

# Capítulo 1 | Naturaleza de la ecología

- 1.1 Los organismos interactúan con el medio ambiente en el contexto del ecosistema
- 1.2 Los componentes del ecosistema forman una jerarquía
- 1.3 La ecología tiene unas raíces complejas
- 1.4 La ecología tiene vínculos estrechos con otras disciplinas
- 1.5 Los ecólogos utilizan métodos científicos
- 1.6 Los experimentos pueden conducir a predicciones
- 1.7 La incertidumbre es una característica inherente a la ciencia
- 1.8 El individuo es la unidad básica de la ecología

**Los organismos interactúan con su medio ambiente en muchos niveles. Las condiciones físicas que rodean a un organismo, como la temperatura ambiente, la humedad y la intensidad de la luz, influyen en los procesos fisiológicos básicos que son cruciales para la supervivencia y el crecimiento. El organismo debe procurar adquirir los recursos esenciales del medio ambiente que lo rodea y al hacerlo debe protegerse para no transformarse en alimento de otros organismos. Debe diferenciar un amigo de un enemigo, distinguiendo entre compañeros potenciales y posibles depredadores, todo ello en un intento de tener éxito en el objetivo final de todos los organismos vivos: pasar sus genes a las generaciones posteriores.**

El medio ambiente en el cual cada organismo lleva a cabo su «lucha por la existencia» es un lugar, una localización física en el tiempo y en el espacio. Puede ser tan grande y estable como un océano o tan pequeño y transitorio como un charco en el suelo después de una lluvia de primavera. Este medio ambiente incluye tanto las condiciones físicas como la variedad de organismos que coexisten dentro de sus límites. Esta entidad es lo que los ecólogos denominan el ecosistema.

## 1.1 | Los organismos interactúan con el medio ambiente en el contexto del ecosistema

Los organismos interactúan con el medio ambiente dentro del contexto del **ecosistema**. La parte *eco* de la palabra se refiere al ambiente. La parte *sistema* implica que el ecosistema funciona como un conjunto de partes relacionadas

formando una unidad. El motor de un automóvil es un ejemplo de un sistema; los componentes, como el sistema de encendido y la bomba de alimentación, funcionan juntos dentro de un contexto más amplio que es el motor. De forma similar, el ecosistema consta de componentes que interactúan funcionando como una unidad. En términos generales, el ecosistema está formado por dos componentes básicos que interactúan: el componente vivo, o **biótico** y el físico, o **abiótico**.

Tomemos como ejemplo un ecosistema natural, como un bosque (Figura 1.1). El componente físico (abiótico) del bosque consta de la atmósfera, el clima, el suelo y el agua. El componente biótico incluye muchos organismos diferentes, plantas, animales y microorganismos, que habitan el bosque. Las relaciones son complejas dado que cada organismo no sólo responde al ambiente físico sino que también lo modifica y, al hacerlo, se transforma en parte del mismo ambiente. Los árboles de la cubierta vegetal de un bosque interceptan la luz solar y utilizan su energía



**Figura 1.1** | El interior de un ecosistema forestal en la costa del sudeste de Alaska. Obsérvese la estructura vertical dentro de este bosque. Los árboles picea de sitka (*Picea sitchensis*) forman una bóveda que intercepta la luz directa del sol y varias especies de musgos cubren la superficie de las ramas muertas que se extienden desde la bóveda al suelo. Una variedad de arbustos y especies de plantas herbáceas forman el sotobosque y otra capa de musgos cubre el suelo del bosque, teniendo acceso a los nutrientes que suministran la comunidad de bacterias y hongos que funcionan como descomponedores en la superficie del suelo. Además, este bosque es el hogar de una amplia variedad de animales vertebrados e invertebrados, entre los que se incluyen especies de mayor tamaño como el águila calva, el ciervo de cola negra, y el oso pardo de Alaska.

para desarrollar el proceso de la fotosíntesis. Al hacerlo, los árboles modifican el medio ambiente de las plantas que están por debajo de ellos, al reducir la luz solar y bajar la temperatura del aire. Los pájaros que buscan insectos en la capa del suelo cubierta de hojas caídas reducen la cantidad de insectos y modifican el medio ambiente para otros organismos que dependen de este recurso alimenticio compartido. Al reducir las poblaciones de insectos de los cuales se alimentan, las aves también influyen indirectamente sobre las interacciones entre diferentes especies de insectos que habitan el suelo de la selva. Exploraremos estas complejas interacciones entre los ambientes vivo y físico con mayor detalle en los siguientes capítulos.

## 1.2 | Los componentes del ecosistema forman una jerarquía

Los diversos tipos de organismos que habitan nuestros bosques forman poblaciones. El término *población* tiene muchos usos y significados en otras disciplinas. En ecología, una **población** es un grupo de individuos de la misma especie que ocupa una zona determinada. Las poblaciones de plantas y animales del ecosistema no funcionan de forma independiente unas de otras. Algunas poblaciones compiten con otras poblaciones por recursos limitados, como comida, agua o espacio. En otros casos, una población es el recurso alimenticio de otra. Dos poblaciones pueden beneficiarse mutuamente, cada una de ellas funcionando mejor en presencia de la otra. Todas las poblaciones de diferentes especies que viven e interactúan dentro de un ecosistema se denominan colectivamente **comunidad**.

Ahora podemos ver que el ecosistema, formado por la comunidad biótica y el medio ambiente físico, tiene muchos niveles. En un primer nivel, los organismos individuales, que incluyen a los seres humanos, responden al medio ambiente físico e influyen sobre él. En el siguiente nivel, los individuos de la misma especie forman poblaciones, tal como una población de robles blancos o de ardillas grises del bosque, que pueden describirse en términos de cantidad, tasa de crecimiento y distribución por edades. Además, los individuos de estas poblaciones interactúan entre sí y con los individuos de otras especies para formar una comunidad. Los herbívoros consumen plantas, los depredadores se alimentan de sus presas, y los individuos compiten por recursos limitados. Cuando los individuos mueren, otros organismos consumen y destruyen sus restos, reciclando los nutrientes contenidos en su tejido muerto nuevamente en el suelo. La ecología es el estudio de todas estas relaciones, la red completa de interacciones entre los organismos y su medio ambiente.

## 1.3 | La ecología tiene unas raíces complejas

La genealogía de la mayoría de las ciencias es directa. Es relativamente fácil rastrear las raíces de las matemáticas, de la química y de la física. La ciencia de la ecología es diferente. Sus raíces son complejas y están entrelazadas con una amplia variedad de adelantos científicos que han tenido lugar en otras disciplinas dentro de las ciencias biológicas y físicas. Aunque el término *ecología* no apareció hasta mediados del siglo XIX, haciendo falta otro siglo para incorporarse al lenguaje, la idea de ecología es mucho más antigua.

Se podría argumentar que la ecología se remonta al antiguo erudito griego Teofrasto, amigo de Aristóteles, quien escribió acerca de las relaciones entre los organismos y el medio ambiente. Por otra parte, la ecología tal y como

la conocemos hoy en día tiene sus primeras raíces en la geografía de las plantas y en la historia natural.

