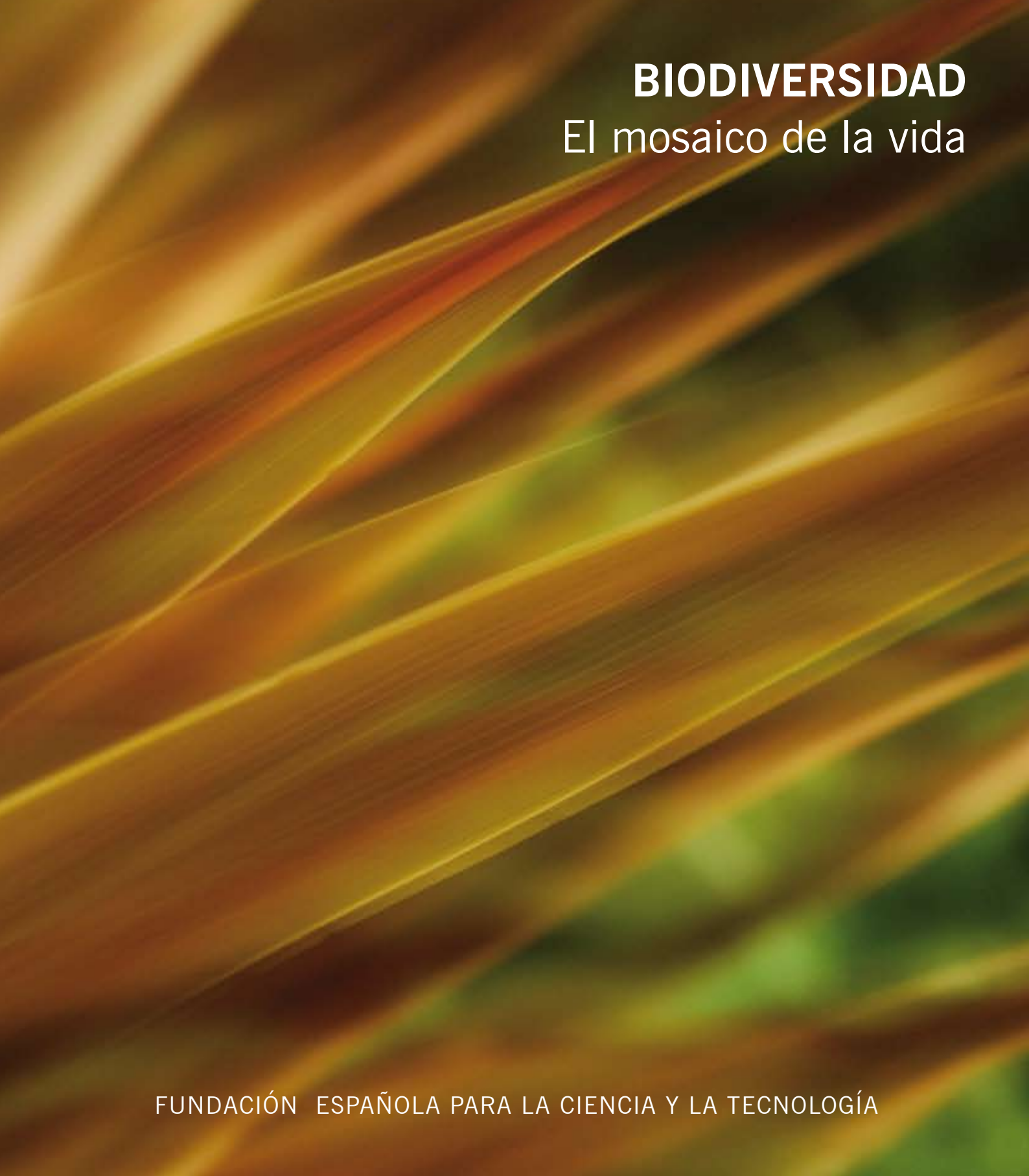




BIODIVERSIDAD

El mosaico de la vida

FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

BIODIVERSIDAD

El mosaico de la vida



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Esta publicación está disponible gratuitamente, en formato pdf, en el apartado de publicaciones de la página Web: <http://www.fecyt.es>, con el fin de facilitar su acceso a la comunidad educativa

La FECYT expresa su más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han colaborado desinteresadamente con la cesión de textos e imágenes

Edita y coordina

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

Coordinación de contenidos

Javier Diéguez Uribeondo

Redacción de textos

Javier Benayas

José María Becerra

Laura Tábara Cayuelas

Fernando Diéguez Rodríguez-Montero

Javier Diéguez Uribeondo

Xavier Eekhout

Antonio García-Valdecasas

Francesca Gherardi

María Paz Martín Esteban

Berta Martín López

Jesús Muñoz

Francisco Abraham Peña Benito

Juan Pimentel

Julian Reynolds

Catherine Souty-Grosset

Coordinadores pedagógicos y Materiales auxiliares:

Fernando Diéguez Rodríguez-Montero

Francisco Abraham Peña Benito

Revisión y edición de textos

Javier Diéguez Uribeondo

Ana M. Correas Galán

Foto portada: Imagen de la serie “Fotosíntesis”. Obra seleccionada en la categoría MACRO de Fotciencia 07.

Autora: Cristina Motilla Mulas

Diseño y maquetación: MADRIDCOLOR I.D., S.L.

Impresión: MADRIDCOLOR I.D., S.L.

Depósito Legal: M-6563-2011

NIPO: 470-11-010-3

ISBN: 978-84-693-9610-0

En todos los casos se prohíbe el uso no autorizado de las imágenes.

Índice



- I. PRESENTACIÓN
- II. PRÓLOGO
- III. ALGUNOS PROTAGONISTAS DE LA BIODIVERSIDAD
 - 1. ¿QUÉ QUEREMOS DECIR CUANDO HABLAMOS DE BIODIVERSIDAD?
Antonio García-Valdecasas, Javier Diéguez Uribeondo
 - 2. ¿CÓMO HEMOS LLEGADO A PENSAR EN LA BIODIVERSIDAD? PRECEDENTES HISTÓRICOS.
Juan Pimentel
 - 3. LOS NÚMEROS DE LA VIDA
Antonio García-Valdecasas
 - 4. BIODIVERSIDAD ESCONDIDA
María Paz Martín
 - 5. MUESTREANDO LA BIODIVERSIDAD
Xavier Eekhout
 - 6. DIVERSIDAD AMENAZADA
Javier Diéguez-Uribeondo, Catherine Souty-Grosset, Julian Reynolds, Jesús Muñoz, Francesca Gherardi
 - 7. VALOR ECONÓMICO DE LA BIODIVERSIDAD
Berta Martín-López, Javier Benayas
 - 8. BIODIVERSIDAD Y CIBERTAXONOMIA
Antonio García-Valdecasas, Laura T. Cayuelas, José María Becerra
 - 9. EPÍLOGO. LOS MUNDOS DE LA BIODIVERSIDAD
Francisco Abraham Peña Benito
- IV. JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA OBRA Y RELACIÓN CON LOS BLOQUES DE CONTENIDOS CURRICULARES DE ESO Y BACHILLERATO
- V. GLOSARIO
- VI. AUTORES



Presentación

I

Ciclos biológicos terrestres

Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Presentación



En 1980, Edward O. Wilson, entomólogo especialista en hormigas y apasionado conservacionista, acuñó por vez primera el término Biodiversidad para referirse al conjunto de organismos que pueblan una región y las relaciones que se establecen entre ellos y el medio que les rodea.

Treinta años después, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó 2010 Año Internacional de la Diversidad Biológica, con el fin de atraer más la atención sobre la pérdida continuada de la biodiversidad. Durante este tiempo, muchos han sido los trabajos de investigación que, desde diferentes instancias y bajo distintas disciplinas académicas, se han llevado a cabo para conocer la biodiversidad en todas las regiones de nuestro planeta, las amenazas a las que se enfrenta y las posibles soluciones. A disciplinas tradicionales, como la ecología, se han sumado recientemente las nuevas tecnologías que permiten a los investigadores realizar su labor en un el contexto digital de Internet.

La presente unidad didáctica, elaborada por científicos expertos en la materia y con la inestimable colaboración de profesores de enseñanza secundaria que han ayudado a contextualizar el nivel de conocimiento de los destinatarios de la obra, explica con rigor y carácter ameno la evolución del estudio de la Biodiversidad y el futuro de una disciplina en plena actualidad. Las vinculaciones cinematográficas y con la literatura que se presentan en cada uno de los capítulos contribuyen a fomentar el debate en el aula apoyándose en recursos de gran atractivo para los estudiantes.

Esperamos que esta unidad didáctica sirva para despertar el interés de la sociedad en general, de profesores y estudiantes en particular, por la gran variedad de vida que puebla la Tierra y mejorar la conciencia pública sobre la importancia de preservar las especies y los hábitats.

Lourdes Arana Uli
Directora General

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología

Prólogo

II

Bosques de niebla. Parque Nacional Podocarpus. Ecuador
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Prólogo



Queríamos comenzar este prólogo con una definición de **biodiversidad**. Sin embargo, debemos confesar que nos ha resultado bastante difícil ya que existen pocos términos que tengan tantas y tan diversas definiciones. Desde que este neologismo fuese acuñado por Wilson en 1985 para referirse a la **diversidad biológica**, su uso se ha extendido, popularizado y trascendido tanto que hoy nos encontramos con un sinnúmero de definiciones. Empezaremos, como pretendíamos, con una definición que nos parece la más sencilla, sintética y práctica:

“Biodiversidad es la variedad de todos los tipos y formas de vida, desde los genes a las especies a través de una amplia escala de ecosistemas” (Gaston, 1995).

Sin embargo, existen otras definiciones con cierta oficialidad, como la siguiente:

“La biodiversidad es variabilidad de organismos vivos de cualquier origen, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas” (Convenio de Naciones Unidas sobre Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica).

