser clasificados como bosques desde observaciones remotas, lo que lleva a la conclusión de que el total de la cubierta forestal ha aumentado, mientras que la cubierta forestal primaria ecológicamente más rica ha disminuido (DellaSala 2011). Casos como estos, que son advertencias agudas sobre los peligros de llegar a ser demasiado dependientes de la tecnología, también son recordatorios apuntados a no ser demasiado estrechos en nuestros enfoques. Nos recuerdan que hay un valor para convertirse en un ecólogo que entiende íntimamente la historia natural y las relaciones naturales, no importa qué enfoque metodológico —tecnológico, experimental o teórico— utilice en última instancia.

Esto nos lleva a la cuarta, y menos cuantificable (pero no trivial) preocupación de que demasiada tecnología, incluso operada al servicio de la naturaleza, nos pone demasiado lejos de la naturaleza misma. La naturaleza no es sólo la fuente de los “datos en bruto” para un ecólogo, sino una fuente de inspiración, pensamiento creativo y regeneración, los cuales son tan necesarios como el método de muestreo y las habilidades estadísticas para ser un ecólogo productivo. Es fácil para nosotros lamentar el descenso de “horas de bosque” entre los niños y su aumento exponencial en el “tiempo de pantalla”, pero los adultos pueden sufrir las mismas enfermedades pasando demasiado tiempo delante de nuestras propias pantallas. Podemos sentirnos tentados a usar cada nuevo gadget tecnológico sólo porque está disponible, pero necesitamos pensar adecuadamente las preguntas específicas que esta nueva tecnología nos ayudará a responder. Las observaciones de campo y una comprensión profunda de nuestros sistemas de estudio son cruciales antes de que nos obsesionemos con la nueva tecnología. Como muchas relaciones simbióticas que se convierten en permanentes, la relación entre la historia natural y nuestra tecnología debe equilibrar los beneficios y los costos, así este acto de equilibrio puede cambiar fundamentalmente las características distintivas de un ecólogo. Estas tecnologías, combinadas con el tipo de entendimiento profundo, basado en la historia natural, que viene a través de la observación cuidadosa, pueden dar lugar a un

nuevo tipo de ecólogo, que el ecofisiólogo Carlos Martínez del Río de la Universidad de Wyoming llama “Cyborg”. En sus palabras:

La historia natural contemporánea es para los cyborgs: criaturas simultáneamente humanas y de máquina. La distinción entre un cyborg naturalista y sólo un cyborg depende de los rasgos que tradicionalmente se han asociado con la historia natural, que incluyen instintos estéticos y éticos finamente refinados, la biofilia, los poderes de observación y la intuición como resultado de largas horas en terreno. (Martínez del Río 2009).

A pesar de que Martínez une ingeniosamente varios aspectos importantes de la ecología moderna, nuestra única salvedad es que, para la mayoría de la gente, la palabra “cyborg” invoca algo más máquina que humano, mientras miramos a la ecología como una ciencia inherentemente orientada hacia las personas. La relación entre los sistemas humanos y los sistemas ecológicos fueron áreas de estudio prominentes para los ecólogos de principios del siglo XX, que operaban entre dos devastadoras guerras mundiales. Curiosamente, gran parte de la ecología de la posguerra del siglo XX ignoró a los humanos y sus impactos, en vez de ello se enfocó en realizar trabajos en laboratorios prístinos o en reservas naturales científicas donde se supone que las actividades normales de los seres humanos son inexistentes. El comportamiento humano, la toma de decisiones humanas y la psicología humana rara vez se utilizan como variables en los estudios ecológicos, aunque éstas son las variables más significativas en la mayoría de los sistemas ecológicos. Pero los seres humanos, más allá de los ecólogos humanos que están realizando estudios, están comenzando a desempeñar un papel central en la ecología una vez más, tanto por su innegable impacto en casi todos los sistemas ecológicos como por las contribuciones que todo tipo de personas (no solo científicos) están haciendo a la ciencia ecológica. En el capítulo siguiente discutiremos cómo estas contribuciones están expandiendo lo que podemos estudiar en ecología y cómo nos están obligando a hacer nuevas preguntas sobre la interfaz de la ciencia y la sociedad.

Observadores y observaciones ecológicas locales, tradicionales y accidentales

Una de las características más notables de un enfoque basado en la observación en la ecología es que los datos pueden venir de diversas fuentes. No hay virtualmente límites en los tipos de observaciones que podrían formar parte de un estudio científico de sistemas ecológicos cambiantes. Las fotografías antiguas, el cuaderno de campo de un naturalista, los menús de restaurantes del siglo pasado, los documentos científicos largamente olvidados, un concurso de juegos de azar, las plumas de un pájaro conservado en un museo, las historias traspasadas de generación en generación, e incluso los centenarios nidos de desechos realizados por roedores, preservados a través de generaciones por su propia orina, han sido utilizados recientemente en estudios ecológicos. Esta apertura es a la vez un beneficio —crea una oportunidad ilimitada para los estudios ecológicos y también invita a todo tipo de personas a formar parte de una nueva comprensión ecológica, independientemente de su formación científica, sus medios o ubicación geográfica— y también una maldición —revisar todo para descubrir lo que es útil, y una vez que encontramos lo que estamos buscando, ¿qué tanto podemos confiar en todos estos observadores?

Con esta visión abierta de los datos ecológicos, la magia de alta tecnología que desarrollamos en el último capítulo se pone en perspectiva como un medio para lograr una mayor comprensión ecológica. Sin embargo, algunas de las mejores observaciones de la naturaleza provienen de personas que tienen poca o ningún tipo de tecnología a su disposi-

ción. Este capítulo trata sobre los seres humanos que han observado el medio ambiente de cerca durante largos períodos de tiempo, han pasado estas observaciones a través de generaciones y cómo pueden contribuir a la ecología científica.

Conocimiento ecológico de observadores locales y tradicionales

Los seres humanos han desarrollado una serie de sistemas ecológicos de observación que dependen tanto de sus sentidos innatos (Capítulo 3) y su cultura, en lugar de la tecnología, para transmitir y mejorar la precisión y utilidad de sus hallazgos. Momentos antes del devastador tsunami de 2011 en Japón, por ejemplo, los pescadores que salieron al mar y sintieron el temblor asociado a un terremoto recordaron las observaciones de sus abuelos de que “el tsunami no se levanta en aguas profundas” y rápidamente dejaron de pescar y se trasladaron mar adentro, dejando pasar la onda del tsunami suavemente debajo de ellos (Shimbun 2011).

Aunque se haya desarrollado primero como un mecanismo de supervivencia, el conocimiento ecológico transmitido culturalmente no se limita a preocupaciones ecológicas de importancia inmediata para nuestra supervivencia. Gran parte de ella surgió como parte de la preservación intergeneracional de las identidades culturales expresadas en obras de arte y mitología construidas alrededor de organismos naturales o fenómenos naturales (Dayton y Sala 2001). Durante mucho tiempo se han acumulado otros datos con el fin de mantener la capacidad estacional y a largo plazo para cosechar plantas y animales (Fleischner 2005). Estos tipos de datos y prácticas han llegado a conocerse como Conocimiento Ecológico Local (CEL) y Conocimiento Ecológico Tradicional (CET), el último de los cuales ha sido definido por la Sociedad Ecológica de América como “conocimiento ecológico adaptativo desarrollado a través de una íntima relación recíproca entre un grupo de personas y un lugar determinado en el tiempo” (www.esa.org/tek). CEL difiere algo de CET en que no requiere necesariamente una tradición de conocimiento transmitida a través de generaciones (Gilchrist, Mallory, y

Merkel 2005). Un pescador de primera generación, por ejemplo, puede adquirir excelente conocimiento de la ecología local a lo largo de su vida.

A menudo estas observaciones de la naturaleza se han hecho como una parte rutinaria de la vida cotidiana. Los poseedores de conocimientos tradicionales y locales han pasado mucho tiempo en contacto directo con la naturaleza, como ganaderos y agricultores, herbolarios y artesanos, pescadores y silvicultores. A través de esta conexión son capaces de observar mucho más y considerando mucho mejor el contexto, de lo que un científico podría en una temporada limitada de terreno.

De hecho, los inicios de la ciencia fueron marcados por la sistematización de las observaciones tradicionales. A medida que las ciencias naturales evolucionaron, se desarrolló una división basada en la autoridad de los observadores (calificados vs amateur) que, en última instancia, devaluó el CET y CEL. Sin embargo, los científicos han sido conscientes del valor del conocimiento tradicional en la comprensión ecológica.

Considera nuevamente el artículo de Samuel Lockwood “Algo sobre los cangrejos” de *The American Naturalist* en el que señaló: “Sabíamos que hace unos años un viejo cangrejero, totalmente analfabeto, pero cuya inteligencia estaba por encima de la media... A menudo, cuando proveía a su familia con pescado, era muy interrogado por nosotros acerca de los cangrejos...” (Lockwood 1869). Hay una nota clara de condescendencia discernible en el informe de Lockwood y esto refleja el trato a los dueños de los conocimientos ecológicos tradicionales y locales, y sus datos durante gran parte de la historia de la ciencia ecológica. Los no científicos eran plebeyos cuyas anécdotas encantadoras podían añadir un poco de color a una exploración científica, pero nunca lograrían la precisión o profundidad de comprensión como las alcanzables por un hombre de letras.

Pero la ciencia reconoce cada vez más el valor de los datos recopilados por los no científicos, una tendencia que Gary Nabhan ha seguido y discute en el Recuadro 5.1. Esta nueva aceptación más amplia se debe en parte a un nuevo respeto por el conocimiento no académico y los estilos de vida no occidentales, pero también es puramente pragmático — los pabellones de la ciencia han fracasado durante el último siglo para

producir gran parte de los datos que nos gustaría obtener si queremos entender nuestro planeta (Dayton 2003).

Valorar el papel de los diferentes observadores en la ecología

Los grandes vacíos en la información ecológica han abierto la puerta a la aceptación de datos que de otro modo hubieran sido rechazados. Las fuentes informales y tradicionales de datos culturales están llenando estos espacios y se utilizan en la ciencia ecológica y para la gestión en temáticas de conservación. En su artículo titulado “El caso de la gestión de los recursos marinos sin datos: ejemplos de las operaciones de pesca en zonas costeras tropicales” —un título que probablemente ha enojado a los administradores pesqueros profesionales que se basan en resmas de datos y modelos matemáticos complejos para determinar objetivos de rendimiento óptimo para los esfuerzos pesqueros—, Johannes esbozó casos de culturas del Pacífico Sur donde los conocimientos tradicionales sobre prácticas pesqueras eran tan efectivos como la gestión “científica” cuantitativa (Johannes 1998).

RECUADRO 5.1
Conocimiento ecológico tradicional y ecología basada en la observación
<p>GARY NABHAN</p> <p>El conocimiento ecológico tradicional de las culturas locales indígenas y campesinas es quizás la base más antigua de la ecología observacional o de datos de historia natural existentes en este planeta. Sin embargo, debido a que la mayor parte ha sido transmitida oralmente a lo largo de las décadas y siglos, la mayoría de los científicos occidentales no han tenido acceso a ella ni mucho respeto por su valor. Eso es irónico, porque las semillas de la etnobiología moderna fueron sembradas casi al mismo tiempo que las de la ecología moderna, entre los años 1860 y 1890; Desde entonces, ha surgido una amplia y frecuentemente perspicaz literatura ecológica tradicional que debe ser estudiada y celebrada por todos los ecólogos observacionales, independientemente de sus orígenes culturales.</p>

Contrariamente a la idea errónea popular, la etnobiología demuestra que el conocimiento tradicional de las plantas y los animales se extiende mucho más allá de sus nombres en las lenguas indígenas y sus usos por las culturas de subsistencia. De hecho, se puede argumentar que el conocimiento ecológico indígena incluye una verdadera investigación intelectual sobre las relaciones entre las plantas, los animales, las culturas y sus hábitats, en lugar de ser simplemente una práctica utilitaria de manejo de recursos. Los conocimientos ecológicos tradicionales abarcan los dominios de la biosistemática, la anatomía, la fisiología, la fenología, la ecología química, la ecología comunitaria e incluso la agroecología. Como gran parte de la ecología observacional y la historia natural, analiza los "experimentos encontrados", tales como tierras afectadas diferencialmente por incendios forestales, inundaciones, cambios climáticos o pastoreo para inferir efectos ecológicos o ciertos "tratamientos". En sus interpretaciones, el conocimiento ecológico tradicional está ciertamente impregnado de conocimientos transmitidos oralmente por otras generaciones, por lo que a menudo discierne relaciones de causa y efecto que no necesariamente reflejan observaciones realizadas exclusivamente durante solo una vida. Normalmente no utiliza métodos estadísticos para discernir patrones longitudinales, sino que integra intuitivamente muchas observaciones tomadas durante largos períodos de tiempo. Como tal, alberga dentro de su base de conocimiento las observaciones que no podrían haber sido hechas por los científicos occidentales que han llegado más recientemente a los mismos hábitats.

Por ejemplo, los ancianos indios Seri recuerdan las observaciones de los cóndores de California en la isla de Tiburón en el vientre del Golfo de California desde los años 1920s y principios de los 1930s. Los ancianos Hopi también transmiten oralmente observaciones similares de los cóndores hechas por sus antepasados, observaciones que preceden a la erradicación del cóndor en el Gran Cañón alrededor de la década de 1890. Estos puntos de datos transmitidos oralmente derivados de los conocimientos ecológicos tradicionales pueden utilizarse para ampliar o perfeccionar las opciones para la recuperación de especies amenazadas.

Del mismo modo, los Seri ya han desempeñado un papel en la recuperación de las tortugas marinas amenazadas, proporcionando a los biólogos de la conservación un conjunto extraordinario de datos sobre la ubicación de las playas de anidación de las tortugas laúd y la ubicación de sus zonas de alimentación, así como su dieta y comportamiento. La probabilidad de que los biólogos de la conservación lleguen independientemente a una gran cantidad de observaciones con respecto a este raro reptil marino —dada la baja densidad poblacional y nivel de peligro— es extremadamente baja.

Sin embargo, las complejidades de cómo los Seri usan su lengua materna y el

español para comunicar tal conocimiento sigue siendo una barrera para integrar plenamente ese conocimiento en planes de recuperación de especies. Se necesita alguien conocedor de su idioma y familiarizado con la biología de tortugas marinas para comprender la profundidad y la utilidad de la comprensión de los Seri sobre las tortugas laúd. Tal profundidad no puede ser "extraída" o "descargada" en una sola entrevista o incluso en una sola temporada.

Si ser ecólogo observacional o historiador natural es la profesión más antigua del mundo, también es una de las profesiones más amenazadas debido a la pérdida del lenguaje, la opresión y la dominación económica de los pueblos indígenas. Sin embargo, la juventud indígena de hoy está ciertamente entre los legítimos herederos del legado de la historia natural como práctica cultural.

Cientos de trabajos científicos en la última década tratan de CET y CEL y aunque la ecología científica tardó en admitirlos en proyectos de investigación reales (Gilchrist y Mallory 2007), los artículos utilizan cada vez más estas formas de conocimiento para abordar temas tan variados como los efectos del cambio climático en la fenología (el momento de los eventos naturales como la floración o la hibernación), los efectos de la cosecha en las poblaciones naturales, la estructura de la red de alimentos y patrones de migración (Salomon, Nick M. Tanape y Huntington 2007). Por ejemplo, una búsqueda de marzo de 2011 en Web of Science reveló 275 artículos que citaban el documento "El redescubrimiento del conocimiento ecológico como gestión adaptativa" (Berkes et al. 2000), que presentó a gran parte de la comunidad de las ciencias ecológicas el valor de CET y las perspectivas de incorporarlo en sus investigaciones. La mayoría de estos documentos presentan ejemplos en los que se utilizó CET o CEL para alcanzar una perspectiva ecológica o se aplicó a cuestiones de gestión. Jeffrey Herrick y sus colegas han demostrado que las evaluaciones nacionales de ecosistemas, con resultados adecuados para influir en las decisiones de gestión y políticas, pueden desarrollarse por la combinación de observaciones en terreno, teledetección y el registro de datos con CEL más observaciones científicas cuantitativas (Herrick et al. 2010). La Sociedad Ecológica de América tiene ahora una sección sobre el Conocimiento Ecológico Tradicional que tiene como objetivo el uso respetuoso de CET, así como

fomentar una participación más activa de indígenas en la ciencia ecológica. En otras palabras, formas no institucionales de conocimiento se están institucionalizando.

Al mismo tiempo, en un mundo cada vez más poblado por seres humanos atentos y vigilantes, algunos datos importantes para comprender la dinámica ecológica se recogen sin pensar más allá de su uso inmediato. Estos podrían ser estudios científicos antiguos dirigidos a preguntas estrechas y particulares, o lo que podríamos llamar “CEA” (Conocimiento Ecológico Accidental) —información que sólo después se descubrió que tenía una importancia ecológica. Por ejemplo, una foto de los Alpes suizos puede haber sido creada para una postal turística, pero ahora es un importante foco de datos en un estudio mundial sobre la retirada de los glaciares (Webb, Boyer y Turner 2010). Rafe analizó datos anuales de una serie de 87 años de duración, sobre la hora exacta en que se derretía el hielo del río Tanana en Alaska en primavera y encontró que la tendencia del momento del derretimiento de primavera coincidió estrechamente con el calentamiento climático a largo plazo y variaciones multi-decenales en períodos cálidos y frescos a lo largo del siglo XX (Sagarin y Micheli 2001). La fuente de estos datos no era un estudio científico a largo plazo, sino un concurso de juegos de apuestas en el que los participantes tenían que adivinar el minuto exacto en que un trípode de madera puesto en el hielo durante el invierno, caería a través del hielo en descongelación de primavera. Con 300.000 dólares en la línea y cientos de personas acampando en las riberas expectantes al momento de la caída del trípode, se trata del registro más certero del derretimiento del hielo primaveral (muchos observadores documentan que el tiempo está correctamente registrado) y es, a la vez, el registro más preciso (el minuto exacto).

En este caso, el valor de los datos no proviene de ninguna sabiduría local en particular (la gran mayoría de los participantes del concurso de derretimiento del hielo no aciertan el momento exacto de la caída del trípode), sino simplemente ser la única fuente de datos confiable disponible. Aunque existen registros científicos de temperatura a largo plazo del interior de Alaska, sufren grandes vacíos temporales en su registro, inexactitudes conocidas y frecuentes desplazamientos de las estaciones

meteorológicas (que expusieron el equipo de registro a microclimas muy diferentes en diferentes puntos del registro). Por estas razones, se ha observado, irónicamente, que los registros de derretimiento del hielo pueden ser “índices más precisos a largo plazo de temperatura del aire que los registros de temperatura del aire en sí mismos” (Assel y Robertson 1995).

Los límites de CEL, CET y CEA

A veces, el conocimiento local puede enfocarse muy reducidamente. Los usuarios de los recursos locales pueden tener un conocimiento sin precedentes de las especies que cosechan y de algunas de sus relaciones ecológicas inmediatas, pero si agrupan a todas las otras especies en una categoría menos importante, entonces la calidad y la cantidad de conocimientos disponibles pueden no coincidir con lo que se necesita para un estudio ecológico. De hecho, la reducción del conocimiento ecológico tradicional probablemente comenzó mucho antes de la historia registrada, cuando empezamos a ser agricultores y necesitábamos cultivar un conocimiento más especializado sobre ciertas especies particulares y fenómenos ecológicos (Fleischner 2005).

Las fuentes de datos en los estudios ecológicos históricos también sufren inevitablemente de ser demasiado estrechos en su alcance. Ya sea que se tomen accidentalmente o deliberadamente como parte de una investigación científica, las fuentes de datos históricos casi nunca tienen tanta resolución espacial o temporal, diversidad taxonómica o descripción detallada de los “metadatos” (la información sobre cómo y por qué se tomaron los datos) (Sagarin 2001).

La estabilidad y utilidad del conocimiento ecológico informal descansa, a veces de manera precaria, en el titular del conocimiento individual y en el contexto cultural en el que se genera y mantiene el conocimiento. Por ejemplo, aunque el conocimiento ecológico informal ha sido importante para evaluar los efectos del cambio climático, algunas de estas formas de conocimiento pueden no ser capaces de mantenerse actualizados con los rápidos cambios en los sistemas sociales y ecológicos. Johannes, por ejemplo, demostró que las generaciones de

comunidades pesqueras del Pacífico Sur prosperaron con una gestión “sin datos”, pero reconoció que se necesitarían más datos cuantitativos y métodos científicos para continuar una gestión sostenible en la era actual de rápidos cambios (Johannes 1998).

Al igual que con todas las formas de datos, la exactitud del conocimiento informal puede degradarse con el tiempo. Dos grupos de investigadores que trabajaban en diferentes partes del Golfo de California encontraron que las generaciones más jóvenes de pescadores consideraban que el tamaño máximo de cualquier especie de pez en particular era significativamente menor que el tamaño considerado por los pescadores de generaciones anteriores (que habían visto peces mucho más grandes). Eran también mucho más propensos que los pescadores mayores a pensar que habían ocurrido pocos cambios en su pesquería (Lozano-Montes, Pitcher y Haggan 2008; Saenz-Arroyo et al. 2005). Pero estos estudios también mostraron el valor de aprender del conocimiento de personas con una larga historia de interacción con la naturaleza, antes de que su conocimiento se haya ido para siempre. Tanto la desaparición de observadores individuales como la desconcertante pérdida de culturas enteras y grupos lingüísticos, han causado preocupación entre los antropólogos, pero esto también debería preocupar a los ecólogos (Davis 2010).

¿Cómo se comparan las fuentes tradicionales de conocimiento con fuentes de datos más convencionales? Los métodos locales y tradicionales de observación ecológica pueden compararse directamente con las metodologías más habituales cuando ambos se utilizan en el mismo estudio. Gilchrist y sus colegas evaluaron el CEL de los Inuit en relación a los estudios científicos de las poblaciones y distribuciones de cuatro especies de aves marinas y encontraron amplio rango de precisión, desde baja a muy alta (Gilchrist, Mallory y Merkel 2005). Concluyen que el CEL puede ser un complemento esencial de los medios más convencionales para lograr la comprensión ecológica, pero que rara vez puede sostenerse por sí solo como base para guiar el manejo de la conservación en una era de constante cambio ecológico. Al mismo tiempo, Brook y McLachlan advierten que cuando comparamos los datos “científicos” y las fuentes de datos informales convencionales debemos

evitar la idea previa de que los datos recogidos en un diseño científico típico crean la línea de base “correcta” contra la cual se puede probar el “supuesto” conocimiento local —de hecho, se han encontrado varios casos en los que CEL proporcionaron imágenes más precisas de casos ecológicos que los estudios científicos (Brook y McLachlan 2005).

De hecho, los beneficios del uso del conocimiento tradicional pueden pasarse por alto si consideramos solamente lo que se publica en la sección “Resultados” de un trabajo científico típico. Attum y sus colegas, por ejemplo, probaron la eficacia de los observadores humanos experimentados contra la telemetría de radio para el seguimiento de las tortugas en peligro de extinción en Egipto. Ellos encontraron que ambos métodos produjeron resultados similares en términos de eficiencia y precisión, pero el empleo de observadores humanos proporcionó los beneficios agregados de crear incentivos para la conservación y un mayor interés en los objetivos de investigación a largo plazo que si los científicos simplemente hubieran usado la teledetección con rastreo por radio (Attum et al. 2008).

La incongruencia en las conclusiones basadas en diferentes fuentes de datos resalta un punto clave sobre el posible error de cualquier observador humano. Incluso los observadores de la naturaleza más admirados han sacado conclusiones incompletas o totalmente inexactas sobre el mundo natural, afectadas por su incapacidad de ver a través de grandes extensiones de tiempo o espacio. John Muir, un experimentado observador del mundo que podía transmitir el gran alcance de las montañas y valles de California a generaciones de lectores, y que incluso fue testigo de la destrucción de su querido Hetch Hetchy Valley, por la construcción de una represa, subestimó groseramente la capacidad de los seres humanos para alterar los sistemas naturales, la escritura. “Afortunadamente, la naturaleza posee algunos grandes lugares más allá del poder de destrucción del hombre —el océano, los dos extremos helados del globo, y el Gran Cañón” (Muir 1918). En la lucha por las figuras de su próxima edición de la guía de campo de la costa del Pacífico *Between Pacific Tides*, Ed Ricketts confió su confusión a su co-autor Joel Hedgpeth sobre los datos medios de la temperatura del océano (isotermas) que él estaba recibiendo del oceanógrafo Harald Sverdrup de

Scripps, los cuales no estaban coincidiendo con los registros anteriores. “La única otra explicación es que las isotermas han cambiado”, escribió. “Esto se sabe que ha sucedido en el pasado, pero siempre lo pensé en términos del pasado geológico. Si ni siquiera las isotermas medias van a permanecer estacionarias lo suficiente como para que estén estandarizadas, ¿dónde estamos?”* Y aunque Ricketts conscientemente trató de lograr una visión mucho más amplia de la comprensión ecológica —lo que él llamó la “imagen total”— por confesión propia, es que a menudo se quedó corto con ese objetivo. Junto con su amigo John Steinbeck, escribió sobre su decepción, después de un viaje de ocho semanas por el Golfo de California, que “todavía no podían relacionar el microcosmos del Golfo con el macrocosmos del mar” (Steinbeck y Ricketts 1941), lo que significa que, a pesar de toda su intensa observación, la conexión entre su relativamente pequeño cuerpo de agua y los grandes ecosistemas oceánicos aún no estaba clara.

Con el paso del tiempo, los impactos compuestos de las actividades humanas y las nuevas tecnologías desarrolladas por los seres humanos han revelado los límites de estas observaciones anteriores y su importancia como puntos de partida para marcar cuánto ha cambiado. Muir se horrorizaría al saber —aunque es de conocimiento común para casi todos los estudiantes de ecología de hoy— que el Gran Cañón, los océanos y los polos han sido radical e irrevocablemente alterados por los humanos. Por el contrario, estamos igualmente sorprendidos al saber que hace menos de 100 años tales impactos ni siquiera podían ser predichos por el ambientalista más apasionado. Sólo unas pocas décadas después de la muerte de Ricketts en 1948, a través del uso de datos observacionales tomados como parte de un programa de monitoreo oceanográfico a largo plazo desarrollado en Scripps, aprenderíamos que las isotermas medias de las temperaturas oceánicas estaban, de hecho, cambiando rápidamente y que el agente más probable del cambio era el calentamiento climático causado por el hombre (McGowan, Cayan

* Ed Ricketts, carta a Joel Hedgpeth, 9 de diciembre de 1945. Artículos de Edward Flanders Ricketts, 1936-1979. Special Collections M0291, Stanford University Libraries, Department of Special Collections and University Archives.

y Dorman 1998; McGowan 1990). Sin embargo, estos cambios nunca podrían haber sido descubiertos sin la visión pionera de Ricketts, que públicamente pidió un programa de monitoreo oceanográfico a largo plazo (Ricketts 1945–47), y los científicos de Scripps que hicieron tal visión una realidad. Y cuando Rafe y varios otros científicos regresaron en 2004 a los mismos lugares estudiados por Ricketts y Steinbeck en 1940 para documentar cambios en el Golfo, el microcosmos y el macrocosmos que Ricketts no logró conectar, se obtuvieron observaciones de desarrollo costero, enfermedades zoonóticas emergentes, la sobrepesca, la pérdida de los depredadores superiores y el calentamiento climático, que han alterado el Golfo y en paralelo muchos otros lugares de los mares del mundo (Sagarin et al. 2008). Sin embargo, esta conexión no podría haber sido hecha sin el detallado y perspicaz registro literario establecido por Ricketts y Steinbeck.

La promesa y las trampas de las observaciones ecológicas informales son una reflexión intensificada de aquellos que enfrentan todos los datos científicos. Creemos que los beneficios de una ciencia ecológica mucho más inclusiva superan con creces los costos, tanto en términos de su valor presente como en términos del ciclo de retroalimentación positiva que se genera al lograr que más personas y perspectivas participen en la observación de la naturaleza y sus cambios, desarrollando o validando su propio sentido de biofilia, y esto a su vez estimulando un deseo de proteger y restaurar los sistemas naturales. Además, tanto las investigaciones científicas generales como los conocimientos ecológicos locales pueden perfeccionarse con referencia mutua, y también los científicos y las comunidades locales pueden beneficiarse del intercambio mutuo de observaciones ecológicas. Abrir la ciencia ecológica de forma tan amplia ya está creando una avalancha de nuevos datos. Sin embargo, estos datos no están uniformemente disponibles en todas partes ni para todos y su calidad varía ampliamente. En el siguiente capítulo mostraremos cómo el éxito continuo de los enfoques de observación depende críticamente de cómo creamos, analizamos, compartimos y cuidamos los datos observacionales.

LOS DESAFÍOS PLANTEADOS POR UN ENFOQUE DE OBSERVACIÓN

En esta parte del libro nos alejamos de nuestro entusiasmo desenfrenado por los enfoques de observación para abordar con más seriedad todas las dificultades que conllevan. Hay una serie de dificultades prácticas para tratar con fuentes de datos que pueden ser lamentablemente escasos en los momentos y en los lugares que más nos gustaría tener, mientras que en otros sitios y periodos de tiempo pueden ser tan terriblemente abundantes que ni siquiera nuestros discos duros más grandes pueden manejarlos. En el Capítulo 6 ilustramos algunas soluciones a problemas de datos que implican una nueva valoración de los viejos métodos de almacenamiento de datos, como museos de historia natural, así como una mayor atención a los nuevos medios de análisis y la posibilidad de compartir grandes conjuntos de datos de observación.

Pero incluso dados los desafíos de encontrar, almacenar y analizar datos ecológicos, aún hay preguntas fundamentales que surgen sobre los enfoques de observación en la ecología. No es la idea de observar en sí lo que está en cuestión, sino cómo se van a utilizar las observaciones, lo que ha provocado debates científicos y filosóficos desde la antigüedad. En el Capítulo 7 nos dirigimos directo al corazón de estos debates con una pregunta fundamental: “¿Son científicos los enfoques observacionales de la ecología?”. Al explorar esta pregunta, planteamos las críticas más comunes a los enfoques observacionales y mostramos la razón por la cual estas críticas son mucho menos devastadoras ante argumentos basados en la observación (y a veces, totalmente irrelevantes)

en una era de conjuntos masivos de datos de observación que pueden examinarse y contrastarse utilizando el tipo de análisis que discutimos en los dos capítulos siguientes. En última instancia, nuestra respuesta a la pregunta fundamental es “sí, los enfoques observacionales de la ecología son científicos”, pero esto se ve supeditado por la noción que hay que cumplir con elevados estándares para hacer que las observaciones sean científicas y útiles para la ciencia.

Trabajando con demasiadas o muy pocas observaciones

En el último capítulo mostramos que una mayor apertura a las observaciones de personas “no científicas” está revelando valiosas nuevas fuentes de datos e incluso conocimiento ecológico accidental. En este capítulo nos enfocamos en los tipos de datos observacionales más formales que los ecólogos han estado tomando durante más de un siglo en forma de colecciones de museos, datos históricos, esquemas de monitoreo a largo plazo y, más recientemente, redes de observadores ecológicos. Cómo los ecólogos planean recolectar estos datos, cómo las colecciones u observaciones se mantienen y almacenan durante largos periodos de tiempo y cómo se analizan, todo esto finalmente afecta la fortaleza de las conclusiones que podemos extraer de ellos.

Los ecólogos siempre han usado observaciones no manipuladas, algunos textos ecológicos clásicos de hace décadas, tales como *Community Ecology* de Jared Diamond y Ted Case (1986) y *Macroecology* de Jim Brown (1995), resaltan el valor de los grandes conjuntos de datos de observación. Lo que ahora es diferente es que el gran volumen de datos de observación, la diversidad de sus fuentes así como su variabilidad en disponibilidad y calidad no tiene precedentes. Algunas veces, como en el caso de la genética y la genómica, estamos literalmente creando más datos de los que se pueden almacenar, incluso en medios electrónicos (Pollack 2011). Esta situación conduce, frustrantemente, a una gran cantidad de datos simplemente inútiles que solo se mantienen o se acumulan en los discos duros. Y a veces descubrimos buenas fuentes

de datos, pero simplemente no son suficientes. Nos enfrentamos a una paradoja moderna, cual es que incluso cuando estamos inundados por algunos datos, todavía hay muchas regiones del mundo y muchas preguntas ecológicas que son pobres en datos. Resolver esta paradoja significará abordar cuatro cuestiones: 1) identificar datos útiles que puedan efectivamente extraerse de manera eficiente de una matriz mucho más grande de observaciones ecológicas; 2) encontrar formas de llenar los vacíos en los esfuerzos de recopilación de datos históricos, modernos y futuros; 3) conectar observadores y observaciones para lograr una comprensión global de los fenómenos ecológicos; y 4) aprovechar las innumerables formas —antiguas y nuevas— de analizar estos datos para darles buen uso. La recompensa de filtrar información a través de estos datos y astutamente estratificar múltiples métodos de análisis, corresponde a un conjunto destacado de estudios que amplían la visión de la ecología, dando un entendimiento más profundo a preguntas de larga data y nuevas visiones de un mundo cambiante.

Identificando datos útiles en un mar de datos

Los datos se pueden recopilar de muchas maneras según cada pregunta específica en ecología. Pon a un grupo de ecólogos en una habitación con una pregunta y pídeles que presenten una lista de tipos de datos que serían relevantes para responder la pregunta, en unas pocas horas tendrás muchísimas ideas sobre qué datos son importantes recopilar y que se puede financiar con todo el presupuesto para investigación ecológica. Esto no es trivial en una época donde el financiamiento es limitado y las preguntas sin respuesta son ilimitadas. La priorización de qué observaciones son más relevantes es una tarea difícil pero esencial, que no debe llevarse a cabo a la ligera.

Podríamos pensar que nos gustaría tener un conjunto infinito de variables registradas durante largos períodos de tiempo para explorar todas las relaciones potenciales en problemas ecológicos. Dejando de lado por el momento el enorme problema de cómo podemos manejar todos esos datos, la realidad es que los datos que realmente podemos tener dependen de una combinación de factores muy descontrolados

(por ejemplo, una erupción volcánica altera toda la vida en la ladera de una montaña, proporcionando un laboratorio natural ideal para estudiar la sucesión) y también los intereses cambiantes de la comunidad investigadora (p. ej., tendencias de investigación, prioridades de financiamiento). Además, especialmente para los conjuntos de datos a largo plazo, qué datos recopilar y cómo recolectarlos a menudo son decisiones tomadas hace varias décadas, mucho antes del análisis real de los datos. En el momento en que queremos poner a prueba una pregunta en particular con los datos, podemos descubrir que no estaban dirigidos a abordar preguntas que actualmente son de interés, o pueden haber sido recogidos de manera anticuada dejando grandes vacíos en nuestro entendimiento.

Por ejemplo, los datos sobre indicadores de bacterias fecales (FIB en su sigla en inglés) en cuerpos de agua costeros, que son relevantes para muchas cuestiones ecológicas (especialmente cuando tratamos de proteger o restaurar la calidad del agua y el hábitat en marismas costeros), han sido recolectados bajo varios marcos legalmente obligatorios en los Estados Unidos. Los datos se recopilan a ciertas frecuencias (ej. diaria o semanalmente) utilizando protocolos simples de cultivo bacteriano que han permanecido inalterables durante décadas. Para un ecólogo que busca estudiar los efectos de un proyecto de restauración de humedales sobre contaminantes del agua, estos datos pueden ser útiles, pero es probable que no consideren los rápidos cambios diarios que ahora sabemos que ocurren en concentraciones de FIB (Dorsey et al. 2010), ni nos darán información genética, la cual ahora está disponible a través de nuevos métodos moleculares (Sagarin et al. 2009) sobre la fuente probable de esos FIB. Por ejemplo, ¿provenían de las aves que disfrutaban de los humedales restaurados, los perros siendo paseados por los senderos naturales del humedal, o de las aguas residuales humanas? Con la presión política para lograr la restauración de los humedales lo más pronto posible, pero con la inercia de una burocracia profundamente arraigada que frena los cambios propuestos a los protocolos de muestreo, probablemente no habrá tiempo para implementar las últimas técnicas de evaluación FIB antes de los esfuerzos de restauración en un estudio ideal “Antes-Después de Control-Impacto”

(ADCI) (Schmitt y Osenberg 1996). Siempre habrá tales desajustes en lo que tenemos disponible y lo que nos gustaría tener, en parte porque los ritmos del avance de la tecnología, el cambio político y el cambio de gestión son muy diferentes entre sí.