A comienzos del siglo XIX, los botánicos empezaron a explorar y a trazar un mapa de la vegetación del mundo. Los primeros geógrafos de plantas como Carl Ludwig Willdenow (1765-1812) y Friedrich Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859) señalaron que las regiones del mundo con climas similares tenían vegetación similar en su forma, aunque las especies eran diferentes. El reconocimiento de que la forma y la función de las plantas dentro de una región reflejaban las constricciones impuestas por el medio ambiente físico abrió el camino a una nueva generación de científicos que exploraron la relación entre la biología y la geografía de las plantas (véase la Octava parte).

En esta nueva generación de científicos estaba Johannes Warming (1841-1924) de la Universidad de Copenhague quien estudió la vegetación tropical de Brasil. Escribió el primer texto sobre ecología de las plantas, *Plantensamfund*. En este libro, Warming integró la morfología, fisiología, taxonomía y biogeografía de las plantas en un todo coherente. Este libro tuvo una tremenda influencia en el desarrollo temprano de la ecología.

Mientras tanto, algunas actividades realizadas en otras áreas de la historia natural estaban asumiendo un importante papel. Cuando estaba desarrollando su teoría de la evolución y el origen de las especies, Charles Darwin (véase el Capítulo 2) encontró los escritos de Thomas Malthus (1766-1834). Malthus, un economista, presentó el principio de que las poblaciones crecían en progresión geométrica, duplicándose a intervalos regulares hasta que sobrepasaban los recursos alimenticios. Finalmente, la población se vería restringida por una «fuerza poderosa, de efecto constante, como la enfermedad y la muerte prematura». A partir de este concepto, Darwin desarrolló la idea de la «selección natural» como mecanismo que guía la evolución de nuevas especies (véase el Capítulo 2).

Por aquel entonces, un monje austriaco desconocido para Darwin, Gregor Mendel (1822-1884), estudiaba en su jardín la transmisión de las características de una generación de plantas de guisantes a otra (véase el Capítulo 2). El trabajo de Mendel acerca de la herencia y el trabajo de Darwin acerca de la selección natural sentaron las bases del estudio de la evolución y la adaptación, el campo de **la genética de poblaciones**.

La teoría de la selección natural de Darwin, combinada con la nueva comprensión de la genética, los medios por los cuales se transmiten las características de una generación a la siguiente, brindaron los mecanismos para comprender la relación entre los organismos y su medio ambiente: el punto central de la ecología.

Los primeros ecólogos, en especial los ecólogos vegetales, estaban ocupados en la observación de los patrones de los organismos en la naturaleza, intentando comprender cómo se forman y se mantienen tales patrones por interac-

ciones con el medio ambiente físico. Algunos, especialmente Frederic E. Clements, buscaron algún sistema para organizar la naturaleza. Propuso que la comunidad de plantas se comporta como un organismo complejo o súper organismo que crece y se desarrolla a través de ciclos hasta una etapa de madurez o clímax (véase el Capítulo 18). Su idea fue aceptada y desarrollada por otros ecólogos. Sin embargo, algunos ecólogos como Arthur G. Tansley (1871-1955) no compartieron este punto de vista. En su lugar propuso un concepto ecológico holístico e integrado que combinaba a los organismos vivos y su medio ambiente físico en un sistema, al cual denominó ecosistema (véase el Capítulo 20).

Mientras que los primeros ecólogos vegetales estaban especialmente preocupados por la vegetación terrestre, un grupo de biólogos europeos estaba interesado en la relación entre plantas y animales acuáticos y su medio ambiente. Propusieron ideas acerca de los niveles de reciclado de nutrientes orgánicos y de alimentación, usando los términos *productores* y *consumidores*. Su trabajo tuvo influencia sobre un joven limnólogo, Raymond A. Lindeman, de la Universidad de Minnesota. Lindeman trazó relaciones de «disponibilidad de energía» en una comunidad lacustre. Junto con los escritos de Tansley, el artículo de Lindeman «The Trophic-Dynamic Aspects of Ecology» (Los aspectos trófico-dinámicos de la ecología) escrito en 1942, señaló el comienzo de la **ecología de los ecosistemas**, o el estudio de todos los sistemas vivos.

La ecología animal inicialmente se desarrolló de forma muy independiente a los desarrollos tempranos de la ecología vegetal. Los comienzos de la ecología animal pueden remontarse a dos europeos. R. Hesse, de Alemania y Charles Elton, de Inglaterra. *Animal Ecology* de Elton (1927) y *Tiergeographie auf logischer grundlage* (1924) de Hesse, traducida al inglés como *Ecological Animal Geography*, influyeron en el desarrollo de la ecología animal en Estados Unidos. Charles Adams y Victor Shelford fueron dos pioneros en ecología animal en EE.UU. Adams publicó el primer libro sobre ecología animal, *A Guide to the Study of Animal Ecology* (1913). Shelford escribió *Animal Communities in Temperate America* (1913).

Shelford imprimió un nuevo rumbo a la ecología al hacer hincapié en la interrelación entre plantas y animales. La ecología se convirtió en una ciencia de comunidades. Algunos ecólogos europeos anteriores, en especial el biólogo marino Karl Möbius, habían desarrollado el concepto general de comunidad. En su ensayo *Un banco de ostras es una biocenosis* (1877), Möbius explicó que el banco de ostras, aunque estaba dominado por un único animal, en realidad era una comunidad compleja con muchos organismos interdependientes. Propuso la palabra *biocenosis* para tal comunidad. La palabra proviene del griego y significa *vida que tiene algo en común*.

La aparición en 1949 de los enciclopédicos *Principles of Animal Ecology* por cinco miembros de la segunda genera-

ción de ecólogos de la Universidad de Chicago (W. C. Allee, A. E. Emerson, Thomas Park, Orlando Park y K. P. Schmidt) señalaron el rumbo que debía tomar la ecología moderna. En éste se enfatizaban las relaciones de alimentación y los presupuestos de energía, la dinámica poblacional y la selección y evolución naturales.

Los escritos del economista Thomas Malthus que tuvieron tanta influencia en el desarrollo de las ideas de Darwin acerca del origen de las especies, también estimularon el estudio de las poblaciones naturales. El estudio de las poblaciones a comienzos del siglo xx se dividió en dos campos. Uno de ellos, la **ecología de poblaciones**, se ocupa del crecimiento (incluye tasas de natalidad y de mortalidad), fluctuación, dispersión e interacciones de la población. El otro, la **ecología evolutiva**, se ocupa de la selección natural y de la evolución de las poblaciones. Muy relacionada con la ecología de poblaciones y la ecología evolutiva está la **ecología de comunidades**, que se ocupa de las interacciones entre las especies. Uno de los objetivos más importantes de la ecología de comunidades es entender el origen, el mantenimiento y las consecuencias de la diversidad dentro de comunidades ecológicas.