Nos hemos encontrado también con otras definiciones de las que hemos seleccionado cinco por lo diverso y, a veces, desacertado (algunas definiciones ignoran que aparte de animales y plantas existen otros seres vivos, o solo se centran en diversidad de especies), como por ejemplo la de:

1. La Real Academia de la Lengua Española (RAE) que la define como: *“la variedad de especies animales*

y vegetales en su medio ambiente” (<http://buscon.rae.es>)

2. El Diccionario de Oxford que la considera como: *“la existencia de un amplio número de distintos tipos de animales y plantas que hacen posible un medio ambiente equilibrado”* (<http://www.oxfordadvancedlearnersdictionary.com>)
3. El diccionario The Free Dictionary American Heritage® que la define como: *“el número y variedad de organismos encontrados en un área específica”, y también como: “la variedad entre los organismos vivos de la tierra incluyendo la variedad dentro y entre las especies, y dentro y entre los ecosistemas”* (www.thefreedictionary.com)
4. La página web de Glosario.net en la que se define como *“el conjunto de todas las especies de plantas y animales, su material genético y los ecosistemas de los que forman parte”* (<http://ciencia.glosario.net>)
5. El diccionario Merriam-Webster de la Enciclopedia Britannica que la menciona como: *“la diversidad biológica en un entorno como lo indica el número de especies diferentes de plantas y animales”* (www.merriam-webster.com)

Si no hay una única definición, y las definiciones de fácil acceso, como el de la RAE, son de las menos acertadas, ¿qué podríamos esperar sobre la noción general que se tiene sobre la biodiversidad entre el público no-especialista? Nos decidimos entonces a hacer una encuesta preguntando sobre si se conocía el término y sobre el concepto que

se tiene del mismo. Encontramos que la gran mayoría de la gente conoce la palabra aunque, sin embargo, las nociones sobre la misma son tan diversas como la propia biodiversidad. Así, obtuvimos respuestas como las siguientes: “Es un poco de todo...., son muchas cosas diferentes...., es la naturaleza..., son los ecosistemas o los ecosistemas completos..., es la vida en su conjunto..., es la variedad de vida..., son todas las especies biológicas...., son diferentes formas de vida y entornos referentes a nuestro planeta... etc”.

Nos dimos cuenta de que, en muchas ocasiones, los mensajes acerca de la biodiversidad son dirigidos a niños y adolescentes, como es el caso de esta unidad didáctica, y nos preguntamos si entre ellos el concepto sobre la Biodiversidad era tan amplio y ambiguo como entre los adultos. En efecto, las respuestas fueron igualmente variadas. Algunas de ellas fueron: “es el dióxido de carbono y el nitrógeno..., es un estudio..., es el conjunto de seres vivos que hay en una zona, etc”.

Pero, y, ... ¿entre los profesionales y supuestamente especialistas de la materia? ¿Existe una noción igualmente ambigua? Sus respuestas fueron, aunque también bastante variadas, felizmente más concretas. Algunas de ellas fueron:...”son las distintas especies...., es el número de especies...., o el número de especies en los ecosistemas...., es la variedad de ecosistemas..., es la variedad de formas de vida, es la diversidad de la vida”.

Vemos así cómo el término biodiversidad es conocido por todos, aunque su significado es amplio y ambiguo. Todas estas nociones tienen algo en común, y es que giran alrededor de la naturaleza, la vida y la variedad. Los niños saben que está relacionado con el conocimiento del medio, con los estudios de la naturaleza, y con seres vivos. Los mayores precisan estas nociones de naturaleza y variedad de vida y los profesionales relacionados con el tema lo conectan más con variedad de especies y ecosistemas.

No podríamos esperar otra cosa de un concepto tan nuevo y tan rápidamente divulgado. **Es necesario, por lo tanto, tener en cuenta que los receptores últimos de esta unidad didáctica, que son los alumnos de ESO y Bachillerato, partirán muy probablemente de una noción ambigua e imprecisa.** Por lo tanto, en este trabajo no sólo hemos pretendido alertar al profesor sobre su situación de partida frente a un concepto tan

popular y confuso sino también presentar un texto que ayude en su necesaria formación continua.

La Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE) en su artículo 102 establece que “La formación permanente constituye un derecho y una obligación de todo el profesorado (...) encaminada a mejorar la calidad de la enseñanza (...)”. La formación de los profesores debe incluir tanto las novedades de metodología didáctica como el contacto con los últimos contenidos científicos. Ambos tratan de estar presentes en esta obra.

La conexión de los contenidos que se trabajan en esta unidad con los elementos del currículo es múltiple. Son cruciales las que se establecen con algunas de las **ocho Competencias Básicas que los alumnos deben adquirir al finalizar sus estudios** obligatorios y de Bachillerato, particularmente con la Competencia de Conocimiento e Interacción con el Medio Físico. También con los Objetivos Generales de cada una de las etapas, que se concretan en Objetivos y Bloques de Contenidos para las diferentes áreas y materias, reflejados en los Criterios de Evaluación. El último nivel de concreción del currículo está constituido por las Programaciones de Aula, en cuyo diseño podrán ser de utilidad los materiales auxiliares de esta unidad didáctica.

Cada capítulo se compone de un **texto principal** acompañado de una **bibliografía comentada**, ambos **redactados por un especialista reconocido en la materia**, y de unos **materiales auxiliares recopilados por los asesores pedagógicos** que ayuden a potenciar el interés del alumno. La selección de estos materiales tan sólo pretende ser una propuesta, al igual que la metodología con que éstos pueden introducirse en el aula.

La asignación del contenido de los materiales auxiliares a uno u otro capítulo, así como la distinta presencia de los bloques en los que hemos dividido estos materiales, no siempre existentes en todos y cada uno de tales capítulos, no responde a criterios definitivos sino muy abiertos. Hemos agrupado estos materiales en los siguientes bloques:

Recursos en la red: anotamos el organismo o persona que ha creado la página y los objetivos que persigue. Muchas de estas páginas aportan actividades, vídeos y textos dirigidos a estudiantes y profesores. Hoy en día, la red se ha convertido

en una de las fuentes principales de información. En muchos pueblos existen Institutos con acceso a bibliotecas de escasísima relevancia, tanto en el Centro como en la propia localidad, sin embargo, la red tiene allí un protagonismo primordial. El conocimiento de algunas páginas por los alumnos, a través de las indicaciones del profesorado, no sólo favorece el estudio de la biodiversidad, también la adquisición de la Competencia en el Tratamiento de la Información y Competencia Digital, y la Competencia de la Autonomía e Iniciativa Personal.

Otros textos o vídeos: bajo este epígrafe mostramos un tipo de material escrito o visual, con posibilidades didácticas, que no se encuentra disponible en la red.

Vinculación cinematográfica: es un apartado donde se mencionan películas que pueden actuar como estímulo para el alumno, o para el propio profesor. Algunas de las películas

sí aparecen con un mayor análisis, concretando algún fragmento, con una duración más acorde con los tiempos que se manejan en la enseñanza, que pueda tener efectividad por sí mismo. El empleo de tan sólo algunas escenas, secuencias y planos de determinados films es suficiente para apoyar, con gran impacto, algunos contenidos de la ciencia en general y de la biodiversidad en particular. El uso del cine en el aula favorece la adquisición de algunas Competencias como la Cultural y Artística.

Vinculación literaria: el uso de algunas obras literarias, cuya temática pueda relacionarse con los contenidos del texto, puede tener efectividad a la hora de planificar las sesiones. No olvidamos que la adquisición de la Competencia Lingüística puede y debe potenciarse desde todas las materias que forman parte del currículo de la Enseñanza Secundaria.

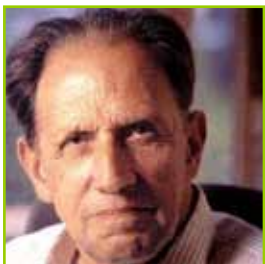
Javier Diéguez Uribeondo

**Algunos Protagonistas
de la biodiversidad**



Colibrí Coruscans. Bosque de niebla. Ecuador
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Algunos Protagonistas de la biodiversidad



Ramón Margalef

Conocido sobre todo por su actividad como ecólogo, Ramón Margalef llevó a cabo durante, los años 40 y 50 del siglo pasado una intensa actividad de caracterización de la flora y fauna acuática de la Península Ibérica y, muy probablemente, este va a ser su

mejor legado a largo plazo. Pues, como él mismo decía en la presentación de una monografía sobre las **Lagunas de la España Peninsular**, el mundo de las aguas someras, donde sobrevivía una flora y fauna peculiar ha seguido el ‘camino de los dinosaurios’, desecadas para plantar patatas u otros destinos más irreversibles.

Gracias a sus publicaciones en ‘**Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada**’ y otras revistas científicas, tenemos constancia de la presencia de algas, plantas superiores y todo tipo de invertebrados acuáticos. En 1955 publicó una monografía titulada: “Los organismos indicadores en la Limnología” donde incluyó unas claves de identificación de organismos acuáticos continentales. Dos años antes había publicado su monografía sobre: “Los crustáceos de las aguas continentales ibéricas”.

Los estudios sobre Biodiversidad de agua dulce en la P.I. se han diversificado mucho en los últimos 20 años, pero los trabajos de R. Margalef quedan como el mejor testimonio del trabajo de uno de nuestros grandes ‘naturalistas’.



Santiago Castroviejo

La obra ‘*Flora Iberica*’, que actualmente cuenta con más de 20 volúmenes no habría podido llevarse a cabo sin la visión y tenacidad de Santiago Castroviejo. Director del Real Jardín Botánico de Madrid, Santiago fue también el promotor de un sinnúmero de

expediciones en las que ‘cabían’ no sólo botánicos sino también zoólogos, ecólogos y otros naturalistas. A su iniciativa se debe también los sucesivos estudios destinados a establecer una estación en la isla de Coiba en el Pacífico Panameño.

Entendió que la Taxonomía ‘descubrir y caracterizar lo vivo’ era una tarea fundacional, sin la que ninguna otra cosa en Biología tendría sentido. Y lo defendió enérgicamente, en una época donde la ignorancia más ramplona tachaba a esta disciplina de ‘biología decimonónica’.

El tiempo ha dado razón a su visión, y gracias a él, el RJB cuenta con unos excelentes herbarios, y el público en general con una obra modélica.



Marian Ramos

Con más de 30 volúmenes publicados, Fauna Ibérica es el hermano 'orgánico' de la Flora. Coordinado desde sus inicios por Marian Ramos, pretende un examen exhaustivo de la Fauna Ibérica, no inventariada de esta manera hasta la fecha. En su caso,

ha tenido que atender no sólo a la fauna terrestre sino a la fauna marina, cada una con su problemática particular y sus propios requerimientos.

Marian ha sabido complementar su actividad como editora de la Fauna con la participación en múltiples organizaciones y proyectos internacionales, siempre con el objetivo de promover, coordinar y potenciar los estudios taxonómicos.

Actualmente continúa su trabajo como directora del Plan de Investigación Fauna Ibérica mientras prosigue sus estudios de la fauna malacológica española.