Teniendo claridad desde el comienzo de lo que hace un buen conjunto de datos históricos como referencia, puede ser útil tanto para seleccionar conjuntos de datos potenciales para su utilidad como para planificar nuevos y efectivos esfuerzos de recopilación de datos, como muestra Julie Lockwood al utilizar atlas históricos de aves en el Recuadro 6.1. A mediados de la década de 1990, cuando aparecieron unas pocas docenas de artículos que relacionaban el cambio climático con los cambios en las distribuciones de especies y poblaciones, Rafe desarrolló una lista de verificación de los atributos de los datos que serían más útiles para este tipo de estudios (Sagarin 2001). Los estudios más sólidos tenían alguna combinación de buena resolución espacial (una gran cantidad de sitios de campo distribuidos en un área grande), buena resolución temporal (estudios que abarcan un amplio rango de tiempo, especialmente cuando los datos se toman con frecuencia en ese lapso) y buena resolución taxonómica (muestreo de diferentes especies para que se pueda ver si hay diferencias en los efectos sobre especies con diferentes necesidades fisiológicas, como reptiles y mamíferos). No todos los estudios deben cubrir todas estas áreas (sería poco realista pensar que cualquier estudio individual podría), pero por los conjuntos de datos que faltan en todas estas áreas pueden no valer la pena el esfuerzo y el gasto para analizar o mantener dichos datos. Elegir qué conjuntos de datos buscar o crear ayuda a tener un contexto más amplio en el que se pueda entender dónde cabría un estudio en particular dentro de la pregunta más amplia que intentamos abordar. En el ejemplo aquí, el contexto más amplio es cómo los seres vivos responden al cambio climático actual: un texto de congéneres dentro del cual podrían encajar diferentes tipos de estudios, cada uno con sus propias fortalezas y debilidades. Por lo tanto, aunque cada estudio en los primeros años de descubrir las respuestas de las especies al cambio climático, solo pudo haber ilustrado con confianza un pequeño fragmento de la historia, al tomarse juntos, los estudios se convirtieron en un mosaico que revela

claramente una imagen de comunidades enteras alteradas por el cambio climático.

RECUADRO 6.1

Los registros históricos ayudan a entender las invasiones biológicas

JULIE LOCKWOOD

La historia enseña todo, incluso el futuro.

Alphonse de Lamartine

Cuando los estudiantes ingresan a la escuela de posgrado a menudo asumen que los datos que utilizan en sus tesis deben ser recogidos a mano por ellos mismos. A veces, la mejor opción es que cada alumno combine varias fuentes de datos en una visión coherente a largo plazo de un tema de investigación. Un recurso crítico para tal estudiante son los registros históricos.

Los registros históricos pueden incluir todo lo publicado previamente en libros, revistas o informes. Los datos recopilados de dichas fuentes van desde descripciones puramente cualitativas a toma de datos cuantitativos organizados en tablas y gráficos. Aunque existen limitaciones a lo que se puede inferir en base a los datos históricos, dicha información es susceptible de ser utilizada por el biólogo moderno y puede tratarse de la misma forma estadística que se trataría con los datos recopilados por uno mismo.

Junto con mis colegas Tim Blackburn y Phillip Cassey, he utilizado mucho un registro histórico particularmente exhaustivo y convincente tanto sobre aves introducidas como no nativas en lugares de todo el mundo. Los datos provienen principalmente de dos fuentes publicadas. El primero es un libro clásico de George M. Thomson que detalla la historia de las introducciones de plantas y animales en Nueva Zelanda (Thomson 1922). Thomson recopiló una inmensidad de fuentes de datos sobre aves introducidas en Nueva Zelanda a través de las actividades de las sociedades de aclimatación, que eran grupos de ciudadanos que dedicaban su tiempo y dinero a importar y liberar aves (además de otras especies) para satisfacer objetivos estéticos y prácticos. Creó una rica fuente de información sobre el papel del número de individuos liberados (presión de propágulo) en el éxito de establecimiento de especies no autóctonas, entre otros temas actualmente relevantes. A través de una serie de publicaciones, mis colegas y yo hemos demostrado el poder de la presión de propágulos para explicar la variación en el éxito de la invasión, a través de especies a lo largo de distintos lugares (Cassey et al. 2004).

El segundo es quizás una colección más impresionante de registros detallados sobre introducciones de aves por John Long (Long 1981). Long completó una revisión masiva de la literatura disponible para detallar qué aves se han introducido fuera de sus rangos no nativos, cuáles de ellas tuvieron éxito en el establecimiento de poblaciones autosuficientes (a partir de 1981) y las circunstancias que rodearon esas introducciones. El libro de Long se ha convertido en un elemento básico para diversas investigaciones sobre las causas y consecuencias del establecimiento de especies no autóctonas, la evolución posterior a la invasión, el grado en que la competencia interespecífica forma parte de la comunidad y el papel de las especies invasoras en la extinción de especies. Por ejemplo, los datos en Long proporcionaron un recurso crítico para nuestra revisión integral de cómo las invasiones de aves pueden informar sobre las teorías básicas en ecología y evolución (Blackburn, Lockwood y Cassey 2009).

Los documentos históricos contienen una gran cantidad de información relevante para las invasiones biológicas y otros campos, pero esta fuente de datos está muy infrautilizada. En términos de nuestra comprensión de las aves no nativas, los detalles históricos que rodean la introducción de cada especie en un área novedosa son pertinentes para comprender su trayectoria evolutiva posterior, sus interacciones con otras especies y la dinámica de la población. La combinación de dicha información histórica con las herramientas y técnicas de la biología moderna puede proporcionar una visión sin precedentes de la ecología y la evolución.

En general, para comprender un sistema ecológico, que opera por su naturaleza en escalas múltiples, la información debe recopilarse igualmente a múltiples escalas para evaluar si los patrones observados o determinados experimentalmente se replican en escalas espaciales o temporales más grandes, y analizar si ciertos patrones surgen solo a grandes escalas. Por ejemplo, para estudiar invasiones biológicas, los datos de observación que provienen de múltiples fuentes, desde los registros de malezas del municipio hasta los inventarios nacionales de plantas, pueden ser particularmente útiles para detectar patrones en múltiples escalas. Tom Stohlgren y sus colegas han estado estudiando las invasiones de plantas en América del Norte y en todo el mundo,

encontrando patrones llamativos que han desafiado los resultados de experimentos a pequeña escala, como describe en el Recuadro 6.2. Más recientemente, utilizando datos mundiales de herbarios de 13 regiones en todo el mundo, Stohlgren et al. (2011) detectaron que una gran proporción de las plantas más ampliamente distribuidas (aquellas con un mayor rango de distribución) no son nativas, lo que resalta el hecho de que las invasiones están contribuyendo a la homogeneización biótica a escala regional y global.

Almacenamiento a largo plazo para prevenir los vacíos de datos

A veces no obtienes la información que deseas porque simplemente no está allí. Hay muchos datos ecológicos que aún no se han tomado, tanto en un sentido trivial (porque el volumen total de información ecológica a sondear es esencialmente infinito), como también un sentido más pragmático (porque salir y registrar observaciones naturales nunca ha sido una de las principales prioridades de las agencias de financiamiento). Desafortunadamente, la palabra “monitoreo” a veces aún se percibe de manera negativa en los paneles científicos como sinónimo de investigación exploratoria sin hipótesis claras (Pereira et al. 2010; Lovett et al. 2007; Nichols y Williams 2006). Incluso cuando hay una intención de tomar datos básicos de monitoreo ecológico (y las muchas demostraciones recientes del valor del monitoreo están comenzando a cambiar las percepciones de esta actividad), muchas agencias gubernamentales, países e incluso regiones enteras del mundo carecen de los recursos necesarios para recopilar datos ecológicos de manera sistemática y sostenida. Y una vez que se han tomado los datos, pueden ser inaccesibles debido a los problemas inherentes de los medios digitales que ya discutimos en el Capítulo 4, o porque no han sido cuidadosamente seleccionados.

RECUADRO 6.2

Los ricos se vuelven más ricos en ecología de invasiones**TOM STOHLGREN**

Ecólogos influyentes como Charles Darwin y Charles Elton creían que los hábitats con poca riqueza de especies nativas eran más propensos a la invasión de especies exóticas. Los experimentos a pequeña escala en “comunidades” construidas artificialmente, en parcelas de 1 m² en campos abandonados protegidos, parecían estar de acuerdo con observaciones anteriores (Tilman 1999). Sobre la base de estos experimentos cuidadosamente controlados, los científicos concluyeron que “... comunidades diversas probablemente requerirán un mínimo mantenimiento y monitoreo porque generalmente son efectivas en excluir a los invasores indeseables” (Kennedy et al. 2002).

Mientras tanto, mi equipo de campo y yo queríamos medir patrones de riqueza de especies de plantas nativas y exóticas en comunidades naturales que incluían sectores de pradera y bosque de montaña en el Parque Nacional Rocky Mountain, Colorado. Además estábamos interesados en cómo la escala espacial podía influir en nuestros resultados, por lo que establecimos una serie de parcelas de vegetación a varias escalas. Cada parcela de 1000 m² contenía una subparcela anidada de 100 m², dos subparcelas de 10 m² y diez subparcelas de 1 m². Los datos preliminares sugirieron que en la mayoría de las escalas espaciales (10 m² a 1000 m²), había una relación positiva entre la riqueza de especies nativas y la riqueza de especies exóticas. Los resultados fueron muy variables para las subparcelas de 1 m². Inmediatamente replicamos el muestreo en las praderas del centro de EE.UU., con muestreo adicional en cuatro Estados. Encontramos los mismos patrones generales e informamos nuestros hallazgos (Stohlgren et al. 1999). El muestreo de suelo adicional confirmó que los hábitats con alto contenido de nutrientes en el suelo y la humedad del suelo generalmente admiten más especies nativas y exóticas comparado con hábitats con poca luz, agua y nutrientes. Nuestra hipótesis era que las condiciones ambientales que fomentaban las especies nativas también fomentaban las especies exóticas: los ricos se harían más ricos (Stohlgren, Barnett y Kartesz 2003). Probamos esta hipótesis comparando las zonas ribereñas ricas en nutrientes con sitios de tierras altas adyacentes y más secas. Nuevamente, encontramos los mismos resultados predecibles (Stohlgren et al. 1998). Luego analizamos conjuntos de datos independientes (datos que no recolectamos) de otros estudios observacionales, incluidos registros de herbarios y parcelas de monitoreo de la salud de los bosques a lo largo de los Estados Unidos. Nos alarmamos al descubrir que el patrón de invasión de “los ricos se enriquecen” es un patrón generalizado en la mayoría de las escalas es-

paciales. Del mismo modo, otros estudios observacionales en ecosistemas naturales arrojan serias dudas sobre la importancia de la competencia y la resistencia biótica en contener invasiones (Stohlgren et al., 2008). Concluimos exactamente lo contrario de Kennedy et al. (2002): "Diversas comunidades naturales probablemente requerirán el máximo mantenimiento y monitoreo porque en general son ineficaces para excluir a los invasores indeseables".

En los primeros días de la ecología, la forma de capturar las observaciones era recolectar organismos y guardarlos en los museos de historia natural. La capacidad de recolectar, embalsamar, fijar y preservar especímenes biológicos se consideraba elemental e indispensable para un científico, que podía trascender por el tamaño de las colecciones que se le atribuían en prestigiosos museos. Tanto la enseñanza de estas habilidades de recolección como el papel central de los museos de historia natural, que se desvanecieron a lo largo del siglo XX, ahora se están redescubriendo y fortaleciendo (Wandeler, Hoeck y Keller 2007; Graham et al. 2004) cuando los nuevos descubrimientos sobre las relaciones de los organismos y sus tamaños históricos de población, entre otros fenómenos, pueden evaluarse mediante el uso de material genético preservado. Por ejemplo, las muestras genéticas almacenadas en los museos pueden ayudarnos a comprender la demografía y la genética de la población en tiempos históricos. Craig Miller y Lisette Waits (2003), al analizar 110 muestras de museos de osos pardos de Yellowstone recolectados en el siglo XX, descubrieron que la diversidad genética y el tamaño de estas poblaciones ha sido históricamente bajo, por lo que su pequeño tamaño de población actual puede no reducir la diversidad genética tan rápidamente como se esperaba. Incluso la simplicidad de baja tecnología de un registro de museo, que claramente establece que "este organismo vivió en esta área en este momento", puede ser sorprendentemente útil para estudios de cómo las especies pueden cambiar con el tiempo su distribución, demografía y genética, especialmente dadas las incertidumbres del cambio climático (Johnson et al. 2011; Lister 2011).

Como las muestras para herbarios y museos a menudo se recogieron de forma habitual durante una expedición, sin tener en cuenta ninguna

cuestión en particular para limitar el alcance de la colección, se dispone de cantidades impresionantes de información en estas instituciones. Por supuesto, pueden surgir sesgos debido a la naturaleza no cuantitativa de la mayoría de las colecciones y al hecho de que las colecciones no se muestrean al azar de una población más grande. No podemos saber, a menos que se incluyan descripciones detalladas con una colección, cuánto esfuerzo puso el investigador original para encontrar y recolectar individuos en un lote de museo dado. También puede haber una sobrerrepresentación de ciertas especies que fueron especialmente atractivas para los naturalistas de un tiempo determinado, e incluso los expertos en un determinado grupo (caracoles gasterópodos, por ejemplo) pueden centrarse desproporcionadamente en ciertas especies dentro de ese grupo.

Estos sesgos pueden volverse problemáticos cuando existen colecciones desproporcionadamente subrepresentadas de especies que indican fenómenos ecológicos de interés (Bebber et al. 2010). Por ejemplo, un sesgo entre los primeros botánicos en contra de la recolección de plantas introducidas ha reducido las oportunidades de obtener una comprensión clara de la historia y la propagación de las plantas no nativas. Esto es especialmente relevante en países que recientemente desarrollaron una mayor masa crítica de botánicos. En Chile, por ejemplo, este sesgo de recolección contra especies no nativas y especies ornamentales conspicuas ha limitado el número de muestras de especies como *Pinus* sp, así como de otros árboles y arbustos muy invasivos. Como resultado, los rangos y los tiempos de residencia de estas especies pueden subestimarse usando solo registros de herbario. Las colecciones deben planificarse para maximizar la recopilación de datos relevantes en el campo, dadas las limitaciones en cuanto a fondos y recursos humanos (Bebber et al. 2010).

También hay problemas éticos detrás de todos esos lepidópteros y mamíferos recolectados. Algunas personas se oponen a la idea de recolectar especies por el simple hecho de hacerlo, y este grupo de oposición crece de forma comprensible cuando se trata de especies raras o en peligro de extinción. Pero la ética no es blanco y negro. Una película documental reciente, *Ghost Bird*, que aborda la cuestión de si el pájaro

carpintero de marfil está realmente extinto, conmovedoramente mostró la paradoja de coleccionar para los museos. Las pieles conservadas en museos de pájaros carpinteros de marfil recogidas por naturalistas proporcionan un enlace crítico que permite a los investigadores de hoy comprobar si sus fugaces observaciones en los pantanos del sudeste de los Estados Unidos son realmente poblaciones remanentes de aves vivas. Pero esas colecciones en sí, hechas a principios del siglo XX, probablemente tuvieron un efecto devastador en la población de carpinteros de marfil.

Los curadores han estado lidiando con estas preguntas y tratando de responderlas en un contexto moderno. La fotografía digital ofrece la oportunidad de archivar de forma económica muchos detalles de organismos que luego siguen viviendo. Los datos genéticos se pueden recopilar y archivar en base a muestras de tejido pequeñas y no letales, incluso en el caso de especies en peligro de extinción. Por ejemplo, las ballenas se pueden muestrear tanto fotografiando sus marcas distintivas como obteniendo pequeñas muestras de su piel cuando salen a la superficie para la investigación genética (siempre que los investigadores hayan vadeado una gran cantidad de regulaciones federales e internacionales para obtener los permisos correspondientes).

Obtener los fondos para las colecciones de los museos siempre es difícil y lo es más a medida que los costos aumentan debido a la acumulación de colecciones (Mazzarello 2011). Los museos pueden almacenar datos, pero no pueden prometer respuestas rápidas o definitivas a preguntas ecológicas. Para las agencias de financiamiento y las fundaciones que buscan una apuesta segura en un marco de tiempo breve, el ritmo y la misión principal de las actividades del museo parece relativamente menos atractiva que los experimentos bien restringidos que pueden establecer claramente lo que producirán. Los museos grandes y pequeños por igual se enfrentan a recortes presupuestarios y con ello, los taxonomistas y conservadores se están extinguiendo (Pearson, Hamilton y Erwin 2011). Aunque el financiamiento es fundamental en todos los países, el problema es grave en los países en desarrollo donde el impulso para volverse científicamente productivos ha canalizado la mayoría de los fondos hacia iniciativas con alto retorno en términos de

documentos indexados, dejando los museos y herbarios prácticamente sin fondos.

Existen fuertes paralelismos entre las colecciones de los museos y los datos ecológicos a largo plazo tomados en el campo, en términos de limitaciones prácticas, posibles sesgos y posibles beneficios. Una diferencia, sin embargo, es que mientras que la recolección de museos comenzó como un método de ciencia básica para catalogar la diversidad de la vida, el monitoreo a largo plazo se desarrolló con un objetivo más aplicado en mente.

Ciertos silvicultores han establecido parcelas ecológicas a largo plazo con el objetivo práctico de maximizar el rendimiento de sus bosques. Sus primeros intentos han servido como base para la recopilación de datos ecológicos a largo plazo. Los silvicultores estaban interesados en comprender la dinámica de la biomasa en rodales forestales con y sin tratamientos silvícolas. Por lo tanto, introdujeron el concepto de observar cambios en los sistemas naturales y también manipular las condiciones ecológicas. Se establecieron rápidamente parcelas de prueba y monitoreo en todo el mundo, especialmente en países de Europa y América del Norte que tienen una tradición forestal (Tomppo 2009). Al observar principalmente las variables de biomasa (por ejemplo, diámetro, altura, composición de especies) orientadas a aumentar la productividad forestal, los silvicultores comenzaron a acumular la información necesaria para comprender la ecología de estos bosques. De manera similar, quienes gestionan praderas estaban interesados en el efecto del pastoreo sobre la productividad de sus terrenos, estableciendo parcelas de exclusión para mantener alejado al ganado, lo que arrojó evidencia temprana de conceptos como capacidad de carga, control de arriba hacia abajo en la cadena trófica y sucesión ecológica (Johnson y Matchett 2001). Un buen ejemplo de parcelas de pastoreo que han sido monitoreadas por muchos años ocurre en el Parque Nacional Yellowstone, donde las parcelas a largo plazo han servido para ayudar a los ecólogos a entender la dinámica de la herbivoría, los depredadores superiores y el ciclo de nutrientes, así como problemas de conservación como el efecto de la reintroducción de lobos (Verchot, Groffman y Frank 2002). Desafortunadamente, al igual que los registros de los mu-

seos dan solo una ventana estrecha (y a veces sesgada) sobre datos más grandes y complejos, las parcelas de campo que no estaban destinadas a facilitar la comprensión de un ecosistema entero y pueden ser limitadas en su utilidad actual, por lo que sus resultados no deberían ampliarse sin considerar otros factores que operan a escalas mayores (véase, por ejemplo, Freilich et al. 2003).

Todos los programas de monitoreo y muestreo a largo plazo, especialmente aquellos en países en desarrollo, pasaron por períodos de abandono en el siglo XX (Southward, Hawkins y Burrows 1995), y continúan luchando por un apoyo continuo hoy, algo no muy diferente a lo que sucede con las colecciones de museos discutidas previamente. En algunos casos, los registros a largo plazo almacenados a través de procesos naturales, así como los documentos históricos, pueden ayudar a reducir los vacíos de datos en el tiempo y entre las regiones del mundo. Por ejemplo, para estudiar la llegada de especies invasoras en el centro de Chile, los registros de polen presentes en lagos rodeados por un fuerte uso agrícola pueden contener información importante sobre la composición de la comunidad. Estos registros se pueden complementar con diarios históricos, registros botánicos antiguos y archivos de imágenes, todos los cuales nos informan sobre las especies que estaban presentes en el paisaje en ese momento. El uso combinado de todas estas herramientas de observación puede ayudar a descubrir la dinámica de las especies nativas y no nativas en el período de asentamiento español temprano (1500s - 1700s), en el cual la información es muy escasa debido a la falta de botánicos locales en esa era (Vargas et al. 2017).

Redes de observadores y observaciones

Algunos de los problemas prácticos y metodológicos con la recopilación de datos a largo plazo pueden mejorarse recurriendo a redes. La característica global de las cuestiones ecológicas, la necesidad urgente de respuestas rápidas y la globalización de la sociedad humana han convertido a las redes científicas internacionales en una de las herramientas más poderosas para la investigación en el siglo XXI. ¿Qué ganamos al trabajar en red? Obviamente, la extensión y profundidad de la eco-

gía ha crecido exponencialmente en las últimas décadas. No podemos esperar que un solo ecólogo sea capaz de manejar toda la información y los métodos disponibles para responder una amplia pregunta en ecología. Las redes permiten a las personas intercambiar ideas, información y herramientas metodológicas a una velocidad sin precedentes en la historia de la ecología. También les permiten a los investigadores probar sus hipótesis a grandes escalas espaciales y temporales mediante el uso de datos recopilados en múltiples sitios durante períodos de tiempo variables. En otras palabras, una pregunta que solo podría haber sido probada en un solo lugar en el pasado, con muy pocas oportunidades para generalizarse a escalas más amplias, ahora puede probarse globalmente. Creemos que las redes más importantes también permiten a personas de diferentes orígenes culturales, educativos y científicos discutir hipótesis e ideas, rompiendo así las barreras institucionales e intelectuales en ecología.

Bajo el esquema de redes ecológicas a largo plazo (LTEN) concebido en las últimas décadas, se desarrollan amplias preguntas ecológicas junto con una red de sitios para recopilar datos que nos ayudarán a abordar estas cuestiones. El poder de una LTEN reside en tener datos continuos, tomados de manera similar, empleando una gran escala temporal y espacial. Existen fuertes diferencias regionales en los LTEN del mundo. Por ejemplo, Estados Unidos tiene una red de sitios de investigación ecológica a largo plazo (LTER) y una red nacional de observatorios ecológicos (NEON), que ha gastado 80 millones de dólares en planificación y tienen un presupuesto operativo de casi 500 millones de dólares, con objetivos para implementar sensores avanzados y observaciones a través de una red de sitios “núcleo” fijos y sitios variables “relocalizables” (Tollefson 2011). Sin embargo, los RELP se han filtrado lentamente en los países menos desarrollados, donde se encuentran algunos de los reservorios de biodiversidad más importantes. Grupos como International Long Term Ecological Research (ILTER) intentan abordar estas brechas proporcionando una “red de redes” que vincule las actividades de las redes de monitoreo en todo el mundo. No obstante, todavía faltan redes en África central y septentrional, el Medio Oriente y gran parte de Asia (www.ilternet.edu).

Si bien la creación de redes se puede aplicar a cualquier tema en ecología, algunos ecosistemas, como las montañas, son particularmente susceptibles al enfoque de red. Las montañas pueden considerarse como gradientes de elevación de alta pendiente, esencialmente replicados globalmente, donde esperamos ver rápidas transiciones en fenómenos ecológicos. Además, las montañas se pueden usar como sustitutos espaciales o proxies para los cambios temporales que se esperan con el calentamiento global (Pauchard et al. 2009). En 2005, un grupo de científicos comenzó una red para comprender cómo las montañas se veían afectadas por las invasiones de plantas. La Red de Investigación de Invasión de Montaña (MIREN) actualmente integra personas de 11 regiones del mundo (Figura 6.1). Con el uso de un protocolo de muestreo común y simple, diseñado para aplicar un enfoque jerárquico de múltiples escalas, MIREN ha dilucidado patrones de distribuciones de plantas no nativas a nivel mundial. Por ejemplo, Seipel et al. (2011) encontraron que el declive en forma de joroba o lineal de la riqueza de especies no autóctonas a medida que aumenta la elevación es un patrón que se repite en las siete regiones muestreadas, independientemente del rango de elevación absoluto estudiado. Además, los rangos de distribución de las especies no autóctonas reflejan un comportamiento muy general de estas especies, mientras que las especies nativas muestran un nicho mucho más especializado a lo largo de todo el rango de elevación (Alexander et al. 2011). Utilizando la literatura y los conjuntos de datos disponibles, MIREN descubrió que las especies no autóctonas en las montañas son más similares a sus contrapartes de las tierras bajas que a las de las montañas (McDougall et al. 2011). También se pueden usar técnicas de observación más refinadas, por ejemplo, para probar si una especie crece de manera distinta debido a sus diferencias genéticas o ambientales entre las regiones montañosas. Los enfoques experimentales también pueden integrarse en este tipo de red. Por ejemplo, experimentos de cambio climático (como aumento de temperatura) o experimentos de translocación pueden ayudar a evaluar si las especies nativas y no nativas serán capaces de resistir al rápido aumento de temperatura y si podrán dispersarse hacia arriba en las montañas (por ejemplo, Alexander et al. 2011; Poll et al. 2009).

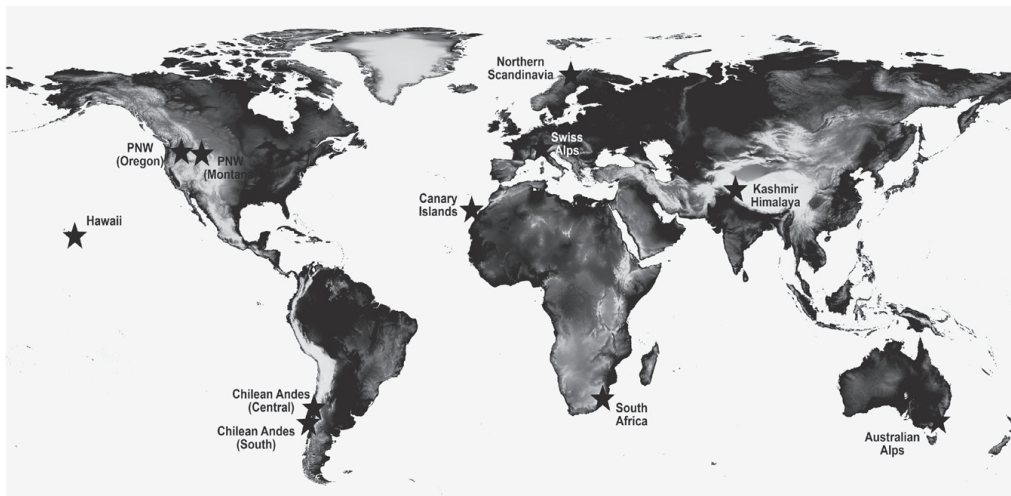


Figura 6.1. La Red de Investigación de Invasión de Montaña (MIREN) abarca 11 regiones en todo el mundo. Está diseñada para permitir comparaciones globales utilizando un enfoque jerárquico, que permite estudios más específicos dentro de clústeres de regiones climáticas (por ejemplo, tropical, templado) o continental (por ejemplo, América del Sur, Europa) (Pau-chard et al. 2009).

Desafíos y oportunidades en el análisis de datos observacionales

Registrar, recopilar y almacenar grandes cantidades de datos, como se hace en estas redes, tiene mucho más valor cuando los datos se analizan sistemáticamente por sus patrones y relaciones ecológicamente relevantes. A veces dar sentido a los datos es simplemente una cuestión de ejecutar estadísticas descriptivas simples (medias, varianzas, etc.) o correlaciones simples (por ejemplo, regresiones lineales), pero con mayor frecuencia los conjuntos de datos grandes y complejos son demasiado matizados para ser descritos por una estadística simple. Como K. Robert Clarke y R.M. Warwick afirman al comienzo de su libro sobre la detección de cambios ecológicos, tales estadísticas son “técnicamente factibles, aunque rara vez muy informativas en la práctica, dada la naturaleza demasiado condensada de la información utilizada” (Clarke y Warwick 2001). A medida que las redes ayudan a cerrar los vacíos globales de información y datos, comenzarán a generar un gran flujo de información, a pesar de ello, aun quedarán regiones y preguntas con

insuficientes datos. Idealmente, el análisis de datos puede abarcar un rango de situaciones con escasez o abundancia de datos, pero para hacerlo, estas herramientas deben ser flexibles y adaptables.

Afortunadamente, uno de los beneficios de practicar la ecología en la actualidad es la gran flexibilidad con la que podemos analizar los datos. Esto surge tanto porque hay tantas herramientas que son fácilmente accesibles, como porque las herramientas mismas son más adaptables que las estadísticas “paramétricas”, usualmente univariadas, que dominaron la ecología de fines del siglo XX. Las llamadas estadísticas paramétricas, como el análisis omnipresente de la varianza (ANOVA), que siempre tendrán un papel importante en la detección del cambio ecológico, sin embargo, llevan el equipaje de varias suposiciones subyacentes que deben cumplirse para que la estadística paramétrica proporcione resultados precisos. La mayor de estas suposiciones es que los datos se extraen de una distribución normal, o algo que se puede transformar matemáticamente (por ejemplo, tomando el registro de todos los datos) en algo que se aproxima mucho a una distribución normal. Este es un problema para muchos de los datos que nos gustaría ver en estos días de cambios rápidos, fuerte impacto antropogénico y alta impredecibilidad. Nassim Taleb, un ex-operador de bolsa que escribe en su libro sobre la imprevisibilidad, *The Black Swan* (2007), tritura nuestras suposiciones sobre la prevalencia de las curvas normales en el mundo real. Si bien reconoce que algunas cosas están marcadas por propiedades físicas con límites restringidos, como la altura de las personas en una población, son relativamente predecibles y tienden a caer en una curva normal; argumenta, sin embargo, que las cosas realmente interesantes, los fenómenos complejos e impredecibles, casi nunca están definidos por una curva normal.

No es sorprendente que gran parte del mundo ecológico caiga en la categoría “no normal”, pero incluso las cosas que esperaríamos que fueran normales, como el tamaño de los caracoles individuales en una población, no resultan de esa manera en una era de impacto humano masivo sobre los sistemas ecológicos. La mayoría de las distribuciones de tamaño de las especies, por ejemplo, que pudieron haber sido normales en algún momento, ahora están completamente cortadas en el

extremo derecho de la curva (donde terminarías con las personas grandes si los tamaños estuvieran distribuidos en un gráfico). Si la especie es altamente manejada con tamaños mínimos permitidos para la cosecha, se encontrarán distribuciones de tamaños que caen dramáticamente justo después del límite de tamaño mínimo.

Las curvas no normales en la naturaleza también están apareciendo en distribuciones que nuestra intuición quiere que creamos “deberían” distribuirse normalmente, incluso en aquellas distribuciones que nos han dicho que son perfectamente normales. Parte del trabajo de tesis de Rafe mostró que las distribuciones de abundancia de las especies en sus rangos no siguen el patrón de forma normal que incluye las abundancias más altas en el centro del rango (Sagarin y Gaines 2002a), como se asumió a lo largo del siglo XX (Sagarin y Gaines 2002b). Esta creencia de larga data se ha derrumbado en tan solo unos pocos años, cuando docenas de investigadores han simplemente observado la distribución poblacional de ciertas especies en terreno, sin que estas se adapten a las curvas de distribución normal (Sagarin, Gaines y Gaylord 2006).

Pero en lugar de ser debilitante, abandonar la asunción de la normalidad puede ser tremendamente liberador y empoderador. Nos enfrentamos a un mundo completamente nuevo lleno de distribuciones muy extrañas, especies que son muy abundantes y luego desaparecen de repente, poblaciones sin hembras maduras y condiciones físicas que cambian de benignas a catastróficas en un instante, por nombrar alguno de los fenómenos no normalmente distribuidos. Afortunadamente, tenemos abundancia de herramientas para guiarnos a través de este mundo extraño e incierto. Muchas de estas herramientas caen en el campo de la estadística “multivariada”, que pueden manejar un gran número de especies individuales (o conjuntos de especies o genes) muestreadas en diferentes entornos, y cada una puede asociarse con múltiples atributos (por ejemplo, tamaño, concentraciones de toxinas, carga de parásitos) que no están normalmente distribuidos.

Por lo general, las estadísticas multivariadas crean una matriz de similitud (o disimilitud) de todos los datos, que calcula qué tan parecidos (o diferentes) son cada par de datos posibles en un conjunto de datos y los clasifica en consecuencia. Las relaciones en esta matriz se pueden

visualizar como un dendrograma (un “árbol” de relaciones, a menudo utilizado para comparar datos genéticos, con “ramas” cercanas que representan una estrecha similitud entre muestras) o como grupos de muestras similares distribuidas en un espacio.

Una ventaja de estos enfoques es que, aunque pueden ser computacionalmente complejos, son conceptualmente sencillos (Clarke y Warwick 2001). Clarke y Warwick ilustran en su altamente legible guía de la compleja técnica multivariada llamada “escalado multidimensional no métrico”, cómo funcionan estos enfoques creando una matriz de similitud ordenada por rango de 24 ciudades en el Reino Unido basada en la distancia entre cada par de sitios. El producto resultante en el programa es un campo de datos que se parece a un mapa del Reino Unido. En datos más ecológicos, las estadísticas multivariadas pueden mostrar, por ejemplo, si un conjunto de especies cambia antes y después de una perturbación, o si las comunidades más cercanas a un desagüe de aguas residuales son significativamente diferentes de las comunidades que viven en aguas más limpias.

Cada faceta de cualquier análisis multivariado también puede descomponerse y analizarse. Las estadísticas espaciales ayudan a los ecólogos a cuantificar las relaciones entre las observaciones en el espacio y pueden exhibir patrones ocultos, como la “función de autocorrelación” (una medida de las distancias a las que se pueden distinguir las relaciones entre conjuntos de sitios), que puede indicar mecanismos ecológicos subyacentes. El análisis de series de tiempo busca de manera similar relaciones temporales, como ciclos recurrentes o retrasos entre un agente causal y su efecto. Los métodos Bayesianos, que preguntan si los datos se ajustan a un conjunto de suposiciones probabilísticas, han sido adoptados por los ecólogos (Clark 2005; Ellison 2004) y se utilizan para ayudar a filtrar grandes conjuntos de datos, para analizar directamente preguntas ecológicas básicas y aplicadas (Wade 2000), e incluso dilucidar si los propios animales usan la inferencia bayesiana en su comportamiento (Valone 2006). El análisis bayesiano parece particularmente adecuado para los enfoques que discutimos en este libro porque imita la forma en que los observadores se enfrentan a sistemas ecológicos complejos, al desarrollar algunos supuestos sobre lo que se

observa con base en conocimiento preliminar (estas son llamadas “probabilidades previas” en términos Bayesianos) y luego se prueba qué tan bien encajan estas suposiciones anteriores.

Como dijimos al principio de este capítulo, no es que estas técnicas sean totalmente nuevas —algunas han sido usadas por ecólogos durante décadas— es solo que la diversidad de técnicas parece estar aumentando exponencialmente, ya que los problemas que encontramos son más complejos y multidisciplinarios. Estos problemas son más accesibles a través de la informática con el aumento del poder computacional y el uso de técnicas que se comparten a través de redes. De hecho, hay programas de software comerciales especializados que pueden ejecutar cada uno de estos tipos de análisis, como por ejemplo el programa estadístico de código abierto “R” proporciona estos paquetes de análisis de forma gratuita y se actualiza continuamente con nuevas herramientas estadísticas enviadas por una gran comunidad de usuarios. La lista actualizada de paquetes R para análisis ambiental ([cran.r project.org/web/views/Environmetrics.html](http://cran.r-project.org/web/views/Environmetrics.html)) contiene docenas de estos programas que se pueden agregar a la ya poderosa versión de R estándar.