Al mismo tiempo, surgió la **ecología fisiológica**. Se ocupa de las respuestas de cada organismo a la temperatura, humedad, luz y otras condiciones ambientales.

Las observaciones de la historia natural también generaron la **ecología del comportamiento**. Los estudios del comportamiento del siglo xix incluyeron estudios de las hormigas por William Wheeler y de los monos sudamericanos por Charles Carpenter. Más tarde, Konrad Lorenz y Niko Tinbergen dieron un fuerte impulso al campo con sus estudios pioneros acerca del papel del troquelado y el instinto en la vida social de los animales, particularmente peces y aves.

Con el progreso de la biología, de la física y de la química en la última parte del siglo xx, surgieron nuevas áreas de estudio en ecología. El desarrollo de la fotografía aérea, y más tarde el lanzamiento de satélites en el programa espacial de EE.UU., brindó a los científicos una nueva perspectiva de la superficie de la tierra mediante el uso de datos recogidos por teledetección. Los ecólogos comenzaron a explorar los procesos espaciales que relacionaban comunidades y ecosistemas adyacentes a través de un campo surgido recientemente, la **ecología del paisaje**. Una nueva apreciación del impacto producido por el cambio del uso de la tierra en los ecosistemas naturales condujo al desarrollo de la **ecología de la conservación**, que aplica principios de muchos campos diferentes, desde la ecología a la economía y la sociología, para el mantenimiento de la diversidad biológica. La aplicación de los principios de desarrollo y función de los ecosistemas en la gestión de tierras dañadas ha dado origen a la **ecología de la restauración**. Por otra parte, la comprensión de la tierra como sistema es enfoque de la disciplina más reciente del estudio ecológico: la **ecología global**.

## 1.4 | La ecología tiene vínculos estrechos con otras disciplinas

Las complejas interacciones que tienen lugar dentro del ecosistema conllevan todo tipo de procesos físicos y biológicos. Para estudiar estas interacciones, los ecólogos tienen que recurrir a otras ciencias. Esta dependencia hace de la ecología una ciencia interdisciplinaria.

Aunque en los capítulos siguientes exploraremos temas que normalmente son materias de disciplinas como la bioquímica, la fisiología y la genética, lo hacemos solamente para entender la interacción de los organismos con su medio ambiente. El estudio de cómo las plantas toman el dióxido de carbono y pierden agua (véase el Capítulo 6), por ejemplo, pertenece a la fisiología vegetal. La ecología estudia de qué forma estos procesos responden a variaciones en las precipitaciones y en la temperatura. Esta información es crucial para comprender la distribución y abundancia de las poblaciones de plantas y la estructura y función de los ecosistemas sobre de la tierra. De forma similar, debemos recurrir a muchas de las ciencias físicas, como la geología, la hidrología y la meteorología. Nos ayudarán a registrar otras formas de interacción entre los organismos y su ambiente. Por ejemplo, cuando las plantas toman agua, influyen sobre la humedad del suelo y los patrones de flujo de las aguas superficiales. Cuando liberan agua, aumentan el contenido de agua de la atmósfera e influyen sobre los patrones regionales de precipitación. La geología de una zona influye en la disponibilidad de nutrientes y agua para el crecimiento de las plantas. En cada ejemplo, otras disciplinas científicas son cruciales para comprender cómo los organismos individuales responden a su ambiente y lo modifican.

Al hacer la transición del siglo xx al siglo xxi, la ecología ha traspasado una frontera que requiere ampliar nuestra visión de la ecología para incluir el papel dominante de los seres humanos sobre la naturaleza. Entre los muchos problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad, pueden identificarse cuatro principales ámbitos amplios e interrelacionados: el crecimiento de la población humana, la diversidad biológica, la sostenibilidad y el cambio climático global. Dado que la población humana creció desde aproximadamente 500 millones a más de 6.000 millones en los últimos dos siglos, los cambios drásticos en el uso del suelo alteraron la superficie de la tierra. La tala de bosques para la agricultura ha destruido muchos hábitats naturales, produciendo una tasa de extinción de especies sin precedentes en la historia de la tierra. Además, la población humana en expansión está explotando los recursos naturales hasta niveles insostenibles. Debido a la creciente demanda de energía de combustibles fósiles requeridos para sostener el crecimiento económico, la química de la atmósfera está cambiando a formas que pueden alterar el clima de la tierra. Estos problemas ambientales son de na-



Existe una tendencia por la cual los ecólogos distinguen entre la ciencia básica de la ecología (el estudio de la interacción de los organismos con su medio ambiente) y la aplicación de la ecología para comprender las interacciones humanas con el medio ambiente. La primera normalmente se asocia con el estudio del «mundo natural», el ambiente aparte de los seres humanos, mientras que la última se ocupa de los efectos de las actividades humanas sobre el medio natural. Esta distinción se extiende a las revistas profesionales en las cuales se informa sobre los resultados de las investigaciones. Los estudios del mundo natural se publican en revistas como *Ecology* (Ecología) de la Sociedad Ecológica de EE.UU y *Journal of Ecology* (Diario de ecología) de la Sociedad Ecológica Británica, mientras que la influencia de las actividades humanas sobre el medio ambiente aparece en *Ecological Applications* (Aplicaciones ecológicas) de la Sociedad Ecológica de EE.UU y *Journal of Applied Ecology* (Diario de ecología aplicada) de la Sociedad Ecológica Británica. Sin embargo, esta distinción tradicional resulta cada vez más difícil de mantener, tanto en la teoría como en la práctica. Dado que esta distinción se vuelve difusa, los ecólogos tienen que ampliar la propia definición de lo que constituye el «mundo natural».

Nuestra especie tiene una influencia cada vez mayor sobre el medio ambiente de la tierra. La población humana actualmente excede los seis mil millones y, como nuestra población, nuestro impacto colectivo sobre el medio ambiente del planeta continúa creciendo. Usamos más del 50 por ciento de los recursos de agua dulce y nuestras actividades han transformado entre el 30 y el 40 por ciento de la superficie terrestre para producir alimento, combustible y fibras (vea el Capítulo 27). Aunque la contaminación aérea ha sido durante mucho tiempo una preocupación, los cambios en la atmósfera producidos por la combustión de combustibles fósiles actualmente puede cambiar el clima de la tierra (véase el Capítulo 29).