Peter H. Raven

Peter H. Raven, botánico y ambientalista estadounidense nacido en China, ha sido considerado por la revista TIME como 'el héroe del planeta' (1999). Raven ha sido Director del Jardín Botánico de Missouri entre 1971 y 2008 convirtiéndolo en un centro

Fotografía: Ragessos

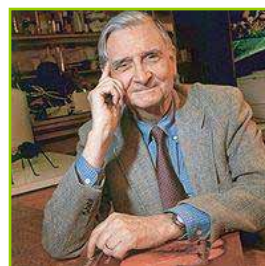
de referencia mundial para el estudio y la enseñanza de la botánica.

Su lucha por la conservación del medio y el desarrollo de planes ecológicos compatibles con el mantenimiento de la biodiversidad le han llevado a realizar numerosas campañas de investigación en todo el mundo con el objetivo de conservar plantas amenazadas y desarrollar programas de educación en América Latina, África, Asia y Norteamérica.

Raven es muy conocido por su obra *Coevolución de Insectos y Plantas* publicado en la revista *Evolution* en 1964 en coautoría con Paul R. Ehrlich.

La "Sociedad de Taxónomos vegetales de EEUU" estableció en el año 2000, el **Premio Peter Raven** que es concedido a autores contribuyentes a la taxonomía vegetal y "por excepcionales esfuerzos en atender a los no científicos".

El 6 de noviembre de 2010, Raven recibió en Nueva York, junto con Edward O. Wilson, el **Linnaean Legacy Award**, por su contribución al estudio y conservación de la biodiversidad.



Fotografía: Jim Harrison

Edward O. Wilson

Edward O. Wilson es un entomólogo estadounidense considerado por muchos como uno de los pensadores más influyentes del s. XX. Aunque su especialidad son las hormigas, su actividad profesional ha abarcado e influenciado muchos campos de

la biología, llegando a ser calificado como el 'padre' de la sociobiología y la biogeografía de islas.

Sus contribuciones han recibido la más alta cualificación en ciencias de Estados Unidos, la medalla nacional de la ciencia, además del premio Pulitzer en literatura, este último en dos ocasiones.

Su trabajo sobre la evolución de la conducta social y su implicación en la conservación han marcado definitivamente la cara de la ciencia, la filosofía, la ética, la economía y el activismo por la conservación.



¿Qué queremos decir cuando
hablamos de Biodiversidad?

1

Rana arborícola de la Amazonia. Cutucú. Ecuador

Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?

Javier Diéguez-Uribeondo, Antonio García-Valdecasas



El término Biodiversidad es un neologismo empleado por primera vez por **E. O. Wilson** como sinónimo de **diversidad biológica** con ocasión de la celebración del primer foro sobre diversidad biológica organizado por el National Research Council of America (NRC) en 1986. Varias personas del NCR se lo sugirieron a Wilson porque pensaban que la palabra Biodiversidad tendría mayor poder comunicativo que el de diversidad biológica. Así, **Wilson** lo utilizó para referirse y alertar sobre la rápida extinción masiva de numerosas especies y ecosistemas, y no se podía imaginar la repercusión que este término tendría en pocos años. Desde entonces el uso de la palabra Biodiversidad se ha extendido rápidamente entre profesionales relacionados con la materia (biólogos, naturalistas, técnicos, administración), políticos y la opinión pública debido a la creciente preocupación sobre la extinción de especies en las últimas dos décadas del siglo XX. Tal es así, que a menudo se relaciona erróneamente biodiversidad con conservación, lo que añade aún más ambigüedad a este concepto (como hemos visto en el prólogo el término Biodiversidad no tiene una definición única y se utiliza de manera ambigua e imprecisa).

Definición de Biodiversidad

Para esta unidad didáctica se han seleccionado 3 definiciones prácticas:

1. ***“Biodiversidad es la variedad de todos los tipos y formas de vida, desde los genes a las especies a través de una amplia escala de ecosistemas”.*** Esta definición es la que parece más sintética, clara y correcta. La recoge Gaston (1996), en su

libro *“Biodiversity: a biology of numbers and difference”* y adoptada por la Stanford Encyclopedia of Philosophy (<http://plato.stanford.edu/entries/biodiversity>). Este autor recoge varias definiciones del término Biodiversidad y describe esta definición como una sobre la cual se basan todas las demás.

2. ***“Biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier origen, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”.*** Esta definición se puede considerar como la políticamente oficial dado que se recoge en el Convenio de Naciones Unidas sobre Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (<http://www.eoearth.org/article/Biodiversity>), la Red de Gobiernos Locales (<http://www.redbiodiversidad.es>).
3. ***“La Biodiversidad es la totalidad de genes, especies y ecosistemas de una región determinada”.*** Definición que recogen varias organizaciones y que pretende sintetizar más aún las definiciones anteriores.

(<http://www.fao.org/forestry/docrep/wfcxi/PUBLI/V2/TOS/1-4.HTM>);

(<http://www.prodiversitas.bioetica.org/>)

Niveles de estudio

La Biodiversidad **comprende 3 niveles principales de estudio** y que están directamente relacionados:

1. el genético (que estudia la diversidad de genes dentro de y entre las especies, ya que hay una variabilidad genética entre especies e individuos de la misma especie),
2. el taxonómico (que trata sobre la diversidad de los distintos taxones: especies, géneros, etc.),
3. el ecológico (que investiga la variedad a un nivel superior de organización como son los ecosistemas).

Unidad de estudio

Para el estudio de la biodiversidad, como en toda investigación es necesaria una unidad. Según Wilson la biodiversidad real sería la diversidad genética y, por lo tanto, su unidad sería el **gen**, ya que éste representa la unidad de la **selección natural**, es decir, de la **evolución**. Sin embargo, averiguar la biodiversidad genética hoy en día es casi imposible, dado que los estudios moleculares son muy especializados, costosos, y su interpretación es una tarea a veces larga y complicada. Es por ello que no pueden ser llevados a cabo de manera rutinaria y práctica.

La **unidad por excelencia**, la más empleada por ser práctica y sencilla para determinar la biodiversidad es la **especie** (ver capítulo 2). Tal es así, que a menudo se asocia biodiversidad con el número de especies en una región determinada (ver prólogo). Sin embargo, la especie no se puede reconocer de igual manera en todos los seres vivos, y esto ha dado lugar a definiciones que no siempre explicitan los criterios operativos para su diagnóstico.

Especie morfológica: es un término antiguo, frecuentemente usado con ánimo despectivo, por parte de especialistas no taxónomos. El término hace referencia a que las características morfológicas son los datos que sirven para inferir que unos organismos son una especie diferente. Nada cuesta cambiar el término 'demodé' de morfología por el más 'posh' de fenotipos, y todo el mundo se queda contento. Con este tipo de caracteres han trabajado tradicionalmente

conservadores de colecciones, taxónomos y la mayoría de los usuarios necesitados de identificaciones biológicas ya que, salvo en casos contados, no se cuenta con información adicional que permita hacer la inferencia de especies con otro conjunto de caracteres.

Especie biológica: viene a decir que son grupos de poblaciones naturales entrecruzables que están aislados reproductivamente de otros grupos. Su principal defensor ha sido uno de los más notables biólogos evolutivos del siglo XX, el alemán Ernst Walter Mayr. Ha gozado de bastante popularidad aunque está siendo muy contestado en los últimos años. Muchas veces se carece de suficiente evidencia biológica para saber si dos poblaciones están aisladas reproductivamente. Aún más (y no es el único de sus problemas) especies claramente diferenciadas fenotípica y evolutivamente pueden producir híbridos fértiles en segundas y terceras generaciones.

Especie genética: surge como intento de superar algunas dificultades inherentes a la explicación del concepto especie biológica y emplea las diferencias o distancia genética entre poblaciones o grupo de poblaciones para distinguir las especies. Desgraciadamente no hay un "standard" que nos diga que a partir de la distancia 'x' ya estamos ante una especie diferente.

Especie evolutiva: es un linaje (una secuencia de poblaciones ancestro-descendiente) que evoluciona separadamente de otras, con sus propias tendencias y rol evolutivo unitario. El autor de esta propuesta fue el paleontólogo americano George Gaylord Simpson (1950), uno de los divulgadores de la teoría sintética de la evolución, y el concepto ha sido modernizado por el biólogo americano Edward O. Wiley (1978). Con esta formulación se pretendía obviar los inconvenientes de las especies biológicas en materia de hibridación interespecífica, muy frecuente en plantas. El problema es identificar linajes y delimitar tendencias y roles (asunto nada fácil, por cierto).

Especie ecológica: es un linaje, o un conjunto de linajes cercanamente relacionados, que ocupa una zona adaptativa mínimamente diferente en su distribución de aquellas pertenecientes a otros linajes, y que además se desarrolla independientemente de todos los linajes establecidos fuera de su área biogeográfica de distribución. Este concepto fue

propuesto por el paleontólogo norteamericano, Leigh Van Valen (1976) como una modificación del concepto de especie evolutiva.

Otros conceptos de especie se pueden encontrar bajo el nombre de especie filogenética, cladística, biosistemática, paleontológica, etc. (ver bibliografía).

Disciplinas que estudian la biodiversidad

Como toda área de estudio, son varias las disciplinas que la pueden estudiar. Brevemente expondremos la más involucradas (por ejemplo: la taxonomía, la sistemática, la filogenia, la ecología, etc) y, de las cuales, conviene tener una idea clara para entender los capítulos de esta unidad didáctica.

La **taxonomía** se encarga de muestrear, descubrir, identificar, organizar, y clasificar la información biológica con arreglo a distintos caracteres como los morfológicos, químicos, fisiológicos, genéticos, etc. Así el contenido informativo de las especies encontradas en un determinado hábitat, no se reduce a un simple y tedioso listado de nombres. Técnicas tan sencillas como los índices taxonómicos de diversidad –que toman en cuenta la distancia ‘en descendencia’ de las especies presentes – nos pueden dar una idea muy robusta de múltiples aspectos del hábitat en cuestión: su heterogeneidad espacial y funcional, riqueza trófica y un largo etc. Esto se puede entender –¿qué no se puede entender con un buen ejemplo? – con un ejemplo sencillo: Imaginemos dos hábitats diferentes: hábitat ‘A’ y hábitat ‘B’. En el primero encontramos sólo 10 especies de mariposas. En el segundo hay una especie de elefante, otra de león, una de cebra, varias especies de coleópteros y un par de especies de gramíneas. En ambos casos sólo hay 10 especies, pero pocos dudarán de cuál de los dos hábitats es el más diverso.