No todas las herramientas utilizadas para comprender sistemas ecológicos complejos requieren herramientas matemáticas y computacionales complejas. Los enfoques sintéticos, como el metaanálisis, que formal y estadísticamente analiza múltiples estudios para generalizar conceptos de muchas manipulaciones experimentales individuales de pequeña escala o de investigaciones observacionales individuales (ver Harrison 2010, para una buena introducción), son una forma de construir a gran escala comprensión de conjuntos de datos ampliamente dispersos. Un metaanálisis hace más que simplemente “conteo de votos”, de si los estudios mostraron o no un resultado significativo; también pondera la importancia de los estudios de manera diferente en función del tamaño de la muestra, el diseño del estudio y la congruencia de los resultados entre los estudios. El metaanálisis se utilizó en las dos primeras revisiones exhaustivas de los efectos del cambio climático del siglo XX en los sistemas naturales (Parmesan y Yohe 2003; Root et al. 2003), que utilizaron principalmente estudios observacionales. Por el contrario, Bradley Cardinale y colegas (2006) utilizaron metaanálisis de mu-

chos estudios experimentales sobre grupos tróficos (p. Ej., Herbívoros, carnívoros, detritívoros) y hábitats para mostrar que la disminución de la riqueza de especies puede afectar el funcionamiento del ecosistema (por ejemplo, cómo se agotan los recursos), pero que el patrón exacto de cambio no puede predecirse en teoría. El valor de este enfoque se ejemplifica en el éxito del Centro Nacional de Análisis y Síntesis Ecológicas (NCEAS) en Santa Bárbara, California, que se estableció como un laboratorio de ideas para proyectos multidisciplinarios y de múltiples investigadores que intentan obtener nuevos conocimientos a través de la combinación y el análisis de datos ya existentes, revisando constructos conceptuales existentes. Aunque fundado solo en 1995, NCEAS se elevó rápidamente por sobre de más de 39.000 instituciones ecológicas basadas en el factor de impacto (Hackett et al. 2008) y se ha convertido en un modelo para al menos 17 nuevas instituciones ecológicas internacionales (S. Hampton, com. pers. a R.D.S.).

Finalmente, muchos de los datos que los ecólogos obtienen ahora vienen en forma de palabras, no de números. Estos incluyen datos cualitativos, pero también datos semánticos que se pueden cuantificar. Por ejemplo, una de las estudiantes de Rafe, Mary Turnipseed, usó un popular programa de análisis de texto llamado NVivo para explorar y analizar miles de comentarios públicos sobre la propuesta de la Política Nacional de Océanos del presidente Obama, para los atributos comunes de los comentarios que mencionaban la “doctrina de confianza pública” (el tema de su trabajo de tesis). La combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos que usan datos numéricos y de otro tipo cae dentro de la categoría general de “métodos mixtos”, que han ido ganando adeptos en ecología, así como en salud pública, educación y análisis financiero, todas las áreas donde las realidades complejas producen conjuntos de datos complejos.

Debido a que los métodos mixtos invariablemente combinan campos de conocimiento y enfoques que han sido tratados por separado durante mucho tiempo, gran parte de la literatura sobre métodos mixtos entra en la epistemología: “la filosofía de cómo sabemos lo que creemos que sabemos”. Las preguntas epistemológicas pueden llevarnos a un agujero de conejo con profundos laberintos de discusiones, pero

no son completamente esotéricas. De hecho, la manera en que se han respondido las preguntas filosóficas sobre cuál es la naturaleza de la ciencia ha limitado una valoración más completa de la validez de los enfoques observacionales, como discutiremos en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 7

¿Es científica la ecología basada en la observación?

Los cuestionamientos y críticas que surgen en torno a los enfoques observacionales se reducen a una pregunta fundamental: “¿Es esto realmente ciencia?”. Esta pregunta podría hacerse sobre cualquier tipo de investigación, pero a menudo se orienta a los estudios observacionales, debido a que los enfoques observacionales han estado fuera de la corriente científica durante mucho tiempo, y porque invitan tanto a “no científicos” como a investigadores de las llamadas ciencias blandas a ser parte de las ciencias de la vida. Entonces, ahora que este tipo de estudios se está integrando en la ciencia, el seguimiento natural de la pregunta fundamental se convierte en “¿los enfoques observacionales son científicos?”.

No hay una sola respuesta a la pregunta “¿Qué es la ciencia?”, lo que significa que han surgido numerosas filosofías de la ciencia a lo largo de los años, algunas más influyentes que otras. Así como las técnicas y los objetivos de la ciencia ecológica están cambiando, también lo hará su filosofía subyacente. En este capítulo discutiremos brevemente las filosofías científicas más influyentes del siglo pasado, particularmente la falsificación de hipótesis y la “inferencia fuerte”. Estas filosofías complementan bien el enfoque experimental de la ecología, pero a veces son difíciles de conciliar con los enfoques observacionales. Es debido a esta falta de coincidencia, que algunos han argumentado que los enfoques de observación no son científicos.

Vivimos en un mundo ecológico muy diferente que el de hace al-

gunas décadas y los enfoques de observación son más poderosos que nunca. Vivimos en una era en la que la filosofía subyacente de la ciencia puede expandirse para ser más inclusiva con estudios basados en la observación y, al mismo tiempo, justificar los métodos experimentales y teóricos. Afortunadamente para nosotros (porque ninguno de los dos somos filósofos), otros filósofos de la ciencia, antiguos y contemporáneos, han abordado este entendimiento y han presentado varias variaciones de filosofías ecológicas más inclusivas, que aquí adoptamos.

La ecología antigua avanzó construyendo el trabajo de observación de los naturalistas en teorías que fueron probadas en contra de nuevas observaciones. La coincidencia filosófica con este enfoque se encuentra en las ideas de principios del siglo XX de los “positivistas lógicos”, que creían que las teorías científicas podían ser probadas al verificarlas contra fenómenos observables. Este era un enfoque inductivo que construía la comprensión a partir de la estratificación de diferentes niveles de evidencia hasta que se confirmaba una teoría.

Pero Karl Popper, filósofo de la ciencia de mediados del siglo XX, creía que el razonamiento inductivo podía ser víctima de la pseudociencia. Él abrazó una filosofía que trazó una línea clara e impenetrable entre lo que era ciencia y lo que no era ciencia. En contraste con los positivistas lógicos, Popper argumentó que la ciencia no está definida por lo que puede ser probado o verificado, sino por declaraciones que pueden ser refutadas o falsificadas. Por lo tanto, una conclusión como “la Tierra fue creada por un pulpo gigante invisible” no es científica porque no se falsificó ninguna otra explicación para llegar a esta conclusión. Además, es difícil concebir cualquier prueba que tenga la capacidad de refutar este tipo de conclusión. Sin embargo, se puede usar la ciencia para probar (y posiblemente refutar) una conclusión como “la Tierra tiene 6.000 años”, porque ahora tenemos varios métodos para datar con precisión estratos de roca y fósiles, que han arrojado repetidamente resultados que indican que la historia de la Tierra debe ser medida en miles de millones de años, no en miles de años. En este caso, la conclusión sería actualizada por un científico como “la Tierra tiene miles de millones de años”, una declaración que refleja nuestra com-

presión actual, pero que aún es refutable. La ciencia es el proceso de hacer una declaración y tener los medios para rechazar esa declaración, de acuerdo con una opinión popperiana.

La filosofía de Popper fue oportuna. Como discutimos en el Capítulo 2, el avance de la biología molecular, que proporcionó conclusiones precisas y repetibles, ejerció presión sobre los ecólogos para que desarrollaran enfoques más rigurosos para lograr el entendimiento ecológico. El principio de falsabilidad de Popper ofreció una forma de garantizar que los estudios ecológicos alcanzaran el mismo estándar científico idealizado propio de materias como la física y la biología molecular. Pero para poder ser ampliamente aceptado en la comunidad ecológica, necesitaba ser más que solo un argumento filosófico (Buck 1975).

Las fortalezas y debilidades de la inferencia fuerte

En este contexto, el artículo de John Platt “Inferencia Fuerte” en *Science* (Platt, 1964) proporcionó un mecanismo práctico para aplicar el racionalismo crítico popperiano a las ciencias biológicas. El enfoque de inferencia fuerte implica el desarrollo de hipótesis rechazables múltiples que pueden ser probadas, por parejas, una en contra de la otra hasta que una explicación más probable permanezca al final, donde tales pruebas pueden ser repetidas por diferentes investigadores para garantizar la validez del resultado. Platt da una cualidad de todo o nada a una inferencia fuerte, sugiriendo que es “el método de la ciencia y siempre lo ha sido” (Platt 1964, p. 347). Críticamente, en cuanto a la influencia del artículo, Platt lanzó su enfoque en términos atractivos, sugiriendo que la inferencia fuerte era la vía para hacer que toda la biología se pareciera más a la biología molecular: “Creo que podemos ver el fenómeno de biología molecular repetirse una y otra vez, con aumentos importantes en la tasa de conocimiento científico en casi todos los campos” (Platt 1964, p. 352).

No hay duda de que “Inferencia Fuerte” tocó un nervio. El artículo ha sido citado más de 1.000 veces por otros artículos científicos en ecología y en campos que van mucho más allá, como la psicología, la medicina y la economía. Muchos de estos documentos citan “Inferen-

cia fuerte” para justificar el enfoque de investigación que utilizan. Otros utilizan el documento para reunir a sus colegas para adoptar el enfoque de inferencia fuerte en su propio campo. El enfoque de inferencia fuerte también se ve reforzado desde el nivel más elemental de los estudiantes de ciencias hasta los científicos en ejercicio. Cuando el “método científico” se enseña a los estudiantes, generalmente toma la forma de un enfoque de inferencia fuerte. Los trabajos de ecólogos prominentes han llamado como “simple” y “seductor” a enfoques que no suscriben estrictamente el método de inferencia fuerte (Simberloff 1983), incluso “débil” y “suave” (Elner y Vadas 1990). Se espera implícitamente que las propuestas a la National Science Foundation (NSF), incluso aquellas para apoyar la investigación a largo plazo, sigan un enfoque de inferencia fuerte donde las hipótesis y las pruebas esperadas de esas hipótesis se establezcan de manera anticipada.

Esto lleva a una paradoja y a incentivos perversos entre los ecólogos en ejercicio. Necesitamos fondos para salir y encontrar cosas interesantes en el medioambiente a gran escala en las que el cambio ambiental está ocurriendo, pero necesitamos crear hipótesis para justificar el financiamiento, aunque las hipótesis realmente interesantes no puedan surgir hasta después de que hayamos buscado ampliamente patrones en un sistema que requiere mayor investigación. Como resultado, nos vemos forzados a plantear hipótesis que sabemos que son triviales, o corremos el riesgo de que nos rechacen bajo la crítica de que el trabajo propuesto es “meramente exploratorio” o una “simple expedición”. Como Jacob Weiner preguntó: “¿Cómo muchos ecólogos escriben sus propuestas de financiamiento y artículos en términos de hipótesis y pruebas retrospectivamente, a pesar de que el trabajo no fue concebido de esa manera?” (Weiner 1995).

Esto es potencialmente un problema que va más allá “que solo seguir la corriente”; los psicólogos han descubierto que los científicos que afirman hipótesis predeterminadas tienden a “satisfacerlas”, es decir, hacer cambios sutiles en sus interpretaciones de datos para ajustarse mejor a sus hipótesis predeterminadas (Garst et al. 2002). Incluso antes de que tuviéramos pruebas psicológicas y jerga para nombrar este fenómeno, los primeros ecólogos como Ed Ricketts reconocieron la posibilidad de

que surja un sesgo cuando un investigador comienza con una hipótesis sobre “por qué” algo existe, en lugar de comenzar con observaciones de la misma. Argumentó que esto llevó a una “ilusión de cumplimiento de deseos”, señalando:

Quando una persona pregunta “¿Por qué?” En cualquier cosa, generalmente espera profundamente, y en cualquier caso recibe, solo una respuesta relacional en lugar del “Porque” definitivo que él cree que quiere. Pero habitualmente acepta la respuesta realmente relacional como un “porque” definitivo (Ricketts 2006).

En otras palabras, incluso si obtenemos sólo una respuesta parcial, suponemos que es una respuesta completa si tiende a coincidir con nuestras nociones preconcebidas.

En este contexto, podemos diseccionar mecánicamente nuestras preocupaciones iniciales sobre el sesgo que planteamos en el Capítulo 3. Aquí sugerimos que los sesgos que se han arraigado profundamente en los científicos a través de procesos cognitivos y a través de sus experiencias y antecedentes culturales pueden amplificarse en un marco donde solo se brindan opciones limitadas para una mayor exploración. En *Field Notes on Science and Nature*, un libro nuevo sobre la ciencia y el arte de las notas de campo, el colaborador George Schaller argumenta que incluso el acto de observar puede ser parcial si tratamos de restringirlo a categorías preconcebidas. Él asegura que tiene cuidado de no confiar únicamente en listas de verificación prefabricadas para sus notas de campo porque “un detalle importante puede ser ignorado o considerado irrelevante y descartado al carecer de una categoría discreta en la lista. A menudo es un evento anecdótico que ofrece una visión especial” (Schaller 2011). El argumento de Schaller, Ricketts y los psicólogos que escriben sobre “satisfacer hipótesis” no se basa en eliminar todo sesgo, sino más bien que la predeterminación de lo que se está buscando (los datos que encajan o no se ajustan a una hipótesis particular) es probable que aumente la tendencia hacia lo que sea que el observador ya esté predispuesto.

Un gran número de otros defectos prácticos, estadísticos y lógicos

para el enfoque de inferencia fuerte han sido bien documentados (Lawson 2010, Holling y Allen 2002, Pigliucci 2002, Dayton y Sala 2001, Beyers 1998, Weiner 1995, Francis y Hare 1994, Wenner 1989; Quinn y Dunham 1983). La inferencia fuerte se basa en probar un árbol de hipótesis binarias que se divide continuamente, pero muchos fenómenos ecológicos ocurren a lo largo de un continuo (O'Donohue y Buchanan 2001). Las preguntas ecológicas a menudo no se pueden reducir para “rechazar” o “no rechazar” una hipótesis. Por ejemplo, en estudios de toxicología, la pregunta casi nunca es “¿Es esta sustancia tóxica o no?”, sino: “¿Qué cantidad de esta sustancia es tóxica y bajo qué condiciones?”. Además, como hemos argumentado a lo largo de este libro, muchos fenómenos ecológicos de interés no pueden ser manipulados en un marco susceptible de inferencia fuerte. A menudo no pueden ser replicados o asignados aleatoriamente a tratamientos en la forma de una hipótesis experimental bien elaborada (Hilborn y Ludwig 1993). No es posible llevar a cabo pruebas múltiples de múltiples hipótesis cuando la pregunta es, por ejemplo, “¿Cómo afectará el desastre nuclear de Fukushima a las comunidades ecológicas costeras en Japón?”. En muchos casos, el tipo de enfoque aleatorio favorecido por los estadísticos para aliviar el posible sesgo en experimentos planificados es imposible de lograr. Como Ray Hilborn y Donald Ludwig advirtieron con ironía de los efectos ecológicos del derrame de petróleo de Exxon Valdez, “el petróleo no golpeó al azar” (Hilborn y Ludwig 1993, p. 551). En última instancia, algunas de las preguntas ecológicas más importantes no pueden responderse con datos que puedan ser forzados a un enfoque de inferencia fuerte.

Otro problema al aplicar el enfoque de inferencia fuerte “formal, explícita y regularmente”, como nos pide Platt, es que muchos de los descubrimientos más importantes de la ciencia ocurrieron fortuitamente, como hallazgos inesperados en un conjunto de datos o de accidentes en un procedimiento (O'Donohue y Buchanan 2001) o incluso de accidentes físicos que resulten en experiencias cercanas a la muerte, como narra Ricardo Rozzi en el Cuadro 7.1. Los científicos a menudo hacen hipótesis comprobables con estos hallazgos; por ejemplo, cuando se encontró inesperadamente una gran disminución del zooplancton

en el conjunto de datos de la Investigación Cooperativa Oceánica de California (CalCOFI) (que fue diseñado para rastrear poblaciones de sardinas), otros científicos luego hipotetizaron que encontrarían disminuciones concomitantes en las poblaciones de aves marinas (Ainley et al. 1995). Finalmente, William O'Donohue y Jeffrey Buchanan también sugieren que la inferencia fuerte es un conjunto de pautas problemáticas para la ciencia precisamente porque es un conjunto de pautas. Señalan que algunos de los avances más importantes en la ciencia, como la revolución copernicana, ocurrieron porque los científicos rompieron las reglas aceptadas del día acerca de cómo hacer ciencia. Los enfoques de observación que discutimos aquí no son exactamente el trabajo de los revolucionarios rompedores de reglas, sino más bien de los pioneros que amplían las reglas. No nos obligan a rechazar ningún enfoque de la ciencia, sino a ampliar los métodos que, en las circunstancias adecuadas, pueden considerarse científicos.

Las críticas a la inferencia fuerte no se han arraigado necesariamente en la corriente principal de la ciencia, en parte porque las ideas de Popper y Platt sobre lo que la ciencia “debería ser” en realidad encajan perfectamente con un enfoque experimental. Casi por definición, un experimento bien diseñado prueba múltiples hipótesis predeterminadas y rechazables de forma gradual. Muchos ecólogos que han desarrollado paradigmas ampliamente aceptados basados en enfoques experimentales pueden considerar axiomático que los enfoques experimentales son necesarios para comprender los sistemas ecológicos. Robert Paine, cuyo extenso trabajo experimental en la zona intermareal de la isla Tatoosh, Washington, en el noroeste de los Estados Unidos sentó las bases para el concepto generalizado de “especie clave”, argumentó recientemente: “Sean cuales sean las razones del éxito de la microecología, la evidencia indica claramente que la atención continua a los experimentos a pequeña escala y los roles funcionales es la mayor promesa para la gestión de nuestro mundo para un futuro sostenible” (Paine 2010). Daniel Simberloff, quien realizó parte del clásico trabajo experimental sobre la teoría de la biogeografía de islas, consideró que el trabajo ecológico verdaderamente valioso es aquel que contiene “una hipótesis inequívocamente rechazable y un sistema suficientemente simplificado,

por cualquier medio, para permitir una prueba inequívoca de la hipótesis”. (Simberloff 1983).

RECUADRO 7.1

Cambiar de lentes para observar, conservar y convivir con la biodiversidad: casualidad en el extremo sur de las Américas

RICARDO ROZZI

En marzo de 2000, me embarqué en una expedición a las islas de Cabo de Hornos en el extremo sur del continente americano, guiando a un grupo de briólogos dirigidos por Bernard Goffinet en la búsqueda de organismos de la familia Splachnaceae o musgos “estiércol” que crecen en los huesos de ballenas varadas en los márgenes de turberas y pantanos. Después de sobrevivir a varias tormentas mientras navegábamos en un pequeño bote pesquero, iniciamos frenéticamente la búsqueda de los musgos en la isla Navarino. Mientras saltaba sobre las turberas, me separé del grupo y caí en una de ellas. Empecé a hundirme, en lo que seguro sería una muerte silenciosa y natural. Mientras me hundía, observé la asombrosa diversidad de musgos alrededor, y pensé: “Si soy biólogo y no conozco esta diversidad de plantas, ¿qué hay de los que toman las decisiones y los docentes en Chile?”. Algunos años antes, había participado en comités encargados de identificar sitios prioritarios para la conservación en Chile y América Latina, que se basaban únicamente en vertebrados y plantas vasculares. De conformidad con ese marco, la ecorregión subantártica de Magallanes se clasificó como desconocida o de baja prioridad para la conservación.

Afortunadamente, Bernard y el equipo me encontraron en el pantano después de un par de horas, justo antes de que desapareciera por completo. Sobreviví al episodio, pero la imagen de la exuberante diversidad de musgos se grabó para siempre en mi mente. Comencé una revisión bibliográfica sistemática de las briofitas en Chile y complementaba esos resultados con inventarios florísticos iniciados con Bernard, William Buck y otros biólogos en el Cabo de Hornos, y eureka: ¡descubrimos que la ecorregión subantártica de Magallanes constituye un punto de acceso mundial de musgos y diversidad de hepáticas!

En menos del 0.01 por ciento de la superficie terrestre del planeta encontramos más del 5 por ciento de las especies de briofitas conocidas por la ciencia. En la ecorregión austral, los musgos y las hepáticas constituyen más especies que las plantas vasculares, lo que contrasta con las proporciones de plantas vasculares/no vasculares que se encuentran en las latitudes más bajas (Rozzi et al. 2008). Este descubrimiento nos motivó a proponer un “cambio de lentes” para

observar la biodiversidad: para evaluar la diversidad florística en latitudes altas, no deberíamos basar los inventarios en plantas vasculares, sino también en las no vasculares. En lugar de un conjunto limitado de grupos de indicadores globales, se necesitan grupos de indicadores ecorregionales o específicos de biomas para evaluaciones efectivas de la biodiversidad.

Este “cambio de lentes” no sólo trae implicancias para observar la biodiversidad, sino también para conservarla. La gran diversidad de briofitas subantárticas fue uno de los argumentos centrales para la creación de la Reserva de la Biosfera de la UNESCO Cabo de Hornos en 2005. La reserva de biosfera más grande del sur de Sudamérica se creó en base a organismos que, hasta ahora, rara vez se habían percibido y valorado en la región, el país y la comunidad de conservación mundial.

Finalmente, el “cambio de lentes” para observar y conservar la biodiversidad nos llevó a un cambio ético para cohabitar con la biodiversidad subantártica. Junto con los niños de la escuela local de Cabo de Hornos, compusimos la metáfora: “bosques en miniatura del Cabo de Hornos”, a través de los cuales musgos, hepáticas, líquenes, insectos y otros organismos eran percibidos como cohabitantes en lugar de simples “recursos naturales”. “Los niños observaron la reproducción, el crecimiento y las interacciones ecológicas de los musgos mientras estaban acostados y respirando cerca de ellos. A través de estas observaciones, cultivaron un sentimiento de empatía al darse cuenta, en sus palabras, de que “nosotros, los humanos, también respiramos, nos reproducimos, crecemos e interactuamos con otros organismos”. Mediante la observación y encuentros directos “cara a cara” con musgos en sus hábitats nativos, los niños (y los investigadores) entendieron los valores intrínsecos e instrumentales de los musgos; este último se basa en la comprensión del papel que juegan los musgos en la regulación del flujo y la calidad del agua en las cuencas hidrográficas subantárticas.

Estas experiencias de campo, a su vez, estimularon la invención del “ecoturismo con lupa”, una actividad desencadenada por la apreciación de la belleza, la diversidad y la relevancia socioecológica de esta pequeña flora que normalmente permanece poco percibida por los ciudadanos, los profesores y tomadores de decisiones. El ecoturismo con lupa ha atraído el creciente interés de los turistas, que están llegando cada vez más a la zona. En colaboración con los niños, estudiantes de posgrado de la Universidad de Magallanes, Francisca Massardo y otros investigadores, así como autoridades regionales, docentes, artistas, ingenieros, arquitectos y otros profesionales, decidimos crear el “Jardín de los bosques en miniatura de Cabo de Hornos” para implementar la novedosa actividad de ecoturismo y promover la conservación de la bryoflora subantártica en el Parque Etnobotánico de Omora. La construcción del jardín y los senderos interpretativos ayudaron a mostrar que para conservar y aprender formas sostenibles de

cohabitación no es suficiente cambiar nuestros lentes conceptuales, también es necesario implementar áreas para la conservación y realizar prácticas de observación en terreno.

De esta forma, una experiencia transformadora de observación en terreno desencadenó una secuencia de cambio de lentes para (1) evaluar, (2) conservar y (3) cultivar una ética ambiental de cohabitación con la biodiversidad.

Por qué la ciencia observacional no se considera ciencia

Incluso cuando se reconoce el enfoque de observación, a menudo se le asigna un estado de segunda categoría. En un trabajo de 16 ecólogos, resultante de un taller patrocinado por la National Science Foundation para determinar las futuras prioridades de financiamiento para la población y la ecología comunitaria, los autores señalaron que “aunque siempre se requerirán enfoques experimentales para demostrar los mecanismos que subyacen a los fenómenos ecológicos, los estudios observacionales complementan y amplían lo que razonablemente se puede estudiar en un contexto experimental” (Agrawal et al. 2007). En otras palabras, existe la sensación de que los experimentos deben tener primacía en el estudio ecológico (para ser “complementados” por la observación). Además, existe una creencia muy arraigada de que solo los experimentos pueden develar los mecanismos ecológicos subyacentes (Paine 2010, Simberloff 2004).

La creencia en la capacidad de los experimentos para descubrir mecanismos a su vez se basa en cuatro críticas comunes a los enfoques observacionales, que argumentan que: (1) los estudios basados en la observación encuentran patrones, pero los patrones no pueden usarse para inferir el proceso; (2) los estudios basados en la observación se basan en el enfoque erróneo de la inducción, en lugar del enfoque deductivo más preciso, para llegar a conclusiones; (3) son solo una colección de anécdotas no replicadas; y (4) confían demasiado en las correlaciones entre variables. Aquí abordamos estas críticas y luego volvemos a la cuestión de desarrollar un marco más inclusivo para alcanzar la comprensión ecológica en el que los enfoques observacionales, experimen-

tales y teóricos puedan funcionar armoniosamente, creando sinergias entre ellos.

En primer lugar, es cierto que la mayoría de los estudios observacionales recopilan o toman prestados muchos datos y buscan patrones en los datos. Weiner y muchos otros ecólogos, de hecho, consideran que el hallazgo de patrones es el papel principal de un ecólogo (Weiner 1995), pero también hay una creencia muy arraigada entre otros ecólogos, que dicho hallazgo de patrones debe ir acompañado de manipulaciones para llegar a mecanismos subyacentes. Hay buenas razones para ser cauteloso al inferir un proceso a partir de un patrón: cualquier patrón observado podría ser el resultado de múltiples factores causales diferentes (McIntire y Fajardo 2009). Pero asegurarse de que no se está atribuyendo la causalidad al factor equivocado es realmente un desafío común a todas las formas de comprensión ecológica y científica.

Con los datos suficientes y los métodos analíticos correctos, es posible vincular los factores causales con los patrones e incluso probar hipótesis basadas solo en datos de patrones. Eliot McIntire y Alex Fajardo argumentaron recientemente que “la conexión entre el espacio y el proceso se encuentra en un período de reconstrucción después de haber sido rechazada por numerosos autores en los últimos 50 años” (McIntire y Fajardo 2009). Los autores sugirieron que muchas de las críticas al análisis de patrones se basan en análisis incompletos u obsoletos que ahora se pueden mejorar con nuevos modelos estadísticos que, a su vez, están disponibles a través de una mejor tecnología informática. McIntire y Fajardo recomiendan un método de prueba de hipótesis utilizando patrones espaciales como un sustituto del tiempo u otros factores ecológicos que son difíciles de manipular. En su propia investigación y la de otros que citan, desarrollan modelos de diferentes patrones esperados basados en procesos ecológicos contrastantes (por ejemplo, la competencia entre árboles mostrará un patrón, mientras que la variabilidad del micrositio dará lugar a otro patrón), y luego prueban qué modelo se ajusta mejor a los patrones observados. Del mismo modo, Erica Fleishman y sus colegas nos muestran en el Recuadro 7.2 cómo utilizaron las observaciones de la distribución de aves para probar y ajustar modelos teóricos de distribución de especies. En última instancia, estos autores

nos recuerdan que no debemos confundir los patrones biológicamente impenetrables, aquellas cosas que son naturalmente demasiado complejas para que las podamos entender completamente, con patrones analíticamente impenetrables, que son solo problemas esperando formas diferentes o mejores para ser examinados.

Una segunda fuente de escepticismo con respecto a los estudios basados en la observación es que muchos toman lo que parece ser un enfoque inductivo para lograr el entendimiento. Es decir, crean capas de datos para armar una narrativa plausible y explicar un fenómeno ecológico. La inferencia inductiva a menudo se considera débil, como lo ilustra la metáfora del “cisne negro”. La idea es que si tú viviste en Europa antes de que los naturalistas occidentales hubieran estado en Australia y observaste cisnes durante años y años, solo los verás blancos. Entonces, inductivamente puedes llegar a una creencia entorno a los cisnes como esta: “Cada cisne que he observado es blanco, por lo tanto, todos los cisnes son blancos”. Pero cuando los exploradores pusieron un pie en Australia y encontraron cisnes negros, pudieron rechazar instantáneamente la noción de que todos los cisnes son blancos: una clara victoria en términos de eficiencia y precisión del enfoque deductivo sobre el inductivo (Taleb 2007).

En realidad, este es un juego de filósofos. Un verdadero naturalista, un verdadero ecólogo o cualquier científico real no pensaría así en lo absoluto. Si descubrieras una bandada de una nueva especie de ave en una isla remota y todas fueran azules, deberías anotarlas debidamente y sugerir que el azul era su color de identificación, junto con muchas otras características físicas y de comportamiento que registraste cuidadosamente. Si aparece una roja de repente una semana después de haber publicado una monografía detallada sobre la especie, podría ser un poco vergonzoso, pero no sería una refutación devastadora de sus creencias centrales o incluso un reflejo de sus insuficiencias como científico, sino simplemente una nueva observación que proporciona más datos sobre un fenómeno curioso. Todos los buenos científicos deben recordar que sus teorías e ideas están sujetas a refutación en cualquier momento. Solo si el objetivo de la ciencia fuera buscar la verdad absoluta, el “problema del cisne negro” sería un problema real. De hecho, la

extrema complejidad de los sistemas ecológicos siempre nos sorprenderá si usamos enfoques de observación, experimentales o de modelación.

Otro problema para destacar la inducción a la crítica es que en realidad está en todas partes en el razonamiento científico y de hecho, la mayoría de los argumentos que se supone que son totalmente deductivos en realidad solo son posibles en una matriz de enfoques observacionales e inductivos. El personaje de Sherlock Holmes de Sir Arthur Conan Doyle, por ejemplo, se invoca comúnmente como un modelo del poder del pensamiento deductivo para resolver problemas complejos. Pero para llegar al punto de hacer algunas pruebas deductivas para señalar al culpable, Holmes realmente confía en su larga historia de observación de escenas del crimen y criminales, lo que le ha dado habilidades no muy diferentes a los observadores ecológicos bien entrenados discutidos anteriormente en el libro.

RECUADRO 7.2

Modelos de distribución de especies basados en datos observacionales

**ERICA FLEISHMAN, BRET T G. DICKSON, STEVEN S. SESNIE,
AND DAVID S. DOBKIN**

La persistencia de la mayoría de las poblaciones de animales varía en parte como una función de la cantidad y configuración de sus hábitats. Definimos el hábitat como los recursos abióticos y bióticos además de las condiciones que facilitan la ocupación y la persistencia de un organismo dado (Hall, Krausman y Morrison 1997) de forma espacial y temporalmente explícitas, con múltiples atributos que pueden ser modelados, mapeados y relacionados con la ocupación de especies en grandes extensiones (Fretwell 1972).

Los modelos estadísticos son las herramientas inferenciales fundamentales utilizadas para estimar las relaciones cuantitativas entre los animales y su hábitat. Entre los modelos que se han hecho populares para la inferencia a gran escala se encuentran la entropía máxima (Phillips, Anderson y Schapire 2006), el algoritmo genético para la predicción de reglas (GARP) (Stockwell y Peters 1999) y el análisis de factores de nicho ecológico (Hirzel et al. 2002). Es más probable que los modelos estadísticos sean precisos si incorporan medidas sólidas de ocupación determinadas a partir de encuestas de campo. La ocupación se

puede definir como la probabilidad esperada de que un determinado sitio esté ocupado por la especie (MacKenzie et al. 2006). Si una especie se registra como presente o ausente en un lugar determinado se ve afectada por la probabilidad de detectar la especie en un sitio determinado, si está presente. Suponer que una especie siempre será detectada cuando está presente puede dar como resultado una inferencia no confiable (MacKenzie et al. 2005).

Se abordaron estos puntos con nuestros modelos de hábitat y ocupación de dos especies de aves reproductoras en la Gran Cuenca central (condados Lander, Nye y Eureka, Nevada), *Oporornis tolmiei* y *Pipilo maculatus* (Dickson et al. 2013, Dickson et al., 2009). Los datos sobre presencia y ausencia de aves provinieron de cinco años de estudios de campo. Calculamos la ocupación, ponderada por la probabilidad de detección, en función de la estructura y composición de la vegetación. Estas variables se midieron en la proximidad inmediata de los puntos de muestreo, la topografía y la cobertura del suelo, que se obtuvieron a partir de datos de detección remota.

Contabilizando la probabilidad de detección, nuestras estimaciones de ocupación para *O. tolmiei* y *P. maculatus*, respectivamente, fueron 18% y 30% más altas que las estimaciones iniciales. Los modelos de ocupación más sólidos (basados en los criterios de selección del modelo) de *O. tolmiei* siempre incluían la proporción de arbustos caducifolios (derivados de fotografías aéreas digitales de alta resolución), mientras que los modelos de ocupación de *P. maculatus*, más sólidos siempre incluían la frecuencia de arbustos (datos de terreno). De hecho, para *O. tolmiei*, el modelo de ocupación más débil basado en el hábitat fue el mismo que el modelo de ocupación de *P. maculatus* con mayor solidez. Sin datos de observación, no habríamos sabido que dos especies aparentemente similares (aves paseriformes, insectívoras, que anidan en arbustos) que se encuentran en la misma área (por ejemplo, en los puntos de muestreo o en los cañones) perciben el hábitat de manera diferente.

Las variables a nivel de sitio medidas en terreno rara vez se incluyen en modelos espacialmente explícitos de la calidad del hábitat, pero pueden aumentar la precisión de esos modelos. Sin embargo, los elementos de hábitat a los que los animales responden con fuerza, como la estructura y composición de la vegetación, pueden no ser bien discriminados en la resolución espacial, temporal o espectral de los sistemas de teledetección remota comúnmente utilizados. Por lo tanto, los modelos de calidad del hábitat pueden no representar adecuadamente las relaciones entre animales y hábitat cuando solo se detectan remotamente o cuando se usan capas de datos digitales para construirlos y especialmente cuando los datos remotos no se validan en terreno. Las proyecciones de modelos que son imprecisas o muy inciertas no pueden informar de manera confiable las decisiones de gestión.

En el mundo real, un científico en forma rápida y en gran medida inconscientemente, elimina una gran cantidad de factores posibles, basándose en sus propias observaciones o las de los demás. Lo que científicos y detectives realmente hacen es no inducir ni deducir el conocimiento “desde la nada” ni de manera lógica, sino astutamente “secuestran” ideas del pasado, ya sea sus propias memorias subconscientes o las memorias colectivas de investigaciones pasadas, y las utilizan para promover nuevas ideas. Por lo tanto, el término “abducción” se ha utilizado para describir el proceso de la generación (aparentemente) espontánea de hipótesis basadas en observaciones iniciales. El proceso de secuestro se trata de crear nuevas ideas y explicar observaciones haciendo analogías con el conocimiento pasado, como Darwin escribiendo sobre la reproducción selectiva de animales para ayudar a explicar su teoría de la selección natural (Lawson 2010). Una vez más, la complejidad de los sistemas ecológicos (y los humanos que los estudian) hace que sea desaconsejable suscribirse por completo a una filosofía única para lograr la comprensión ecológica.

Una tercera crítica común de los enfoques observacionales es que son solo “cuentos de así fue” (refiriéndose a los cuentos infantiles de Rudyard Kipling, que relatan los orígenes más absurdos y no científicos de varios animales). En los círculos científicos, los términos narrativa, anécdota e historia generalmente se usan de manera despectiva para describir datos o estudios que de alguna manera no logran borrar un obstáculo generalmente no declarado que los excluye del dominio de la legitimidad científica. En clases y conferencias científicas, a menudo escuchará a un investigador presentando alguna fascinante nueva observación, que defensivamente proveerá la advertencia: “Por supuesto, estos datos son en gran parte anecdóticos”. Hay buenas razones para algunas de estas inquietudes. Los narradores de cuentos pueden ser inexactos o deliberadamente engañosos, los científicos tienen sus propios sesgos que pueden hacer que seleccionen algunas historias sobre otras, y algunas veces las historias son tan entretenidas que queremos que sean ciertas y tardan en rechazarlas a pesar de evidencia contraria.