En su libro de 1989, *The End of Nature* el ecólogo Hill McKibben declaraba el fin de la naturaleza. El tema central de su declaración fue que los seres humanos habían alterado de tal forma el medio ambiente de la tierra que la naturaleza, «la provincia alejada y salvaje, el mundo aparte del hombre», ya no existía. Aunque muchos de nosotros podemos no estar de acuerdo con McKibben, resulta cada vez

más difícil estudiar el mundo natural sin considerar la influencia de las actividades humanas, pasadas y presentes, sobre los sistemas ecológicos que son el centro de nuestra investigación. Por ejemplo, los bosques del este de Norteamérica fueron talados para el asentamiento y la producción agrícola (cereales y/o pastos) en la última parte del siglo XIX. Muchas de estas tierras no fueron abandonadas hasta los años 30 y 40, cuando la producción agrícola se trasladó hacia el Oeste, permitiendo la reforestación (crecimiento de los bosques) en el este de Norteamérica. Los ecólogos no pueden estudiar estos ecosistemas sin considerar explícitamente su historia. No podemos comprender la distribución y abundancia de las especies de árboles de toda la región sin comprender los patrones pasados de utilización de los suelos. No podemos estudiar la circulación de nutrientes en las cuencas hídricas arboladas sin comprender la velocidad a la cual el nitrógeno y otros nutrientes son depositados por los contaminantes atmosféricos (véase el Capítulo 22). Tampoco podemos comprender las causas del declive de la población de especies de aves que habitan los bosques del este de Norteamérica sin comprender cómo la fragmentación de las tierras arboladas del desarrollo rural y urbano ha restringido los patrones de movimiento, la susceptibilidad a la depredación y la disponibilidad del hábitat. Algunos de los principales problemas a los que se enfrentan actualmente los ecólogos están directamente relacionados con los efectos potenciales de las actividades humanas en los ecosistemas terrestre y acuático y con la diversidad de la vida que soportan. A lo largo de todo el texto señalaremos estas cuestiones y temas en Cuestiones de ecología con el fin de ilustrar la importancia de la ciencia de la ecología para comprender mejor las relaciones humanas con el medio ambiente: un ambiente del cual constituimos parte. ●

1. ¿Cómo definiría la naturaleza? ¿Su definición incluye a la especie humana? ¿Por qué?
2. ¿Cuál consideraría que es el problema ambiental más importante de su tiempo? ¿Qué papel podría desempeñar la ciencia de la ecología (tal y como usted la conoce) para ayudarnos a comprender este problema?

turalidad ecológica, y la ciencia de la ecología es esencial para comprender sus causas e identificar los medios para mitigar sus impactos (Véase Cuestiones de ecología: El factor humano y la Novena parte: Ecología humana). Sin

embargo, afrontar estos problemas requiere un marco interdisciplinario más amplio para comprender mejor sus dimensiones histórica, social, legal, política y ética. Ese marco más amplio se conoce como ciencia del medio am-

biente. La ciencia del medio ambiente examina el impacto del ser humano sobre el medio ambiente natural y como tal comprende una amplia variedad de temas que incluyen agronomía, edafología, demografía, agricultura, energía e hidrología, por nombrar algunos.

## 1.5 | Los ecólogos utilizan métodos científicos

Para investigar la relación de los organismos con su medio ambiente, los ecólogos deben llevar a cabo estudios experimentales en el laboratorio y en el campo. Todos estos estudios tienen algo en común, implican la recopilación de datos para demostrar hipótesis (véase Cuantificando la ecología 1.1: Clasificación de datos ecológicos). Una **hipótesis** es la «suposición fundamentada» que un científico presenta para explicar un fenómeno observado; debería ser una afirmación de causa y efecto capaz de evaluarse. Una hipó-

tesis puede basarse en la observación en el campo o en el laboratorio o en investigaciones previas.

Por ejemplo, un ecólogo podría plantear la hipótesis de que la disponibilidad del nitrógeno como nutriente es el principal factor que limita el crecimiento y la producción de las plantas en las praderas de Norteamérica. Para demostrar esta hipótesis, el ecólogo puede reunir datos en varias formas. El primer enfoque podría ser un estudio de campo. El ecólogo examinaría la relación entre el nitrógeno disponible y la producción de la pradera en un cierto número de localidades. Ambos factores varían en función del suelo. Si el nitrógeno controla la producción de la pradera, la producción debería aumentar con el nitrógeno. El ecólogo mediría la disponibilidad de nitrógeno y la producción de la pradera en determinados lugares de la región. Posteriormente, la relación entre estas dos variables, nitrógeno y producción, podría expresarse gráficamente (véase Cuantificando la ecología 1.2: Visualización de datos ecológicos: histogramas y gráficos de dispersión).

### Cuantificando la ecología 1.1 | Clasificación de datos ecológicos



Todos los estudios ecológicos implican recopilar datos (observaciones y medidas en función de las cuales se pueden proponer hipótesis y extraerse conclusiones acerca de una población). El uso del término *población* en este contexto se refiere a una población estadística. Es muy improbable que un investigador pueda reunir observaciones sobre todos los miembros de una población total, así que la parte de la población que realmente es observada se denomina muestra. En función de los datos de esta muestra el investigador extraerá sus conclusiones acerca de la población en general. Sin embargo, no todos los datos son del mismo tipo y el tipo de datos recogidos en un estudio influye directamente sobre la forma de presentación, los tipos de análisis que pueden efectuarse y las interpretaciones que pueden realizarse.

A un nivel general, los datos pueden clasificarse como (1) categóricos o (2) numéricos. Los datos categóricos son observaciones *cualitativas* que se dividen en categorías separadas y fácilmente distinguibles. Los datos resultantes son etiquetas o categorías, como el color del pelo o las plumas, el sexo o el estado reproductor (pre-reproductor, reproductor, post-reproductor). Los datos categóricos pueden subdividirse a su vez en dos tipos: nominales y ordinales. Los datos nominales son datos categóricos en los cuales los objetos se dividen en categorías no ordenadas, como los ejemplos previos del color del pelo o el sexo. Por el contrario, los datos ordinales son datos categóricos en

los cuales el orden es importante, como el ejemplo del estado reproductor. En el caso especial en el cual sólo existen dos categorías, como en el caso de la presencia o ausencia de un rasgo, los datos categóricos se llaman binarios. Tanto los datos nominales como los ordinales pueden ser binarios.

Con los datos numéricos, los objetos pueden «medirse» en función de ciertos rasgos *cuantitativos*. Los datos resultantes son un conjunto de números, como altura, longitud o peso. Los datos numéricos pueden subdividirse en dos tipos: discretos y continuos. Para los datos discretos son posibles solamente ciertos valores, como números enteros o recuentos. Algunos ejemplos son el número de descendientes, la cantidad de semillas producidas por una planta o el número de visitas a una flor por parte de un colibrí durante el transcurso de un día. Con los datos continuos, teóricamente, es posible cualquier valor dentro de un intervalo, solamente limitado por la capacidad del dispositivo de medida. Ejemplos de este tipo de datos incluyen la altura, el peso o la concentración. ●

1. ¿Qué tipo de datos representa el nitrógeno disponible variable (eje  $x$ ) en la Fig. 1.2?
2. ¿Cómo podría usted transformar esta variable (nitrógeno disponible) en datos categóricos? ¿Se consideraría ordinal o nominal?