Hasta aquí disponemos de unidades de estudio y de un sistema de organización que nos permitiría identificar los organismos, clasificarlos y compararlos. Pero las especies no son estáticas y, por lo tanto, la biodiversidad tampoco lo es, y está sujeta a la **evolución**. La disciplina de la **sistemática** añade la información de la evolución, la **información filogenética**, a la diversidad, es decir, la organización del conjunto total del conocimiento sobre los organismos.

La **filogenia** estudia la historia de la evolución de un grupo de organismos, y para ello se estudian distintos caracteres como los morfológicos, bioquímicos, citológicos, registros fósiles, pero principalmente moleculares, ya que algunos genes representan el mejor registro de la evolución. Por esta razón, las técnicas de biología molecular resultan imprescindibles para dilucidar las relaciones entre organismos y en definitiva para conocer la genealogía de especies, familias, órdenes, etc.

La **Ecología** estudia las relaciones entre los organismos y su ambiente, entendido éste como la suma de factores abióticos (clima, geología, etc.) y bióticos (resto de organismos que comparten el hábitat). La ecología analiza también la abundancia y distribución de los seres vivos como resultado de dicha relación y, por ello, resulta una ciencia interdisciplinar y fundamental en el estudio de la biodiversidad.

¿Dónde hay mayor biodiversidad? Los “hot-spots” en ecosistemas terrestres

La biodiversidad está distribuida irregularmente alrededor de la tierra. La mayor biodiversidad se encuentra en los llamados ‘hot-spots’ (puntos calientes) donde la evolución ha tenido lugar sin impedimento de barreras físicas y cataclismos como las glaciaciones, actividad volcánica, etc. Un cierto grado de aislamiento favorece la evolución y aparición de nuevas especies y variedades. El investigador británico Norman Myers y sus colaboradores identificaron 25 regiones del mundo que contienen un número de especies inusualmente alto, las cuales han sido sometidas a un grado de destrucción del hábitat poco común, debido a la actividad del ser humano. Algunos “hot spots” están en islas como Madagascar o Galápagos, o continentes aislados como África, Sudamérica, Australia en todos los cuales ha existido un grado mayor de biodiversidad antes de la llegada del ser humano. Recientemente la organización Conservation International definió 34 ‘hot-spots’ terrestres - que representan el 2,3% de la superficie terrestre total. Estas áreas, aunque pequeñas en tamaño, representan las reservas de la diversidad más ricas y amenazadas de la vida en el planeta, y precisan de protección y actuaciones urgentes.

Los criterios diagnósticos para determinar los “hot spot” son:

1. Número de especies endémicas (especies que no se encuentran en otro lugar)

2. Grado de amenaza (se mide en término de pérdida de hábitat)

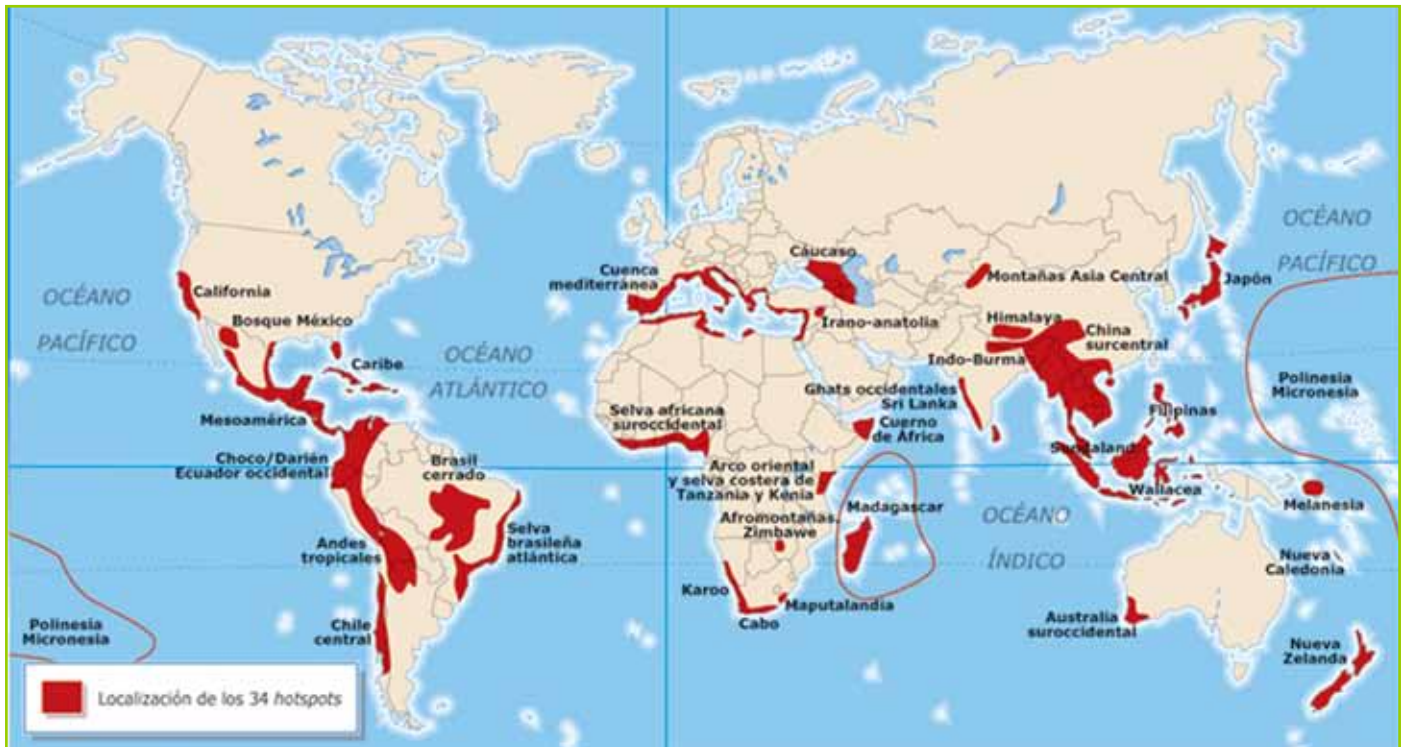


Figura 1.1. En el año 2005, 34 ‘hot-spots’ terrestres - que cubrían el 2,3% de la superficie terrestre de la Tierra - fueron identificados por la organización Conservation International. En ellas se encuentra más del 50% de las especies de plantas del mundo y el 42% de las especies de vertebrados son endémicas de estas áreas. Lamentablemente estas áreas están amenazadas por la actividad humana.

Los capítulos de esta unidad

En esta Unidad Didáctica hemos pretendido abarcar todo lo que se puede acoger bajo el término Biodiversidad. Dentro de lo arbitraria que puede resultar cualquier selección, esperamos que las materias incluidas ayuden a profundizar en el contenido empírico y teórico de la Biodiversidad.

La historia conceptual que conduce hasta lo que hoy entendemos por Biodiversidad no es un camino lineal y el **Dr. Juan Pimentel** nos sintetiza en pocas páginas un devenir apasionante que ha durado más de 2.000 años, y de

“¿Cómo hemos llegado a pensar en la biodiversidad?”. El estudio sobre la biodiversidad lleva necesariamente a los intentos de cuantificar la diversidad biológica, el **Dr. García-Valdecasas** aborda este tema en un capítulo compuesto de varias entradas a temas de interés sobre “**los números de la vida**”: a) una visión democrática de la Biodiversidad, compuesta por un comentario sobre el trabajo de Baum en Scitable y presentación de esta serie de Nature que es open access; b) el Nombre de la Cifra con un balance del número de especies que se conocen, y c) Las especies “Top Ten” y el Instituto Internacional para La Exploración de Especies.

Si la biodiversidad es difícil de cuantificar en todo aquello que es posible examinar a simple vista, el hecho se complica más aún si tenemos en cuenta que no todo lo que existe es evidente a primera vista. En el caso de la Biodiversidad, vivimos continuamente en una frenética actividad. Nuevos hábitats, nuevos espacios, nuevas técnicas de muestreo nos descubren mundos orgánicos que no podemos ni intuir ni anticipar. La vida es tan sorprendente, que los bestiarios y los mundos artificiales nos parecen caricaturas simplistas ante lo que se descubre cada día. La **Dra. María Paz Martín** nos detalla estos mundos ocultos, en la “**Biodiversidad escondida**” y, qué duda cabe, que nuevos descubrimientos se estarán produciendo mientras usted está leyendo estas líneas.

Si difícil es cuantificar la biodiversidad visible y si, además, hay una biodiversidad escondida, se hace necesario emplear métodos de muestreo adecuados para conocer la biodiversidad real de una región. El **Dr. Xavier Eekhout** trata este tema en “**Muestreando la biodiversidad**” ilustrando métodos y técnicas adecuadas para cada grupo de organismos.

El **Año Internacional de la Diversidad Biológica** permitió hacer énfasis en el impacto que la actividad humana tiene sobre ella, las enfermedades emergentes y las especies invasoras, y el candente problema del cambio climático. Los **Drs. Catherine Souty-Grosset, Francesca Gherardi, Julian Reynolds, Jesús Muñoz y el coordinador** de esta unidad didáctica en el capítulo “**Amenazas para la biodiversidad**” han intentado presentar y analizar de forma breve las amenazas para las pautas a seguir para la conservación de la biodiversidad.

Lamentablemente la opinión pública se hace consciente de la necesidad de conservar la biodiversidad cuando el deterioro sobre ella repercute directamente en sus economías. La **Dra. Berta Marín-López** y el **Dr. Javier Benayas** nos introducen en el capítulo, “**El valor económico de la biodiversidad**”, un tema novedoso y de gran actualidad en los medios científicos, y que son los “servicios al ecosistema” que provienen de la Biodiversidad. Una problemática que acerca el mundo de la Biodiversidad a formas de pensamiento y modelización usados por los economistas.

Los estudios sobre la biodiversidad avanzan rápidamente a medida que las técnicas aplicadas progresan. Los estudios de biodiversidad precisan de una rápida y eficiente

identificación de la especie y para ello hace falta llevar a cabo una buena clasificación de la mismas, es decir, hacer una buena taxonomía y generar clasificaciones asequibles a los investigadores. Los Drs. **Antonio García-Valdecasas, Laura Cayuelas y José M. Becerra** nos presentan una panorámica de mundo de la Biodiversidad desde el entorno de INTERNET en el capítulo “**La Biodiversidad y la cibertaxonomía**” y de los novedosos recursos a nuestro alcance.