Sin embargo, tanto en el sentido real de historias transmitidas a través de generaciones que proporcionan evidencia ecológica (véase el Ca-

pítulo 5) como en el sentido figurado de datos que parecen historias, las historias son una parte esencial de la ecología (Cleland 2002; Francis y Hare 1994). Janet Gardner y sus colegas observan que las historias ecológicas reflejan el aspecto creativo de la formulación de hipótesis, pero lo que hace que estas historias o narraciones sean científicas es que están sujetas a cambios en espera de nuevas observaciones (Gardner et al. 2007). Como señala Paul Grobstein, la ciencia “es un proceso continuo y recursivo de probar historias” (Grobstein 2005). Incluso los experimentos más cuidadosamente controlados se basan en una historia y tienen una historia que contar.

Desde este punto de vista, la ciencia no trata de eliminar todos los rastros personales del método científico en un intento de eliminar la subjetividad y ser completamente imparcial. Pero en lugar de una búsqueda imposible de una “vista de la nada”, Grobstein aboga por una “vista desde todos lados” que utiliza la mayor cantidad de datos desde la más amplia gama de perspectivas para crear una historia científica robusta (Grobstein 2005). Esta “visión desde todos lados” es actualmente más factible que en cualquier punto previo de la historia debido a la nueva tecnología de observación, junto con la mayor aceptación de las metodologías de ciencias sociales en ecología, sin embargo, al menos algunas de sus raíces surgen de una colaboración de principios del siglo XX entre un ecólogo y un contador de historias. El ecólogo, Ed Ricketts, y el narrador de cuentos John Steinbeck, juntos intentaron describir lo que llamaron la “imagen *toto*” de las relaciones sociales y ecológicas, incluso cuando los científicos a su alrededor se volvían cada vez más reduccionistas en sus investigaciones. Ricketts y Steinbeck reconocieron explícitamente su propio papel como humanos en la configuración de sus investigaciones. Al comienzo de su famosa expedición ecológica de 1940 para estudiar el Mar de Cortés, o el Golfo de California, anotaron: “Déjanos entrar en el Mar de Cortés, dándonos cuenta de que nos convertimos en parte de él para siempre... que las rocas que removemos en una poza intermareal, nos conviertan en un factor real y permanente en la ecología de la región” (Steinbeck y Ricketts 1941). Este tipo de reconocimiento, argumenta Grobstein, es esencial para reducir la subjetividad y convertir la narración de historias en una práctica científica.

Muchas historias ecológicas construidas a partir de observaciones se basan en variables de correlación entre sí, y este es el foco de una cuarta crítica común. Un ejemplo de un estudio correlativo sería entrevistas con pescadores mayores que revelan ciertos años en los que recuerdan una pesca excepcionalmente deficiente, estos podrían compararse con los años cálidos registrados en los datos de temperatura tomados por barcos en la región, y la correlación entre los dos registros podría argumentarse que revela patrones de eventos pasados de El Niño. Los científicos anuncian casi de manera reflexiva que “la correlación no indica una relación de causalidad” cuando se responde a este tipo de estudio, pero ¿sigue siendo esto cierto en la era actual, ahora que tenemos muchos más datos de observación que nunca?

Hay buenas razones para ser escéptico de las correlaciones. Las correlaciones mal interpretadas pueden tener consecuencias de gran alcance. Una correlación percibida entre las vacunas y el autismo en los niños, que luego se demostró infundada, ha dado lugar a un gran movimiento contra la vacunación de los niños, a pesar de que los beneficios de la vacunación para los individuos y la sociedad superan con creces los riesgos potenciales. Además, casi dos variables cualesquiera se pueden correlacionar. Un gráfico irónico que muestra una estrecha correlación entre “Cantidad de Piratas vs. Temperatura Global Promedio” se distribuyó ampliamente en Internet. Incluso terminó en los sitios web de los negadores del cambio climático, que lo utilizaron para argumentar que cualquier correlación entre la temperatura y otro factor (como la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera) es probable que sea ilegítima.

Pero incluso en los pasillos de la ciencia seria, si vas a suficientes seminarios sobre ecología inevitablemente verás la presentación de datos correlacionales que el autor afirma que tienen una relación “significativa” en un análisis de regresión, pero que parecen un montón de puntos dispersos con una línea dibujada a través de ellos. Parte del problema es que las pruebas estadísticas que generalmente se usan para las pruebas de correlación no son muy conservadoras, lo que significa que se puede obtener un resultado estadísticamente significativo, incluso si la relación subyacente no significa mucho por naturaleza. Un divertido

intercambio de figuras en la prestigiosa revista *Science*, destacado por varios autores sobre el método científico como una advertencia contra la aceptación incuestionable de resultados de regresión, ocurrió cuando el entomólogo David Roubik (Roubik 1978) publicó el siguiente gráfico que muestra la relación entre el número de abejas sin aguijón y abejas africanizadas en un documento científico de 1978 (Figura 7.1).

A lo que Robert Hazen publicó una respuesta sucinta: “La adaptación bastante fantástica de la curva de Roubik me ha llevado a proponer una interpretación alternativa de sus datos”, que fue acompañada por la siguiente figura modificada (Figura 7.2) (Hazen 1978).

En su defensa (parecía tomar la tajante crítica de buena manera), Roubik admitió que tal vez se debería usar una computadora para ajustar las curvas, pero que ahora estamos aprendiendo que esto en realidad puede empeorar el problema, ya que, aunque los programas más básicos pueden ajustar una curva a sus datos con un solo clic, estas curvas pueden no ser más significativas que el vuelo de la abeja a través de los datos de Roubik.

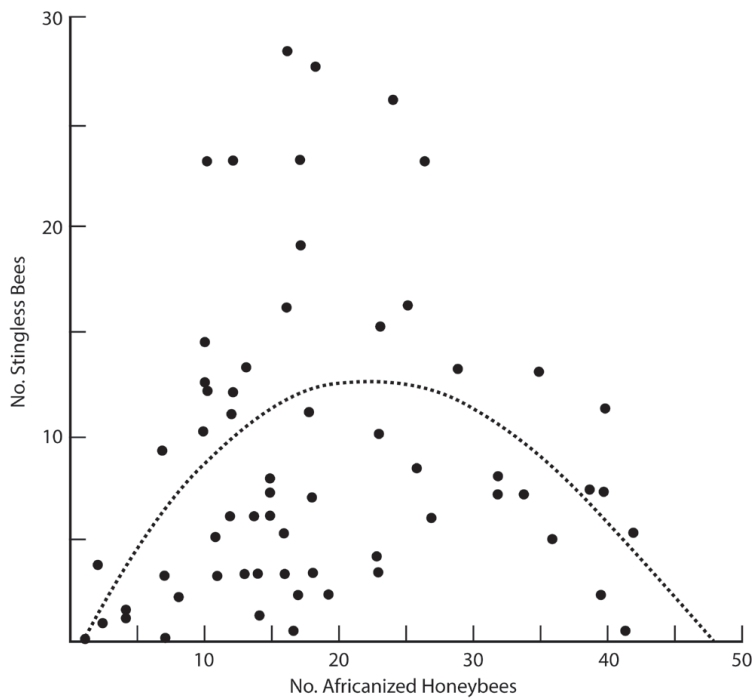


Figura 7.1. Adaptado de la relación trazada de Roubik entre abejas sin aguijón y abejas africanizadas.

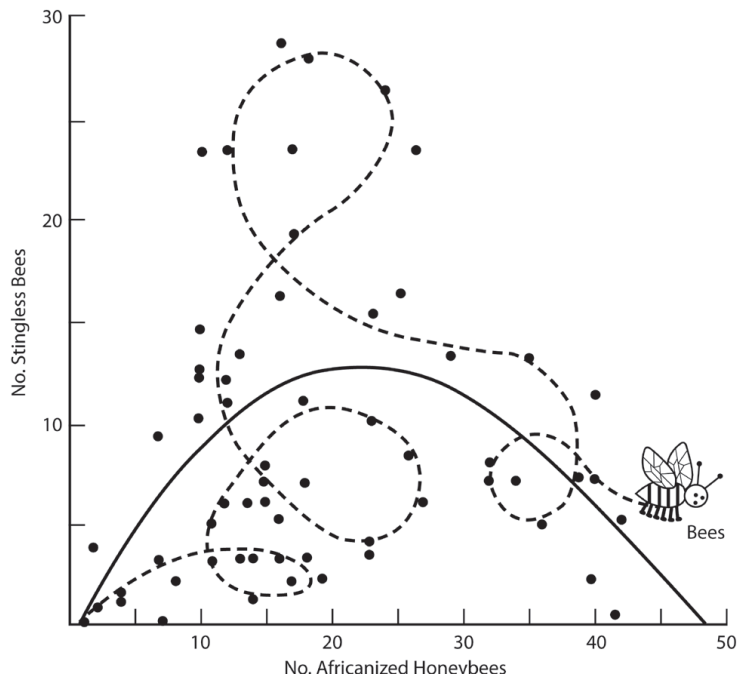


Figura 7.2. Adaptado de la interpretación alternativa de Hazen de los datos de Roubik.

Sin embargo, simplemente no es cierto que los datos correlacionados no puedan conducirnos a los mecanismos que subyacen a un fenómeno dado. El truco es que con múltiples capas de datos a veces es posible atribuir la causalidad a un conjunto de correlaciones. La historia del evento masivo de extinción masiva del Cretácico-Paleógeno que trajo el fin de los dinosaurios es un ejemplo especialmente elegante de la correlación de muchas variables (un gran impacto de asteroides y el enfriamiento global asociado) para determinar el mecanismo que provocó su desaparición. Aquí un equipo altamente interdisciplinario que incluía al físico ganador del Premio Nobel Luis Álvarez y su hijo geólogo Walter correlacionaron datos estratigráficos, datos fósiles y datos químicos, sobre todo una delgada capa del raro elemento iridio encontrado en el mismo nivel en múltiples estratos alrededor del mundo — para probar múltiples hipótesis relacionadas con el evento de extinción (Álvarez et al. 1980). De acuerdo con nuestra afirmación de que los

estudios observacionales a menudo conducen a resultados fortuitos, los Álvarez ni siquiera estaban buscando evidencia de la extinción cuando comenzaron, sino más bien tratando de desarrollar un reloj geológico (basado en la tasa de deposición de elementos raros como el iridio) para cronometrar las tasas de sedimentación (Álvarez y Asaro 1990). Su trabajo es aún más notable porque en ese momento no tenían el “arma humeante” de un cráter de impacto conocido lo suficientemente grande como para asociarse con los eventos que dedujeron. Ese cráter se encontraría 10 años más tarde, muy por debajo de la superficie de la península de Yucatán, utilizando tecnología de observación que anteriormente no estaba disponible. La correlación no siempre implica causalidad, ¡pero en este caso las correlaciones parecen haber sido lo suficientemente fuertes como para extinguir a los dinosaurios!

Integrando las observaciones y otros medios para lograr el entendimiento científico

El rechazo de los enfoques observacionales en ecología como una herramienta científica válida se ha infiltrado en las agencias de financiamiento de investigación, revistas y la academia en general. Esto puede haber limitado la búsqueda de formas novedosas y creativas para ayudarnos a comprender los sistemas ecológicos, y disminuye la importancia del conocimiento pasado y actual basado en observaciones. Un “sistema suficientemente simplificado” es cada vez más difícil de justificar cuando necesitamos comprender la dinámica de los complejos sistemas naturales que están intrincadamente ligados a comportamientos humanos complejos.

Pero los estudios observacionales tampoco nos pueden llevar a este entendimiento por sí solos. Como concluyen James Quinn y Arthur Dunham en su citada crítica de las pruebas de hipótesis formales, “el escepticismo saludable hacia un único modelo metodológico parece completamente apropiado como para cualquier otro reclamo de verdad científica” (Quinn y Dunham 1983). Del mismo modo, Robert Vadas Jr., usando la historia de una controversia científica sobre el significado de los llamados bailes de alimentación de miel como una lección, ar-

gumenta que un enfoque mixto en el que se usan tanto la verificación como la falsificación es necesario para llegar a conclusiones en sistemas ecológicos complejos (Vadas 1994). Y aunque hemos utilizado la filosofía más notable de Popper como un argumento, tenemos que reconocer que él mismo en realidad abogó por una visión pluralista que no estaba vinculada por el dogma del pasado o los enfoques tradicionales (Walker 2010). En otras palabras, al igual que los científicos deberían cuestionar cualquier conclusión científica, también deberíamos cuestionar cualquier metodología. Es probable que mantener esta actitud incuestionable vaya mucho más allá para garantizar que un determinado estudio ecológico nos acerque más a la comprensión que cualquier método prescrito de cómo hacer ciencia.

Afortunadamente, tanto los filósofos de la ciencia contemporáneos como los históricos han elaborado puntos de vista y metodologías que incluyen la amplia gama de enfoques necesarios para abordar los complejos sistemas socioecológicos de la actualidad. El breve estudio de estos trabajos da la sensación de que hay muchas maneras, filosóficas y prácticas, de reconciliar los puntos de vista holísticos y reduccionistas, así como los métodos experimentales y de observación.

El “Entendimiento ecológico” de Steward Pickett y sus colegas (Pickett, Jones y Kolasa 2007) presenta una filosofía ecológica legible para el siglo XXI que reconoce explícitamente el equilibrio necesario entre la investigación experimental impulsada por hipótesis y las observaciones especulativas. Los métodos para poner estas filosofías inclusivas en práctica también están surgiendo a través de las ciencias. Glenn Suter y otros abogan por un enfoque de “peso de la evidencia” para determinar la causalidad, que ha aparecido en diversas formas en epidemiología y en estudios de impacto ambiental (Beyers 1998), ambos campos donde los experimentos controlados y las hipótesis estrictamente rechazables son difíciles. En este enfoque se integran y se ponderan múltiples líneas de evidencia observada sobre la base de estudios previos y el conocimiento del sistema. El enfoque de “peso de la evidencia” es susceptible de estudios que combinen enfoques observacionales y experimentales, así como estudios de observación por sí mismos. Como lo describe Suter, “la confianza sobre la causalidad se obtiene al encontrar la con-

cordancia de los resultados observacionales con los resultados de los estudios controlados y la consistencia entre los resultados observacionales en diferentes sitios” (Suter 1996, p. 344). Aunque Suter reconoce que este enfoque parecerá menos objetivo que las pruebas de hipótesis estrictamente deductivas, sugiere que es más probable que sea correcto, ya que utiliza un rango de datos mucho más amplio.

CS Holling y Craig Allen abogan por un proceso cíclico de búsqueda de patrones y pruebas para determinar las causas de los patrones, lo que ellos llaman “inferencia adaptativa”. “Inferencia adaptativa”, escriben, “se basa en la invención exuberante de múltiples hipótesis competitivas seguidas por la evaluación de datos comparativos cuidadosamente contruidos para explorar las consecuencias lógicas de cada uno” (Holling y Allen 2002). En la misma línea, Judi Hewitt y sus colegas propusieron un enfoque que integra manipulaciones observacionales y experimentales, comenzando con la historia natural observacional para identificar la escala probable del problema, las posibles variables causales y las retroalimentaciones. Dependiendo de la escala y la complejidad del problema, las manipulaciones experimentales se integran en un marco observacional / correlacional a gran escala o se aplican de forma alternada con estudios correlacionales, con cada tipo de estudio, proporcionando información para enfocarse mejor en la siguiente iteración (Hewitt et al. 2007).

Existen buenos ejemplos de estudios que integran enfoques observacionales y experimentales. Utilizando el ejemplo de una invasión de junco en campos agrícolas de heno, David Bart (2006) demostró que el conocimiento ecológico local, que a menudo proporciona excelentes hallazgos observacionales históricos, pero poco poder para resolver los mecanismos causales, podría fortalecerse con manipulaciones experimentales. Joanna Norkko y sus colegas (2006) demostraron que la integración de indicadores fisiológicos perfeccionados con experimentos controlados de laboratorio junto a un extenso muestreo poblacional a través de gradientes ecológicos puede dilucidar los vínculos entre mecanismos y patrones ecológicos y abordar preguntas como: “¿Cuál es la causa del rango límite de una especie?” y “¿cómo responderá esta especie al calentamiento climático?”. Algunas manipulaciones experi-

mentales se han llevado a cabo durante un período de tiempo suficientemente largo para combinarse de forma útil con datos observacionales para resolver hipótesis complejas como el papel relativo de la selección natural frente a la artificial (extracción selectiva por tamaño debido a la pesca) en la conducción del cambio evolutivo en los peces (Coltman 2008; Coltman et al. 2003).

Aunque ha habido un reciente auge de los argumentos de formas más inclusivas de inferencia científica, las ideas subyacentes no son inventos modernos. El filósofo de la ciencia y biólogo evolutivo Massimo Pigliucci señala que el filósofo del siglo XIX William Whewell utilizó el término “Conciliación de inducción” para describir un proceso mediante el cual capas de diferentes pruebas tomadas desde una amplia gama de puntos de vista apuntan a una respuesta similar, como en el Estudio de extinción masiva de los Álvarez (Pigliucci 2002). Más bien, observamos una mayor atención a las filosofías ecológicas más inclusivas porque reflejan la realidad de cómo debemos lograr la comprensión ecológica en el siglo XXI.

Entonces, ¿son científicos los enfoques observacionales? Esa pregunta solo puede ser respondida por los propios estudios. Nuestro argumento en este libro es que la fuerza de los enfoques observacionales aumentará al incorporar una amplia variedad de tipos de datos, recolectores de datos y estrategias, pero la capacidad de estas aproximaciones de ser útiles para la ciencia depende del contexto en el que se utilizan. Encontrar ciencia en la observación consiste en hallar el punto de encuentro para el espíritu de descubrimiento, cuando un observador traspasa una historia ecológica a otro, así como la capacidad de lograr una comprensión ecológica rigurosa de un fenómeno ecológico particular. Los marcos conceptuales sólidos, las grandes cantidades de datos y las herramientas analíticas adecuadas son esenciales para que los enfoques de observación contribuyan a las ciencias ecológicas. Las demostraciones del rigor entre los estudios observacionales se están acumulando dentro de la ciencia ecológica, especialmente a medida que se dispone de más datos y mejores técnicas analíticas.

En la siguiente parte del libro mostramos por qué es tan importante llegar a la ciencia que existe dentro de las observaciones. Tener el res-

paldo de una ciencia rigurosa es cada vez más esencial ya que cada vez se recurre más a los estudios observacionales para contribuir a la gestión de recursos y debates sobre políticas, como veremos en el próximo capítulo, se vuelve crítico a medida que los métodos de observación se infunden con nuevos modelos educativos en cada nivel, desde el jardín infantil hasta escuelas de posgrado, como discutimos en el Capítulo 9.

MÁS ALLÁ DE LA ACADEMIA: EL PODER DE LOS ENFOQUES OBSERVACIONALES

La Parte IV es la recompensa para nosotros. Aquí mostramos cómo todos los componentes de los enfoques de la ecología basados en la observación —los diferentes tipos de observaciones y observadores, los enfoques analíticos nuevos e históricos y la conciliación filosófica de las diferentes formas de obtener la comprensión ecológica— se unen para desempeñar un papel integral en aquello que realmente nos importa mucho: política ambiental y educación ambiental.

En el Capítulo 8 consideramos el proceso de formulación de políticas desde un punto de vista ecológico, tratando de elucidar la imagen holística de lo que influye el cambio político. Desde este punto de vista, no es suficiente transmitir la información técnica detrás de una política particular, se debe prestar más atención a los aspectos emocionales y sociológicos de la formulación de políticas. Argumentamos que los estudios observacionales, más que los enfoques experimentales o teóricos, son fáciles de traducir en contenido técnico, emocional y sociológico que puede ser utilizado por los legisladores. En el Capítulo 9 sostenemos que los enfoques de observación son susceptibles de oportunidades educativas en todos los niveles tanto en entornos formales como informales. Mostramos que tanto el proceso de recopilación de datos de observación como los productos de esos datos pueden convertirse en lecciones para toda la vida que crean circuitos de retroalimentación positiva que, a su vez, fomentan la educación ambiental, la exploración científica y la promoción de la protección ambiental.

La renovada importancia de la ecología en la política

Hemos estado insinuando desde el principio que la ecología tiene un papel más destacado que nunca en los debates sobre políticas públicas. Los cambios ecológicos en múltiples escalas que se asocian a grandes observaciones ecológicas en red como los que analizamos en el Capítulo 6, también deberían ser el centro de los cambios de políticas en múltiples escalas de gobernabilidad, desde lo local a lo global. Sin embargo, los ecólogos profesionales se han sentido frustrados por el poco progreso que ha logrado la ecología como ciencia por cambiar el rumbo de la degradación y la destrucción ambiental. En este capítulo nos sumergimos en esta paradoja observando la ecología de la elaboración de políticas e identificando coincidencias y desajustes entre la ciencia ecológica y la compleja ecología de la política.

Para plantear el problema sin rodeos, los legisladores no leen estudios ecológicos. Aunque cada vez son más los ecólogos que realizan trabajos que deberían ser relevantes para los responsables de la formulación de políticas, existe una gran brecha entre la práctica de la ciencia ecológica y la práctica de la política. Los estudios ecológicos, ya sea que se inicien intencionalmente o no en respuesta a una política o necesidad de gestión, desempeñarán un papel cada vez más importante en el proceso de formulación de políticas y solo pueden hacerlo si pueden superar la división ciencia-política. En este capítulo identificamos las fuentes de esta división. Destacamos ejemplos exitosos de estudios ecológicos observacionales pasados que influyen en cuestiones críticas

de política ambiental, y discutimos por qué cumplen un papel en la conexión entre ciencia y política que no puede ser completada por estudios experimentales y teóricos. Argumentamos que los enfoques de la ecología basados en la observación son altamente susceptibles de informar un proceso de formulación de políticas, esencialmente porque son útiles para traducir el lenguaje de la ciencia al lenguaje de la política. Si bien este es un signo prometedor de la relevancia futura de la ecología para ayudar a resolver los desafíos ambientales urgentes, también conlleva a la posibilidad de malinterpretar o utilizar de forma incorrecta los resultados y reaccionar de forma exagerada ante los hallazgos científicos.

La política tiene tres componentes distintos pero entrelazados que deben activarse para hacer avanzar un cambio de política. Existe un componente técnico que comprende los hechos y cifras, los riesgos y beneficios calculados y finalmente los resultados demostrables de cualquier política. Hay un componente emocional que se ve estimulado por los sentimientos, las consideraciones éticas y las creencias espirituales que impulsan tanto los llamados al cambio de políticas como las respuestas de las personas al cambio de políticas. Y hay un componente sociológico que comprende la política y las relaciones, historias personales, aversión y coaliciones que entran en juego cuando se propone y debate una nueva política.

La elaboración de políticas requiere más que buenos datos

Cambiar las políticas públicas requiere mucho más que solo obtener información científica para los responsables de las políticas, pero entregar la información es un primer paso crítico. Esta conexión se puede hacer de muchas maneras: a través de grupos de ciudadanos que usan la ciencia para avanzar en sus agendas; a través de la representación de resultados científicos en los medios; y a través de conexiones directas entre científicos y legisladores. Esta conexión directa es vital, pero debe ser absolutamente clara y defendible para mantener la credibilidad de los científicos; por lo que Stuart Pimm argumenta en el Recuadro 8.1 cuán importante es ser un observador directo del cambio en el mundo.

En todos estos casos, incluida la transferencia directa de información desde un científico a un legislador, existe algún tipo de traducción de la ciencia original a un lenguaje que se considera más relevante o persuasivo para un legislador. Esta interpretación no es solo técnica, sino también emocional. Las personas y las organizaciones que intentan convencer a los legisladores de cambiar las políticas necesitan en cierto modo de aclarar los hechos (aunque cualquiera que mire los debates sobre políticas puede ver hasta qué punto esos hechos se estiran en ocasiones), pero la mayoría de los cambios de política obedecen a algún vínculo o respuesta visceral a un problema. Esta es la razón por la cual los adorables osos polares y no, por ejemplo, los caracoles intermareales se han convertido en los íconos de las campañas de los grupos ambientalistas sobre el calentamiento climático.

RECUADRO 8.1**Observación y política: La importancia de estar ahí****STUART PIMM**

“Yo estaba allí”, le dice Elrond a Gandalf en *El señor de los anillos*. Es un momento escalofriante, ya que Elrond ha sido testigo de una falla previa para destruir el anillo maligno. También he sido testigo del fracaso. Experimentarlo me convirtió en un biólogo de la conservación, antes de tener el nombre de nuestra nueva profesión, aunque no hace 3.000 años, como en el caso de Elrond.

Esa experiencia da forma a la manera en que transmito los mensajes: a los medios, a los comités del Congreso cuando testifico ante ellos, a grupos públicos, y a grupos de la Iglesia.

Hay una historia de una figura principal de una ONG de conservación que habla públicamente sobre extinciones y cuántas hay, luego se le pide que las nombre y no puede hacerlo. ¡Vergüenza! La extinción es una experiencia muy real para mí.

Los observadores de aves enumeran las especies que ven y, de hecho, algunos se vuelven obsesivos sobre cuántas hay y dónde se encuentran. La visibilidad de las aves y el número de sus especies significa que la comprensión de su diversidad y biogeografía es fácil y rápida. Yo tenía una lista definida a los 13 años. Cuando 15 años después, me dirigí a Hawai, ya tenía la lista de especies que necesitaba ver. Estaba haciendo trabajo de campo, seis cada ocho días afuera durante meses. Estaba convencido de que las vería a todas, incluso a las raras.

No las vi.

Algunas de las especies que buscaba ya estaban extintas; algunas fueron excepcionalmente raras. Era un hábil observador y no importaba cuánto tiempo pasara en terreno, no estaban allí.

Aprendí otras lecciones también. Las especies con rangos de distribución pequeños son las que poseen más probabilidad de ser localmente escasas, un doble peligro que las pone desproporcionadamente en riesgo de extinción. Los lugares donde se encuentran tales especies son particulares, y sorprendentemente, no están donde vive el mayor número de las otras especies.

Estas son las “leyes” de la biodiversidad y determinan las prioridades de conservación. Entonces, cuando me preguntan, dónde están las especies recientemente extintas, a veces lo sé por haberlas visto. Igualmente, sé dónde se encuentran las especies que se tambalean al borde de la extinción. Y, bueno, sí, la deforestación tropical también es personal, ya que con demasiada frecuencia me he adentrado en las cenizas negras de lo que alguna vez fue un bosque lleno de vida.

Estuve allí, vi (y veo) los errores que conducen a la pérdida de la biodiversidad, y esto configura mi ciencia y, sobre todo, cómo la comunico al público y a los responsables de las políticas.

También soy testigo de los éxitos: ballenas grises y azules en el Pacífico, los halcones peregrinos que migran por cientos sobre mi casa en los Cayos de Florida cada otoño. Cuando me cuestionan sobre la eficacia de la Ley de Especies en Peligro de Extinción en los EE.UU., sí puedo testificar que, cuando nos lo proponemos, no debemos presenciar el fracaso.

Se ha prestado mucha atención a la “comunicación científica” en los últimos años en forma de blogs científicos, artículos, libros con títulos como *Don't Be such a Scientist* (Olson 2009) e incluso “programas de capacitación” (por ejemplo, el liderazgo de Aldo Leopold —ver leopold-leadership.stanford.edu). Estos han sido enormemente importantes, pero se han centrado principalmente en los aspectos técnicos y solo un poco en las brechas emocionales entre la ciencia y la política (Groffman et al. 2010). Lo mejor de estos esfuerzos es ir más allá del consejo bastante ofensivo que los científicos necesitan para traducir su trabajo a un lenguaje que la “población en general” pueda entender o, lo que es peor, que los científicos simplifiquen su lenguaje a un “nivel de quinto grado”. Pero aún tienden a unirse en torno al tema de que los científicos son tecnócratas nerds (o arrogantes) que podrían ser infinitamente

más efectivos para moldear las políticas si tan solo pudieran aprender a comunicarse. Esta visión ignora la verdadera ecología del proceso político. El hecho es que hay muchos científicos conscientes que comunican su trabajo muy claramente, con precisión y sin condescendencia. Como Rafe observó durante su tiempo trabajando en el Congreso de los EE.UU. los legisladores y sus equipos en realidad se ven inundados a diario por un aluvión de recortes de periódicos, artículos, informes, podcasts, explosiones de correos electrónicos y discursos lobbistas que en gran medida integran la ciencia de manera correcta y la comunican claramente, pero no son tan útiles para el proceso de elaboración de políticas.

Lo que se necesita, incluso más que simplemente una mejor comunicación, son formas de traducir la ciencia urgente a un lenguaje que resuene en las tres áreas de la formulación de políticas: la técnica, la emocional y la sociológica. Los estudios teóricos y experimentales de ecología, ya sean diseñados en respuesta a una necesidad de política (más comúnmente) o no, simplemente no pueden hacerlo porque operan a escalas pequeñas de espacio y tiempo, o en un mundo computarizado que no puede ser tocado, olido o visto en la realidad. Esto no quiere decir que no puedan producir resultados relevantes para la política, solo tienen más dificultades para defender su relevancia para aquellos involucrados en el proceso de formulación de políticas porque no resuenan con fuerza en las tres áreas de la política.

Los enfoques observacionales de la ecología, por el contrario, tienden a producir resultados que se traducen muy bien en los componentes técnicos y emocionales de la formulación de políticas, y la reciente expansión de la ecología hacia la creación de series de datos de observación en conjunto con ciencia ciudadana, así como los titulares del conocimiento que analizamos en el Capítulo 5 crean el tipo de coaliciones de interés que pueden influir en la compleja sociología de la formulación de políticas. Del mismo modo, la apertura de la ecología hacia nuevos campos en las ciencias sociales, como el comportamiento del consumidor, está conectada más directamente con los resultados ecológicos de una comprensión de cómo y por qué las personas demandan un cambio político.

Los estudios experimentales pueden ser útiles para comprender los mecanismos que subyacen al cambio ecológico a pequeña escala. Los creadores de políticas, por el contrario, están típicamente interesados en los resultados del cambio ecológico a gran escala. Puede ser difícil para ellos ver la conexión entre lo que sucede en un pequeño número de parcelas al interior de una reserva natural y su efecto sobre las personas en áreas mucho más grandes donde la política pública ejercerá jurisdicción. Incluso titulares llamativos de trabajo experimental, como un hallazgo reciente del bosque experimental de la Universidad de Duke que muestra que el aumento de dióxido de carbono (cuando se agrega en un sitio experimental) condujo a un mayor crecimiento y toxicidad de plantas de hiedra venenosa (Mohan et al. 2006), dejan muchas preguntas sin contestar que dificultan la comprensión de los legisladores. Por ejemplo, ¿la hiedra venenosa realmente crecería así fuera del Bosque de Duke en Carolina del Norte? ¿La hiedra venenosa realmente se adaptaría así dado que la tasa de aumento de dióxido de carbono en el mundo real es muy diferente de las altas concentraciones de CO₂ presentes abruptamente en las parcelas de bosque experimental? ¿Alguna otra hierba ni siquiera considerada en la configuración experimental prosperaría y superaría la hiedra venenosa en el mundo real? Estas preguntas no pueden abordarse en el momento y las escalas espaciales de los experimentos, razón por la cual los científicos del bosque experimental de Duke siempre han insistido en que sus resultados son más útiles para alimentar modelos ecológicos que pueden llegar a esos problemas complejos (Dellwo 2010).

La modelación —la creación de simulaciones de escenarios ecológicos futuros generadas por un computador— puede ayudarnos a comprender los cambios que probablemente llegarán en el futuro, y los modelos se pueden aplicar a grandes escalas espaciales. A medida que el poder computacional y el conocimiento ecológico se han expandido (en parte a través de experimentos como los de Duke Forest), los modelos se han vuelto cada vez más sofisticados, trayendo más variables que interactúan y, esperamos, acercándose a la situación ideal donde ambos puedan “retransmitir” con precisión el pasado (es decir, recrear

las condiciones observadas del pasado para demostrar que los modelos obtienen la dinámica correcta del ecosistema) y pronosticar el futuro. Los ecólogos utilizan todo tipo de modelos para analizar la posible propagación de especies invasoras, el riesgo de brotes de incendios en diferentes lugares y las poblaciones futuras proyectadas de especies amenazadas, en peligro o explotadas comercialmente. Cuando funcionan, pueden proporcionar un rango plausible de condiciones futuras que pueden darse dados los diferentes cambios asumidos en la política o la gestión.

Pero no importa cuán sofisticados sean los modelos siempre sufrirán de un prejuicio humano generalizado contra los computadores. Aunque muchos de nosotros usamos y dependemos de ellos para nuestras propias vidas (cuando volamos en aviones comerciales, por ejemplo), en general, las personas son escépticas respecto de los modelos generados por computadores. Esto es probablemente injusto y no es realmente culpa de los modeladores, que han mejorado continuamente los modelos de toma de decisiones climáticas, demográficas, hidrológicas e incluso humanas. Es simplemente que no ver, es no creer.

Parte del escepticismo sobre los modelos se derrumbará a medida que más observaciones los confirmen o corrijan. Por ejemplo, hace más de 100 años, Svante Arrhenius se basó en modelos muy simples para hacer las primeras predicciones sobre el calentamiento del clima impulsado por los seres humanos. Mientras sus teorías eran conocidas por un pequeño grupo de científicos a lo largo del siglo XX, no se extendieron demasiado porque carecían de la validación observacional que atraería a más científicos para considerar la exactitud de sus predicciones o que convencerían al público de que había algo real para preocuparse. Pero a través de la tenaz determinación de Charles Keeling, quien desarrolló y desplegó un monitor ultra sensible para el dióxido de carbono atmosférico, finalmente tendríamos una imagen más precisa de la acumulación de gases de efecto invernadero (Gillis 2010). Los datos confirmarían que Arrhenius estaba teóricamente en lo correcto, aunque lejos de la realidad sobre cuán rápidamente se acumularía el dióxido de carbono en la atmósfera. Más importante aún, la llamada Curva de Keeling se

convertiría en una sorprendente e incontrovertible imagen de observación del legado de la industrialización y sus consecuencias potenciales para la ecología global.

La curva ilustra tanto el aumento general de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera como también una señal estacional del balance de carbono planetario en forma de pequeñas oscilaciones dentadas hacia arriba y hacia abajo en la curva. Si te enfocas solo en unas pocas medidas de la curva, como debe haber hecho Keeling cuando comenzó a obtener datos de sus sensores, verías la concentración de carbono subiendo y bajando durante todo el año. No sería hasta varios años de observación que se podría identificar esta oscilación claramente como un ciclo estacional con niveles de CO₂ aumentando durante el invierno en el hemisferio norte (cuando los árboles dispersos en una masa de tierra más grande que la del hemisferio sur han disminuido o detenido su absorción de carbono) y cayendo durante el verano. Y llevaría una década de observación establecer que se estaba produciendo un aumento en el CO₂ por encima del pico estacional.

Es esta imagen clara que emerge, simplemente forjada por años de observaciones a varias escalas de tiempo (estacional, anual, década), que hace la conexión profundamente importante entre la teoría profética de Arrhenius y los modelos climáticos más precisos y sofisticados que ahora se utilizan para proyectar el estado futuro de nuestro mundo. La curva (ahora proyectada repetidamente desde las estaciones de monitoreo de CO₂ en todo el mundo) es la columna vertebral sólida en el enorme cuerpo de la investigación del cambio climático que puede parecer amorfa e inmanejable para cualquiera que no estudie el cambio climático para ganarse la vida.

Quienes diseñan los modelos siempre han reconocido que las observaciones son esenciales, tanto las observaciones históricas que les ayudan a construir los modelos, como las observaciones actuales que ayudan a validar las salidas previas de los modelos. Pero las observaciones también tienen un papel en asegurar al público que los resultados de una máquina basada en silicio pueden decirnos algo sobre el mundo real. Las observaciones lo hacen proporcionando soporte técnico, en forma de datos que vinculan las predicciones cuantitativas y cualita-

tivas de los modelos con los cambios reales propios del mundo real, y también el apoyo emocional que muestra que nuestro mundo no solo está cambiando en los píxeles de una pantalla de computadora, sino también en las vidas y el destino de las cosas que realmente nos importan. Los modelos pueden hacer muchas cosas, pero rara vez transmiten el contenido emocional de los problemas ambientales. Rafe bromea diciendo que su abuela no lo llama preocupada por los últimos resultados computarizados del programa climático mundial, pero si lo llama para comentarle sobre la situación que vio en Discovery Channel sobre los osos polares que nadan entre los cada vez más escasos témpanos de hielo en el Ártico.