## Cuantificando la ecología 1.2 | Visualización de datos ecológicos: histogramas y gráficos de dispersión



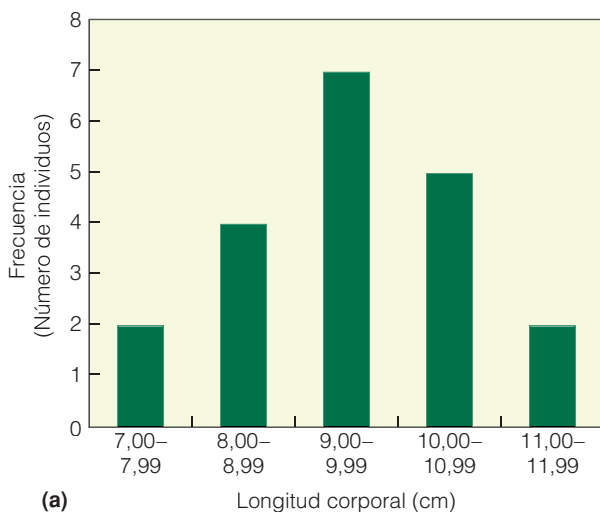
Cualquiera que sea el tipo de datos que recoge un observador (véase Cuantificando la ecología 1.1), el proceso de interpretación generalmente comienza con la visualización gráfica del conjunto de observaciones. El método más común para visualizar un único conjunto de datos es elaborando una distribución de frecuencias. Una distribución de frecuencias es un recuento de la cantidad de observaciones (frecuencia) con una puntuación o valor determinados. Por ejemplo, consideremos el siguiente conjunto de observaciones relativas al color de la flor en una muestra de 100 plantas de guisante.

Color de la flor	Violeta	Rosa	Blanco
Frecuencia	50	35	15

Estos datos son categóricos y nominales, ya que las categorías no tienen un orden inherente.

Las distribuciones de frecuencia también se utilizan para presentar datos continuos. El siguiente conjunto de datos continuos representa la longitud del cuerpo (en centímetros) de 20 peces luna tomados como muestra de un estanque.

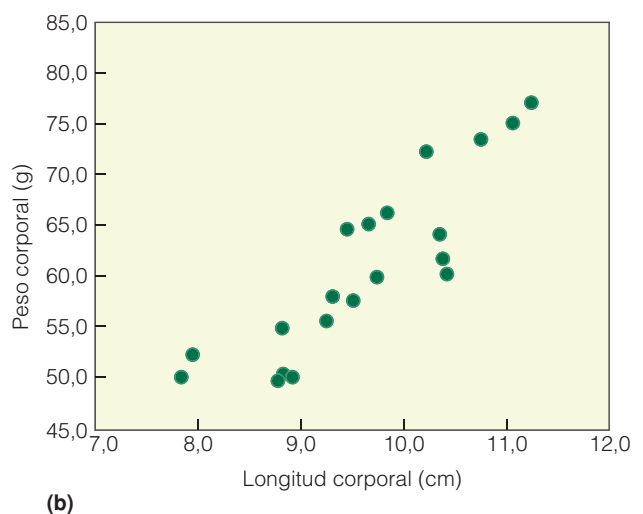
8,83; 9,25; 8,77; 10,38; 9,31; 8,92; 10,22; 7,95;  
9,74; 9,51; 9,66; 10,42; 10,35; 8,82; 9,45; 7,84;  
11,24; 11,06; 9,84; 10,75



Con datos continuos, la frecuencia de cada valor a menudo es un único caso, ya que es improbable que varias medidas sean exactamente iguales. Por lo tanto, los datos continuos normalmente se agrupan en categorías discretas, y cada categoría representa un rango definido de valores. Cada categoría no debe superponerse a otra de manera que cada observación pertenezca solamente a una categoría. Por ejemplo, los datos de longitud corporal podrían agruparse en categorías discretas de la siguiente forma:

Longitud corporal (intervalos, cm)	Número de individuos
7,00-7,99	2
8,00-8,99	4
9,00-9,99	7
10,00-10,99	5
11,00-11,99	2

Una vez que las observaciones se han agrupado en categorías, la distribución de frecuencias resultante puede visualizarse como un histograma (tipo de gráfico de barras) (Figura 1a). El eje  $x$  representa los intervalos discretos de la longitud del cuerpo y el eje  $y$  representa el número de individuos cuya longitud corporal pertenece a cada uno de los intervalos.



**Figura 1:** (a) Ejemplo de un histograma que especifica el número de individuos que pertenecen a diferentes categorías de longitud corporal de una muestra tomada de una población de peces luna. (b) Gráfico de dispersión que especifica la longitud corporal (eje  $x$ ) y el peso corporal (eje  $y$ ) para la muestra de peces luna presentada en (a).

Efectivamente, los datos continuos se han transformado en datos categóricos a efectos de su visualización gráfica. A menos que existan razones previas para definir categorías, la definición de los intervalos forma parte del proceso de interpretación de datos: la búsqueda de un patrón. Por ejemplo, ¿cómo cambiaría el patrón representado en el histograma en la Figura 1a si los intervalos fueran en unidades de 1 pero comenzaran con 7,50 (7,50-8,49, 8,50-9,49, etc.)?

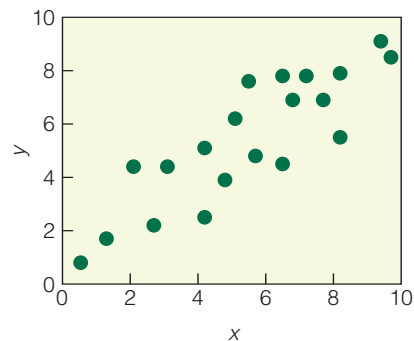
Sin embargo, con frecuencia el investigador examina la relación entre dos variables o conjuntos de observaciones. Cuando ambas variables son numéricas, el método más común de visualizar gráficamente los datos es mediante un **gráfico de dispersión**. Un gráfico de dispersión se construye definiendo dos ejes ( $x$  e  $y$ ), cada uno de los cuales representa una de las dos variables examinadas. Por ejemplo, supongamos que el investigador que recogió observaciones acerca de la longitud corporal de los peces luna pescados en el estanque también midiera su peso en gramos. El investigador podría estar interesado en saber si existe una relación entre la longitud y el peso corporal del pez luna.

En este ejemplo, la longitud corporal sería el eje  $x$ , o variable independiente (Apartado 1.5) y el peso corporal sería el eje  $y$ , o variable dependiente. Una vez que se definen los dos ejes, cada individuo (pez luna) puede dibujarse como un punto en el gráfico, definiéndose la posición de dicho punto por sus valores respectivos de longitud y peso corporal (Figura 1b).

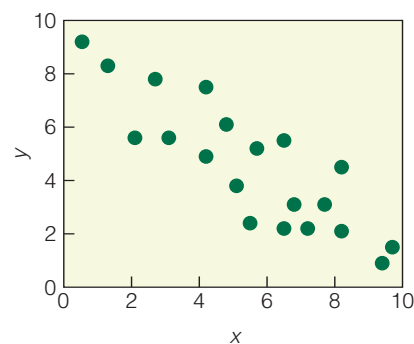
Los gráficos de dispersión pueden describirse como pertenecientes a uno de tres patrones generales representados por los tres gráficos de la Figura 2. En el gráfico (a), hay una tendencia general a que la  $y$  aumente con valores crecientes de  $x$ . En este caso, la relación entre  $x$  e  $y$  se denomina positiva (como con el ejemplo de la longitud corporal y el peso del pez luna). En el gráfico (b), el patrón se invierte e  $y$  disminuye con los valores crecientes de  $x$ . En este caso, la relación entre  $x$  e  $y$  se denomina negativa o inversa. En el gráfico (c), no hay una relación aparente entre  $x$  e  $y$ .