No podríamos terminar esta unidad sin hacer una breve referencia a la importancia de los ecosistemas o biomas en un breve epílogo llamado “**Los mundos de la Biodiversidad**” afrontado por el Biólogo Francisco Peña y el Dr. Adolfo Marco.

Bibliografía comentada

K.J. Gaston 1996. *Biodiversity: biology of numbers and difference*. Gastón, K. J. 1996. Blackwell Science. Oxford. 396 pp. En este libro de cierto nivel técnico, el autor recoge varias definiciones del término biodiversidad y describe ésta como una sobre la cual se basan todas las demás.

Otros libros técnicos, pero imprescindibles si se quiere profundizar en el concepto de especie son:

Quentin D. Wheeler, Rudolf Meier (eds.) 2000. *Species concepts and phylogenetic theory*. Columbia University Press. En esta obra diferentes autores exponen su concepto de especie, critican conceptos ajenos y matizan las críticas recibidas.

John S. Wilkins 2009. *Defining species: a Sourcebook from antiquity to Today*. Peter Lang Publishing. Al margen de algunos errores de identificación de autores de conceptos, este libro es la revisión más exhaustiva sobre este concepto (¿clave?) en Biología.

N. Myers, R.A.:Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A.B. da Fonseca y J. Kent 2000. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature 403, 853 – 858. En esta publicación Myers y su equipo resumen sus trabajos sobre áreas/especies en todo el mundo y proponen unos ‘hot-spot’ a la comunidad científica internacional.

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

<http://www.nature.com/scitable/topicpage/trait-evolution-on-a-phylogenetic-tree-relatedness-41936>

El grupo de la revista científica Nature tiene una serie de artículos en una web que ha llamado 'Scitable', dedicada a la educación y que son de libre acceso. Están escritos por especialistas pero con un lenguaje accesible. El que mostramos aquí explica la diferencia entre la concepción de Biodiversidad según el concepto de 'scala naturae' y el 'filogenético'.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Biodiversidad>

La wikipedia puede ser el primer recurso en red a consultar, antes de ir a páginas más especializadas.

<http://www.2010biodiversidad.es/>

El CSIC y la Fundación Biodiversidad han puesto en funcionamiento esta página web, con publicaciones, unidades didácticas, actividades, etc.

<http://www.sebbm.com/actual.htm>

La Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular ha dedicado un monográfico, con ocasión de celebrarse en 2010 el Año de la Biodiversidad.

http://www.elpais.com/articulo/sociedad/no-concepto/biodiversidad/elpepusoc/20100126elpepusoc_16/Tes

En este artículo aparecido en las páginas de ciencias de El País, A.G.Valdecasas critica el término Biodiversidad como un no-concepto: queriendo significarlo todo, no especifica nada en concreto, y desde cierta óptica se asimila al término Biología.

http://www.ite.educacion.es/profesores/descargas_secundaria/ciencias_naturales/

Página principal del ITE (Instituto de Tecnologías Educativas) del Ministerio de Educación. Incluye materiales organizados por niveles y materias, hay abundantes aplicaciones y actividades para trabajar en el aula con los alumnos, con la ventaja de que se pueden descargar para no depender de la conexión a internet; hay también recursos didácticos y herramientas informáticas para la formación del profesorado y un excelente banco de imágenes y sonidos.

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/index.htm>

Proyecto del Centro Nacional de Investigación y Comunicación Educativa del Ministerio de Educación. Consta de unidades didácticas multimedia interactivas, herramientas y recursos para las materias de Biología y Geología en la Enseñanza Secundaria Obligatoria y el Bachillerato, que aprovechan las ventajas que ofrecen las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

http://centros6.pntic.mec.es/cea.pablo.guzman/cc_naturales/ecosistemas.htm

Una página con gran cantidad de enlaces a contenidos interesantes en el estudio de ecosistemas.

http://centros6.pntic.mec.es/cea.pablo.guzman/cc_naturales/

Excelente selección de 650 direcciones de Internet organizadas por temas para trabajar las Ciencias Naturales, incluyendo varios apartados relacionados con la biodiversidad y el medio ambiente.

<http://www.natureduca.com/>

Natureduca es una Web personal dedicada a la Biología y a la Ecología con abundantes recursos.

http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/profesor/videos/videos_actividades.htm

Colección de vídeos sobre ciencias biológicas con actividades asociadas, algunos de los cuales guardan estrecha relación con el estudio de la biodiversidad

<http://plato.stanford.edu/entries/biodiversity>

Standford Encyclopa of Phylosophy. Definición de la biodiversidad

<http://www.eoearth.org/article/Biodiversity>

Naciones Unidas sobre Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica. Otra definición útil sobre la Biodiversidad

<http://www.redbiodiversidad.es>

Red de Gobiernos Locales. Introducción practica a la Biodiversidad

OTROS VÍDEOS

La vida a prueba (The Trials of Life) 1990. David Attenborough/BBC
En sus episodios se analiza el comportamiento de los seres vivos en las diferentes fases de su vida y en relación con el entorno, con otros individuos y con otras especies, lo que supone un magistral y didáctico repaso audiovisual a la diversidad animal.

La vida secreta de las plantas (The Private Life of Plants). 1995. David Attenborough/BBC
En sus episodios se analizan las adaptaciones de las plantas a su medio en los diferentes ecosistemas, por lo que completa el repaso audiovisual a la diversidad biológica.

VINCULACIONES CINEMATOGRÁFICAS

La posibilidad de contemplar y valorar la ciencia a través de un film no es objetivo directo del cine, como tampoco es provocar un interés por la música que ambienta o por el contexto histórico en que se desenvuelve la narración, pero es indudable que beneficia tanto a la historia que se pretende contar como a la divulgación que de modo indirecto se produce de nuestros intereses, en este caso la biodiversidad. De esta forma podremos utilizar el medio cinematográfico de manera eficaz en las aulas.



El poder de atracción que la biodiversidad provoca está muy bien representado en un fragmento (35'12'' - 42'00'') de Los últimos días del Edén (John Mc Tiernan, 1992); la doctora Rae Crane, bioquímica muy bien preparada, aunque no investigadora de campo, según su propia presentación, queda totalmente fascinada al contemplar el poderío visual del Amazonas. Siguiendo las indicaciones del doctor Robert Campbell, por medio de un rudimentario sistema de poleas y cuerdas, asciende a lo alto de un árbol donde crece una flor, la *Andromelia*, a la que se le suponen propiedades contra el cáncer: “Son así, sea lo que sea lo que necesite para ser

fecundada lo recibe aquí arriba. Podría tratarse de alguna enzima que algún insecto transportara, fecundara y depositara en el polen, o de alguna sustancia que se encontrase en el árbol. Podría ser cualquier cosa. Podría serlo todo. Es la belleza de este sistema; no se puede acabar con él, salvo arrasándolo”. Estas palabras del doctor Campbell acompañan la mirada atónita de la doctora Crane, y la del propio espectador, ante una panorámica de 360° de la selva amazónica, sólo rota en su belleza y continuidad por el humo provocado en la construcción de una carretera.

La selva esmeralda (John Boorman, 1985)

La selva esmeralda supone una película con interés propio, no sólo para apoyar el objeto de nuestro estudio, también permite desarrollar un



tratamiento multidisciplinar con otras materias. Las relaciones entre una naturaleza salvaje y el hombre civilizado ya fueron motivo de interés para este director (Deliverance, 1972). Inspirándose en sucesos verídicos, relata la historia de Tommy, hijo de un ingeniero americano que se encuentra en Brasil construyendo una presa, el cual es capturado, y posteriormente educado, por la tribu de los hombres invisibles. Convencido del reencuentro con su hijo, durante más de diez años se adentra periódicamente en el interior de la selva; cuando éste se produce se muestra, cruel y contundentemente, el poder de la educación. El escenario natural acompaña una historia en la que rituales indígenas, intereses industriales y marginación social están presentes.

VINCULACIONES LITERARIAS

El asombro del hombre por las posibilidades y diversidad de la naturaleza encuentra rápida plasmación en la literatura. El poema de Gilgamesh, considerada la primera obra literaria de la humanidad, describe el bosque de los cedros o el jardín de Inanna, atravesados por Gilgamesh. En la naturaleza, bien descrita, se encuentra refugio, riquezas, remedios naturales y la planta de la inmortalidad.

La obra de Homero es la primera creación literaria de Occidente. En sus dos obras principales, *Ilíada* y *Odisea*, encontramos unos personajes que se mueven en un contexto bélico y se asombran ante la naturaleza, exuberante y bella, que les recuerda a sus añoradas tierras. Ulises, regresando a su patria, Ítaca, llega a la isla de los feacios, donde es recibido por su rey, Alcínoo, nieto del dios Poseidón, querido por sus gentes y dotado de gran sensibilidad con los extranjeros y náufragos. Entre sus huéspedes ilustres, Ulises y los Argonautas. Todos quedan deslumbrados por el vergel donde se encuentra su palacio, posiblemente en la actual isla de Corfú. Este fragmento de la *Odisea* así lo describe:

Por de fuera del patio se extiende un gran huerto (...) unos árboles crecen allá corpulentos, frondosos: hay perales, granados, manzanos de espléndidas pomar; hay higueras que dan higos dulces, cuajados, y olivos. En sus ramas jamás falta el fruto ni llega a extinguirse, que es perenne en verano e invierno; y al soplo continuo del poniente germinan los unos; maduran los otros: a la poma sucede la poma, la pera a la pera, el racimo se deja un racimo y el higo otro higo. Tiene Alcínoo allí mismo plantada una ubérrima viña y a su lado se ve un secadero en abierta explanada donde da recio sol; de las uvas vendimian las unas mientras pisan las otras; no lejos se ven las agraces que la flor han perdido hace poco o que pintan apenas. Por los bordes del huerto ordenados arriates producen mil especies de plantas en vivo verdor todo el año. Hay por dentro dos fuentes: esparce sus chorros la una a través del jardín y la otra por bajo del patio lleva el agua a la excelsa mansión donde el pueblo la toma. Tales son los gloriosos presentes que el cielo da a Alcínoo.