El poder emocional de los enfoques observacionales

El poder técnico y emocional de los enfoques observacionales para influir en el debate público se ha visto a lo largo de la historia de la ecología. Cuando era presidente de los Estados Unidos, el naturalista Teddy Roosevelt usó fotografías de montañas chinas deforestadas y erosionadas durante un discurso en el Congreso (Cutright 1985) para defender un servicio forestal nacional científicamente manejado, una idea que se convirtió en uno de los legados de conservación más importantes en la historia de los Estados Unidos. Había aspectos técnicos y emocionales en la súplica de Roosevelt, pero dada su inclinación por la oratoria dramática, sospechamos que, para los estadounidenses en plena industrialización, la historia técnica de la erosión después de la deforestación era secundaria al atractivo emocional de mostrar cómo la ciencia podría mejorar la sociedad.

Del mismo modo que los resultados científicos pueden provenir de observaciones filtradas a través de todos nuestros sentidos (Capítulo 3), el contenido emocional de estas observaciones no solo se transfiere a través de nuestro campo visual. El enormemente influyente libro de Rachel Carson, *Silent Spring*, al que se le atribuye el lanzamiento del movimiento ambientalista moderno, utilizó la sensación auditiva del silencio en lugares donde el canto de los pájaros solía llenar el aire para promover la preocupación pública sobre pesticidas como el DDT. En el

sudeste de los Estados Unidos, el olor de las granjas de cerdos, en lugar de la preocupación más distal por las emisiones de gas metano, ha creado alianzas entre ciudadanos locales, científicos, ecólogos y granjeros porcinos para desarrollar formas de capturar el metano y convertirlo en combustible.

Debido a que juegan con nuestras emociones, incluso pequeñas porciones de observaciones más grandes pueden tener efectos desproporcionados en la política. En 1987, la imagen surrealista de una barcaza de basura que rodeaba Manhattan sin un lugar donde botar su carga se convirtió en un poderoso símbolo y catalizador para esfuerzos masivamente renovados de reciclaje (Miller 2007). La respuesta pública a los incendios en el río Cuyahoga en Ohio en 1969 se considera la génesis de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. y la aprobación de la Ley de Agua Limpia en los Estados Unidos (Adler 2003), ambas tienen influencia mucho más allá de la calidad del agua en un río del medio oeste.

Los ríos que se incendian y el exceso de basura que rodea una ciudad son cuestiones ambientales bastante localizadas que provocaron una conciencia ambiental que repercutió en todo el mundo en lugares que experimentaron problemas localizados similares. Una toma de conciencia más profunda que las observaciones ha propiciado la comprensión de que nuestras acciones pueden alterar la dinámica global unilateralmente, no como la propiedad aditiva del mismo error repetido en diferentes lugares, sino como un ataque integral contra todo el sistema. Esta conciencia no surgió automáticamente, sino que requirió un primer paso en la forma de la convincente historia del evento de extinción masivo descrito en el Capítulo 7. El impacto inmediato de la historia de la extinción de dinosaurios fue aumentar el miedo a los asteroides en lugar de crear conciencia sobre nuestros propios impactos sobre los ecosistemas globales, pero conceptualmente hizo que el sistema de la Tierra entera pudiera pasar de ser un planeta que sustenta la vida a uno que destruye la vida.

La conciencia de que nosotros como especie podríamos ser un impulsor de este cambio llegaría pocos años después cuando el popular científico Carl Sagan y sus colegas postularan que una batalla nuclear

total entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, que era una perspectiva muy real y aterradora en ese momento, conduciría a una expulsión de polvo y hollín a la atmósfera, que todo el planeta sufriría un “invierno nuclear” en el que la radiación solar sería tan reducida que la gran mayoría de las formas de vida macroscópicas de la Tierra morirían (Turco et al. 1983). Lo que hizo que esta conjetura y los modelos asociados de los autores parecieran plausibles en las mentes de las personas, fueron las observaciones previas de la extinción masiva del Cretácico-Paleógeno. El mecanismo de extinción fue notablemente similar, solo el vehículo de entrega era diferente, un misil balístico intercontinental versus un asteroide. Por primera vez, un gran número de personas podría comprender lo que alguna vez fue incomprendible: que los humanos somos capaces de causar una alteración a escala global de nuestros sistemas vivos.

Fueron solo unos pocos años más hasta que nuestra conciencia de nuestro impacto global se avivó una vez más. En 1985, Joseph Farman y sus colegas publicaron evidencia observacional de que una gran área de la capa de ozono estratosférico, que protege la vida en la superficie de la Tierra de la radiación ultravioleta excesiva, había disminuido su concentración dramáticamente (Farman, Gardiner y Shanklin 1985). El resultado que Farman y sus colegas mostraron no debería haber sido una sorpresa para nadie. Después de todo, el modelo químico que demuestra que el cloro y los átomos asociados en la atmósfera superior podrían destruir catalíticamente el ozono fue publicado por Mario Molina y F. Sherwood Rowland en 1974 (Molina y Rowland 1974). Pero el modelo y la gran cantidad de estudios científicos posteriores al documento de 1974 no lograron cautivar al público de la misma manera que una simple imagen del resultado fue capaz de hacer. Solo dos años después de que se publicaran las imágenes del “agujero de ozono” de Farman, se aprobó el Protocolo de Montreal, un acuerdo internacional vinculante para eliminar los químicos que agotan el ozono, y sigue siendo el esfuerzo más exitoso en la resolución de problemas ambientales a la fecha. La defensa continua de Rowland y Molina para prohibir los químicos que agotan la capa de ozono fue ciertamente vital para este esfuerzo (Meyer et al. 2010), pero incluso, según Molina, la explosión de

la atención pública tras las imágenes de agujero de ozono fue esencial para concretar la política pública (M. Molina, comunicación personal a RDS, junio de 2009).

Cómo lograr que científicos y ciudadanos se involucren

En la mayoría de los casos, comunicar la ciencia de una manera que influya en las políticas requiere más que un encuadre inteligente de conceptos técnicos (Sagarin 2010) y requiere más que apelar a las respuestas emocionales, que pueden ser poderosas. Sin embargo tener en cuenta una política que se opone deliberadamente a los hallazgos científicos (como enseñar “diseño inteligente” o argumentar que la protección de las especies en peligro destruirá puestos de trabajo) es igual de fácil (o incluso más fácil). Hacer cambios duraderos también requiere adentrarse en las complejas redes de relaciones de poder e historia y las diversas motivaciones que conforman el componente sociológico de la formulación de políticas públicas. En otras palabras, necesitamos entender la ecología de la política para incorporar la ecología a la política.

Conseguir que los científicos se involucren directamente en el proceso de elaboración de políticas es una forma efectiva pero limitada de establecer esta conexión. Hay algunas oportunidades para que los ecólogos sirvan como asesores científicos en las oficinas gubernamentales nacionales e internacionales, pero estas relaciones generalmente son acuerdos a corto plazo diseñados principalmente para servir como experiencias de aprendizaje para los científicos. A nivel de políticos profesionales, además del presidente de los Estados Unidos, Teddy Roosevelt, rara vez alguien con conocimiento directo de los aspectos técnicos de la ecología y una profunda conexión emocional tenía una oficina política tan poderosa. Pocos ecólogos crecerán para convertirse en líderes de un país y muchos de nosotros no queríamos hacerlo. Además, a medida que las campañas políticas se vuelven cada vez más caras (una reciente carrera para gobernador en el estado de California costó 250 millones de dólares, con el candidato perdedor gastando 140 millones de dólares de su propia fortuna), los científicos, que rara vez poseen una fortuna, son cada vez menos en oficinas públicas.

Pero como el extremo superior de la política está cerrando sus puertas a la participación pública, el extremo inferior se está volviendo más abierto, con los ciudadanos más directamente involucrados en el cumplimiento de los desafíos sociales y ambientales locales. El empresario y activista Paul Hawken ha documentado el notable éxito reciente de pequeños grupos de acción localizados en relación con las fallas de los gobiernos y las grandes organizaciones internacionales de conservación en el logro de la justicia social y la protección del medio ambiente (Hawken 2007). La apertura de la ciencia ecológica que hemos discutido hasta ahora crea oportunidades maduras en dos direcciones, ciudadanos que se vuelven más activos en el proceso de la ciencia ecológica y el proceso en que la ciencia ecológica se involucra más en la vida de los ciudadanos, que influirán en la formulación de políticas públicas.

La forma más directa de que esto ocurra es a través de la participación continua de personas en ciencia ciudadana basada en estudios ecológicos, que conecta a las personas con la naturaleza y les permita aprovechar la misma fuente emocional de inspiración que entusiasma a los científicos naturales por lo que hacen (Revkin 2010). Tal participación no puede ser obligatoria por política; más bien, debe ser algo a lo que la gente recurra naturalmente para satisfacer la curiosidad o para sentir que están contribuyendo con algo de valor a su ecología local o al lugar que visitan. Crear oportunidades y reducir las barreras a esta participación es esencial. El Servicio de Parques Nacionales en los Estados Unidos, creado por el presidente naturalista Theodore Roosevelt, ahora usa un enfoque ascendente para obtener apoyo para su existencia continua. Ha creado una serie de “Bio Blitzes” muy publicitadas en las que equipos de ciudadanos y científicos convergen en un único parque nacional en el transcurso de un fin de semana y registran todas las plantas y animales que pueden encontrar. El objetivo es crear ciudadanos observadores e involucrados que descubran el valor de los parques y el valor de la observación natural.

Pero pedir que se involucre más a los ciudadanos en la ciencia puede ser igualado al pedir a más científicos que participen en la vida cívica. Esto significa, en parte, involucrar a las ciencias sociales cada vez más dentro de la ciencia ecológica. Esto ampliará los temas de nuestro

trabajo de campo sobre estrellas de mar y pinos, a usuarios humanos consumidores de recursos naturales. Las áreas maduras para tal trabajo surgen donde los sistemas ecológicos complejos satisfacen elecciones económicas y políticas complejas. Por ejemplo, se está llevando a cabo un creciente cuerpo de investigación sobre el desarrollo de “etiquetas ecológicas” para las especies de la pesca, muy parecido a una etiqueta “orgánica” para otros productos. El objetivo de estos esquemas de etiquetado es generalmente recompensar y alentar prácticas de pesca sostenibles mediante el aumento del acceso a mercados como Whole Foods o Walmart que han declarado que desean vender alimentos cosechados de forma sostenible, y otorgando una prima de precio a los productores. Si bien se requieren muchos estudios ecológicos y de monitoreo típicos para considerar si es factible certificar una pesquería determinada como sostenible, también hemos descubierto cuán importantes son las actitudes y creencias de los pescadores, así como las preferencias de los consumidores, en esta compleja ecuación.

Mientras era candidata de maestría en la Universidad de Duke, Wendy Goyert asumió la abrumadora tarea de entrevistar a los pescadores de langosta de Maine en los muelles de la costa para determinar sus opiniones y preocupaciones sobre una propuesta estatal de incluir a la langosta de Maine como pesquería certificada por el Consejo de Administración Marina (Goyert, Sagarin y Annala 2010). También realizó una encuesta de preferencia del consumidor para ver qué impulsa las decisiones de los compradores en la selección de productos del mar. Lo que encontró fue que las actitudes de los pescadores de langostas sobre el programa de certificación estaban casi perfectamente divididas entre aquellos a quienes les gustaba la idea y aquellos que la odiaban. Además, su encuesta al consumidor mostró que, en lugar de factores ambientales, los consumidores se preocupan mucho más por la frescura y el lugar donde se pescó su langosta. Concluyó que los pescadores de langosta obtendrían más beneficios si una etiqueta de su producto lo identificara como “langosta fresca de Maine”, con detalles sobre la ubicación particular y las personas que la capturaron, que si la etiqueta identificara su sustentabilidad, aunque se tratase de las mismas prácticas de pesca tras bambalinas. En otras palabras, al identificar correc-

tamente los factores conductuales humanos en un sistema complejo, podemos encontrar formas de alcanzar el mismo fin (pesquerías sustentables) por medios inesperados (una etiqueta de consumidor que no se centra en la sustentabilidad en absoluto).

Un beneficio adicional de este tipo de investigación es que comienza a romper la brecha entre los científicos académicos que trabajan con recursos naturales y las personas que se ganan la vida por el consumo de esos recursos. Goyert descubrió que, aunque los pescadores de langosta de Maine tienen una reputación de provincianos que desconfían de los extranjeros, estaban felices de tener la oportunidad de hablar con ella sobre un proceso político sobre el que sentían que tenían poca incidencia.

Romper esta sensación de desconexión entre los usuarios de los recursos, los científicos, los conservacionistas y los responsables de las políticas públicas, contribuirá en gran medida a crear mejores políticas de conservación. Todos ellos son actores esenciales en la gestión de lo que se conoce colectivamente como recursos de “confianza pública”: los bienes y servicios ecosistémicos que no están sujetos a derechos de propiedad directa. Los Estados Unidos y muchos otros países se guían realmente por una “Doctrina de confianza pública” que reconoce que los recursos naturales, como la vida silvestre, los bancos de mariscos y el acceso costero, no pueden ser propiedad de un gobierno, sino que el gobierno solo puede confiar en ellos por el bien de todos los ciudadanos, en el presente y para las generaciones futuras (Turnipseed et al. 2009). En la mayoría de los países, la doctrina de confianza pública es una cuestión de derecho común, en lugar de una parte escrita de las políticas ambientales individuales, lo que significa que para que tenga efecto los ciudadanos deben hacer valer activamente su derecho a tener recursos de confianza pública protegidos a su favor. Esto puede suceder cuando los ciudadanos interesados se reúnen para tener un aspecto particular de la confianza pública protegida por la ley o cuando demandan al gobierno por una violación de su responsabilidad de confianza pública. Pero tal administración centrada en los ciudadanos solo puede ocurrir si sabemos qué hay en nuestra “cartera” de confianza pública: la colección de activos naturales que comparten todas las personas. La

gestión adecuada y activa de una cartera de confianza pública requiere aprender y equilibrar las necesidades de una red de usuarios de recursos mutuamente dependientes, los legisladores que deben cumplir con el deber del gobierno de proteger la confianza y científicos, ciudadanos y titulares de conocimientos ecológicos que trabajan para obtener una idea clara de los recursos dentro de esa confianza. Es posible que nunca podamos hacer la “contabilidad completa de su administración” requerida por la ley de un fideicomisario financiero (Scott 1999), pero aumentar nuestro conocimiento observacional de los recursos naturales en fideicomiso sin duda ayudará a mejorar la capacidad de los gobiernos para cumplir con sus responsabilidades.

Hemos argumentado que los cambios en el medio ambiente han estado forzando cambios en la forma en que conducimos la ciencia ecológica. Idealmente, estos cambios deberían retroalimentarse para generar cambios en las políticas que afectan nuestro medio ambiente. Esto no sucederá automáticamente porque la mayoría de los estudios ecológicos no están diseñados desde el principio con el objetivo de influir en las políticas públicas. Sin embargo, los enfoques de observación de la ecología son particularmente poderosos en las discusiones sobre políticas públicas, en parte porque operan naturalmente en las mismas escalas que las imágenes que captan la atención pública. El modelo de Rowland y Molina se aplica a moléculas individuales, incomprensiblemente pequeñas. Pero las observaciones de Farman fueron a gran escala, un agujero que amenazaba con tragarse partes cada vez más grandes de toda la Tierra, así la percepción pública del problema también se amplió. Las observaciones vienen en un lenguaje que puede ser entendido globalmente con poca necesidad de traducir.

De hecho, muchas de las noticias científicas que captan los titulares —las que captan la atención de los legisladores y su personal— son de naturaleza observacional. Un sistema solar distante capturado por el telescopio espacial Hubble, un extraño nuevo calamar atrapado en los reflectores de un sumergible de aguas profundas o una extensa zona muerta en el Golfo de México revelada por imágenes satelitales. Sin duda, estas instantáneas fascinantes no son necesariamente científicas en absoluto, sino más bien la manifestación superficial de una amplia

investigación científica que ocurre antes y después de que las imágenes se publican. Tales imágenes, cuando se transmiten ampliamente, pueden tener profundos efectos de cascada en todo tipo de toma de decisiones sociales. Encienden el debate público y catalizan mayor financiamiento para la exploración espacial, la protección de la biodiversidad o la nueva legislación de protección del agua.

Debido a que estas imágenes simbólicas son poderosas, pueden causar una reacción exagerada o distraer nuestra atención de asuntos más importantes. La validez de estas imágenes en términos de reflejar una realidad más amplia y también su poder para atraer un activismo continuo dependen de qué tan bien coincidan con la empresa científica más grande que las produjo. Si el telescopio Hubble solo hubiera producido algunas imágenes bonitas, el interés en la ciencia detrás de esto habría disminuido, junto con el fuerte apoyo público para continuar con su misión. Del mismo modo, si las primeras imágenes de zonas muertas solo hubieran mostrado un fenómeno extraño, que nunca se repetiría, en lugar de un problema continuo y creciente que más tarde surgió en otras partes del mundo, no atraería mucha atención sobre problemas de calidad del agua, pudiendo incluso haber sido considerado como otro ejemplo de exageración por parte de los ambientalistas. Es el vínculo entre las imágenes fugaces pero dramáticas y la ciencia a largo plazo menos glamorosa que subyace a las imágenes, lo que establece un nexo fuerte que une la ciencia, la sociedad y la política.

Las observaciones pueden servir como un proxy para problemas más grandes y complejos. En este sentido, los osos polares muertos de hambre son un buen indicador del cambio climático. Muestran que el cambio climático está afectando algo que a muchas personas les importa (en este caso, el bienestar animal) y que el cambio climático está sucediendo ahora, no dentro de 50 años. De otra manera, por supuesto, los osos polares solo pueden capturar una pequeña submuestra de efectos que traerá el cambio climático, y su complejidad (por ejemplo, puede haber diferentes poblaciones de osos polares que se desenvuelven mejor en un mundo calentado por el clima).

Este potencial para que las observaciones influyan de manera justa e injusta en los debates sobre políticas le otorga una mayor responsa-

bilidad al científico, ya sea que haya tenido la intención o no de que su estudio respondiera a una necesidad de política. Los resultados de los estudios observacionales se transfieren cada vez más a noticias y documentales y luego se discuten en blogs o se comparten a través de las redes sociales. Una vez fuera de los confines seguros de una revista revisada por pares, se pueden utilizar de muchas maneras para influir en la política. Esto plantea preguntas clave sobre dónde termina la responsabilidad del científico. Por ejemplo, Rafe se sorprendió al verse involuntariamente agregado a una lista creada por el conservador Instituto Heartland de “500 Científicos con Dudas Documentadas sobre el Calentamiento Global Provocado por el Hombre”. Aunque el Instituto nunca dijo por qué estaba en la lista, presumiblemente era debido a un breve artículo publicado en *Nature* que identificó un error pequeño pero corregible en la forma en que todos los estudios publicados tenían cambios documentados en el tiempo fenológico (Sagarin 2001). Por supuesto, señalar errores en los datos publicados es exactamente cómo la ciencia climática o cualquier otra ciencia avanza hacia la comprensión, y el hecho de que la corrección se publicó en la revista científica líder, en lugar de enterrarlo en un blog en línea o en una conferencia, es testimonio del hecho de que los científicos toman su rol de autocontrol con bastante seriedad. Pero, ¿tiene el científico la responsabilidad de corregir a un individuo u organización que esquivé cualquier proceso de revisión y malinterprete groseramente su ciencia?

En este caso, la lista infame fue rápidamente denunciada y demostrada como fraudulenta por un grupo de interés público centrado en la integridad de la ciencia (desmogblog.com/outrage-in-the-climate-science-community-continues-over-the-500-scientist-list), pero ¿y si los medios convencionales o los influyentes legisladores lo hubieran tomado en serio? Decidir cuándo alejarse de la seguridad relativa de la academia e intervenir directamente en los debates sobre políticas es una opción que los científicos de observación necesitarán cada vez más. Algunos científicos ya han decidido que es irresponsable no involucrarse en debates políticos, considerando el daño a los ecosistemas que ya se ha hecho y la relativa falta de respuesta política seria (Meyer et al. 2010; Whitmer et al. 2010). Otros consideran que tal apoyo solo debería tener

lugar en las estrechas circunstancias en que un debate político se refiere a algo directamente relacionado con la investigación del propio científico. En la práctica, considerando las interconexiones entre organismos y escalas en ecología, es muy difícil trazar esa línea. Nos parece casi inevitable que los científicos del mañana se vean inmersos en discusiones sobre políticas. Por lo tanto, como discutiremos en el próximo capítulo, la educación científica en el futuro tendrá que ser más integral e inclusiva de lo que ha sido. Argumentaremos que los estudios basados en la observación alimentan un ciclo catalítico de educación que en general capacita a ecólogos que, a su vez, se convierten en los progenitores de la próxima generación de estudios basados en la observación.

Acercando la naturaleza a una nueva generación de ciudadanos y ecólogos

Los humanos son observadores por naturaleza. Incluso antes de nacer, estamos percibiendo nuestro entorno. A medida que envejecemos, vamos adquiriendo información crucial mediante la observación directa del entorno, o a través de las interacciones de nuestros pares con el medioambiente. Existe una conexión natural entre la observación y la forma en que aprendemos y entendemos el mundo. Hemos evolucionado para usar observaciones a fin de construir nuestra propia representación de la realidad. Tal como lo reconoce la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia y la Fundación Nacional para la Ciencia (EE.UU.), las “prácticas de observación”, particularmente “la observación de la naturaleza”, son esenciales para desarrollar la capacidad de aplicar el pensamiento científico en la biología (Brewer y Smith 2011).

Existe, en consecuencia, un nexo natural entre la observación de la naturaleza como herramienta educativa y como herramienta científica. Ambas dimensiones pueden potenciar mutuamente a la sociedad y a la ciencia de la ecología. En primer lugar, el uso de la observación como herramienta educativa puede beneficiar el desarrollo psicológico e intelectual de los niños. En segundo lugar, las experiencias tempranas y significativas con la naturaleza ayudan a niños, adolescentes y adultos jóvenes a crecer apreciando la naturaleza y así continuar tanto formalmente como científicos, o como gestores de la ciencia ciudadana (ver Capítulo 5). Aquellos niños o jóvenes podrán luego convertirse en los que conectan las acciones sociales y el cambio ecológico. En tercer lu-

gar, en los niveles educativos superiores, la observación de la naturaleza puede inspirar a los estudiantes para seguir carreras en ciencias de la vida, así como el beneficio más inmediato de servirles como fuente de hipótesis y darles una perspectiva del “mundo real” para el desarrollo de su investigación, sin importar si ésta es de observación, teórica o experimental.

En este capítulo discutimos las implicancias de usar la observación para aprender ecología y aumentar la conciencia ambiental. Aunque la utilizamos, no tenemos la intención de revisar profundamente la gran cantidad de literatura en teoría o práctica educativa (ver, por ejemplo, Brewer y Smith 2011, Hayes 2009, Bowen y Roth 2007) o “psicología ambiental” (por ejemplo, Clayton y Myers 2009; Aanstoos 1998). Más bien utilizamos los hallazgos más destacados, que señalan la importancia de la exposición temprana a la naturaleza, el valor de cualquier experiencia con la naturaleza y la necesidad de desarrollar una retroalimentación psicológica positiva a partir del contacto con la naturaleza. De esta manera, generamos un marco para relatar cómo nuestras experiencias como estudiantes, maestros y padres han reforzado nuestra propia fe en el poder de la naturaleza como aula.

Observaciones ecológicas como herramienta de desarrollo

Los niños expuestos a la naturaleza desarrollarán rápidamente fuertes habilidades de observación. Muchos de nosotros hemos estado en el campo desde una edad muy temprana, y quizás por ello elegimos una carrera en ecología. El contacto temprano con la naturaleza no sólo da forma a nuestra percepción cognitiva de la naturaleza, sino que también afecta nuestra conexión con el mundo natural (Taylor y Kuo 2006). La flexibilidad de nuestros cerebros en la primera infancia permite la rápida adquisición de información e identificación de patrones, estableciendo así las condiciones basales para poder construir percepciones en torno a la ecología. Dado un entorno seguro, los niños pequeños ponen en marcha este proceso, llevando a cabo una serie de experimentos de observación cada vez más elaborados con el mundo que les rodea (Gopnik 2009), y aprendiendo así tanto de los éxitos como de los

fracasos. Por ejemplo, el hijo de Aníbal tenía tres años cuando, un día en un supermercado, agarró la hoja de un arbusto decorativo, la rompió en su mano y la olió, sin percibir ningún olor. Su padre tuvo que explicarle que, lamentablemente, aquello era una planta de plástico. A esta temprana edad, el niño ya estaba familiarizado con el hecho de que las plantas tienen olores particulares, un secreto que su padre le enseñó en su propio patio. Aunque el resultado inmediato fue desconcertante, la experiencia reforzó la lección de que la observación atenta puede usarse para hacer descubrimientos y encontrar orden dentro de un mundo lleno de estímulos.

La observación directa de la naturaleza, si se acompaña de experiencias agradables, deja una impresión duradera sobre la valoración de ésta. Los niños que comenzaron su relación con la naturaleza con emocionantes actividades al aire libre tendrán muchas más probabilidades de desarrollar un fuerte apego a ella (Clayton y Myers 2009). Por ejemplo, Nadia Lalak descubrió que al llevar niños pequeños a los bosques en Australia y combinar la experiencia de campo con un componente de narración mágica, los niños se conectaban rápidamente con la naturaleza. Ella relata que los niños pequeños, ayudados por la dinámica de contar historias, usan todos sus sentidos para experimentar el entorno que los rodea; los niños se encuentran “atrapados a través de sus sentidos en una mayor conciencia” en un entorno que de otro modo no les resultaría familiar (Burns 2005, p. 72, Lalak 2003). Es más, la exposición temprana a la naturaleza tiene importantes beneficios psicológicos que van más allá de la apreciación de la naturaleza. Por ejemplo, se ha demostrado que la autoestima, la autoconfianza y el comportamiento social en los niños mejoran después de experiencias en ambientes naturales (Taylor y Kuo 2006).

Si el éxito en la investigación en ecología pudiese derivarse de una experiencia sensorial personal, un corolario podría ser que el divorcio entre la historia natural y la observación no solo sea perjudicial para la ecología como ciencia, sino también para los individuos a nivel personal. El “tiempo de pantalla” está reemplazando las “horas de bosque” incluso para los ecólogos, aun cuando sabemos que las mejores pantallas tienen una resolución mucho más baja que la naturaleza. Lamen-

tablemente, también nos estamos urbanizando, haciendo que la naturaleza sea una entidad cada vez más separada que visitamos una vez por semana si tenemos suerte o tal vez sólo una vez al año para nuestras vacaciones de verano. En los Estados Unidos, las advertencias sobre los secuestros mostrados en los noticieros y las restricciones legales que evitan dejar a los niños deambular por sus vecindarios y alrededores sin supervisión, están poniendo más barreras entre los niños y la naturaleza. Es difícil imaginar a Geerat Vermeij o Daniel Kish (ver Capítulo 3) desarrollando sus sentidos de observación tan agudos en un mundo donde no permitimos a nuestros niños ser observadores del mundo natural.

Algunos han sugerido que la separación de los humanos de la naturaleza ha disminuido la sensibilidad de nuestras habilidades de observación, ya que nuestros sistemas cognitivos y sensoriales ahora se entrenan sólo en ambientes urbanos (Berman, Jonides y Kaplan 2008), que aunque puede ayudarnos a evitar el tráfico de la ciudad, puede reducir nuestras capacidades para detectar cambios más sutiles en la naturaleza. La desconexión con la naturaleza también se ha relacionado con tasas más altas de obesidad y una mayor propensión potencial a enfermedades mentales como el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (Louv 2005; Taylor, Kuo y Sullivan 2001). Al mismo tiempo, estamos perdiendo nuestra capacidad de observar la naturaleza ya que nuestros sentidos se atrofian debido a la falta de uso. Esta pérdida puede ser directa y cuantificable, como fue descrito en un estudio epidemiológico que revela que los niños que pasan más tiempo al aire libre tienen tasas más bajas de miopía (Gwiazda y Deng 2009) o se podría ver en un sentido más cualitativo, al considerar que convertirse en un buen observador requiere de mucha práctica, que se pierde cuando crecemos en el interior de nuestras casas y edificios.

Sin embargo, muchas personas se han rebelado contra esta tendencia, encontrando nuevas formas de volver a la naturaleza. Incluso hay un movimiento llamado “niños libres” (“free-range kids”) para alentar a los padres a dejar que sus hijos exploren el mundo por sí mismos. El movimiento fue iniciado por una madre que escribió una columna periodística sobre por qué dejó que su hijo de nueve años anduviera solo en el metro de la ciudad de Nueva York. Esto permitió que ella fuera

entrevistada en la televisión nacional, llegando a ser llamada “la peor madre en Estados Unidos” por padres “expertos” e hiperconscientes de los peligros de seguridad (freerangekids.wordpress. com). Programas más formales, a veces principalmente dirigidos a lidiar con las preocupaciones de salud pública sobre un estilo de vida sedentario, están fomentando más actividades al aire libre para los niños. Por ejemplo, No Child Left Indoors, un proyecto dirigido por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en el estado estadounidense de Connecticut, tiene como objetivo “presentar a los niños la maravilla de la naturaleza, por su propia salud y bienestar, por el futuro de la conservación del medioambiente, y para la preservación de la belleza”.

Observaciones ecológicas como una herramienta de aprendizaje elemental

Una lección emergente de estos programas es que las experiencias de la naturaleza que tratamos de fomentar no tienen que ser incursiones perfectas, viajes especiales al Gran Cañón del Colorado en EE.UU. o la Gran Barrera de Coral en Australia. Si buscamos experimentar y compartir sólo en áreas naturales “prístinas” idealizadas, podemos perder la oportunidad de observar la naturaleza que habita en nuestras ciudades, parques y entornos suburbanos. La biodiversidad y los procesos del ecosistema se pueden observar en el hogar (Brewer 2002). En muchos casos, los nuevos ecosistemas (sensu Hobbs et al. 2006) que nos rodean y que están bajo la fuerte influencia de los humanos, van a ser los mismos ecosistemas donde pasaremos la mayor parte de nuestras vidas y donde la biodiversidad debe ser conservada (Ver, por ejemplo, Pauchard et al. 2006). Se debe promover, por lo tanto, la observación y comprensión de estos nuevos ecosistemas, que pueden estar dominados por especies no autóctonas, independientemente de su origen o nivel de conservación. Brendon Larson nos recuerda en el Recuadro 9.1 que incluso los sistemas antropogénicos brindan una oportunidad única para abordar las complejidades y la maravillas de los sistemas ecológicos.

La observación de la naturaleza también puede ayudarnos a evitar

la frustración causada por la urgencia de las catástrofes ambientales. Como sugiere David Sobel (1996), los niños que se enfrentan al negativismo ambiental pueden desilusionarse rápidamente con la conservación de la naturaleza, si es que la consideran una causa perdida. La observación de sistemas ecológicos, incluso en entornos fuertemente impactados, puede generar esperanza en una situación de desesperación para niños y adultos. Por ejemplo, en Los Ángeles, California, incluso pequeños parques que colindan con el canal de lo que alguna vez fue el río Los Ángeles, así como los pocos remanentes de lecho natural del río, se están convirtiendo en fuentes de estudio ecológico, recreación de la naturaleza y orgullo del vecindario (J. Linton, comunicación personal a RDS). El conocimiento y el entusiasmo que se obtienen de estas pequeñas y esperanzadoras experiencias pueden ser contagiosas entre pares, e incluso con otros adultos, lo que puede tener importantes repercusiones para la conciencia ambiental (Clayton y Myers, 2009). Por ello, los padres y maestros deben comprender que la naturaleza está en todas partes, incluso en el balcón de un apartamento, y que se puede alentar a los niños a experimentar esta naturaleza lo antes posible.

Para los estudiantes en sus años de adolescencia, aprender ecología a través de la observación de la naturaleza puede tener una influencia importante en la formación de sus personalidades y fomentar su entusiasmo sobre carreras en ecología y conservación de recursos naturales (Thomashow 2002). Incluso si esta no es su prioridad, aprender a través de la observación de su entorno les ayudará a tener una comprensión más amplia del mundo en el que viven y las consecuencias de sus acciones para la biosfera (Kaplan y Kaplan 2002). No obstante, los adolescentes generalmente se sienten alejados de la naturaleza, y las experiencias de corto plazo en la naturaleza no parecen cambiar esta noción. Haluza-Delay (2001) informa que después de un viaje de campo de 12 días, los adolescentes sintieron que la naturaleza sólo existe en ambientes más prístinos y que es poco lo que pueden hacer para conservarla. Una forma de romper esta barrera percibida es involucrar a los adolescentes en proyectos de trabajo con consecuencias directas para su entorno. Por ejemplo, cuando los adolescentes ayudan a encuestar y planificar un área protegida pueden ver los efectos directos de sus acciones (Tho-

mashow 2002). Aquí vemos una clara convergencia entre los resultados educativos, psicosociales y científicos, porque este tipo de aprendizaje “basado en proyectos” o “basado en problemas” es exactamente lo que los defensores de la educación están impulsando en ciencia y más allá del aula (Darling-Hammond 2008).

RECUADRO 9.1

Observando especies invasoras y nuevos ecosistemas en áreas urbanas

BRENDON LARSON

Crecí en el campo y mi vida como naturalista se derivó de largas horas deambulando por un arroyo local, en busca de nuevas especies de plantas, aprendiendo cantos de aves y tratando de atrapar a esa gran libélula que siempre estaba fuera del alcance de mi red.

Desafortunadamente, tales experiencias de la infancia son cada vez menos comunes. La mayoría de las personas del mundo ahora vive en áreas urbanas, y este porcentaje va en aumento. El futuro de la biodiversidad de la tierra dependerá de la relación, o la falta de ella, que estas personas desarrollen con la naturaleza. Si bien algunos de ellos visitarán áreas “silvestres”, que a su vez se enfrentan a amenazas cada vez mayores debido a la escala global de nuestros impactos, la mayoría de ellos no lo harán. Por lo tanto, su relación con la naturaleza se producirá principalmente a través de observaciones de la naturaleza que los rodea, en sus patios traseros, parques locales y patios de escuelas, tal vez complementados por algunas experiencias transformadoras fuera de sus hogares urbanos.

En consecuencia, los ecólogos deben reflexionar sobre su propia tendencia a enfatizar la importancia de las especies raras y endémicas que se encuentran en áreas silvestres protegidas, que a menudo están lejos de las áreas urbanas. Es particularmente útil reflexionar sobre las especies invasoras en este contexto. Los entornos urbanos están muy alterados, lo que contribuye a la preponderancia de especies introducidas y con frecuencia invasoras.

Me preocupa que tantos programas de educación ambiental ahora enfatizan los “horrores” de las especies invasoras, cuando estas son las especies que componen el entorno natural de tantos niños que crecen en las áreas urbanas. A menudo, se les enseñan esas lecciones a una edad demasiado temprana, cuando el énfasis debería estar en sentirse cómodo, explorar y jugar en el entorno natural.

Aunque hay importantes lecciones y diferencias ecológicas en estos sistemas

antrópicos, estoy bastante seguro de que hay un riesgo muy alto al educar a los estudiantes con la idea de que estos paisajes están contaminados y degradados. Los estudiantes podrían no querer regresar. En su lugar, sería interesante mostrarle plantas y enseñarles sus historias, tal vez incluso resaltando cómo estas comunidades biológicas son ahora tan cosmopolitas como las ciudades contemporáneas y considerando también las funciones ecológicas que estas comunidades podrían otorgar.

Esto podría ser incluso una primera lección de "objetividad" científica al enseñarles a observar el mundo que les rodea antes de emitir juicios sobre su calidad, tal vez incluso aprendiendo cuán difícil es justificar las distinciones entre calidad "buena" y "mala". El salto a conceptos de nivel superior relacionados con la biogeografía, la dispersión y la biodiversidad puede venir más tarde.