Se presentan a lo largo del texto muchos tipos de gráficos, pero la mayoría serán histogramas y gráficos de dispersión. Sin importar el tipo de gráfico que se muestre, deberá formularse las mismas preguntas indicadas a continuación para ayudarle a interpretar los resultados. Revise este grupo de preguntas aplicándolas a los gráficos de la Figura 1. ¿Qué observa? ●

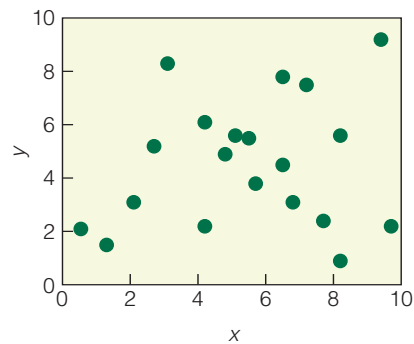
1. ¿Qué tipo de datos representan las observaciones?
2. ¿Qué variables representa cada uno de los ejes y cuáles son sus unidades (cm, g, color, etc.)?



(a)



(b)



(c)

**Figura 2:** | Tres patrones generales de gráficos de dispersión.

3. ¿Cómo varían los valores de  $y$  (variable dependiente) con los valores de  $x$  (variable independiente)?

Vaya a [GRAPHit!](http://www.graphit.com) y [QUANTIFY!](http://www.quantify.com) en [www.ecologyplace.com](http://www.ecologyplace.com) para profundizar más sobre cómo visualizar gráficamente los datos.

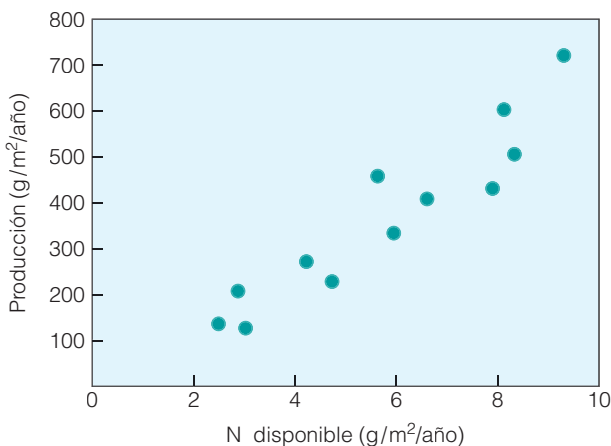


Vaya a **QUANTIFY!** en [www.ecologyplace.com](http://www.ecologyplace.com) para trabajar con histogramas y gráficos de dispersión.

El gráfico de la Figura 1.2 muestra la disponibilidad de nitrógeno en el eje horizontal o  $x$  y la producción de la planta en el eje vertical o  $y$ . La razón de esta disposición es importante. El científico supone que el nitrógeno es la causa y la producción de la planta es el efecto. Debido a que el nitrógeno ( $x$ ) es la causa, nos referimos a ésta como la variable independiente. Dado que la hipótesis es que la producción de la planta ( $y$ ) se ve influida por la disponibilidad de nitrógeno, nos referimos a ésta como la variable dependiente. (Vaya al **GRAPH!** en [www.ecologyplace.com](http://www.ecologyplace.com) si desea consultar un tutorial para leer e interpretar gráficos).

Al examinar las observaciones agrupadas en la Figura 1.2, queda claro que la producción de la hierba efectivamente aumenta con la creciente disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Sin embargo, aunque los datos sugieren que el nitrógeno controla la producción de las praderas, no lo demuestran. Podría ocurrir que otro factor determinado que varía con la disponibilidad de nitrógeno, como la humedad o la acidez, sea realmente el responsable de la relación observada. Para demostrar la hipótesis de una segunda forma, el científico puede decidir llevar a cabo un experimento. En el diseño del experimento, el científico intentará aislar el agente presuntamente causal: en este caso, la disponibilidad de nitrógeno.

El científico podría decidirse por un experimento de campo, agregando nitrógeno a ciertos sitios naturales y no a otros (Figura 1.3). El investigador controla la variable independiente (niveles de nitrógeno) de una forma predefinida y controla la respuesta de la variable dependiente (crecimiento de las plantas). Al observar las diferencias de producción entre las praderas que fueron fertilizadas



**Figura 1.2** | La respuesta de la producción de la pradera a la disponibilidad de nitrógeno. El nitrógeno, la variable independiente, va sobre el eje  $x$ , la producción de la pradera, la variable dependiente, va en el eje  $y$ .



**Figura 1.3** | Experimento de campo en Cedar Creek, estación de Investigación Ecológica a Largo Plazo (IELP), situada en el centro de Minnesota, llevado a cabo por la Universidad de Minnesota. Las parcelas experimentales como las que se observan en la fotografía se utilizan para examinar los efectos de una elevada deposición de nitrógeno, de un aumento de las concentraciones del dióxido de carbono atmosférico y de una pérdida de la biodiversidad en el funcionamiento del ecosistema.

con nitrógeno y aquellas que no lo fueron, el científico trata de demostrar si el nitrógeno es el agente causal. Sin embargo, al seleccionar los lugares para el experimento, el científico deberá intentar localizar las zonas en las que otros agentes que podrían influir sobre la producción, como la humedad y acidez, sean similares. De lo contrario, el científico no sería capaz de asegurar qué factor es responsable de las diferencias observadas en la producción de los distintos lugares.

Finalmente, el científico podría probar con un tercer enfoque: una serie de experimentos de laboratorio. La ventaja de los experimentos de laboratorio es que el científico tiene mucho más control sobre las condiciones ambientales. Por ejemplo, el científico puede cultivar hierbas locales en el invernadero bajo condiciones controladas de temperatura, acidez del suelo y disponibilidad de agua (Figura 1.4). Si las plantas presentan un aumento del crecimiento con una mayor fertilización con nitrógeno, el científico tiene pruebas que apoyan su hipótesis. Sin embargo, el científico



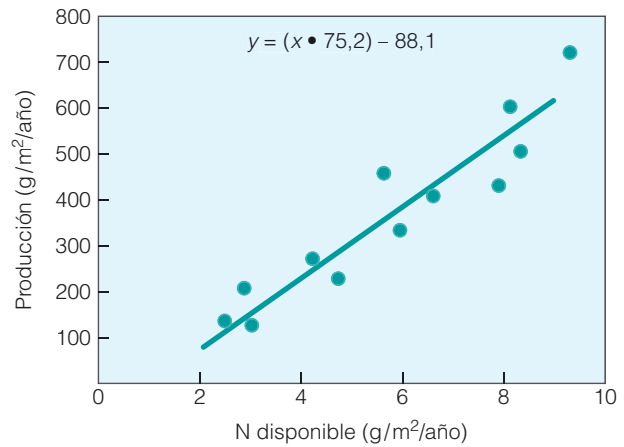
**Figura 1.4** | Estos plántones de *Eucalyptus* se cultivan en el invernadero como parte de un experimento en el cual se examina la respuesta del crecimiento de la planta a distintos niveles de disponibilidad de nutrientes. El investigador que se ve en la imagen utiliza un instrumento portátil para medir las tasas de fotosíntesis de las plantas que han recibido diferentes niveles de nitrógeno durante el período de su crecimiento.