(Homero, *Odisea*, VII, 112-133)

La primera clasificación de creaciones humanas que asombraban los sentidos humanos, dio como resultado un canon de construcciones, conocido

como las siete maravillas del mundo antiguo. Con el carácter mágico que tiene el número siete, hombres que vivieron antes de Cristo, como Antipater de Sidón, Filón de Bizancio o Calímaco Aristóbulo, fijaron entre las maravillas una construcción donde prima la diversidad de especies, unidas en un esfuerzo económico sin precedentes para pagar el amor de una princesa. Hoy destruidos, los jardines colgantes de Babilonia llevan más de dos mil años inspirando la imaginación de artistas y literatos de todo Occidente:

... no fue construido por Semíramis, sino por un rey sirio posterior para una de sus concubinas. Dicen que ella era de raza persa y que, como echaba a faltar los prados de las onduladas laderas de las colinas, pidió al rey que imitara el aspecto característico de su Persia natal por medio de un jardín maravillosamente proyectado.

(Diodoro Sículo, Biblioteca de Historia II, 10, 1)



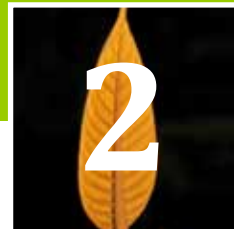
**¿Cómo hemos llegado a
pensar en la biodiversidad?
Precedentes históricos**

2

Punta de lanza *Vismia* sp. Amazonia. Ecuador
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

¿Cómo hemos llegado a pensar en la biodiversidad? Precedentes históricos

Juan Pimentel



Las preguntas que se hicieron los eruditos y hombres del saber en el pasado y las maneras de intentar resolverlas se parecen a las nuestras, pero no lo son. Sin embargo, todas ellas forman parte de nuestra riqueza y del patrimonio general de la humanidad, tal y como forman parte de nuestras vidas las de nuestros antepasados o las de otros hombres de las que sabemos por un libro, una imagen o un relato. Es decir, también somos lo que ya no somos, lo que fuimos y hasta lo que pudimos o podríamos llegar a ser.

Creemos que una aclaración de esta naturaleza (historico-diversa, podríamos decir) ayuda a introducir un tema como éste, un asunto del que lo primero que conviene advertir es su novedad: **el concepto de biodiversidad es muy reciente. El término nació en la década de 1980 y su uso se popularizó tras ser empleado en varios acuerdos y reuniones internacionales**, así el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica (Nairobi, 1992) o el Fórum Nacional sobre la Biodiversidad promovido por la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU y el Instituto Smithsonian (Washington, 1986), del que surgió la primera edición que recoge la fórmula en su título (Wilson & Peter, 1988). Este libro se abría con una declaración programática sobre la diversidad de las formas de vida, cuya extrema variedad –reconocían los editores– “estamos lejos aún de identificar” y que constituye “la mayor maravilla de este planeta”. Su índice muestra los temas y problemas a los que está asociada la biodiversidad: su valor y la dependencia humana de ella, la biosfera, la ecología y los ecosistemas, las políticas proteccionistas, los riesgos y amenazas a que se enfrenta. La diversidad de las especies naturales y sus relaciones entre ellas y con el medio son asuntos, en efecto, entendidos como un tesoro, un patrimonio en peligro, algo que debemos preservar, de forma

que históricamente sólo puede hablarse con propiedad de la idea de biodiversidad tras la aparición de dos nociones: la de especie natural, algo de lo que se puede hablar desde finales del siglo XVII o incluso desde Aristóteles si se quiere, pero que fue profundamente modificado con la teoría de la evolución y el nacimiento de la biología, y en segundo lugar la percepción de que las especies y los ecosistemas están amenazados, que la vida y el medioambiente se deterioran y pueden perderse (preferentemente a causa de la actividad humana).

Siendo rigurosos, ambos conceptos nacieron en el siglo XIX. Antes de Darwin, las especies y la historia de la vida en este planeta no eran lo que hoy entendemos que son. Antes de la Revolución Industrial el hombre no tenía medios técnicos para intervenir en el medio a una escala suficiente como para percibir que los recursos naturales eran finitos, los ecosistemas podían deteriorarse y las especies extinguirse. ¿Quiere esto decir que el hombre no pensó nunca antes en la diversidad de la vida o en las relaciones entre los distintos seres y con el medio donde viven? Naturalmente que lo hizo, aunque bajo perspectivas y preocupaciones distintas a las nuestras. Estas páginas son un breve y rápido recorrido por algunas de ellas.

De la Antigüedad al Renacimiento

En cierto modo, los antiguos griegos se hicieron las dos preguntas que están en el origen del problema de la biodiversidad: cuándo y cómo aparecieron los seres vivos, qué relaciones hay entre ellos. Sin laboratorios ni microscopios, sin conocimientos de genética ni de historia de la vida, mediante

fábulas mitológicas y una portentosa capacidad para observar y escrutar los fenómenos, los griegos apuntaron muchos de los temas que el pensamiento occidental lleva desarrollando y anotando desde hace siglos (fuera y dentro de la biología). Su idea de la naturaleza como *physis* (φύσις) era más dinámica que la versión escolástica que luego se instauró. Los griegos entendían la naturaleza como un continuo brotar, un proceso de crecimiento constante, algo muy alejado de la perspectiva estática que más tarde hizo contemplar las especies como categorías fijas y cerradas.

La idea de la gran cadena del ser, apuntada por Platón (427-347 a. C.) en el *Timeo*, atraviesa los siglos y las culturas. Es la idea de la escala natural, el vínculo entre todas las formas vivas sobre la Tierra, una idea que ha conocido múltiples versiones. Ahora bien, ¿qué vínculo era éste? ¿Cómo se relacionaban los seres vivos? Unos pensaron que de forma descendente, otros que de forma ascendente: de lo complejo a lo simple o viceversa. Había una continuidad entre todo lo existente, una cierta unidad en la multiplicidad, una gradación entre las formas a veces imperceptible. El principio de plenitud dictaba que la naturaleza rellenaba y cumplía todas las posibilidades del ser. La naturaleza no daba saltos, opinaba Aristóteles (384-322 a. C.).

Fue Aristóteles, precisamente, quien avanzó el problema básico de la taxonomía, vislumbrando la dialéctica entre los sistemas de clasificación artificiales y los naturales, es decir, entre ordenar los seres vivos en función de un criterio cualquiera (su utilidad, los órganos sexuales, el tipo de piel, el medio donde viven), o de manera global, en su conjunto. La lógica aristotélica fundó las bases de la taxonomía posterior hasta la Ilustración, aunque él mismo encontró muchas dificultades cuando hubo de aplicar sus propios criterios en la *Historia de los animales* y *De las partes de los animales*, dos tratados con geniales aportaciones sobre la anatomía y la generación de las especies que son tenidos como precursores de la zoología moderna. Este conflicto entre clasificaciones naturales y artificiales se repetirá sin solución de continuidad. A la hora de organizar los seres vivos (o cualquier otra cosa) debemos optar entre la lógica y la observación. Las realidades concretas tienen la mala costumbre de impugnar los esquemas racionales. La noción de biodiversidad está indisolublemente asociada a los problemas taxonómicos: al irse ampliando el conocimiento sobre las especies y

las formas de vida, se hacía imperativo ordenarlas y trazar sus posibles relaciones.

Otro autor imprescindible fue el romano Plinio el Viejo (23 a.C-79 d.C), quien redactó una compilación del saber de la antigüedad, la *Historia Natural*, uno de los libros más bellos de todos los tiempos. Plinio, y por influencia suya casi todos los naturalistas hasta el siglo XVIII, estudió y clasificó plantas y animales no sólo por sus rasgos anatómicos o fisiológicos, sino por sus hábitos, costumbres, usos sociales o virtudes medicinales. La historia natural del lobo (*lupus*), por ejemplo, consistía en una suma de noticias sobre los tipos de lobos que se conocían, cómo eran de fieros, un excursus sobre si su mirada era dañina, otra línea más adelante sobre la creencia de que un mechón de su cola era un talismán amoroso, etc. Una especie natural era mucho menos que hoy y, en cierto sentido, mucho más. Pero las relaciones entre ellas, con el hombre y con el medio estaban ahí, ocupaban un espacio en sus ideas científicas. Cualquier historia de las ideas medioambientales, por ejemplo, remite también a Hipócrates (460-370 a.C), el padre de la medicina greco-latina, por haber vinculado las enfermedades y la salud con el clima, la vegetación, la humedad, los suelos, el aire, esto es, con el medio. La perspectiva hipocrática fecunda el pensamiento occidental y de hecho su influencia es muy apreciable en la época clásica de la historia natural, el siglo XVIII, cuando las reflexiones sobre las relaciones entre naturaleza y cultura o entre el hombre y su entorno adquirieron gran desarrollo.

Es común afirmar la doble impronta, clásica y judeo-cristiana, de la tradición occidental. En el caso que nos ocupa, con todas las variantes y matices que se quiera, resulta además bastante ajustado. El relato bíblico impregnó la historia natural y las ideas sobre la creación y la aparición de las especies naturales. ¿Acaso la historia del Arca de Noé no es el primer relato sobre la biodiversidad y su preservación? El pensamiento cristiano realizó además un giro que la ciencia moderna desplegó hasta sus últimas consecuencias: situó al hombre en el centro de su discurso, lo erigió como rey de las criaturas y señor de la creación. Esta visión antropocéntrica es característica de San Agustín (354-430), uno de los padres de la Iglesia y pensador polifacético de los primeros tiempos del cristianismo, pero también de Francis Bacon (1561-1626), un jurista y pensador que quiso refundar la

filosofía natural (la ciencia) en plena época de los descubrimientos, a finales del Renacimiento.

La historia natural que se practicó en la época del humanismo (ss. XV y XVI) era una disciplina hecha con esos fundamentos. Pese a su nombre, nada tenía que ver con una historia de la naturaleza, sino más bien con una descripción de la naturaleza. Era un saber alegórico y emblemático, centrado en los conocimientos populares y en las aplicaciones y usos de los animales y las plantas. Los naturalistas de entonces (es decir, algunos médicos, apotecarios y comerciantes de productos naturales) coleccionaban especies, las describían y clasificaban con criterios más o menos aristotélicos y algunos de ellos completamente extraños para nosotros (por formas y cualidades, pero también por extrañas relaciones simpatéticas o incluso alfabéticamente). Los gabinetes de curiosidades de entonces, también llamados cámaras de maravillas, los precedentes de los actuales museos de historia natural, eran repositorios donde convivían salamandras, crucifijos, lanzas, pelícanos, vasos etruscos, conchas, fósiles, cuernos de unicornio (colmillos de narval) o piedras bezoares (cálculos renales). La historia natural estaba entregada a lo extraño y lo sorprendente, tal y como rezaba el libro de Wilson y Peter sobre la biodiversidad, a las mayores maravillas de este planeta, una fórmula que se repite en los naturalistas antiguos y modernos (estoy pensando en *La vida maravillosa* de S. J Gould) y que en inglés se dice con una sola palabra que lo compendia a la perfección: *wonder* - maravilla, prodigio - pero también asombro, deseo de saber, curiosidad.