Estas lecciones pueden ayudar a alimentar el impulso de los niños urbanos de explorar, tanto como yo lo hice, para que se acerquen a la naturaleza que existe a su alrededor y tal vez incluso traten de atrapar a aquel ser vivo especial que usualmente está fuera de su alcance.

Desafortunadamente, el sistema educativo está extremadamente orientado al aula, y las oportunidades para actividades educativas al aire libre compiten con otras necesidades educativas. Nuestros sistemas educativos tradicionales se basan en entornos cerrados con ocasionales "descansos" al aire libre, que no se consideran parte del currículo. Ciertamente, la mayoría de la educación primaria no está integrada directamente con el mundo natural, y algunas veces el tiempo al aire libre es completamente olvidado. En parte, esto puede explicarse por la falta de capacitación adecuada para los maestros de escuela. Además, existe la noción de que las actividades al aire libre son costosas y requieren mayores esfuerzos organizacionales (Brewer 2002). Finalmente, los maestros de todos los niveles se quejan que las presiones para mantener a los estudiantes dentro del aula también han aumentado en los últimos años a medida que los requisitos para las pruebas estandarizadas se han vuelto abrumadores, y que los temores acerca de los peligros no controlados asociados a las actividades al aire libre han afectado las decisiones de los directivos de las escuelas.

Sin embargo, ecólogos y educadores han diseñado varios métodos para aumentar el contacto de los niños con la naturaleza, combinando

observación y experimentación con las últimas técnicas para el aprendizaje efectivo (Knapp y D'Avanzo 2010). De ninguna manera es necesario que todas estas actividades se formalicen. Las actividades no curriculares de "ciencia informal" como crear jardines de plantas nativas, huertos orgánicos o cinematografía ambiental también pueden ayudar a inspirar una conexión más cercana de los estudiantes con la naturaleza, y al mismo tiempo ayudar a lograr mejores resultados de aprendizaje (O'Neill 2005; Rennie et al. 2003). Carol Brewer, ganadora del Premio Eugene P. Odum a la Educación Ecológica de la Sociedad Ecológica de América, ha abogado por el uso de los patios de las escuelas como aulas de biología al aire libre (Brewer 2002). Según las experiencias en América del Norte y América del Sur, se ha demostrado que las áreas cercanas a las escuelas, incluso en entornos muy perturbados, pueden servir como laboratorios de naturaleza para estudiantes de todas las edades. Curiosamente, la mayoría de los docentes inicialmente admiten que tienen dificultades para respaldar esta idea, porque su formación les indica que "la ecología sólo ocurre en las excursiones al campo" (Brewer 2002). Sin embargo, dadas las condiciones apropiadas, los maestros pronto se dan cuenta de las ventajas de usar sus propios patios de escuela para enseñar ecología. En primer lugar, es mucho más económico y menos complejo desde el punto de vista logístico que organizar viajes de campo. Segundo, el patio de la escuela puede ser usado continuamente en el transcurso de un año. En tercer lugar, y probablemente lo más importante, el patio de la escuela da a los estudiantes un sentido de pertenencia ecológico.

Cada vez hay más oportunidades para la educación ecológica a través de todos los grupos etarios. Muchas de estas oportunidades se ajustan al mismo modelo de ciencia ciudadana que discutimos antes, pero brindan plataformas e incentivos que son apropiados para la edad y la etapa de desarrollo según corresponda. Por ejemplo, la hija de Rafe, a los diez años, se enamoró del sitio web Project Noah (projectnoah.org), que anima a los exploradores jóvenes y viejos a fotografiar organismos naturales y publicarlos en una cuenta en el sitio web. Otros miembros del sitio pueden ayudar a identificar el organismo y agregar sus comentarios. Los "premios" se otorgan por alcanzar diferentes objetivos, como

hacer 15 observaciones de anfibios o participar en “misiones” centradas en taxones particulares. Los niños que usan el sitio se sienten incentivados a salir a observar y explorar las observaciones de otros usuarios en todo el mundo, además al considerar los comentarios que obtienen sobre sus propias observaciones, comienzan a aprender los conceptos básicos de clasificación, biogeografía y ecología. Este programa de observación facilitado por la tecnología crea oportunidades para la generación más joven de “nativos digitales”, pero también plantea dudas sobre la idoneidad de los intermediarios tecnológicos entre las personas y la naturaleza. Los docentes que están comenzando a integrar la observación y la tecnología están descubriendo de primera mano la gran promesa y los múltiples desafíos en esta interfaz precaria, como Kristin Wisneski y Barron Orr comparten con nosotros en el Recuadro 9.2.

Observaciones ecológicas en la educación superior

Los valores asociados con la naturaleza suelen estar subrepresentados en las aspiraciones de los jóvenes estudiantes cuando solicitan ingreso a la universidad, especialmente en los países en desarrollo. Este problema puede, a la larga, socavar el desarrollo de disciplinas asociadas con la ecología y la conservación de la naturaleza. Por ejemplo, en Chile, los programas relacionados con la conservación de la naturaleza han proliferado en las universidades en las últimas dos décadas. Sin embargo, no han podido atraer a los estudiantes como se esperaba. Esto puede deberse a que la conciencia ambiental se ha generalizado recientemente en la sociedad chilena, pero también porque los estudiantes temen que el mercado de trabajo no sea estable en las carreras orientadas a la conservación y las ciencias de la vida.

Los programas de educación ecológica en las escuelas pueden ayudar a revertir esta tendencia. En Chile, EXPLORA, un programa patrocinado por el gobierno cuyo objetivo es llevar la ciencia de las universidades a las escuelas secundarias, ha sido particularmente exitoso al conectar los problemas ambientales con sus bases científicas y atraer a los estudiantes a carreras relacionadas con la naturaleza. Muchos es-

tudiantes que pasaron por este programa se han interesado en estudiar carreras universitarias relacionadas con ciencias.

RECUADRO 9.2

Akshen en las comunidades y el medio ambiente con tecnologías móviles, sociales y geoespaciales

KRISTIN D. WISNESKI AND BARRON J. ORR

Cada momento al aire libre ofrece una multitud de oportunidades de aprendizaje para jóvenes y adultos. Cada oportunidad comienza con una observación. Las cosas que vemos, olemos, tocamos, saboreamos y oímos se capturan en nuestra memoria y encienden una reacción que tiene el potencial de inspirar y emocionar, estimulando nuestro interés e imaginación, creando la oportunidad de descubrir y aprender. Una nueva era de interacción entre nosotros y nuestro medio ambiente ha llegado. Algunos dicen que la experiencia de primera mano con la naturaleza, especialmente por parte de los jóvenes, no debería estar contaminada por la distracción de los dispositivos electrónicos. Sabemos que existen diferencias entre los niveles de distracción que se crean cuando diferentes dispositivos tecnológicos ingresan al aula al aire libre. Por ejemplo, un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) que principalmente entrega información de ubicación ofrece muchas menos distracciones que un teléfono inteligente habilitado para GPS que puede brindar simultáneamente acceso a Internet y música, así como a múltiples canales de comunicación y redes sociales. Electrónicas o no, las distracciones siempre han existido en el mismo espacio donde se desarrolla el aprendizaje, y ese espacio se está llenando cada vez más con el acceso universal a todo. Incluso cuando encontramos formas de crear oportunidades para que los jóvenes experimenten la naturaleza fuera de sus entornos digitales, también nos corresponde como educadores explorar formas de crear oportunidades para la observación y la investigación dentro del espacio tecnológico donde tantos jóvenes desean pasar su tiempo creando y compartiendo información.

El desafío: los jóvenes pasan más tiempo conectados al mundo digital mientras que el interés en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (CTIM) disminuye. ¿Es posible que las mismas tecnologías que se usan para mejorar el aprendizaje en la escuela también signifiquen un mayor "tiempo de pantalla" y, por lo tanto, una disminución de la actividad física y el tiempo al aire libre en la naturaleza? ¿Podemos convertir este problema en una oportunidad

con el rápido crecimiento de las tecnologías de localización y comunicación móvil? Como parte de un equipo interdisciplinario en la Universidad de Arizona, nos propusimos comprender dónde se cruzan el compromiso, la tecnología y el aprendizaje de los jóvenes.

Con una investigación participativa y formativa liderada por jóvenes y un proceso de desarrollo, diseñamos e implementamos aplicaciones para teléfonos inteligentes (apps) donde los jóvenes recopilan observaciones para la resolución de problemas que contribuirían a una base de datos grupal colaborativa almacenada en línea en una red social llamada *Akshen*. Las aplicaciones y el sitio web de *Akshen* se basaron en nuestras experiencias del pasado con receptores GPS, herramientas de mapeo basadas en la web y el método científico. Estas experiencias, combinadas con teorías y prácticas educativas contemporáneas y emergentes como el aprendizaje basado en problemas (Bransford 2000, Hmelo-Silver 2004, Darling-Hammond 2008), contribuyeron a un marco para que los educadores ayuden a los jóvenes a identificar y resolver problemas en sus comunidades y el ambiente. Los jóvenes que se preguntan por qué el arroyo detrás de su casa siempre tiene basura, pueden crear un equipo de amigos para investigar y analizar el problema a escala comunitaria y luego crear una estrategia para compartir información y movilizar a los miembros de la comunidad para ayudarlos a descubrir soluciones a dicho problema, creando un cambio. Un grupo de jóvenes después de la escuela que no cuenta con un espacio físico para reuniones puede diseñar y analizar los lugares seguros y peligrosos en su comunidad para determinar las ubicaciones ideales para un nuevo centro juvenil y presentar sus hallazgos al concejo municipal.

A diferencia de las aulas tradicionales, el aula al aire libre con la ayuda de la tecnología carece de límites físicos y mentales. El aprendizaje puede suceder en cualquier momento y en cualquier lugar. Los jóvenes disfrutan hacer “publicaciones” y “actualizaciones de estado” mientras exploran su comunidad y su entorno. Al ubicar estas familiares y agradables experiencias dentro del contexto de la resolución de problemas relacionados con la ciencia, los jóvenes están aprendiendo informalmente nuevas habilidades mientras desarrollan el conocimiento y una mayor comprensión de su entorno. En el proceso, toman conciencia de los desafíos comunitarios y ambientales que los rodean, y luego aprenden cómo plantear buenas preguntas y recopilar la información necesaria para responder esas preguntas en el camino hacia la búsqueda de soluciones. Quizás en el futuro cercano, “afuera” no sólo será el espacio entre el hogar y la escuela, sino el lugar donde las observaciones se vuelven normales, haciendo que el exterior sea menos extraño y más un lugar para jugar, aprender y conectarse física —y digitalmente— con el mundo natural.

Pero las experiencias prácticas que proporcionan programas como EXPLORA deben estar presentes en el entorno de pregrado a fin de mantener el entusiasmo que generan en los estudiantes más jóvenes. En el nivel de educación superior, la observación de campo debería ser una parte natural del aprendizaje y la ecología, pero desafortunadamente, al contrario, los estudiantes pueden estar expuestos a menos oportunidades de terreno. Esta tendencia se está descubriendo con alarma en otros campos de la educación superior, como la ciencia política (Schwartz-Shea 2010), que ha pasado por su propio retroceso en el reduccionismo y la teoría a expensas de los científicos que entienden los sistemas políticos como un camino amplio y comparativo a través de antecedentes de observación de campo.

Para los estudiantes de carreras en recursos naturales y disciplinas relacionadas (por ejemplo, agronomía, ingeniería forestal) existe una gran posibilidad de que tengan oportunidades de interactuar y observar directamente los ecosistemas bajo diferentes estados de perturbación humana. Pero no todos los programas, ni todos los cursos, ni todos los instructores prestan la misma atención a la importancia de observar la naturaleza. No obstante, al igual que con la educación temprana sobre la naturaleza, no debemos permitir que la búsqueda de experiencias de observación ideales nos obligue a renunciar a oportunidades valiosas que están fácilmente disponibles. Incluso las actividades de campo cortas en “patios” universitarios durante el semestre pueden tener un valor incalculable. Por ejemplo, Jake Weltzin, director de la Red Nacional de Fenología de EE.UU., organizó una excursión de una hora para uno de los cursos de Rafe para medir las etapas fenológicas (formación de brotes, floración, fructificación, etc.) en un jardín del campus de la Universidad de Arizona. Aunque la experiencia fue breve, los estudiantes informaron que estaban mucho más al tanto de las fases fenológicas de otras plantas en su entorno en las semanas siguientes. Del mismo modo, un ejercicio simple pero informativo en una clase introductoria de ecología es dividir a los estudiantes estando en terreno en grupos pequeños y pedirles que registren todos los “elementos” y “procesos” que puedan observar con todos sus sentidos. Cuando los grupos se reúnen,

los grupos que trabajaron en hábitats similares pueden encontrar que tienen “narrativas” completamente diferentes de lo que han observado. Al transmitir estas narraciones a sus compañeros de clase, llegan a comprender el valor de tener múltiples observadores y, lo que es más importante, se dan cuenta de que también pueden “crear” conocimiento ecológico.

Al igual que con los niños más pequeños, las experiencias de los estudiantes de pregrado en ecología y observación son más influyentes cuando se combinan con experiencias psicológicas personales satisfactorias. Durante casi diez años, Aníbal ha estado llevando estudiantes de ciencias forestales a uno de los parques nacionales más maravillosos de Chile, el Parque Nacional Conguillío, un intrincado mosaico de volcanes y bosques de araucarias (*Araucaria araucana*). El día de terreno incluye una caminata al límite altitudinal arbóreo y múltiples estaciones para la observación y discusión de la ecología y el manejo del área protegida. Aunque no todos los estudiantes están particularmente enfocados en hacer carreras en ecología y conservación, los sentimientos y apreciaciones compartidos después de este largo día de caminata son el asombro sobre el entorno natural y un profundo sentido de logro personal. Para algunos estudiantes, esta primera exposición a los cambios altitudinales de la vegetación y el comienzo de la zona alpina, que se produce en un entorno precioso, se combina en diferentes momentos durante la experiencia con esfuerzo físico, soledad, espíritu de equipo, sorpresa y logros, lo que deja una impresión profunda y duradera.

Por supuesto, los cursos de campo más largos brindan una experiencia única a los estudiantes de pregrado. Por ejemplo, las técnicas de muestreo y de observación de campo suelen aprenderse durante largos períodos en terreno. Desafortunadamente, estos cursos no siempre están disponibles durante el semestre académico regular, limitándose a los periodos de verano, siendo cada vez más escasos debido a recortes presupuestarios, preocupaciones legales, de seguridad y la existencia de otras prioridades para los estudiantes. Pero entre breves ejercicios de apertura de mente y oportunidades extendidas de aprendizaje en terreno, la participación activa de los estudiantes en la observación de la naturaleza puede mantenerse. Por ejemplo, en cursos de ecología se

puede requerir mantener un diario de campo detallado, que permita registrar observaciones abiertas o dirigidas a determinadas preguntas orientadas al ambiente local.

La escuela de postgrado plantea un nuevo conjunto de desafíos para las observaciones en ecología. Cuando un estudiante de doctorado recientemente inscrito comienza su investigación, hay básicamente dos maneras de descubrir su tema de tesis doctoral. El estudiante puede obtener una asignación estructurada de su asesor basado en sus proyectos y financiamientos actuales o, por el contrario, la oportunidad de “deambular” a través de diferentes temas y enfoques (Núñez y Crutsinger 2008) y finalmente, establecer un tema que es (con un poco de suerte) interesante y a la vez probable de ser exitoso en el marco de tiempo de una tesis doctoral. Desafortunadamente, la presión aumenta para acelerar este proceso y, en muchos casos, los estudiantes saben muy poco sobre su sistema de estudio, pero se ven presionados a realizar estudios que tengan mayores posibilidades de publicación.

Esto no es trivial. Los procesos de acreditación, al menos en las universidades donde trabajamos en América Latina y Estados Unidos, enfatizan cada vez más la importancia de reducir el tiempo de graduación. Además, la creciente competencia entre los doctores requiere un mayor número de publicaciones para garantizar un puesto académico. ¿Están estos dos factores conspirando inequívocamente contra los métodos de observación en ecología? La respuesta es variable. En una primera mirada, parecería que los enfoques de observación necesariamente toman más tiempo que otros enfoques más reduccionistas, pero este no tiene que ser el caso. El uso inteligente de los conjuntos de datos existentes puede ayudar a compensar las incertidumbres planteadas por los enfoques de observación. Incluso si la tesis doctoral es principalmente experimental, las observaciones cuidadosas del sistema de estudio proporcionan marcos contextuales esenciales para la investigación. Las observaciones pueden facilitar el desarrollo de hipótesis, ayudar a enfocar los esfuerzos de recopilación de datos e incluso reducir el riesgo de experimentos fallidos. Paradójicamente, el papel de los profesores aquí puede ser el mismo que el de los padres responsables en el siglo XXI: sacar a los posibles observadores ecológi-

cos del confinamiento del laboratorio o el hogar y entrar en el mundo dinámico que nos rodea.

Los estudiantes de educación superior ahora pueden compartir con la sociedad su creciente conocimiento de campo, a través de programas que les dan la oportunidad de enseñar a estudiantes de educación primaria y secundaria. El programa GK-12, iniciado por la Fundación Nacional para la Ciencia en los Estados Unidos en 1999, trae estudiantes graduados a las aulas de las escuelas primarias y secundarias (McBride et al. 2011). En la Universidad de Montana este programa ha incluido la promoción de los patios escolares como laboratorios al aire libre a la que los estudiantes graduados traen sus propias habilidades e intereses —desde la ecología del suelo hasta la fenología de plantas— para conectar a los jóvenes científicos con los esfuerzos de ciencia ciudadana, como el Proyecto BudBurst (budburt.org). Los beneficios de este intercambio se extienden en ambas direcciones. Los estudiantes de posgrado mejoran sus habilidades de enseñanza y los niños y adolescentes se exponen al entusiasmo de los jóvenes científicos y al conocimiento de primera mano de los investigadores en la vanguardia de la investigación en ecología.

La atracción natural de la educación basada en la observación

En esta parte del libro, hemos discutido cómo la ecología y la observación de la naturaleza se pueden integrar con muchos esfuerzos de la sociedad. Cómo la observación juega un papel clave en la formación de nuevas direcciones en la ciencia ecológica y como esta ciencia se comparte más ampliamente con más consecuencias que antes (ver Capítulo 8), ahora es el momento de asegurar que la educación en todos los niveles capacite a nuevas generaciones de ciudadanos en cómo observar la naturaleza y cómo entender esas observaciones en el contexto de un mundo social y ecológico dinámico.

Afortunadamente, existe un impulso innato hacia el desarrollo de este tipo de aprendizaje, que sólo puede ser ocultado superficialmente por los estilos de vida urbanos y la devoción a una pantalla que nos separa a muchos de nosotros de la naturaleza. Este impulso subyacente

a menudo se revela en las sutiles interacciones que muchos ecólogos de campo han tenido mientras hacían trabajo de terreno en un lugar accesible al público, donde inevitablemente los transeúntes hacen comentarios melancólicos, como: “Desearía poder hacer lo que tú haces. Te pagan para ir a lugares donde sólo puedo ir de vacaciones”. Detrás de las impresiones ingenuas de estos inquisidores (probablemente no estén pensando en las frustrantes fallas de los equipos, los implacables mosquitos o el interminable proceso de escribir y reescribir los proyectos para poder realizar la investigación), hay un hecho básico: como humanos, nos gusta estar en contacto con la naturaleza, nos gusta observar la naturaleza y nos gusta entender la naturaleza. De lo contrario, no podríamos haber evolucionado en la especie que somos ahora.

A veces pasamos por alto esta conexión simple y lógica, e incluso podríamos estar alejando a las personas de la ecología al retratar esta disciplina como un esfuerzo complejo y abstracto. Al mismo tiempo, en un sentido científico, la observación no será útil a menos que la conectemos a construcciones conceptuales que puedan ser ampliamente apreciadas. La naturaleza intuitiva de la ecología basada en la observación le da una base natural para estos constructos, mientras que también proporciona una fuente de material tangible y de fácil acceso con el que construir conexiones entre experiencias personales únicas (como las generadas en un curso en terreno o en un paseo por la naturaleza con libretas de campo y binoculares) y conocimiento científico avanzado. Concluimos este libro en las páginas siguientes con una idea de cómo creemos que será la arquitectura y los arquitectos de estos constructos ecológicos en la sociedad del futuro.

Conclusiones

La ciencia a menudo es retratada como un proceso gradual de construcción del edificio del conocimiento, ladrillo por ladrillo. Se dice que los beneficios de este enfoque se derivan de la precisión y el rigor que se obtienen al estudiar un conjunto cuidadosamente elegido de variables a pequeñas escalas espaciales. Robert Paine sostiene que la comprensión de los sistemas ecológicos a gran escala se puede construir de esta manera, señalando que “incluso los ladrillos más pequeños, si son lo suficientemente sólidos, se pueden usar para construir el edificio más grande”. Pero esta analogía y por consiguiente, esta manera de hacer ciencia, que nos sirvió adecuadamente en el siglo XX, no se sostiene cuando intentamos dar sentido a los actuales sistemas ecológicos que cambian rápidamente y que se entrelazan cada vez más con comportamientos humanos complejos. El problema ya no es cuán grande podemos hacer el edificio, sino qué tan rápido se puede hacer, e incluso más, si un edificio es realmente lo que necesitamos para unir el cuerpo creciente de la comprensión científica del mundo. El enfoque de ladrillo por ladrillo estaría bien si tuviéramos tiempo ilimitado para construir una comprensión ecológica, pero no se adapta a las dimensiones de tiempo en las que necesitamos respuestas en este momento. La base de la ecología, el mundo natural y sus relaciones en red, se está colapsando más rápido de lo que los albañiles pueden construir una comprensión de ello.

Además, los ladrillos no reflejan con precisión nuestras habilidades o tecnologías actuales. La estructura de la ciencia ecológica se está

construyendo a partir de materiales que son mucho más resistentes y flexibles, lo que nos permite hacer grandes avances rápidamente en la construcción de nuestro entendimiento sin sacrificar la fuerza de nuestras inferencias. Finalmente, la analogía ladrillo por ladrillo asume que lo que queremos, y a lo que podemos aspirar, es una estructura que no es más que una ampliación de nuestra visión a pequeña escala. Una estructura de ladrillo es lineal y predecible, pero el mundo en el que vivimos ahora, no lo es.

Un paisaje cambiante para la ecología

El cambio acelerado en los sistemas ecológicos requiere aún más cohesión en el conocimiento ecológico. Las primeras predicciones de cómo los sistemas ecológicos responderían al cambio climático global asumieron cambios relativamente lineales: básicamente, las especies marcharían a lo largo de las líneas de latitud hacia los polos para mantenerse dentro de sus límites fisiológicamente óptimos a medida que las temperaturas aumentaban. Pero a medida que estos modelos se volvieron cada vez más complejos, tomando en cuenta hechos biológicos básicos (e.g. las especies arbustivas y arbóreas tienen diferentes velocidades y restricciones para modificar sus rangos de distribución), los científicos pronto comenzaron a hablar sobre un futuro con comunidades “no análogas” (Williams y Jackson 2007). Es decir, no podemos hacer una simple analogía de que un bosque de abedul del futuro será como el bosque de abedules de hoy, sólo desplazado 500 km hacia el norte, porque los componentes de ese bosque realmente cambiarán a diferentes velocidades en sus poblaciones, tamaños y fisiología. Con los escenarios crecientes de intercambio biótico y perturbaciones antropogénicas, enfrentamos la aparición de nuevos ecosistemas (Hobbs et al. 2006), donde nuestra comprensión ecológica actual puede no predecir nuevas interacciones, y nuestros métodos actuales de restauración ecológica pueden no aplicarse (Seastedt, Hobbs y Suding 2008).

Realmente ya hemos entrado en la era de la ecología no análoga. Existen múltiples cambios ecológicos a gran escala que tienen pocas o ninguna equivalencia en la historia de la Tierra. Un enorme remoli-

no de basura girando en el Océano Pacífico, cuerpos de agua sin nada viviente en ellos o concentraciones de nutrientes más altas que nunca. La ciencia ecológica que supone que el pasado puede replicarse infinitamente en el futuro simplemente no puede sobrevivir en este mundo no analógico.

En un mundo sin analogía, los conceptos desarrollados en entornos aislados de pequeña escala serán cada vez más difíciles de generalizar. Al mismo tiempo, los datos históricos de observación tomados en escalas de tiempo cortas, desde sitios únicos, o con un número pequeño de variables sólo son útiles para decirnos que se ha producido un cambio, pero no cómo ocurrió o si es probable que haya cambios similares en el futuro. Los hidrólogos, durante años pensaron que un siglo o más de registros de mediciones de caudal serían suficientes para establecer las reglas de manejo de la zona de inundación (Craig 2010). Usaron medidas como la “inundación de 100 años” para planificar los peores escenarios a medida que diseñaron soluciones reforzadas, como muros de diques, para proteger ciudades o mantener el suministro de agua para la agricultura. Sin embargo, en nuestro mundo no analógico, la inundación de 100 años no sólo es una medida inadecuada de la variación en los flujos de agua que vemos hoy, sino en gran cantidad de cambios ecológicos, como nuevas especies invasoras, regímenes de fuego alterados y cambios en los patrones de desarrollo humano que están modificando la forma en que cualquier flujo de agua afectará a los sistemas humanos y ecológicos (Betancourt 2012).

Para hacer frente a estos múltiples niveles de cambio con múltiples factores causales que a su vez están cambiando, la ecología debe convertirse en una ciencia más adaptable, donde la observación puede ser un catalizador para esta adaptación. Un sello distintivo de los sistemas adaptables es la capacidad intensiva de detectar las condiciones y la variación en el mundo. Esto requerirá un compromiso continuo y ampliado para monitorear los sistemas ecológicos en el futuro, e irónicamente, una mayor atención al pasado también. El ecólogo Julio Betancourt escribió: “Frente a un mundo dinámico, la historia está viva y la ecología histórica es más valiosa que nunca” (Betancourt 2012). El punto de Betancourt es que tal vez la única forma en que podemos ver lo que está

por venir es explorando más a fondo las condiciones de la estructura genética, poblaciones y comunidades en relación con climas y condiciones pasadas para aislar los factores modernos que causan desvíos en relación a los patrones históricos. Llegar a este punto, donde los ecólogos pueden aprender de manera adaptativa del pasado, requerirá de redes de observadores comprometidos con el reexamen de los registros históricos con tecnología y conocimiento moderno, combinando múltiples registros históricos y manteniendo registros continuos en el futuro.

Pero así como los organismos deben observar el cambio a su alrededor y cambiar para adaptarse, la ecología debe usar sus capacidades de observación en expansión para facilitar su propio cambio. En este libro hemos argumentado que la ecología ya está siendo impulsada y se está empujando a sí misma, hacia nuevos nichos que la harán más adaptable y útil para los desafíos de este siglo. En cierto modo, esta transformación es sólo una versión acelerada de las metamorfosis habituales de la ciencia. Diferentes campos de la ciencia como la ecología están siempre variando con respecto a los enfoques y las metodologías dominantes. A través de los años, la ecología como un todo ha pasado de ser una ciencia de observación y descubrimiento a una de experimentación y teoría, hasta actualmente a una ciencia en la cual las observaciones pueden ser usadas de forma multimodal: construyendo una comprensión inductiva, o deduciendo mecanismos bajo un marco de inferencia fuerte. Lo que vemos ahora es una ecología que ha crecido recursivamente desde todas estas etapas iniciales hacia una ciencia más integrada que, en general, tenderá hacia una mayor integración en el futuro. E. O. Wilson fue visionario sobre estas integraciones en su libro de 1998, *Consilience* (Wilson 1998), que fue recibido con cierto escepticismo por la comunidad científica. Sin embargo, a poco andar, muchas de las visiones que presentó en este libro se han cumplido.

A pesar de que la ecología fluye hacia un mayor uso de la observación y se va conectando con otras disciplinas, probablemente habrá también retrocesos que enriquecerán a la ciencia de manera indirecta. Algunos aspectos de la ecología observacional, especialmente sus ramas más recientes, muy probablemente se convertirán en ciencias manipulativas.

Por ejemplo, la genómica ambiental todavía se extiende desde el trabajo con “sistemas modelo” en el laboratorio hasta una fase descriptiva, en la que los patrones de expresión génica se correlacionan con las diversas condiciones ambientales observadas en el lugar donde se recolectaron las muestras (Eckert et al. 2010). Pero a medida que la tecnología y nuestra comprensión de la genómica aumentan (y el costo en tiempo y dinero para realizar investigaciones genómicas continúa cayendo en picada), sin duda un enfoque dirigido a manipular variables e identificar las respuestas del genoma eclipsará el modo exploratorio de hoy (A. Hancock, comunicación personal a RDS, febrero de 2011).

En otros casos, las viejas ideas especulativas están resurgiendo como ciencias exploratorias y descriptivas con nuevos poderes impresionantes. A principios del siglo XX, Warder Allee y Edward Ricketts hicieron incursiones en lo que ahora llamamos ciencia de redes. Allee pensaba que existía un tipo de adaptabilidad asociado a las poblaciones que estaban “subdivididas en muchas pequeñas poblaciones locales, pero no del todo aisladas unas de otras” (Allee 1938). Ricketts en sus notas visualizó “una ciencia exacta y una cuantitativa en la que los vectores que representan relaciones [ecológicas], su dirección, extensión y fuerza o intensidad, serían considerados y evaluados” (Tamm 2004). Estas citas encapsulan los aspectos descriptivos y analíticos de la ciencia de redes moderna, pero sus autores probablemente no podrían haberse dado cuenta de su papel actual como una herramienta de observación multifuncional. La ciencia de redes ha producido un conjunto de teorías sobre las relaciones dinámicas que pueden ser probadas con experimentos en todo ámbito, desde insectos sociales, redes alimentarias y hasta las relaciones de las estrellas de cine (Barabasi 2003). La ciencia de redes conecta el patrón con el proceso, como en las observaciones de las relaciones cambiantes de los terroristas del 11 de septiembre, las que proporcionan una visión profunda de los mecanismos de su operación (Sageman 2004, Krebs 2002). También proporciona un mapa y estrategias para mejorar la comunicación y la productividad entre los científicos, como discutimos en el Capítulo 6. La ciencia de redes también puede usarse como una herramienta analítica que funciona universalmente en todas las disciplinas para dar sentido a un mundo complejo.

El ecólogo Eric Berlow, por ejemplo, realizó una brillante charla TED (Tecnología, Entretenimiento y Diseño) de tres minutos en Oxford el año 2010. En ella utilizó el mismo análisis de red que se aplica a las redes tróficas del lago Sierra Nevada para transformar un complicado diagrama creado por el gobierno sobre la estrategia estadounidense en Afganistán en un conjunto muy pequeño de tareas abordables (Berlow 2010). La capacidad de convertir las ideas que antes sólo eran conceptuales en herramientas prácticas aplicables en todas las disciplinas es una de las razones por las que la ecología del siglo XXI es tan emocionante y tan poderosa.

Integrando el elemento humano en la ecología

Actualmente hay una atracción creciente y cada vez más irresistible entre los cambios que ocurren en los sistemas ecológicos y la forma en que estudiamos esos cambios. En casi todos los casos, los humanos están generando esa fuerza. Los impactos de los humanos en los sistemas ecológicos han sido ampliamente documentados, desde escalas locales hasta globales. Pero durante mucho tiempo, los ecólogos ignoraron a los humanos o, en el mejor de los casos, los trataron como una caja negra, una misteriosa “fuerza oscura” que, sin duda, tuvo un efecto en los sistemas que estábamos estudiando, pero que en realidad no queríamos ahondar demasiado. Los ecólogos rara vez incorporan directamente el comportamiento humano en sus experimentos u observaciones, como si el comportamiento humano fuera algo que sólo le afecta al sistema estudiado, más que una parte integral de la dinámica ecológica de ese sistema. Ivar e Iver Mysterud se refieren a esto como “escapismo de investigación” (Mysterud y Mysterud 1994) con consecuencias potencialmente perjudiciales, tanto en términos académicos al hacer que la ecología parezca ser una ciencia mucho más estrecha de lo que debería ser, y en términos reales, limitando qué tan bien entendemos los sistemas ecológicos como un todo.

Ahora tenemos la capacidad, y muchos dirían que la responsabilidad, de ser más activos en la forma en que lidiamos con los impactos humanos en los sistemas ecológicos. Esto no significa simplemente con-

vertirse en un defensor científico de la protección del medio ambiente, aunque eso todavía es muy necesario 50 años después de que Rachel Carson se arriesgara a participar en la arena política con la publicación de *Silent Spring*. Significa integrar a las personas y sus comportamientos en nuestras hipótesis, nuestros modelos, nuestros experimentos y nuestras observaciones. Así como los físicos ahora están examinando audazmente la naturaleza misma de las fuerzas oscuras y las energías oscuras que alguna vez sólo confundieron sus cálculos, también podemos llegar a los principios del comportamiento humano y sus efectos sobre la ecología. Afortunadamente, no necesitamos aceleradores de partículas multimillonarios para explorar nuestras fuerzas oscuras. Sólo tenemos que sacarlas a la luz hablando con la gente, trabajando con ellos y estudiando su evolución, exactamente como lo hemos estado haciendo con todo el resto de los seres vivos.

Más que pegar ladrillos: los nuevos arquitectos y la arquitectura de la ecología

¿Quién es y quién impulsará esta transformación de la ecología? Para usar una metáfora ecológica, los ecólogos han debatido durante décadas sobre si la principal fuerza motriz en un sistema ecológico particular era de “arriba hacia abajo” (que tiene que ver con que los depredadores superiores de una cadena trófica controlan la dinámica de las especies debajo de ellos) o “de abajo hacia arriba” (controlado por la cantidad de productividad primaria en el sistema). La respuesta, como es lógico, es que es un poco de ambas, dependiendo de dónde y cuándo la estudies (por cierto, todas las respuestas están sujetas a alteración, debido al cambio climático). Para capturar de manera útil este momento de la historia, la ciencia ecológica necesitará confiar de manera similar en las fuerzas ascendentes y descendentes.

El cambio de “arriba hacia abajo” está ocurriendo en la ecología, pero mucho más lentamente que la transformación de abajo hacia arriba, que parece estar sucediendo automáticamente, como una respuesta de adaptación natural a nuestro mundo cambiante. En la “ecología de la ciencia ecológica”, las fuerzas de “arriba hacia abajo” tienden a

ser comités de facultades, editores y paneles de revisión formados por científicos consolidados o en la mitad de su carrera que determinan quién consigue trabajos, publicaciones de revistas y fondos para investigación. Pero la productividad primaria son las ideas, que pueden ser igualmente propiedad de los investigadores reconocidos o los ecólogos más nuevos. De hecho, los estudiantes de hoy están adoptando métodos de observación interdisciplinarios e incluso enseñándolos a sus asesores. Estos estudiantes eventualmente se desarrollarán y se convertirán en las fuerzas de “arriba hacia abajo” del mañana a medida que tomen roles como docentes, directores de programas y editores, pero esto llevará mucho tiempo.

Por lo tanto, incumbe a los líderes actuales y a los ecólogos reexaminar las suposiciones inherentes y los sesgos reflexivos que todos hemos desarrollado a través del tiempo. Una buena manera para comenzar es contar hasta diez cada vez que sentimos la necesidad de comentar una solicitud de subvención o anunciar después de un seminario, “la correlación no implica causalidad”, “no se puede inferir proceso a partir del patrón” o “suena como una simple expedición”. Esta pausa para una reconsideración cuidadosa podría darnos la oportunidad de reflexionar más profundamente sobre la naturaleza de la investigación en sí misma, que seguramente será diferente del tipo de investigación que se hace cuando estas frases se convirtieron en clichés de la crítica ecológica del siglo XX. Entonces, podemos llegar a las preguntas que realmente importan en un sentido práctico para el futuro de la ecología. ¿Es acaso la seguridad de los resultados esperados de un conjunto propuesto de experimentos a pequeña escala cuidadosamente controlados, lo que hace intrínsecamente más financiable a un estudio experimental, que un estudio observacional menos seguro, más abierto, pero potencialmente más valioso? ¿Un candidato a un puesto de trabajo que haya publicado ocho buenos artículos dentro de una subdisciplina bien definida, será más valioso para el departamento que un candidato con un puñado de artículos dispersos entre distintas disciplinas, un par de artículos de opinión de periódicos y su propio programa de ciencia ciudadanía para escolares? No hay una respuesta correcta para estas preguntas, y ese es exactamente el punto. En un mundo cambiante, todo lo que una vez

sonó como evidente, una ley general o una “obviedad” debe ser reexaminado. Necesitamos reevaluar el papel de la ecología en la sociedad, cuánto ayuda la ecología a la sociedad y cómo la sociedad valora la ecología. La observación puede ayudarnos tanto a integrar a la sociedad en la ecología como a aumentar el valor de la ecología para la sociedad.