se enfrenta a una limitación común a todos los experimentos de laboratorio: los resultados no son directamente aplicables al campo. La respuesta de las plantas herbáceas bajo condiciones controladas de laboratorio puede no coincidir con su respuesta bajo condiciones naturales en el campo. En el campo, las plantas forman parte del ecosistema e interactúan con otras plantas y animales y con el medio ambiente físico. A pesar de esta limitación, ahora el científico conoce la respuesta básica de crecimiento de las plantas ante la disponibilidad del nitrógeno y continúa diseñando experimentos de laboratorio y de campo para explorar nuevas cuestiones acerca de la relación causa-efecto.

## 1.6 | Los experimentos pueden conducir a predicciones

Los científicos utilizan la interpretación de sus observaciones y experimentos para elaborar modelos. Los datos se limitan al caso especial de lo que ocurrió cuando se efectuaron las medidas. Como las fotografías, los datos representan un lugar y un momento determinado. Los modelos usan la interpretación de los datos para predecir lo que ocurrirá en otro lugar y momento determinados.

Los **modelos** son representaciones abstractas y simplificadas de los sistemas reales. Nos permiten predecir algunas conductas o respuestas mediante un conjunto de supuestos explícitos. Los modelos pueden ser matemáticos, como las simulaciones por ordenador, o pueden ser verbalmente des-



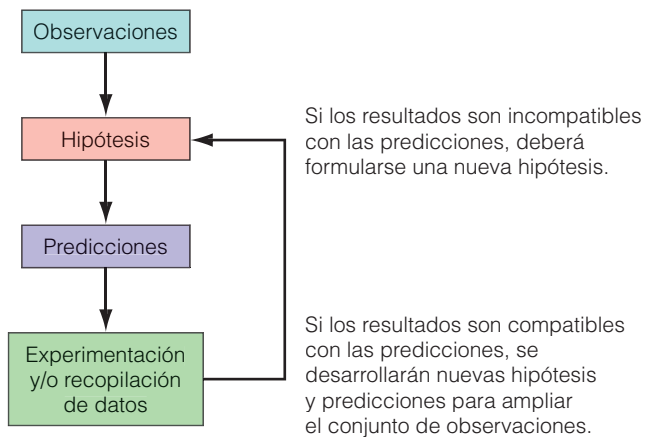
**Figura 1.5** | Modelo de regresión lineal simple para predecir la producción de la planta (eje y) por disponibilidad de nitrógeno (eje x). La forma general de la ecuación es  $y = (x \times b) + a$ , donde  $b$  es la pendiente de la línea (75,2) y  $a$  es la intersección y (-88,1), o el valor de y donde la línea intercepta el eje y.

criptivos, como la teoría de la evolución por selección natural de Darwin. Las hipótesis son modelos. Nuestra hipótesis acerca de la disponibilidad de nitrógeno es un modelo. Predice que la producción de la planta aumentará con una disponibilidad creciente de nitrógeno. Sin embargo, esta predicción es cualitativa, no predice cuánto. Por el contrario, los modelos matemáticos ofrecen predicciones cuantitativas. Por ejemplo, basándonos en los datos de la Figura 1.2, podemos desarrollar una ecuación de regresión, una forma de modelo estadístico que predice la producción de la planta por unidad de nitrógeno del suelo (Figura 1.5). (Véase en [www.ecologyplace.com](http://www.ecologyplace.com) para revisar el análisis de regresión).

Todos los enfoques tratados anteriormente (observación, experimentación, prueba de hipótesis y modelos), aparecen en los capítulos siguientes para ilustrar conceptos y relaciones básicas. Son las herramientas básicas de la ciencia.

## 1.7 | La incertidumbre es una característica inherente a la ciencia

Recoger observaciones, desarrollar y demostrar hipótesis, y construir modelos predictivos constituye la base del método científico (Figura 1.6). Se trata de un proceso continuo de probar y corregir conceptos para explicar la variación que observamos en el mundo que nos rodea, logrando así una unidad entre observaciones que a primera vista no parecerían relacionadas. La diferencia entre ciencia y arte es que, aunque ambas incluyen la creación de conceptos, en la ciencia su exploración está limitada por los hechos. En la ciencia la única prueba de conceptos es su verdad empírica.



**Figura 1.6** | Representación sencilla del método científico. Las observaciones conducen al desarrollo de un modelo conceptual de cómo funciona el sistema que se está estudiando. A partir del modelo conceptual, se elabora una hipótesis de la cual se producen ciertas predicciones. Éstas se demuestran mediante experimentación y/u otras observaciones. Si los resultados del estudio son incompatibles con las predicciones (resultado negativo), el modelo conceptual original y la hipótesis deben volver a evaluarse y deberá formularse una nueva hipótesis. Si los resultados son compatibles con la predicción (resultado positivo), el modelo conceptual puede modificarse haciendo más flexibles los supuestos previos. A continuación, la hipótesis se modifica para incluir otras predicciones y el proceso de prueba se repite.

Sin embargo, no existe permanencia para los conceptos científicos porque son nuestras interpretaciones de los fenómenos naturales. Estamos limitados a inspeccionar solamente una parte de la naturaleza porque tenemos que simplificar para entender. Como expresamos en el Apartado 1.5, cuando diseñamos experimentos controlamos los factores pertinentes e intentamos eliminar otros que puedan confundir los resultados. Nuestra intención es centrarnos en un subconjunto de la naturaleza a partir del cual podamos establecer causa y efecto. La contrapartida es que cualquiera que sea la causa y el efecto que logremos identificar, representará solamente una conexión parcial con la naturaleza que esperamos comprender. Por esa razón, cuando los experimentos y las observaciones apoyan nuestras hipótesis, y cuando las predicciones de los modelos se verifican, nuestro trabajo aún no ha terminado. Trabajamos para aflojar las restricciones impuestas por la necesidad de simplificar para entender. Expandimos nuestra hipótesis para cubrir un espectro más amplio de condiciones y, una vez más, comenzamos probando su capacidad de explicar nuestras nuevas observaciones.