Con el descubrimiento del Nuevo Mundo y los viajes a Oriente, Europa ingresaba en su auténtica edad de la curiosidad y el asombro. Los viajes a tierras lejanas traían nuevas especies, las colecciones aumentaban, el saber de los clásicos quedaba rebasado. Lo que antiguamente se sostenía sobre un conocimiento teórico y local (por un lado el saber escolástico de las universidades o los monasterios; por otro, el de los bestiarios medievales o las floras regionales), ahora se apoyaba en una avalancha descomunal de noticias y novedades que acabaría socavando el saber tradicional. La ciencia comenzó a fundarse más en la experiencia sensible del mundo que en la palabra de los antiguos, más en el trabajo de campo que en el de la biblioteca.

Las tareas de tres médicos renacentistas nos hablan de los caminos que estaba emprendiendo la ciencia. El belga

Andrea Vesalio (1514-1564) reivindicó la disección y publicó un tratado magníficamente ilustrado que revolucionó los estudios anatómicos, *De humani corporis fabrica* (1543). El sevillano Nicolás Monardes (ca. 1493-1588) escribió la *Historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales* (1574), un buen exponente de cómo los conocimientos botánicos se estaban multiplicando gracias a las especies americanas. A su vez, Andrea Cesalpino (1519-1603), médico, filósofo y botánico toscano, trabajó desde la lógica y el funcionalismo aristotélicos e inauguró un procedimiento taxonómico de gran fortuna: clasificó las plantas a partir de sus órganos de reproducción y sus semillas.



Figura 2.1. El gabinete de curiosidades de Ferrante Imperato, en Nápoles (1599). Los precedentes de los museos de historia natural albergaban objetos naturales y artificiales. Eran espacios para el conocimiento y la admiración ante lo extraordinario, lugares que invitaban a pensar las relaciones, discontinuidades o analogías entre los seres vivos. Ya en siglo XVIII, Alexander Pope recogía así el viejo argumento de la cadena del ser:

“¡Vasta cadena del ser que en Dios empezó!
Naturaleza etérea, humana, ángel, hombre,
Bestia, ave, pez, insecto, lo que ningún ojo pudo ver (...)
Si presionamos a las fuerzas superiores,
las inferiores presionarán las nuestras.
O si en el conjunto de la creación dejas un hueco,
donde quede el escalón roto, se destruirá toda la escalera.
Porque cualquier eslabón que golpees en la cadena de la naturaleza,
sea el décimo o el número diez mil, romperá la cadena de igual modo”

La época clásica de la historia natural

Suele llamarse así a la Ilustración, cuando se formalizaron muchas de las ideas taxonómicas que han seguido vigentes hasta nuestros días, principalmente el sistema linneano y su nomenclatura binomial, pero siendo algo generosos podríamos remontarnos a los días de John Ray (1627-1705) y Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708). El primero de ellos, considerado por el mundo angloparlante el fundador de la botánica moderna, sirve para ilustrar dos asuntos importantes. Por un lado, Ray es un fiel exponente de la teología natural y el argumento del designio, el entorno habitual de la ciencia del periodo: la lectura del libro de la naturaleza debía confirmar los planes de la Providencia. La anatomía de algunos seres era un prodigio de diseño. Resultaba increíble comprobar cómo los órganos se habían adaptado para cumplir sus funciones. La vida era maravillosa, en efecto, pero básicamente porque manifestaba la sabiduría infinita de Dios. Además, Ray definió con cierta precisión el concepto de especie a partir de las similitudes morfológicas, la descendencia común y la constancia de dicha especie, esto es, la permanencia en el tiempo gracias a la reproducción.

Tournefort, por su lado, estableció el concepto de **género**, la categoría que media entre familia y especie (Linneo lo adoptó de él: fructificaciones semejantes producidas por especies diversas). El botánico francés, además, realizó varios viajes científicos, herborizando en tierras lejanas. Con sus propias manos, recogió y clasificó plantas en Europa Occidental (los Países Bajos, Francia, Inglaterra, España) y el Levante (Grecia, Armenia, Georgia), una práctica ampliamente seguida a lo largo del siglo XVIII por muchos otros.

El sueco Karl von Linné (Linneo, 1707-1778) heredó esta tradición y elevó la botánica, y en general la historia natural, a una altura inédita. Hijo de un pastor luterano, era un hombre convencido de que su tarea era una forma de oración. No es casual que Linneo fuera conocido como el Nuevo Adán (¡había dado nombre nuevo a todas las especies!), que su libro *Species plantarum* (1753) pasara por ser la Biblia de la botánica o que llamara a sus corresponsales discípulos o apóstoles. En su día, leer el libro del mundo (observar los fenómenos naturales), confirmar las Sagradas Escrituras, conocer los designios de la Providencia y difundir la palabra y los mandamientos de Linneo venían a ser actividades complementarias.

Linneo trabajó casi toda su vida empleado por distintos mecenas europeos y en la universidad de Upsala. Allí dirigió el Jardín Botánico, cuyo diseño fue imitado en muchos otros lugares (el de Madrid, por ejemplo, recoge la distribución linneana en 24 espacios/clases). Sus dos grandes conquistas fueron la sistemática (su modelo de clasificación) y el método que ideó para nombrar las plantas. Ambos fueron empleados también para ordenar y nombrar el resto de los seres vivos. Linneo culminó la fantasía aristotélica: encastrar todas las especies en virtud de unos rasgos formales y funcionales. Primero lo hizo a partir de los órganos de floración de las plantas. Según el número de estambres y la forma del pistilo, las plantas se podían dividir en diferentes clases, órdenes, géneros, especies y variedades. Este sistema constituía “el hilo de Ariadna de la botánica”. Luego lo trasladó al reino animal, dando lugar a seis clases (mamíferos, aves, anfibios, peces, insectos, gusanos). Y hasta quiso ordenar también los minerales: la obsesión de un taxónomo es clasificarlo todo.

La nomenclatura que ideó es un prodigio de simplicidad y pedagogía, una regla mnemotécnica que inventó para facilitar el aprendizaje y que consiste en la célebre fórmula binomial con los nombres latinos genérico y específico, la fórmula con que se siguen nombrando los seres vivos. Cuando dio con ella, dijo que había tenido la sensación “de haberle puesto el badajo a la campanilla”. *Calendula officinalis* (la caléndula, la flor de difuntos o rosa de los muertos); *Giraffa camelopardalis* (la jirafa, cuyo nombre específico es un tributo a su nombre latino, a Plinio): así es, cuando uno se topa con la palabra justa para designar algo parece como si la misma cosa resonara a través de sus letras.

Sus logros tuvieron que ver con la pedagogía y la racionalidad, con el trabajo colectivo (en red, diríamos hoy) y con la ambición de querer extender sobre todo el planeta, como en una trama de paralelos y meridianos, un sistema de validez universal y carácter predictivo. Su forma de entender las variedades entre los seres vivos y sus relaciones de afinidad evoca de algún modo la proyección cartográfica de Mercator o la física newtoniana: proyecciones o disciplinas que tratan de capturar el mundo y legislarlo por completo.

Los “apóstoles” de Linneo propagaron su sistema y su nomenclatura por todo el planeta. Se embarcaron con Cook hacia el Pacífico Sur, exploraron las selvas amazónicas,

marcharon a Oriente Próximo, herborizaron en Sudáfrica y hasta en Japón. Se concluyó entonces la tarea descubridora iniciada a finales del siglo XV. El mundo quedaba cerca, por fin podía trazarse un mapa completo de sus costas y sus islas; también un inventario cabal de sus hombres, sus animales y sus plantas. Era el sueño enciclopédico de

poder abrazarlo todo, incluida la diversidad de las formas de vida sobre la Tierra. Hoy sabemos que esto último era una quimera, pero aquellos hombres lograron crear un lenguaje universal, desafiando así a la confusión babélica. La ciencia exige poder hablar a distancia con una terminología común.



Carl von Linné (1707-1778)

Hijo de un pastor luterano, Linneo estableció el sistema de ordenación y clasificación de los seres vivos (*Systema Naturae*) utilizado actualmente. Clasificó el mundo natural en tres reinos, animal, vegetal y mineral. Aunque su punto de vista era creacionista, antropocentrista y fijista, incluyó al ser humano en el reino animal, dentro del Orden “Primates”(primeros animales, es decir los más parecidos a nosotros, el resto de los mamíferos eran “Secundates” y “Terciates”, los demás animales).

Actualizando el sistema taxonómico jerarquizado de Linneo, los humanos pertenecemos a la especie *Homo sapiens*, género *Homo*, familia Homínidos, orden Primates, clase Mamíferos, *Phyllum* Cordados, Reino Metazoos

Figura 2.2. El método de clasificación de las plantas a partir de sus caracteres sexuales. La imagen procede del *Systema naturae* (1736), obra del padre de la botánica moderna, el sueco Carl von Linné (Linneo). En función del número y la forma de los estambres y el pistilo resultaban 24 clases de plantas: A Monandria (un estambre) B Diandria (dos estambres) C Triandria (tres estambres), etc. Linneo, hijo de un pastor luterano y hombre muy devoto, se sirvió de metáforas sexuales y relaciones combinadas para explicar lo que ocurría cuando varios maridos (estambres) convivían con una mujer (pistilo) o cuando se producían relaciones extramaritales.



Sin embargo, este modelo fue discutido (hubo otros sistemas de clasificación alternativos), Linneo jamás escapó del fijismo (apenas atisbó la variación en el tiempo) y además

quedaban muchos cabos por atar. ¿Cuáles eran las relaciones entre las especies? ¿Acaso el pez volador representaba el eslabón entre las aves y los peces?, y los corales ¿podían ser el nexo entre los minerales y los vegetales? La insidiosa cuestión de la cadena del ser permanecía sin resolver. Había mucha más información sobre los seres vivos que antes, lo cual, bien mirado, lejos de simplificar las cosas, las volvía más complejas.