Hace más de 100 años, Teddy Roosevelt ridiculizó el tipo de ciencia “ladrillo por ladrillo” que encontró por primera vez en Harvard, y señaló en una carta a George Bird Grinnell: “Conozco a estos científicos bastante bien y sus limitaciones son extraordinarias, especialmente cuando llegan hablando de ciencia con C mayúscula. Hacen un buen trabajo, pero después de todo, son sólo los mejores que logran ser más que albañiles, quienes laboriosamente juntan ladrillos de los cuales otros hombres deben construir casas; cuando piensan que son arquitectos, son simplemente una molestia” (Cutright 1985). En su frustración con este modo de hacer ciencia cambió su carrera de biología a la política y en última instancia tuvo un impacto mucho mayor en los sistemas ecológicos y la ciencia ecológica que si se hubiera obligado a seguir el camino de un albañil. Creó el Servicio Forestal de los EE.UU., varios parques y monumentos nacionales importantes. Este no sólo permitió la protección de casi un millón de kilómetros cuadrados de tierras naturales en su tiempo, sino que creó un legado de protección actual del paisaje y la biodiversidad que ha sido imitado en todo el mundo. Estas tierras proporcionaron el espacio y las preguntas sobre los cuales se han llevado a cabo muchos estudios ecológicos.

La transformación personal de Roosevelt y los resultados de esa transformación se debieron a una serie de eventos idiosincrásicos que hubieran sido completamente impredecibles. Y, sin embargo, no es accidental que el jugador central en este drama caótico fuera un ecólogo de corazón. Lo que Roosevelt trajo a su carrera política vino de sus largas horas en terreno como observador de la naturaleza: la capacidad de articular conexiones a través de escalas y campos de investigación y el conocimiento íntimo de que las relaciones energéticas gobiernan todas las dinámicas, ya sea entre depredadores y sus presas o entre los partidos políticos. Estas mismas habilidades son exactamente lo que los ecólogos de hoy y las personas con las que trabajamos necesitarán para

crear el tipo de transformaciones necesarias si queremos comprender y proteger los sistemas ecológicos en este siglo.

No hay magia para desarrollar estas habilidades o usarlas. Hemos sabido cómo hacerlo desde que fuimos humanos por primera vez, observando intensamente el mundo y registrando esas observaciones en historias, pinturas y en la forma en que usamos los recursos naturales. El problema ahora es que nos hemos desconectado tanto de las fuentes naturales de nuestras habilidades. Esto, a su vez, inicia una espiral descendente, como lo describen Paul Dayton y Enric Sala (2001), en el cual la desconexión con la naturaleza deja menos personas para cuidar y administrar los recursos naturales y la degradación de la naturaleza como tal, deja menos gente interesada o capaz de conectarse con ella. Estamos en el punto en la historia de la ecología y en la historia de la relación de la humanidad con la naturaleza donde podemos, y debemos, convertir este ciclo de pérdida en un ciclo de ganancia.

Un enfoque renovado, más abierto y más observacional para la ecología puede ser el catalizador para revertir el ciclo. Abrir nuestros sentidos a los cambios y conexiones en el mundo, y enseñarles a otros cómo abrir sus sentidos, es sólo el primer paso. Afortunadamente, en el mundo en que vivimos hoy, este proceso de descubrimiento no tiene que terminar con una colección de observaciones curiosas. Ahora tenemos una visión holística y las herramientas para ver de inmediato cómo cada observación se puede conectar con otra, y qué vastas colecciones de observaciones, extraídas de todo el mundo y en todas las escalas temporales, pueden ayudarnos a comprender un planeta complejo, interconectado, e implacablemente cambiante.

REFERENCIAS

- Aanstoos, Christopher M. "Humanistic Psychology and Ecopsychology." *The Humanistic Psychologist* 26, nos. 1–3 (1998): 3–4.
- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, and E. Sala. "Mangroves in the Gulf of California Increase Fishery Yields." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, no. 30 (2008): 10456–59.
- Adler, Jonathan H. "Fables of the Cuyahoga: Reconstructing a History of Environmental Protection." *Fordham Environmental Law Journal* 14 (2003): 89.
- Agrawal, A. A., D. D. Ackerly, F. Adler, A. E. Arnold, C. Caceres, D. Doak, E. Post, P. J. Hudson, J. Maron, K. A. Mooney, M. Power, D. Schemske, J. Stachowicz, S. Strauss, M. G. Turner, E. Werner. "Filling Key Gaps in Population and Community Ecology." *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (2007): 145–52.
- Ainley, David G., Richard L. Veit, Sarah G. Allen, Larry B. Spear, and Peter Pyle. "Variations in Marine Bird Communities of the California Current 1986–1994." *California Cooperative Fisheries Reports* 36 (1995): 72–77.
- Alexander, J. M., C. Kueffer, C. C. Daehler, P. J. Edwards, A. Pauchard, T. Seipel, and Miren Consortium. "Assembly of Nonnative Floras Along Elevational Gradients Explained by Directional Ecological Filtering." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108, no. 2 (2011): 656–61.
- Allee, W. C. *The Social Life of Animals*. New York: W. W. Norton, 1938.
- Allee, W. C. "Where Angels Fear to Tread — A Contribution from General Sociology to Human Ethics." *Science* 97, no. 2528 (1943): 517–25.
- Allee, W. C. *Cooperation among Animals with Human Implications*. New York: Henry Schuman, 1951.

- Allendorf, Fred W., Phillip R. England, Gordon Luikart, Peter A. Ritchie, and Nils Ryman. "Genetic Effects of Harvest on Wild Animal Populations." *Trends in Ecology & Evolution* 23, no. 6 (2008): 327–36.
- Alter, S. Elizabeth, Eric Rynes, and Stephen R. Palumbi. "DNA Evidence for Historic Population Size and Past Ecosystem Impacts of Gray Whales." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, no. 38 (2007): 15162–67.
- Alvarez, Luis W., Walter Alvarez, Frank Asaro, and Helen V. Michel. "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction — Experimental Results and Theoretical Interpretation." *Science* 208 (1980): 4448.
- Alvarez, Walter, and Frank Asaro. "An Extraterrestrial Impact." *Scientific American*, October 1990, 78–84.
- Applegate, Roger D. "Diversity and Natural History Observation in Ecology." *Oikos* 87, no. 3 (1999): 587–88.
- Arias, P. A., R. Fu, C. D. Hoyos, W. H. Li, and L. M. Zhou. "Changes in Cloudiness over the Amazon Rainforests During the Last Two Decades: Diagnostic and Potential Causes." *Climate Dynamics* 37, no. 5–6 (2011): 1151–64.
- Arnold, Stevan J. "Too Much Natural History, or Too Little?" *Animal Behavior* 65 (2003): 1065–68.
- Assel, Raymond A., and Dale M. Robertson. "Changes in Winter Air Temperatures near Lake Michigan, 1851–1993, as Determined from Regional Lake-Ice Records." *Limnology and Oceanography* 40, no. 1 (1995): 165–76.
- Attenborough, David. *Amazing Rare Things: The Art of Natural History in the Age of Discovery*. New Haven: Yale Univ. Press, 2007.
- Attum, O., B. Rabea, S. Osman, S. Habinan, S. M. Baha El Din, and B. Kingsbury. "Conserving and Studying Tortoises: A Local Community Visual-Tracking or Radio-Tracking Approach?" *Journal of Arid Environments* 72 (2008): 671–76.
- Barabasi, Albert-Laszlo. *Linked*. London: Penguin Books Ltd., 2003.
- Bart, David. "Integrating Local Ecological Knowledge and Manipulative Experiments to Find the Causes of Environmental Change." *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, no. 10 (2006): 541–46.
- Bartholomew, George A. "The Role of Natural History in Contemporary Biology." *BioScience* 36, no. 5 (1997): 324–29.
- Bebber, D. P., M. A. Carine, J. R. I. Wood, A. H. Wortley, D. J. Harris, G. T. Prance, G. Davidse, J. Paige, T. D. Pennington, N. K. B. Robson, and R. W. Scotland. "Herbaria Are a Major Frontier for Species Discovery." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, no. 51 (2010): 22169–71.
- Berkes, Fikret, Johan Colding, and Carl Folke. "Rediscovery of traditional eco-

- logical knowledge as adaptive management.” *Ecological applications* 10.5 (2000): 1251-1262.
- Berlow, Eric L. “How Complexity Leads to Simplicity.” In *Technology, Entertainment and Design Conference*. Oxford: Oxford Univ. Press, 2010.
- Berman, M. G., J. Jonides, and S. Kaplan. “The Cognitive Benefits of Interacting with Nature.” *Psychological Science* 19, no. 12 (2008): 1207–12.
- Beschta, R. L. “Reduced Cottonwood Recruitment Following Extirpation of Wolves in Yellowstone’s Northern Range.” *Ecology* 86, no. 2 (2005): 391–403.
- Betancourt, Julio L. “Reflections on the Relevance of History in a Nonstationary World.” In *Historical Environmental Variation in Conservation and Natural Resource Management*, edited by John Wiens, Gregory D. Hayward, Hugh D. Stafford, and Catherine Giffen. New York: Wiley-Blackwell, 2012.
- Beyers, D. W. “Causal Inference in Environmental Impact Studies.” *Journal of the North American Benthological Society* 17, no. 3 (1998): 367–73.
- Block, Barbara A. “Physiological Ecology in the 21st Century: Advancements in Biologging Science.” *Integrative and Comparative Biology* 45 (2005): 305–20.
- Block, Barbara A, Steven L. H. Teo, Andreas Walli, Andre Boustany, Michael J. W. Stokesbury, Charles J. Farwell, Kevin C. Weng, Heidi Dewar, and Thomas D. Williams. “Electronic Tagging and Population Structure of Atlantic Bluefin Tuna.” *Nature* 434 (2005): 1121–27.
- Bourlat, Sarah J., Thorhildur Juliusdottir, Christopher J. Lowe, Robert Freeman, Jochanan Aronowicz, Mark Kirschner, Eric S. Lander, Michael Thorndyke, Hiroaki Nakano, Andrea B. Kohn, Andreas Heyland, Leonid L. Moroz, Richard R. Copley, and Maximilian J. Telford. “Deuterostome Phylogeny Reveals Monophyletic Chordates and the New Phylum Xenoturbellida.” *Nature* 444 (2006): 85–88.
- Bowen, G. M., and W. M. Roth. “The Practice of Field Ecology: Insights for Science Education.” *Research in Science Education* 37, no. 2 (2007): 171–87.
- Bradbury, J. “Chernobyl: An Ecosystem Disaster?” *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, no. 8 (2007): 401.
- Bradley, Nina L., A. Carl Leopold, John Ross, and Wellington Huffaker. “Phenological Changes Reflect Climate Change in Wisconsin.” *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96 (1999): 9701–04.
- Bransford, J. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, DC: National Academies Press, 2000.
- Breitbart, M., L. R. Thompson, C. A. Suttle, and M. B. Sullivan. “Exploring the Vast Diversity of Marine Viruses.” *Oceanography* 20, no. 2 (2007): 135–39.

- Brewer, Carol. "Conservation Education Partnerships in Schoolyard Laboratories: A Call Back to Action." *Conservation Biology* 16, no. 3 (2002): 577–79.
- Brewer, C.A, and D. Smith, eds. *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action. Final Report of a National Conference Organised by the AAAS*, July 15–17 2009. Washington DC, 2011.
- Brook, R. K., and S. M. McLachlan. "On Using Expert-Based Science to 'Test' Local Ecological Knowledge." *Ecology and Society* 10, no. 2 (2005): r3.
- Brooks, Michael. "Do You Speak Cuttlefish?" *New Scientist*, 26 April 2008, accessed online.
- Brown, James H., and Arthur C. Gibson. *Biogeography*. St. Louis: C. V. Mosby, 1983.
- Brown, J. *Macroecology*. Chicago, IL: Univ. of Chicago Press, 1995.
- Buck, Carol. "Popper's Philosophy for Epidemiologists." *International Journal of Epidemiology* 4, no. 3 (1975): 159–72.
- Burns, George W. *101 Healing Stories for Kids and Teens: Using Metaphors in Therapy*. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
- Camilli, R., C. M. Reddy, D. R. Yoerger, B. A. S. Van Mooy, M. V. Jakuba, J. C. Kinsey, C. P. McIntyre, S. P. Sylva, and J. V. Maloney. "Tracking Hydrocarbon Plume Transport and Biodegradation at Deepwater Horizon." *Science* 330, no. 6001 (2010): 201–04.
- Canfield, Michael, ed. *Field Notes on Science and Nature*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 2011.
- Cardinale, B. J, D. S. Srivastava, J. E. Duffy, J. P. Wright, A. L. Downing, M. Sankaran, and C. Jousseau. "Effects of Biodiversity on the Functioning of Trophic Groups and Ecosystems." *Nature* 443 (2006): 989–92.
- Chariton, A. A., L. N. Court, D. M. Hartley, M. J. Colloff, and C. M. Hardy. "Ecological Assessment of Estuarine Sediments by Pyrosequencing Eukaryotic Ribosomal DNA." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 5 (2010): 233–38.
- Churchland, Patricia Smith. "How Do Neurons Know?" *Daedalus*, Winter 2004, 42–50.
- Clark, James S. "Why Environmental Scientists Are Becoming Bayesians." *Ecology Letters* 8 (2005): 2–14.
- Clarke, K. R., and R. M. Warwick. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Second ed. Plymouth, UK: Primer-E, 2001.
- Clayton, Susan D., and Gene Myers. *Conservation Psychology: Understanding and Promoting Human Care for Nature*. Chichester, UK / Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2009.

- Cleland, Carol E. "Methodological and Epistemic Differences between Historical Science and Experimental Science." *Philosophy of Science* 69 (2002): 474–96.
- Clements, Frederic E. "Nature and Structure of the Climax." *The Journal of Ecology* 24 (1936): 252–84.
- Coltman, D. W. "Evolutionary Rebound from Selective Harvesting." *Trends in Ecology & Evolution* 23, no. 3 (2008): 117–18.
- Coltman, D. W., P. O'Donoghue, J. T. Jorgenson, J. T. Hogg, C. Strobeck, and M. Festa-Bianchet. "Undesirable Evolutionary Consequences of Trophy Hunting." *Nature* 426, no. 6967 (2003): 655–58.
- Corson, Trevor. *The Secret Life of Lobsters: How Fishermen and Scientists Are Unraveling the Mysteries of Our Favorite Crustacean*. New York: Harper Collins, 2004.
- Craig, R. K. "'Stationarity Is Dead' — Long Live Transformation: Five Principles for Climate Change Adaptation Law." *Harvard Environmental Law Review* 34, no. 1 (2010): 9–73.
- Cutright, Paul Russell. *Theodore Roosevelt: The Making of a Conservationist*. Urbana and Chicago, IL: Univ. of Illinois Press, 1985.
- Cyr, D., S. Gauthier, Y. Bergeron, and C. Carcaillet. "Forest Management Is Driving the Eastern North American Boreal Forest Outside Its Natural Range of Variability." *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, no. 10 (2009): 519–24.
- Darling-Hammond, L. *Powerful Learning: What We Know About Teaching for Understanding*. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2008.
- Darwin, Charles. *Voyage of the Beagle by Charles Darwin, with a New Introduction by David Quammen*. Washington, DC: National Geographic Society, 2004.
- Davis, Daniel M. "Intrigue at the Immune Synapse." *Scientific American*, February 2006, 48–55.
- Davis, Wade. "Last of Their Kind." *Scientific American*, September 2010.
- Dayton, Paul K. "The Importance of the Natural Sciences to Conservation." *American Naturalist* 162, no. 1 (2003): 1–13.
- Dayton, Paul K., and Enric Sala. "Natural History: The Sense of Wonder, Creativity, and Progress in Ecology." *Scientia Marina* 65, no. Suppl. 2 (2001): 199–206.
- DellaSala, D.A. 2011. *Temperate and boreal rainforests of the world: ecology and conservation*. Washington, DC: Island Press. xvii, 295 p., 16 p. of plates.
- Dellwo, Lisa M. "17 Years of Duke Forest Comes to a Close — Long-Term Ecological Experiment Will Continue to Provide Critical Data About the Impacts of Rising Carbon Dioxide." *Duke Environment Magazine*, 2010.

- Diamond, Jared, and James A. Robinson, eds. *Natural Experiments of History*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard Univ. Press, 2010.
- Diamond, Jared, and James A. Robinson. “All the World’s a Lab.” *New Scientist*, 27 March 2010, 28–31.
- Diamond, Jared, and Ted J. Case. *Community Ecology*. New York: Harper and Row, 1986.
- Dickson, B. G., E. Fleishman, D. S. Dobkin, and S. R. Hurteau. “Relationship between Avifaunal Occupancy and Riparian Vegetation in the Central Great Basin (Nevada, USA).” *Restoration Ecology* 17, no. 5 (2009): 722–30.
- Dickson, B. G., S. Sesnie, E. Fleishman, and D. S. Dobkin. “Identification and Assessment of Habitat Quality for Conservation of Terrestrial Animals.” In *Conservation Planning from the Bottom Up: A Practical Guide to Tools and Techniques for the Twenty-First Century*, edited by L. Craighead. Redlands, CA: ESRI Press, 2013.
- Dorsey, J. H., P. M. Carter, S. Bergquist, and R. Sagarin. “Reduction of Fecal Indicator Bacteria (FIB) in the Ballona Wetlands Saltwater Marsh (Los Angeles County, California, USA) with Implications for Restoration Actions.” *Water Research* 44, no. 15 (2010): 4630–42.
- Eckert, A. J., A. D. Bower, S. C. Gonzalez-Martinez, J. L. Wegrzyn, G. Coop, and D. B. Neale. “Back to Nature: Ecological Genomics of Loblolly Pine (*Pinus Taeda*, Pinaceae).” *Molecular Ecology* 19, no. 17 (2010): 3789–805.
- Ellison, Aaron M. “Bayesian Inference in Ecology.” *Ecology Letters* 7 (2004): 509–20.
- Elnor, R. W., and R. L. Vadas. “Inference in Ecology — The Sea-Urchin Phenomenon in the Northwestern Atlantic.” *American Naturalist* 136, no. 1 (1990): 108–25.
- Farman, J. C., B. G. Gardiner, and J. D. Shanklin. “Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal Clox/Nox Interaction.” *Nature* 315 (1985): 207–10.
- Fleischner, Thomas L. “Natural History and the Deep Roots of Resource Management.” *Natural Resources Journal* 45 (2005): 1–13.
- Forman, Richard T. T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1995.
- Francis, Robert C., and Steven R. Hare. “Decadal-Scale Regime Shifts in the Large Marine Ecosystems of the North-East Pacific: A Case for Historical Science.” *Fisheries Oceanography* 3, no. 4 (1994): 279–91.
- Freilich, J. E., J. M. Emlen, J. J. Duda, D. C. Freeman, and P. J. Cafaro. “Ecological Effects of Ranching: A Six-Point Critique.” *BioScience* 53, no. 8 (2003): 759–65.

- Fretwell, S. D. *Populations in a Seasonal Environment*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1972.
- Futuyma, Douglas J. "Wherefore and Whither the Naturalist?" *American Naturalist* 151, no. 1 (1998): 1–6.
- Gardner, Janet, Peter Marsack, John Trueman, Brett Calcott, and Robert Heinsohn. "Story-Telling: An Essential Part of Science." *Trends in Ecology & Evolution* 22, no. 10 (2007): 510.
- Garibaldi, Ann, and Nancy Turner. "Cultural Keystone Species: Implications for Ecological Conservation and Restoration." *Ecology and Society* 9, no. 3 (2004): 1. ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art1/.
- Garst, J., N. L. Kerr, S. E. Harris, and L. A. Sheppard. "Satisficing in Hypothesis Generation." *American Journal of Psychology* 115, no. 4 (2002): 475–500.
- Gilchrist, Grant, and Mark Mallory. "Comparing Expert-Based Science with Local Ecological Knowledge: What Are We Afraid Of?" *Ecology and Society* 12, no. 1 (2007): R1.
- Gilchrist, Grant, Mark Mallory, and Flemming Merkel. "Can Local Ecological Knowledge Contribute to Wildlife Management? Case Studies of Migratory Birds." *Ecology and Society* 10, no. 1 (2005): 20.
- Gillis, Justin. "A Scientist, His Work, and a Climate Reckoning." *New York Times*, 21 December 2010.
- Gladwell, Malcolm. "The Physical Genius." *The New Yorker*, 2 August 1999.
- Gladwell, Malcolm. *Outliers*. New York: Little, Brown, 2008.
- Gleason, H. A. "The Individualistic Concept of the Plant Association." *Bulletin of the Torrey Club* 53 (1926): 7–26.
- Gopnik, Alison. *The Philosophical Baby: What Children's Minds Tell Us About Truth, Love, and the Meaning of Life*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2009.
- Goyert, W., R. Sagarin, and J. Annala. "The Promise and Pitfalls of Marine Stewardship Council Certification: Maine Lobster as a Case Study." *Marine Policy* 34, no. 5 (2010): 1103–09.
- Graham, Catherine H., Simon Ferrier, Falk Huettman, Craig Moritz, and Townsend A Peterson. "New Developments in Museum-Based Informatics and Applications in Biodiversity Analysis." *Trends in Ecology and Evolution* 19, no. 9 (2004).
- Granek, E. F., and B. Ruttenberg. "The Protective Capacity of Mangroves During Tropical Storms: A Case Study from Wilma and Gamma in Belize." In *Western Society of Naturalists Annual Meeting*. Ventura, CA, 2007.
- Greene, Harry W. "Organisms in Nature as a Central Focus for Biology." *Trends in Ecology & Evolution* 20, no. 1 (2005): 23–27.

- Gremillet, D., R. H. E. Mullers, C. Moseley, L. Pichegru, J. C. Coetzee, P. S. Sarbarros, C. D. van der Lingen, P. G. Ryan, A. Kato, and Y. Ropert-Coudert. "Seabirds, Fisheries, and Cameras." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 8 (2010): 401–02.
- Grinnell, Joseph. "The Role of the 'Accidental.'" *Auk* 34 (1922): 373–81.
- Grobstein, Paul. "Revisiting Science in Culture: Science as Story Telling and Story Revising." *Journal of Research Practice* 1, no. 1 (2005): Article M1.
- Groffman, P. M., C. Stylinski, M. C. Nisbet, C. M. Duarte, R. Jordan, A. Burgin, M. A. Previtali, and J. Coloso. "Restarting the Conversation: Challenges at the Interface between Ecology and Society." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 6 (2010): 284–91.
- Gwiazda, J, and L. Deng. "Hours Spent on Visual Activities Differ between Myopic and Non-Myopic Children." In *Myopia: Proceedings of the 12th International Conference*. Sydney, Australia, 2009.
- Hackett, E. J., J. N. Parker, D. Conz, D. Rhoten, and A. Parker. "Ecology Transformed: The National Center for Ecological Analysis and Synthesis and the Changing Patterns of Ecological Research." In *Scientific Collaboration on the Internet*, edited by G. M. Olson, A. Zimmerman, and N. Bos, 277–96. Boston: MIT Press, 2008.
- Hall, L. S., P. R. Krausman, and M. L. Morrison. "The Habitat Concept and a Plea for Standard Terminology." *Wildlife Society Bulletin* 25, no. 1 (1997): 173–82.
- Halpern, Benjamin S., Shaun Walbridge, Kimberly A. Selkoe, Carrie V. Kappel, Fiorenza Micheli, Caterina D'Agrosa, John F. Bruno, Kenneth S. Casey, Colin Ebert, Helen E. Fox, Rod Fujita, Dennis Heinemann, Hunter S. Lenihan, Elizabeth M. P. Madin, Matthew T. Perry, Elizabeth R. Selig, Mark Spalding, Robert Steneck, and Reg Watson. "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems." *Science* 319 (2008): 948–52.
- Haluza-Delay, Randolph. "Nothing Here to Care About: Participant Constructions of Nature Following a 12-Day Wilderness Program." *Journal of Environmental Education* 32, no. 4 (2001): 43–48.
- Harrison, Freya. "Getting Started with Meta-Analysis." *Methods in Ecology and Evolution* 2, no. 1 (2010): 1–10.
- Hartley, C. J., R. D. Newcomb, R. J. Russell, C. G. Yong, J. R. Stevens, D. K. Yeates, J. La Salle, and J. G. Oakeshott. "Amplification of DNA from Preserved Specimens Shows Blowflies Were Preadapted for the Rapid Evolution of Insecticide Resistance." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 23 (2006): 8757–62.

- Hawken, Paul. *Blessed Unrest: How the Largest Movement in the World Came into Being and Why No One Saw It Coming*. New York: Viking, 2007.
- Hayes, M. A. "Into the Field: Naturalistic Education and the Future of Conservation." *Conservation Biology* 23, no. 5 (2009): 1075–79.
- Hazen, Robert. "Curve Fitting." *Science* 202, no. 4370 (1978): 823.
- Helmuth, B. S. T. "Intertidal Mussel Microclimates: Predicting the Body Temperature of a Sessile Invertebrate." *Ecological Monographs* 68, no. 1 (1998): 51–74.
- Helmuth, Brian, Joel G. Kingsolver, and Emily Carrington. "Biophysics, Physiological Ecology, and Climate Change: Does Mechanism Matter?" *Annual Review of Physiology* 67 (2005): 177–201.
- Herrick, J. E., and J. Sarukhan. "A Strategy for Ecology in an Era of Globalization." *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, no. 4 (2007): 172–81.
- Herrick, J. E., V. C. Lessard, K. E. Spaeth, P. L. Shaver, R. S. Dayton, D. A. Pyke, L. Jolley, and J. J. Goebel. "National Ecosystem Assessments Supported by Scientific and Local Knowledge." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 8 (2010): 403–08.
- Hewitt, Judi E., Simon F. Thrush, Paul K. Dayton, and Erik Bonsdorff. "The Effect of Spatial and Temporal Heterogeneity on the Design and Analysis of Empirical Studies of Scale-Dependent Systems." *American Naturalist* 169, no. 3 (2007): 398–408.
- Hilborn, R., and D. Ludwig. "The Limits of Applied Ecological Research." *Ecological Applications* 3, no. 4 (1993): 550–52.
- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel, and N. Perrin. "Ecological-Niche Factor Analysis: How to Compute Habitat-Suitability Maps without Absence Data?" *Ecology* 83, no. 7 (2002): 2027–36.
- Hmelo-Silver, C. "Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn?" *Educational Psychology Review* 16, no. 3 (2004): 235–66.
- Hobbs, R. J., S. Arico, J. Aronson, J. S. Baron, P. Bridgewater, V. A. Cramer, P. R. Epstein, J. J. Ewel, C. A. Klink, A. E. Lugo, D. Norton, D. Ojima, D. M. Richardson, E. W. Sanderson, F. Valladares, M. Vila, R. Zamora, and M. Zobel. "Novel Ecosystems: Theoretical and Management Aspects of the New Ecological World Order." *Global Ecology and Biogeography* 15, no. 1 (2006): 1–7.
- Hoffmann, J. A. *Flora silvestre de Chile, zona central*. Santiago de Chile: Talleres Empresa El Mercurio, 1989.
- Hofmann, G. E., and S. P. Place. "Genomics-Enabled Research in Marine Ecology: Challenges, Risks, and Pay-Offs." *Marine Ecology Progress Series* 332 (2007): 249–55.

- Holling, C. S., and C. R. Allen. "Adaptive Inference for Distinguishing Credible from Incredible Patterns in Nature." *Ecosystems* 5, no. 4 (2002): 319–28.
- Johannes, R. E. "The Case for Data-Less Marine Resource Management: Examples from Tropical Nearshore Fisheries." *Trends in Ecology and Evolution* 13, no. 6 (1998): 243–46.
- Johnson, Kenneth G., Stephen J. Brooks, Phillip B. Fenberg, Adrian G. Glover, Karen E. James, Adrian M. Lister, Ellinor Michel, Mark Spencer, Jonathan A. Todd, Eugenia Valsami-Jones, Jeremy R. Young, and John R. Stewart. "Climate Change and Biosphere Response: Unlocking the Collections Vault." *BioScience* 61, no. 2 (2011): 147–53.
- Johnson, L. C., and J. R. Matchett. "Fire and Grazing Regulate Belowground Processes in Tallgrass Prairie." *Ecology* 82, no. 12 (2001): 3377–89.
- Kaplan, R., and S. Kaplan. "Adolescents and the Natural Environment: A Time Out?" In *Children and Nature: Psychological, Sociocultural, and Evolutionary Investigations*, edited by Peter H. Kahn and Stephen R. Kellert, 227–57. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- Kennedy, T. A., S. Naeem, K. M. Howe, J. M. H. Knops, D. Tilman, and P. Reich. "Biodiversity as a Barrier to Ecological Invasion." *Nature* 417 (2002): 636–38.
- Kingsland, Sharon E. "Defining Ecology as a Science." In *Foundations in Ecology*, edited by Leslie A. Real and James H. Brown, 1–13. Chicago, IL: Univ. of Chicago Press, 1991.
- Kiorboe, T., A. Andersen, V. J. Langlois, H. H. Jakobsen, and T. Bohr. "Mechanisms and Feasibility of Prey Capture in Ambush-Feeding Zooplankton." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, no. 30 (2009): 12394–99.
- Kish, Daniel. "Seeing with Sound." *New Scientist* (2009): 31–33.
- Klinger, Terrie. "Address to the Western Society of Naturalists." In *Western Society of Naturalists 89th Annual Meeting*. Vancouver, BC, 2008.
- Knapp, Alan K., and Charlene D'Avanzo. "Teaching with Principles: Toward More Effective Pedagogy in Ecology." *Ecosphere* 1, no. 6 (2010): art 15.
- Kozak, K. H., C. H. Graham, and J. J. Wiens. "Integrating GIS-Based Environmental Data into Evolutionary Biology." *Trends in Ecology & Evolution* 23, no. 3 (2008): 141–48.
- Krebs, V. E. "Mapping Networks of Terrorist Cells." *Connections* 24 (2002): 43–52.
- Lalak, N. 2003. Sensory Education: Stimulation of our sensory modalities increases awareness of our place in nature, fosters a sense of connection and engages us at a deeper level with our landscape and the natural world. *Landscape Australia* 25 (2), pp. 72-73.

- Lawson, A. E. "Basic Inferences of Scientific Reasoning, Argumentation, and Discovery." *Science Education* 94, no. 2 (2010): 336–64.
- Leopold, Aldo. *A Sand County Almanac with Essays on Conservation from Round River*. Oxford: Oxford Univ. Press, 1966.
- Lewis, J. R. "Laboratory Charges." *Nature* 257 (1975): 640.
- Lister, Adrian M. "Natural History Collections as Sources of Long-Term Datasets." *Trends in Ecology and Evolution* 26, no. 4 (2011): 153–54.
- Loarie, Scott R., Lucas N. Joppa, and Stuart L. Pimm. "Satellites Miss Environmental Priorities." *Trends in Ecology & Evolution* 22, no. 12 (2007): 630–32.
- Lockwood, Samuel. "Something About Crabs." *American Naturalist* 3, no. 5 (1869): 261–69.
- Lopez-Medellin, X., E. Ezcurra, C. Gonzalez-Abraham, J. Hak, L. S. Santiago, and J. O. Sickman. "Oceanographic Anomalies and Sea-Level Rise Drive Mangroves Inland in the Pacific Coast of Mexico." *Journal of Vegetation Science* 22, no. 1 (2011): 143–51.
- Louv, Richard. *Last Child in the Woods*. Chapel Hill, NC: Algonquin Books, 2005.
- Lovett, Gary M., Douglas A. Burns, Charles T. Driscoll, Jennifer C. Jenkins, Myron J. Mitchell, Lindsey Rustad, James B. Shanley, Gene E. Likens, and Richard Haeuber. "Who Needs Environmental Monitoring?" *Frontiers in Ecology and Evolution* 5, no. 5 (2007): 253–60.
- Lozano-Montes, Hector M., Tony J. Pitcher, and Nigel Haggan. "Shifting Environmental and Cognitive Baselines in the Upper Gulf of California." *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (2008): 75–80.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. A. Royle, K. P. Pollock, L. L. Bailey, and J. E. Hines. *Ecological-Niche Factor Analysis: How to Compute Habitat-Suitability Map without Absence Data*. San Diego, CA: Academic Press, 2006.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, N. Sutton, K. Kawanishi, and L. L. Bailey. "Improving Inferences in Population Studies of Rare Species That Are Detected Imperfectly." *Ecology* 86, no. 5 (2005): 1101–13.
- Martinez del Rio, Carlos. "A Natural History Curriculum for Cyborgs." In *Ecological Society of America Annual Meeting*. Albuquerque, NM, 2009.
- Mazzarello, Paolo. "Museums: Stripped Assets." *Nature* 480, no. 7375 (2011): 36–38.
- McBride, B. B., C. A. Brewer, M. Bricker, and M. Machura. "Training the Next Generation of Renaissance Scientists: The GK-12 Ecologists, Educators, and Schools Program at the University of Montana." *BioScience* 61, no. 6 (2011): 466–76.
- McClenachan, L., J. B. C. Jackson, and M. J. H. Newman. "Conservation Im-

- plications of Historic Sea Turtle Nesting Beach Loss.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, no. 6 (2006): 290–96.
- McDougall, K. L., J. M. Alexander, S. Haider, A. Pauchard, N. G. Walsh, and C. Kueffer. “Alien Flora of Mountains: Global Comparisons for the Development of Local Preventive Measures against Plant Invasions.” *Diversity and Distributions* 17, no. 1 (2011): 103–11.
- McGowan, John A. “Climate and Change in Oceanic Ecosystems; the Value of Time-Series Data.” *TREE* 5, no. 9 (1990): 293–99.
- McGowan, John A., Daniel R. Cayan, and LeRoy M. Dorman. “Climate-Ocean Variability and Ecosystem Response in the Northeast Pacific.” *Science* 281 (1998): 210–17.
- McIntire, E. J. B., and A. Fajardo. “Beyond Description: The Active and Effective Way to Infer Processes from Spatial Patterns.” *Ecology* 90, no. 1 (2009): 46–56.
- Menge, B. A., C. Blanchette, P. Raimondi, T. Freidenburg, S. Gaines, J. Lubchenco, D. Lohse, G. Hudson, M. Foley, and J. Pamplin. “Species Interaction Strength: Testing Model Predictions Along an Upwelling Gradient.” *Ecological Monographs* 74, no. 4 (2004): 663–84.
- Meyer, J. L., P. C. Frumhoff, S. P. Hamburg, and C. de la Rosa. “Above the Din but in the Fray: Environmental Scientists as Effective Advocates.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 6 (2010): 299–305.
- Millard, Candice. *The River of Doubt: Theodore Roosevelt’s Darkest Journey*. New York: Broadway, 2006.
- Miller, C. R., and L. P. Waits. “The History of Effective Population Size and Genetic Diversity in the Yellowstone Grizzly (*Ursus Arctos*): Implications for Conservation.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100, no. 7 (2003): 4334–39.
- Miller, Chaz. “The Garbage Barge.” *Waste Age*, 1 February 2007.
- Mithra, K. 2004. “Interview with Daniel Kish.” *Daredevil: The Man Without Fear*. Accessed 22 April 2010, manwithoutfear.com/interviews/ddINTERVIEW.shtml?id=Kish.
- Mohan, Jacqueline E., Lewis H. Ziska, William H. Schlesinger, Richard B. Thomas, Richard C. Sicher, Kate George, and James S. Clark. “Biomass and Toxicity Responses of Poison Ivy (*Toxicodendron Radicans*) to Elevated Atmospheric CO₂.” *Proceedings of the National Academy of Science* 103, no. 24 (2006): 9086–89.
- Molina, Mario J., and F. S. Rowland. “Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalysed Destruction of Ozone.” *Nature* 249 (1974): 810–12.