Puede parecer extraño al principio, pero la verdad es que la ciencia es la búsqueda de pruebas que demuestren que nuestros conceptos están equivocados. Rara vez existe

una única explicación posible para una observación. Como resultado, pueden desarrollarse infinidad de hipótesis que puedan ser compatibles con una observación, por lo que determinar las observaciones que son compatibles con una hipótesis no es suficiente para demostrar que dicha hipótesis es verdadera. El objetivo real de someter a prueba una hipótesis es la eliminación de las ideas incorrectas. Por lo tanto, debemos seguir un proceso de descarte, buscando la prueba que demuestre que una hipótesis es equivocada. La ciencia es esencialmente una actividad de autocorrección, dependiente de un proceso de debate continuo. La disconformidad es la actividad de la ciencia, impulsada por la investigación libre y la independencia de pensamiento. Para el observador externo, este proceso esencial de debate puede parecerle un defecto. Después de todo, dependemos de la ciencia para el desarrollo de la tecnología y la capacidad de resolver problemas. En el caso de los problemas ambientales actuales, las soluciones pueden conllevar difíciles decisiones éticas, sociales y económicas. Por esa razón, la incertidumbre inherente a la ciencia resulta incómoda. Sin embargo, no debemos confundir incertidumbre con confusión, ni debemos permitir que el desacuerdo entre los científicos sea una excusa para la falta de acción. Por el contrario, necesitamos comprender la incertidumbre para poder equilibrarla con los costes de la falta de acción.

## 1.8 | El individuo es la unidad básica de la ecología

Como observamos en la exposición previa, la ecología abarca un área de investigación muy amplia, desde individuos hasta ecosistemas. Hay muchos puntos a partir de los cuales podemos comenzar nuestro estudio. Hemos elegido comenzar con el organismo individual, para examinar los procesos que sigue y las restricciones a las que se enfrenta para conservar la vida bajo variadas condiciones medioambientales. El organismo individual forma la unidad básica en ecología. Es el individuo quien detecta y responde al ambiente físico predominante. Son las propiedades colectivas del nacimiento y la muerte de los individuos las que impulsan la dinámica poblacional y son los individuos de diferentes especies los que interactúan mutuamente en el contexto de las comunidades. No obstante, quizá lo más importante es que el individuo, a través del proceso de reproducción, pasa la información genética a individuos sucesivos, definiendo la naturaleza de futuros individuos que formarán parte de las poblaciones, comunidades y ecosistemas del mañana. Con el individuo podemos comenzar a comprender los mecanismos que producen la diversidad de la vida y los ecosistemas de la tierra, mecanismos que se rigen por el proceso de selección natural.

## Resumen

### Ecosistemas (1.1)

Los organismos interactúan con su medio ambiente en el contexto del ecosistema. En términos generales el ecosistema está formado por dos componentes básicos, el vivo (biótico) y el físico (abiótico), que interactúan como sistema.

### Estructura jerárquica (1.2)

Los componentes de un ecosistema forman una jerarquía. Los organismos del mismo tipo que habitan un medio ambiente físico determinado constituyen una población. Las poblaciones de diferentes tipos de organismos interactúan con miembros de su propia especie y también con individuos de otras especies. Estas interacciones van desde la competencia por los recursos compartidos a la depredación, pasando por el beneficio mutuo. Las poblaciones que interactúan constituyen una comunidad biótica. La comunidad más el medio ambiente físico forman el ecosistema.

### Historia de la ecología (1.3)

Los orígenes de la ecología son diversos, pero su raíz principal se remonta a los comienzos de la historia natural y de la geografía vegetal. Éstas evolucionaron al estudio de las comunidades vegetales. La ecología animal se desarrolló más tarde que la ecología vegetal, sentando en última instancia las bases de la ecología de poblaciones, la ecología evolutiva y la ecología del comportamiento.

Los estudios de la respuesta fisiológica de plantas y animales a las características del medio ambiente físico dieron lugar a la ecología fisiológica.

El estudio de la interacción entre especies se desarrolló en el campo de la ecología de comunidades, y los intentos de ampliar la perspectiva de la naturaleza para incluir el medio ambiente físico y la comunidad biótica dieron origen a la ecología de ecosistemas.

El desarrollo de la tecnología moderna y de la creciente influencia de la especie humana en nuestro planeta dio origen a nuevos ámbitos de estudio dentro de la ecología. La ecología del paisaje consiste en el estudio de la relación espacial entre comunidades y ecosistemas en el paisaje. La ecología de la conservación y la ecología de la restauración se centran en la gestión y el restablecimiento de la diversidad de las especies y de los ecosistemas naturales, mientras la ecología global implica la comprensión de la tierra como sistema.

### Una ciencia interdisciplinaria (1.4)

La ecología es una ciencia interdisciplinaria porque las interacciones de los organismos con su medio ambiente y entre sí implican respuestas fisiológicas, de comportamiento y físicas. El estudio de estas respuestas recurre a campos tales como la fisiología, la bioquímica, la genética, la geología, la hidrología y la meteorología.

### Métodos científicos (1.5)

El estudio de los patrones y procesos dentro de los ecosistemas requiere de estudios o experimentos de campo y de laboratorio. La experimentación comienza con la formulación de una hipótesis. La hipótesis es una afirmación acerca de una causa y efecto que puede demostrarse experimentalmente.

### Modelos y predicción (1.6)

En función de los datos de la investigación, los ecólogos desarrollan modelos. Los modelos son abstracciones y simplificaciones de fenómenos naturales. Tal simplificación es necesaria para comprender los procesos naturales.

### Incertidumbre en la ciencia (1.7)

La incertidumbre es una característica inherente al estudio científico; surge a raíz de la limitación de que sólo podemos centrarnos en un pequeño subconjunto de la naturaleza, lo cual resulta en una perspectiva incompleta. Como pueden desarrollarse muchas hipótesis compatibles con una observación, determinar qué observaciones son compatibles con una hipótesis no es suficiente para demostrar que dicha hipótesis es verdadera. El objetivo real de la demostración de la hipótesis es descartar las ideas incorrectas.

### Individuos (1.8)

Los organismos individuales forman la unidad básica de la ecología. El individuo responde al medio ambiente. El nacimiento y la muerte de los individuos de forma colectiva definen la dinámica poblacional y las interacciones interespecíficas e intraespecíficas definen las comunidades. El individuo es el que pasa los genes a las generaciones sucesivas.

## Preguntas de estudio

1. ¿En qué difieren ecología y ecologismo? ¿De qué forma depende el ecologismo de la ciencia de la ecología?
2. Defina los términos *población*, *comunidad* y *ecosistema*.
3. ¿De qué manera podría la inclusión del medio ambiente físico en el marco del ecosistema ayudar a los ecólogos a alcanzar el objetivo básico de comprender la interacción de los organismos con su medio ambiente?
4. ¿Qué es una hipótesis? ¿Qué papel desempeñan las hipótesis en la ciencia?
5. Un ecólogo observó que la dieta de una especie de ave consistía fundamentalmente en semillas de hierba de mayor tamaño (en contraposición con las semillas de hierba de menor tamaño o semillas de otras plantas herbáceas que se encontraban en la zona). El ecólogo formuló la hipótesis que las aves elegían las semillas más grandes porque tenían una mayor concentración de nitrógeno que los otros tipos de semillas presentes en el lugar. Para demostrar la hipóte-