- Moll, Remington J., Joshua J. Millsbaugh, Jeff Beringer, Joel Sartwell, and Zhi-hai He. "A New 'View' of Ecology and Conservation through Animal-Borne Video Systems." *Trends in Ecology & Evolution* 22, no. 12 (2007): 660–68.
- Montgomery, David R. *King of Fish: The Thousand-Year Run of Salmon*. Boulder, CO: Westview Press, 2003.
- Morton, D. C., R. S. DeFries, J. Nagol, C. M. Souza, E. S. Kasischke, G. C. Hurtt, and R. Dubayah. "Mapping Canopy Damage from Understory Fires in Amazon Forests Using Annual Time Series of Landsat and Modis Data." *Remote Sensing of Environment* 115, no. 7 (2011): 1706–20.
- Mueller, L. D. "Density-Dependent Population-Growth and Natural-Selection in Food-Limited Environments — the *Drosophila* Model." *American Naturalist* 132, no. 6 (1988): 786–809.
- Muir, John. *Steep Trails*. Boston, MA: Houghton, 1918.
- Muñoz, O., M. Montes, and T. Wilkomirsky. *Plantas Medicinales de Uso en Chile: Química y Farmacología*. Chile: Editorial Universitaria, 1999.
- Mycio, Mary. *Wormwood Forest: A Natural History of Chernobyl*. Washington, DC: Joseph Henry Press, 2006.
- Mysterud, Ivar, and Iver Mysterud. "Reviving the Ghost of Broad Ecology." *Journal of Social and Evolutionary Systems* 17, no. 2 (1994): 167–95.
- Nemani, R. R., C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni, and S. W. Running. "Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999." *Science* 300, no. 5625 (2003): 1560–63.
- Nichols, J. D., and B. K. Williams. "Monitoring for Conservation." *Trends in Ecology & Evolution* 21, no. 12 (2006): 668–73.
- Nijhuis, M. "Teaming up with Thoreau." *Smithsonian*, October 2007.
- Norkko, J., S. F. Thrush, and R. M. G. Wells. "Indicators of Short-Term Growth in Bivalves: Detecting Environmental Change across Ecological Scales." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 337 (2006): 38–48.
- Norment, Christopher. *Return to Warden's Grove: Science, Desire, and the Lives of Sparrows*. Iowa City, IA: Univ. of Iowa Press, 2008.
- Noss, Reed. "The Naturalists Are Dying Off." *Conservation Biology* 10, no. 1 (1996): 1–3.
- Nunez, M. A., and G. M. Crutsinger. "Striking a Balance between the Literature Load and Walks in the Woods." *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, no. 3 (2008): 160–61.
- O'Donohue, W., and J. A. Buchanan. "The Weaknesses of Strong Inference." *Behavior and Philosophy* 29, no. 1 (2001): 1–20.
- Olson, Randy. *Don't Be Such a Scientist*. Washington, DC: Island Press, 2009.

- O'Neill, Tara. "Uncovering Student Ownership in Science Learning: The Making of a Student Created Mini-Documentary." *School Science and Mathematics* 105, no. 6 (2005): 292–301.
- Pain, Stephanie. "Code Red." *New Scientist*, 4 April 2009, 38–41.
- Paine, Robert T. "Macroecology: Does It Ignore or Can It Encourage Further Ecological Syntheses Based on Spatially Local Experimental Manipulations?" *American Naturalist* 176, no. 4 (2010): 385–93.
- Parmesan, C., and G. Yohe. "A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems." *Nature* 421, no. 6918 (2003): 37–42.
- Pauchard, A., and P. B. Alaback. "Influence of Elevation, Land Use, and Landscape Context on Patterns of Alien Plant Invasions Along Roadsides in Protected Areas of South-Central Chile." *Conservation Biology* 18, no. 1 (2004): 238–48.
- Pauchard, A., M. Aguayo, E. Peña, and R. Urrutia. "Multiple Effects of Urbanization on the Biodiversity of Developing Countries: The Case of a Fast-Growing Metropolitan Area (Concepción, Chile)." *Biological Conservation* 127, no. 3 (2006): 272–81.
- Pauchard, Aníbal, and Katriona Shea. "Integrating the Study of Non-Native Plant Invasions across Spatial Scales." *Biological Invasions* 8 (2006): 399–413.
- Pauchard, A., C. Kueffer, H. Dietz, C. C. Daehler, J. Alexander, P. J. Edwards, J. R. Arévalo, L. Cavieres, A. Guisan, S. Haider, G. Jakobs, K. McDougall, C. I. Millar, B. J. Naylor, C. G. Parks, L. J. Rew, and T. Seipel. "Ain't No Mountain High Enough: Plant Invasions Reaching High Elevations." *Frontiers in Ecology and Evolution*. Online Early (2009).
- Pearson, D. L., A. L. Hamilton, and T. L. Erwin. "Recovery Plan for the Endangered Taxonomy Profession." *BioScience* 61, no. 1 (2011): 58–63.
- Pereira, H. M., J. Belnap, N. Brummitt, B. Collen, H. Ding, M. Gonzalez-Espinosa, R. D. Gregory, J. Honrado, R. H. G. Jongman, R. Julliard, L. McRae, V. Proenca, P. Rodrigues, M. Opige, J. P. Rodriguez, D. S. Schmeller, C. Van Swaay, and C. Vieira. "Global Biodiversity Monitoring." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 9 (2010): 458–60.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. "Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions." *Ecological Modelling* 190, nos. 3–4 (2006): 231–59.
- Pickett, Steward T., Clive G. Jones, and Jurek Kolasa. *Ecological Understanding: The Nature of Theory and the Theory of Nature*. Amsterdam/Boston: Elsevier/Academic Press, 2007.

- Pigliucci, M. "Are Ecology and Evolutionary Biology 'Soft' Sciences?" *Annales Zoologici Fennici* 39, no. 2 (2002): 87–98.
- Platt, John R. "Strong Inference." *Science* 146, no. 3642 (1964): 347–53.
- Poll, M., B. J. Naylor, J. M. Alexander, P. J. Edwards, and H. Dietz. "Seedling Establishment of Asteraceae Forbs Along Altitudinal Gradients: A Comparison of Transplant Experiments in the Native and Introduced Ranges." *Diversity and Distributions* 15, no. 2 (2009): 254–65.
- Pollack, Andrew. "DNA Sequencing Caught in Deluge of Data." *New York Times*, 30 November 2011.
- Prates-Clark, Cassia Da Conceição, Sassan S. Saatchi, and Donat Agosti. "Predicting Geographical Distribution Models of High-Value Timber Trees in the Amazon Basin Using Remotely Sensed Data." *Ecological Modelling* (2007).
- Quinn, James F., and Arthur E. Dunham. "On Hypothesis Testing in Ecology and Evolution." *American Naturalist* 122, no. 5 (1983): 620–17.
- Raimondi, P., R. Sagarin, R. Ambrose, M. George, S. Lee, D. Lohse, C. M. Miner, S. Murray, and C. Roe. "Consistent Frequency of Color Morphs in the Sea Star *Pisaster Ochraceus*." *Pacific Science* 61, no. 2 (2007): 201–10.
- Reagan, Brad. "The Digital Ice Age." *Popular Mechanics*, October 2009, accessed online.
- Rennie, L. J., E. Feher, Dierking. L. D., and J. H. Falk. "Toward an Agenda for Advancing Research on Science Learning in Out-of-School Settings." *Journal of Research in Science Teaching* 40, no. 2 (2003): 112–20.
- Revkin, A. C. "Into the Breach." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 6 (2010): 283–83.
- Ricketts, Edward F. "Ricketts Papers." Stanford Univ. Libraries Special Collections, 1945–1947.
- Ricketts, Edward F. "Essay on Non-Teleological Thinking." In *Breaking Through: Essays, Journals and Travelogues of Edward F. Ricketts*, edited by Katharine A. Rodger, 119–33. Berkeley, CA: Univ. of California Press, 2006.
- Ricketts, Edward F. "The Philosophy of 'Breaking Through.'" In *Breaking Through: Essays, Journals and Travelogues of Edward F. Ricketts*, edited by Katharine A. Rodger, 89–104. Berkeley, CA: Univ. of California Press, 2006.
- Ricketts, Edward F. "Transcript of Summer 1945 and 1946 Notes Based on Trips to the Outer Shores, West Coast of Vancouver Island, Queen Charlotte Islands, and So On." In *Breaking Through: Essays, Journals and Travelogues of Edward F. Ricketts*, edited by Katharine A. Rodger, 222–323. Berkeley, CA: Univ. of California Press, 2006.
- Roberts, D. A., G. E. Hofmann, and G. N. Somero. "Heat-Shock Protein Ex-

- pression in *Mytilus Californianus*: Acclimatization (Seasonal and Tidal-Height Comparisons) and Acclimation Effects.” *Biological Bulletin* 192, no. 2 (1997): 309–20.
- Rodger, Katharine A., ed. *Breaking Through: Essays, Journals and Travelogues of Edward F. Ricketts*. Berkeley, CA: Univ. of California Press, 2006.
- Roemmich, Dean, and John McGowan. “Climatic Warming and the Decline of Zooplankton in the California Current.” *Science* 267 (1995): 1324–26.
- Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig, and J. A. Pounds. “Fingerprints of Global Warming on Wild Animals and Plants.” *Nature* 421, no. 6918 (2003): 57–60.
- Roubik, David. “Competitive Interactions between Neotropical Pollinators and Africanized Honey Bees.” *Science* 201 (1978): 1030–32.
- Rozzi, R., J. J. Armesto, B. Goffinet, W. Buck, F. Massardo, J. Silander, M. T. Arroyo, S. Russell, C. B. Anderson, L. A. Cavieres, and J. B. Callicott. “Changing Lenses to Assess Biodiversity: Patterns of Species Richness in Sub-Antarctic Plants and Implications for Global Conservation.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, no. 3 (2008): 131–37.
- Rundus, Aaron S., Donald H. Owings, Sanjay S. Joshi, Erin Chinn, and Nicholas Giannini. “Ground Squirrels Use an Infrared Signal to Deter Rattlesnake Predation.” *Proceedings of the National Academy of Science* 104, no. 36 (2007): 14372–76.
- Saenz-Arroyo, Andrea, Callum M. Roberts, Jorge Torre, Micheline Carino-Olvera, and Roberto R. Enriquez-Andrade. “Rapidly Shifting Environmental Baselines among Fishers of the Gulf of California.” *Proceedings of the Royal Society B* 272 (2005): 1957–62.
- Sagarin, R. D. “Historical Studies of Species’ Responses to Climate Change: Promises and Pitfalls.” In *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, edited by Stephen H. Schneider and Terry L. Root: Island Press, 2001.
- Sagarin, R. D. “Phenology — False Estimates of the Advance of Spring.” *Nature* 414, no. 6864 (2001): 600.
- Sagarin, R. D. “Natural Security for a Variable and Risk-Filled World.” *Homeland Security Affairs* 6, no. 3 (2010).
- Sagarin, R. D. “Science Communication: More Than Words.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, no. 8 (2010): 458.
- Sagarin, R. D. *Learning from the Octopus: How Secrets of Nature Can Help Us Fight Terrorist Attacks, Natural Disasters, and Disease*. New York. Basic Books (2012).
- Sagarin, R. D., and A. Pauchard. “Observational Approaches in Ecology Open

- New Ground in a Changing World". *Frontiers in Ecology and the Environment* 8 (2010): 379–86.
- Sagarin, R. D., and F. Micheli. "Climate Change in Nontraditional Data Sets." *Science* 294 (2001): 811.
- Sagarin, R. D., and George N. Somero. "Complex Patterns of Heat-Shock Protein 70 Expression across the Southern Biogeographic Ranges of the Intertidal Mussel *Mytilus Californianus* and Snail *Nucella Ostrina*." *Journal of Biogeography* 33, no. 4 (2006): 622–30.
- Sagarin, R. D., and S. D. Gaines. "Geographical Abundance Distributions of Coastal Invertebrates: Using One-Dimensional Ranges to Test Biogeographic Hypotheses." *Journal of Biogeography* 29, no. 8 (2002a): 985–97.
- Sagarin, R. D., and S. D. Gaines. "The 'Abundant Centre' Distribution: To What Extent Is It a Biogeographic Rule?" *Ecology Letters* 5 (2002b): 137–47.
- Sagarin, R. D., Steven D. Gaines, and Brian Gaylord. "Moving beyond Assumptions to Understand Abundance Distributions across the Ranges of Species." *Trends in Ecology & Evolution* 21, no. 9 (2006): 524–30.
- Sagarin, R. D., W. F. Gilly, C. H. Baxter, N. Burnett, and J. Christensen. "Remembering the Gulf: Changes to the Marine Communities of the Sea of Cortez since the Steinbeck and Ricketts Expedition of 1940." *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, no. 7 (2008): 374–81.
- Sagarin, R. D., J. Carlsson, M. Duval, W. Freshwater, M. H. Godfrey, W. Litaaker, R. Munoz, R. Noble, T. Schultz, and B. Wynne. "Bringing Molecular Tools into Environmental Resource Management: Untangling the Molecules to Policy Pathway." *PLoS Biology* 7, no. 3 (2009): 426–30.
- Sagarin, R. D., R. Ambrose, B. Becker, J. Engle, J. Kido, S. Lee, C. M. Miner, S. Murray, P. Raimondi, D. Richards, and C. Roe. "Ecological Impacts on the Limpet *Lottia Gigantea* Populations: Human Pressure over a Broad Scale on Island and Mainland Intertidal Zones." *Marine Biology* 150, no. 3 (2007): 399–413.
- Sagarin, R. D., C. S. Alcorta, S. Atran, D. T. Blumstein, G. P. Dietl, M. E. Hochberg, D. D. P. Johnson, S. Levin, E. M. P. Madin, J. S. Madin, E. M. Prescott, R. Sosis, T. Taylor, J. Tooby, and G. J. Vermeij. "Decentralize, Adapt, and Cooperate." *Nature* 465, no. 7296 (2010): 292–93.
- Sageman, Marc. *Understanding Terror Networks*. Philadelphia, PA: Univ. of Pennsylvania Press, 2004.
- Salomon, Anne K., Nick M. Tanape Sr., and Henry P. Huntington. "Serial Depletion of Marine Invertebrates Leads to the Decline of a Strongly Interacting Grazer." *Ecological Applications* 17, no. 6 (2007): 1752–70.
- Schaller, George B. "The Pleasure of Observing." In *Field Notes on Science and*

- Nature*, edited by Michael R. Canfield, 19-32. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 2011.
- Schmitt, Russell J., and Craig W. Osenberg, eds. *Detecting Ecological Impacts: Concepts and Applications in Coastal Habitats*. San Diego, CA: Academic Press, 1996.
- Schwartz-Shea, Peregrine. "Contribution to a Review Symposium: Beyond the Tragedy of the Commons." *Perspectives on Politics* 8, no. 2 (2010): 587–90.
- Scott, Anthony. "Trust Law, Sustainability, and Responsible Action." *Ecological Economics* 31 (1999): 139–54.
- Seastedt, T. R., R. J. Hobbs, and K. N. Suding. "Management of Novel Ecosystems: Are Novel Approaches Required?" *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, no. 10 (2008): 547–53.
- Seipel, Tim, Christoph Kueffer, Lisa J. Rew, Curtis C. Daehler, Aníbal Pauchard, Bridgett J. Naylor, Jake M. Alexander, Peter J. Edwards, Catherine G. Parks, José Ramon Arevalo, Lohengrin A. Cavieres, Hansjörg Dietz, Gabi Jakobs, Keith McDougall, Rüdiger Otto, and Neville Walsh. "Processes at Multiple Scales Affect Richness and Similarity of Non-Native Plant Species in Mountains around the World." *Global Ecology and Biogeography* (2011).
- Shimbu, Asashi. "Fisherman Powered out to Meet Giant Tsunami." *New York Times*, 17 March 2011, accessed online.
- Simberloff, D. "Competition Theory, Hypothesis-Testing, and Other Community Ecological Buzzwords." *American Naturalist* 122, no. 5 (1983): 626–35.
- Simberloff, Daniel. "Community Ecology: Is It Time to Move On?" *American Naturalist* 163, no. 6 (2004): 787–99.
- Skole, D., and C. Tucker. "Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon — Satellite Data from 1978 to 1988." *Science* 260, no. 5116 (1993): 1905–10.
- Sobel, D. *Beyond Ecophobia: Reclaiming the Heart of Nature Education*. 45 vols. Great Barrington, MA: Orion Society, 1996.
- Somero, G. 1995. Proteins and temperature. *Annual Review of Physiology* 57: 43–68.
- Southward, A. J., S. J. Hawkins, and M. T. Burrows. "Seventy Years' Observations of Changes in Distribution and Abundance of Zooplankton and Intertidal Organisms in the Western English Channel in Relation to Rising Sea Temperature." *Journal of Thermal Biology* 20, no. 1–2 (1995): 127–55.
- Steinbeck, John, and Edward F. Ricketts. *Sea of Cortez: A Leisurely Journal of Travel and Research, with a Scientific Appendix Comprising Materials for a Source Book on the Marine Animals of the Panamic Faunal Province*. Mamaroneck, NY: P. P. Appel, 1941, reprinted 1971.

- Stockwell, D. R. B., and D. P. Peters. "The GARP Modelling System: Problems and Solutions to Automated Spatial Prediction." *International Journal of Geographical Information Systems* 13 (1999): 143–58.
- Stohlgren, T. J., D. T. Barnett, and J. Kartesz. "The Rich Get Richer: Patterns of Plant Invasions in the United States." *Frontiers in Ecology and the Environment* 1, no. 1 (2003): 11–14.
- Stohlgren, T. J., C. Flather, C. S. Jarnevich, D. T. Barnett, and J. Kartesz. "Rejoinder to Harrison (2008): The Myth of Plant Species Saturation." *Ecology Letters* 11, no. 4 (2008): 324–26.
- Stohlgren, T. J., K. A. Bull, Y. Otsuki, C. A. Villa, and M. Lee. "Riparian Zones as Havens for Exotic Plant Species in the Central Grasslands." *Plant Ecology* 138, no. 1 (1998): 113–25.
- Stohlgren, T. J., D. Binkley, G. W. Chong, M. A. Kalkhan, L. D. Schell, K. A. Bull, Y. Otsuki, G. Newman, M. Bashkin, and Y. Son. "Exotic Plant Species Invade Hot Spots of Native Plant Diversity." *Ecological Monographs* 69, no. 1 (1999): 25–46.
- Stohlgren T. J., P. Pysek, J. Kartesz, M. Nishino, A. Pauchard, M. Winter, J. Pino, D. M. Richardson, J. R. U. Wilson, B. R. Murray, M. L. Phillips, L. Mingyang, L. Celesti-Gradow, X. Font. 2011. "Widespread plant species: natives versus aliens in our changing world." *Biological invasions* 13: 1931–1944.
- Stott, Rebecca. *Darwin and the Barnacle: The Story of One Tiny Creature and History's Most Spectacular Scientific Breakthrough*. New York: W. W. Norton, 2003.
- Suter, G. W. "Abuse of Hypothesis Testing Statistics in Ecological Risk Assessment." *Human and Ecological Risk Assessment* 2, no. 2 (1996): 331–47.
- Taleb, Nassim Nicholas. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. New York: Random House, 2007.
- Tamm, Eric Enno. *Beyond the Outer Shores: The Untold Odyssey of Ed Ricketts, the Pioneering Ecologist Who Inspired John Steinbeck and Joseph Campbell*. New York: Thunder's Mouth Press, 2004.
- Tang, J. M., L. Wang, and Z. J. Yao. "Analyzing Urban Sprawl Spatial Fragmentation Using Multi-Temporal Satellite Images." *GIScience & Remote Sensing* 43, no. 3 (2006): 218–32.
- Taylor, A. F., and F. E. Kuo. "Is Contact with Nature Important for Healthy Child Development? State of the Evidence." In *Children and Their Environments: Learning, Using, and Designing Spaces*, edited by Christopher Spencer and Mark Blades, 121–40. Cambridge, UK; New York: Cambridge Univ. Press, 2006.
- Taylor, A. F., F. E. Kuo, and W. C. Sullivan. "Coping with ADD — The Surpris-

- ing Connection to Green Play Settings.” *Environment and Behavior* 33, no. 1 (2001): 54–77.
- Thomashow, C. “Adolescents and Ecological Integrity.” In *Children and Nature: Psychological, Sociocultural, and Evolutionary Investigations*, edited by Peter H. Kahn and Stephen R. Kellert, 259–78. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- Tilman, D. “The Ecological Consequences of Changes in Biodiversity: A Search for General Principles.” *Ecology* 80, no. 5 (1999): 1455–74.
- Tollefson, Jeff. “US Launches Eco-Network.” *Nature* 476 (2011): 135.
- Tomppo, Erkki. *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. Heidelberg: Springer, 2009.
- Travis, D. J., A. M. Carleton, and R. G. Lauritsen. “Climatology: Contrails Reduce Daily Temperature Range — A Brief Interval When the Skies Were Clear of Jets Unmasked an Effect on Climate.” *Nature* 418, no. 6898 (2002): 601–01.
- Turco, R. P., O. B. Toon, T. P. Ackerman, J. B. Pollack, and C. Sagan. “Nuclear Winter — Global Consequences of Multiple Nuclear-Explosions.” *Science* 222, no. 4630 (1983): 1283–92.
- Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling, and M. Steininger. “Remote Sensing for Biodiversity Science and Conservation.” *Trends in Ecology & Evolution* 18, no. 6 (2003): 306–14.
- Turnipseed, M., S. E. Roady, R. Sagarin, and L. B. Crowder. “The Silver Anniversary of the United States’ Exclusive Economic Zone: Twenty-Five Years of Ocean Use and Abuse, and the Possibility of a Blue Water Public Trust Doctrine.” *Ecology Law Quarterly* 36, no. 1 (2009): 1–70.
- Underwood, E. C., S. L. Ustin, and C. M. Ramirez. “A Comparison of Spatial and Spectral Image Resolution for Mapping Invasive Plants in Coastal California.” *Environmental Management* 39, no. 1 (2007): 63–83.
- Vadas, R. L. “The Anatomy of an Ecological Controversy — Honeybee Searching Behavior.” *Oikos* 69, no. 1 (1994): 158–66.
- Valone, T. J. “Are Animals Capable of Bayesian Updating? An Empirical Review.” *Oikos* 112, no. 2 (2006): 252–59.
- Van Valkenburgh, Blaire, Xiaoming Wang, and John Damuth. “Cope’s Rule, Hypercarnivory, and Extinction in North American Canids.” *Science* 306 (2004): 101–04.
- Vargas, Patricia, Fernando Torrejón, Aníbal Pauchard, and Roberto Urrutia. “Rápido movimiento de plantas exóticas en la zona central de Chile: Una reconstrucción a través de evidencia histórica y palinológica.” *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 52, no. 1 (2017): 121–140.

- Verchot, L. V., P. M. Groffman, and D. A. Frank. "Landscape Versus Ungulate Control of Gross Mineralization and Gross Nitrification in Semi-Arid Grasslands of Yellowstone National Park." *Soil Biology & Biochemistry* 34, no. 11 (2002): 1691–99.
- Vermeij, Geerat. "Science, Blindness, and Evolution: The Common Theme Is Opportunity." *Journal of Science Education for Students with Disabilities* 10, no. 1 (2002): 1–3.
- Vermeij, Geerat. *Nature: An Economic History*. Princeton: Princeton Univ. Press, 2004.
- Vierling, K. T., L. A. Vierling, W. A. Gould, S. Martinuzzi, and R. M. Clawges. "Lidar: Shedding New Light on Habitat Characterization and Modeling." *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, no. 2 (2008): 90–98.
- Vierling, L. A., S. Martinuzzi, G. P. Asner, J. Stoker, and B. R. Johnson. "Lidar: Providing Structure." *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, no. 5 (2011): 261–62.
- Vitousek, Peter M., Harold A. Mooney, Jane Lubchenco, and Jerry M. Melillo. "Human Domination of Earth's Ecosystems." *Science* 277 (1997): 494–99.
- Wade, Paul R. "Bayesian Methods in Conservation Biology." *Conservation Biology* 14, no. 5 (2000): 1308–16.
- Walker, Thomas C. "The Perils of Paradigm Mentalities: Revisiting Kuhn, Lakatos, and Popper." *Perspectives on Politics* 8, no. 2 (2010): 433–51.
- Wandeler, Peter, Paquita E. A. Hoeck, and Lukas F. Keller. "Back to the Future: Museum Specimens in Population Genetics." *Trends in Ecology & Evolution* 22, no. 12 (2007): 635–42.
- Webb, Robert H., Diane E. Boyer, and Raymond M. Turner, eds. *Repeat Photography: Methods and Applications in the Natural Sciences*. Washington, DC: Island Press, 2010.
- Weber, T. P. "A Plea for a Diversity of Scientific Styles in Ecology." *Oikos* 84, no. 3 (1999): 526–29.
- Weiner, Jacob. "On the Practice of Ecology." *Journal of Ecology* 83 (1995): 153–58.
- Wenner, A. M. "Concept-Centered Versus Organism-Centered Biology." *American Zoologist* 29, no. 3 (1989): 1177–97.
- Whitmer, A., L. Ogden, J. Lawton, P. Sturmer, P. M. Groffman, L. Schneider, D. Hart, B. Halpern, W. Schlesinger, S. Raciti, N. Bettez, S. Ortega, L. Rustad, S. T. A. Pickett, and M. Killelea. "The Engaged University: Providing a Platform for Research That Transforms Society." *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, no. 6 (2010): 314–21.
- Williams, J. W., and S. T. Jackson. "Novel Climates, No-Analog Communities,

and Ecological Surprises.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, no. 9 (2007): 475–82.

Wilson, E. O. *Naturalist*. New York: Warner Books, 1994.

Wilson, Edward O. *Consilience: The Unity of Knowledge*. New York: Alfred A. Knopf, 1998.

S O B R E L O S A U T O R E S

RAFE SAGARIN (1971 – 2015), ecólogo marino y analista de políticas ambientales, hizo su pregrado en la Universidad de Stanford y su doctorado en la Universidad de California, Santa Bárbara. Utilizó observaciones de la historia natural y datos históricos de escritores, naturalistas, artistas e incluso de aficionados para evaluar los patrones históricos del cambio de los ecosistemas. Rafe era un profundo estudioso y amante de los ecosistemas marinos del Mar de Cortés en el Golfo de California y admirador incondicional de la expedición de 1940 de John Steinbeck y Ed “Doc” Ricketts. Rafe utilizó observaciones básicas de la naturaleza, siguiendo un enfoque inspirado en la filosofía ecológica de Ricketts, para entender cuestiones de amplio interés social, incluida la biología de la conservación, la protección de los recursos naturales e incluso temas políticos y socioeconómicos, como nuestra respuesta al terrorismo y otras amenazas a la seguridad. Fue por este último tema que fue ampliamente conocido más allá del mundo de los ecólogos, dictando charlas y liderando talleres para organismos de seguridad, políticos y empresarios.

Rafe fue beneficiario de una beca Guggenheim y miembro de la Sociedad Geológica de América. Trabajó en la Oficina de la Representante de los Estados Unidos, Hilda Solís, y más tarde en la Secretaría de Trabajo de los EE.UU. Fue profesor de ecología y política ambiental en la Universidad de Arizona, la Universidad de Duke, la Universidad Estatal de California - Bahía de Monterrey, la Universidad de Stanford y la Universidad de California - Los Ángeles. Su investigación apareció en *Science*, *Nature*, *Conservation Biology*, *Ecological Monographs*, *Trends in Ecology and Evolution*, *Foreign Policy*, *Homeland Security Affairs*, entre otras revistas líderes y periódicos. Con Terence Taylor, fue el editor del volumen *Natural Security: A Darwinian Approach to a Dangerous World* (University of California Press, 2008) y el autor de *Learning from the Octopus: How Secrets from Nature Can Help Us Fight Terrorist Attacks, Natural Disasters, and Disease* (Basic Books, 2012). Su último trabajo fue para el Biosphere 2, en el Estado de Arizona, un experimento a mesoescala donde esperaba poder replicar el Mar de Cortés. Rafe murió arrollado por un conductor ebrio mientras iba a su trabajo en bicicleta, lo sobreviven sus talentosas y valientes esposa Rebecca y sus dos hijas, Ella y Rosa.

ANÍBAL PAUCHARD nació en Santiago de Chile en 1974. Es ingeniero forestal de la Universidad de Concepción (1998) y doctor del College of Forestry and Conservation de la Universidad de Montana, EE.UU. (2002). Desde 2003 trabaja en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, donde actualmente es profesor titular y director del Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB). También es investigador del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB, Chile). Además, es profesor adjunto de la Universidad de Montana. Ha recibido numerosas distinciones por su trabajo científico, nacionales e internacionales. En el año 2012 fue reconocido como “Científico Joven más Destacado” por la Sociedad de Biología de Chile. Recientemente recibió el Premio W.S. Cooper de la Sociedad de Ecología Americana (ESA) al mejor paper en el área de la ecología de plantas.

Su investigación se centra principalmente en la ecología y la biogeografía de las invasiones biológicas y sus impactos en la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas. Aníbal ha estudiado la invasión de plantas en áreas naturales y seminaturales a través de gradientes altitudinales utilizando enfoques de múltiples escalas. Junto con investigadores de varios países, fue cofundador de Mountain Invasion Research Network (MIREN), que busca entender las causas y los impactos de los procesos de invasión en ecosistemas de montaña. Además, ha desarrollado investigación comparando las invasiones de plantas en distintas regiones del mundo. Aníbal ha publicado más de 100 artículos en revistas nacionales, internacionales y capítulos de libros editados, todas relacionadas con ecología y conservación.

Aníbal también está cada vez más interesado en temas más amplios de la ecología y la gestión de los recursos naturales, como la educación ambiental, la psicología de la conservación y las diferencias en la forma en que se manejan los problemas de conservación ente distintos países. Desde 2015 ha actuado como Autor Líder del capítulo de Las Américas del informe de IPBES (Intergovernmental Panel of Biodiversity and Ecosystem Services).

SOBRE LOS COLABORADORES

PAUL DAYTON es profesor emérito distinguido del Instituto de Oceanografía Scripps. Es ecólogo y naturalista marino, y ha recibido numerosos premios entre ellos de la Sociedad de Ecología Americana (ESA) y el premio Lifetime Achievement Award de la Western Society of Naturalists.

BRETT DICKSON es presidente e investigador jefe de Conservation Science Partners y profesor asociado de la Universidad del Norte de Arizona. Su investigación incorpora herramientas de la ecología del paisaje y la vida silvestre para resolver problemas de conservación en toda América del Norte.

DAVID DOBKIN es director ejecutivo emérito del Greater Hart-Sheldon Conservation Fund y del High Desert Ecological Research Institute en Bend, Oregon. Ha realizado investigaciones sobre una amplia variedad de taxones en paisajes áridos del oeste de América del Norte, centrándose en particular en la ecología de los paisajes de arbustos y estepas, con énfasis en las comunidades de aves ribereñas.

THOMAS L. FLEISCHNER es director ejecutivo del Instituto de Historia Natural, y profesor emérito del Prescott College. Su trabajo siempre está enraizado en la historia natural, la ecología y la biología de la conservación. Es editor de *Nature, Love, Medicine: Essays On Wildness and Wellness, and The Way of Natural History*, y autor de numerosos artículos y libros en historia natural y conservación.

ERICA FLEISHMAN es profesora y directora del Centro para el Manejo Ambiental de Military Lands, Colorado State University. Su investigación se centra en la integración de la ciencia de la conservación con la gestión de territorio público y privado en el oeste de los Estados Unidos.

BRENDON LARSON es profesor en la Facultad de Medio Ambiente de la Universidad de Waterloo. Es un científico social interdisciplinario que integra su experiencia de toda una vida como naturalista y biólogo con la investigación actual sobre las dimensiones sociales de la conservación de la biodiversidad.

JULIE LOCKWOOD es profesora en el Departamento de Ecología, Evolución y Recursos Naturales de la Universidad de Rutgers. Su investigación es transversal entre conservación biológica, biogeografía y ecología de invasiones. Tiene un laboratorio muy activo y diverso, y ha coescrito varios libros sobre conservación e invasiones biológicas.

GARY NABHAN posee la asignatura W. K. Kellogg en Southwest Borderlands Food and Water Security en el Southwest Center de la Universidad de Arizona. Es un célebre escritor de naturaleza, etnobotánico, biólogo de la conservación y activista de agricultura sostenible internacionalmente reconocido por *Utne Reader* y *Mother Earth News* como “el padre del movimiento de comida local”.

BARRON ORR es investigador líder de la Convención para el Combate de la Desertificación de la Naciones Unidas (UNCCD). Es además, Profesor Emeritus de la Universidad de Arizona en EE.UU., donde ejerce como especialista para NASA Geospatial Extension. Su investigación se focaliza en el acoplamiento entre sistemas naturales y humanos y la neutralidad para la degradación de la tierra.

STUART L. PIMM es el Profesor Doris Duke de Ecología de la Conservación en la Escuela Nicholas del Medio Ambiente en la Universidad de Duke. Sus intereses incluyen las ciencias ambientales, la política y la conservación. La experiencia de Pimm radica en la extinción de especies y lo que se puede hacer para prevenirlas, así como la pérdida de bosques tropicales y sus consecuencias para la biodiversidad.

KIRSTEN ROWELL es curadora de malacología en el Museo de Historia Natural y Cultura de Burke y profesora asistente en el Departamento de Biología de la Universidad de Washington. Su investigación abarca diversas disciplinas (geología, ecología y biología de la conservación) y utiliza remanentes óseos antiguos para revelar las historias nunca contadas de peces y almejas que han vivido a lo largo de alteraciones humanas de gran escala en sus hábitats.

RICARDO ROZZI es el director del Programa de Conservación Biocultural Subantártica coordinado por la Universidad de Magallanes (UMAG) y el Instituto de Ecología y Biodiversidad en Chile, y la Universidad del Norte de Texas (UNT) en los Estados Unidos. Es profesor en UNT, y su investiga-

ción integra ciencias ecológicas y la filosofía ambiental en la conservación biocultural.

ANNE SALOMON es ecóloga marina, Pew Fellow y profesora asociada en la Universidad Simon Fraser. Ella integra ecología comunitaria y ecología de ecosistemas con ciencias sociales para avanzar en el entendimiento de las interacciones y retroalimentaciones que determinan la resiliencia en sistemas socio-ecológicos.

STEVEN SESNIE es ecólogo espacial del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, Región Suroeste, en Albuquerque, Nuevo México. Se especializa en teledetección, caracterización del hábitat de la vida silvestre y ecología forestal.

TOM STOHLGREN es investigador principal del Laboratorio Nacional de Ecología de Recursos en la Universidad Estatal de Colorado. Está interesado en los ecosistemas alterados por el hombre y los efectos locales y globales de plantas invasoras, animales y enfermedades.

GEERAT J. VERMEIJ es un distinguido profesor en el Departamento de la Tierra y Ciencias Planetarias de la Universidad de California - Davis. Es un experto en ecología marina y paleoecología. Ha estudiado la morfología funcional de los moluscos marinos y las reacciones coevolucionarias entre depredadores y presas, y así como sus efectos sobre la morfología, la ecología y la evolución.

JAKE F. WELTZIN es ecólogo del Servicio Geológico de EE.UU. y director ejecutivo de la Red Nacional de Fenología de EE.UU. Sus intereses abarcan cómo la estructura y la función de las comunidades de plantas y los ecosistemas podrían responder al cambio ambiental global, incluida la química atmosférica, el cambio climático y las invasiones biológicas.

KRISTIN WISNESKI tiene una maestría en ecología y manejo de praderas en la Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad de Arizona. Su trabajo e investigación se centra en el potencial que tiene la tecnología para ayudar a los jóvenes a aprender sobre ciencia mientras resuelven problemas en sus comunidades y el medio ambiente.

Este libro,
editado por la
Editorial Universidad de Concepción,
se terminó de imprimir
en el mes de noviembre de 2018
en los talleres de
Trama Impresores S.A.
Hualpén, Chile