Otro problema característico del siglo XVIII vinculado a nuestra noción de la biodiversidad, fue cómo se relacionaban las diferentes especies que comparten un determinado entorno. Linneo también fue un precursor en un asunto que prefigura lo que hoy entendemos por ecología. En su *Economía de la Naturaleza* (1749) habló de los fines comunes y las funciones recíprocas de los seres naturales. El ciclo hidrológico, la vida de los depredadores o la tensión entre insectos, plantas y aves rapaces manifestaban un equilibrio que a su vez era muestra de dos hechos: la sabiduría de Dios y la existencia de una suerte de mano invisible, como la que Adam Smith y los pioneros de la economía política iban a detectar en el

funcionamiento de los mercados. El trasiego de formatos y cuestiones entre el orden social y el orden natural se convirtió en un gran tópico de la Ilustración. ¿Se comportaban los hombres bajo las mismas leyes mecánicas que los graves y los astros? ¿Afectaban los climas a las formas de gobierno de los pueblos? ¿Podía hablarse de una política o una economía de la naturaleza? En el horizonte, la idea de que el hombre interfería en el medio no tardaría mucho en provocar la pregunta inevitable: ¿Podía alterar ese equilibrio? Se conocían casos de especies desaparecidas (el pájaro Dodo, exterminado en la Isla Mauricio tras la llegada de los holandeses); se dictaron leyes para proteger algún recurso importante sobre-explotado (los bosques: la madera era el plástico del Antiguo Régimen); incluso hubo desastres naturales que minaron el optimismo ilustrado (el terremoto de Lisboa de 1755); pero, por lo general, el hombre todavía no tenía herramientas ni información suficientes como para preocuparse demasiado.



Figura 2.3. Dodo (*Raphus cucullatus*), era incapaz de volar. Este pájaro, de un metro de altura y unos 20 kgs. de peso, fue uno de los primeros casos de extinción conocidos en Occidente. Se trataba de una especie endémica de la isla Mauricio, en el Océano Índico, colonizada en el siglo XVI por los portugueses y ya en el siglo XVII por los

holandeses. Fueron estos quienes introdujeron en la isla cerdos, monos, perros y ratas. La acción combinada del hombre y dichas especies condujo a la extinción de un animal incapaz de sobrevivir a la presión de los nuevos depredadores. La fecha exacta de su extinción ha sido discutida y puede cifrarse entre 1660 y 1700. Fueron piezas muy apreciadas en gabinetes y colecciones. Ha sido objeto de numerosas recreaciones, una de las más conocidas quizás sea la de Alicia en el país de las maravillas (1865), el relato de Lewis Carroll. Fuente: Photographer: Ballista

Mientras tanto, surgían estudios e investigaciones que probaban las armonías naturales, los equilibrios que mantenía la vida en entornos regionales, así la *Historia Natural de Selbourne* (1789) de Gilbert White, un canto a la vida campestre y al papel de las humildes lombrices de tierra, o a escala planetaria, como los que trazó Humboldt en su monumental *Cosmos* (1846-1848), la majestuosa obra que culminaba toda una tradición de viajeros naturalistas.

Geografías e historia de la vida

En su exploración de la América equinoccial, Alexander von Humboldt (1769-1859) reunió gran información, observaciones meteorológicas y barométricas, estudios geológicos y mineralógicos, de botánica y zoología. Podría decirse que el sabio prusiano retomaba el viejo anhelo de la filosofía griega al esbozar las conexiones entre los fenómenos naturales y tratar de descifrar cómo actuaban unas fuerzas y variables sobre las otras. Y de cifrarlas: Humboldt fue un apasionado de la metrología, lo medía todo. Así, redactó e hizo ilustrar el *Ensayo sobre la Geografía de las plantas* (1807), una de las piezas fundacionales de la fitogeografía o geografía botánica. La altitud determina el oxígeno y la humedad, éstos el tipo de vegetación y de suelo, que a su vez se modifican el uno al otro. La vida era una inextricable red de relaciones que actuaban unas sobre otras en el espacio. Pronto llegaría la convicción de que también lo hacían y lo habían hecho a través del tiempo.

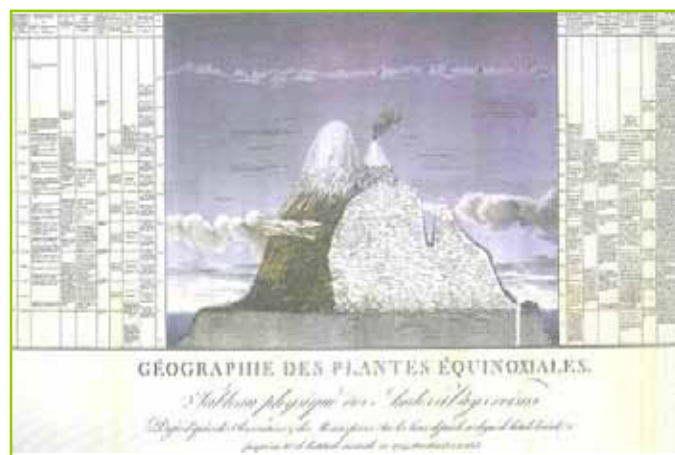


Figura 2.4. El ensayo sobre la geografía de las plantas (1807) de Alexander von Humboldt, acompañado por esta magnífica ilustración sinóptica, es uno de los trabajos fundacionales de la fitogeografía. La imagen representa una sección transversal del Chimborazo, un volcán de los Andes, cercano al Ecuador, que el propio Humboldt ascendió en su viaje a la América Meridional (1799-1804). Sobre sus faldas se despliega la variedad botánica en sus distintas relaciones con la altitud, la presión barométrica, la temperatura, las condiciones químicas y físicas de los suelos, en un esfuerzo por conectar la vida de las plantas a las condiciones geológicas y climáticas que la determinan.



Alexander von Humboldt (1769-1859)

Es considerado uno de los últimos representantes del concepto universal del conocimiento, característico del movimiento de la Ilustración. Su faceta como botánico y cartógrafo le llevó a interesarse por el estudio de la distribución geográfica y altitudinal de las plantas, por lo que es considerado como el padre de la Fitogeografía, también llamada Geobotánica. Antes de Humboldt las plantas se estudiaban desde un punto de vista exclusivamente botánico. Estableció las medidas necesarias para caracterizar la vegetación de una región y su importancia, considerando las relaciones de las plantas con los factores climáticos (viento, humedad y temperatura), fisiográficos (altitud, exposición) y de iluminación y su influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas pautas siguen vigentes actualmente en los estudios fitogeográficos para estudiar la distribución de la vegetación, si bien la perspectiva puede ser un poco más amplia al estudiar las relaciones que establecen las propias comunidades vegetales con esos factores (sociología vegetal), no sólo las especies individualmente.

Pero primero fue el descubrimiento de que los seres vivos se organizaban geográficamente y en función de su hábitat, una afirmación que puede parecer obvia y que era el resultado lógico de tres siglos de exploraciones alrededor del globo, pero que iba a contraer una idea revolucionaria, en absoluto evidente, en modo alguno fácil de observar.

Los descubrimientos geográficos habían arrojado no sólo unas cuantas evidencias sobre las floras y las faunas regionales, sobre la diversidad y la localización de la vida, sino también unas cuantas interrogantes que planearon entre 1500 y 1850 de manera esporádica y creciente. ¿Cómo de nuevo era el Nuevo Mundo? ¿Había sufrido también el diluvio o quizás lo había sufrido más tarde? ¿En qué medida eran las especies semejantes de los distintos continentes diversas unas de otras? ¿Cómo se habían distribuido? ¿Habían emigrado de un lugar a otro? ¿Habían degenerado o se habían transformado? ¿Cómo era esto posible? ¿Acaso las especies no eran fijas y estables? ¿Y el relato del Génesis? ¿Cuál había sido el papel de la Providencia en este proceso? Y la que quizás era la pregunta más inquietante: ¿Cuál el lugar del hombre en la Naturaleza?

El Conde de Buffon (1707-1788), director del Jardín del Rey en el París de las Luces y rival de Linneo, esbozó una teoría

sobre las épocas de la Naturaleza y la historia de la Tierra. Entre las analogías clásicas entre lo natural y lo social, una muy socorrida fue atribuirle al planeta el proceso de decadencia experimentado por los imperios. Había ciertas ruinas de la naturaleza (los fósiles) que parecían indicarlo. Según Buffon, la Tierra se había enfriado progresivamente, aunque para él las especies eran fijas y estables. Sólo reconoció modificaciones en el seno de una misma especie. Su cálculo de la edad de la Tierra apenas llegó a los cien mil años. También hubo tesis materialistas en la Ilustración como la de Denis Diderot (1713-1784) y hasta transformistas, una posición que defendió con mucha solvencia Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829). Su modelo de cómo se habían transmutado las especies adaptándose al medio y su anatomía a sus hábitos en el curso del tiempo no fue muy considerado: los caracteres, pensaba él, se heredaban.



Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829)

Perteneció a la nobleza como Caballero y fue militar herido de guerra, lo que no impide que haya sido descrito por los historiadores como alguien modesto, humilde y comprometido con su tiempo.

Se inició como naturalista con los estudios de Botánica, que culminaron con la publicación de su famosa obra *Flora Francaise*. Posteriormente se especializó en Zoología, llegando a ejercer como Director de Invertebrados del Museo Nacional de Historia Natural de Francia, después de la Revolución. En su obra *Philosophie Zoologique* expone su teoría sobre la transformación, que tanto rechazo provocó en su prestigioso

rival Cuvier, totalmente fijista, enfrentamiento que animó los círculos científicos de la época. Estos son los principios básicos de su teoría:

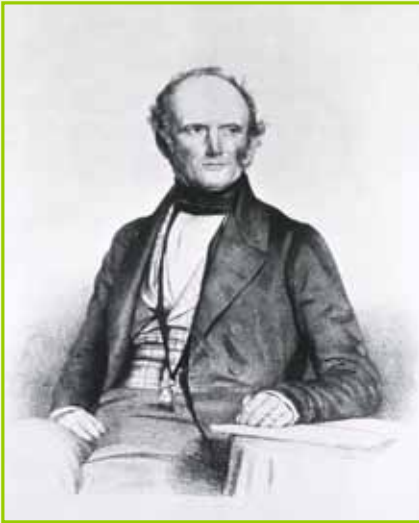
1. El medio ambiente es cambiante. Los seres vivos responden a los cambios mediante la **adaptación** (modificación anatómica o de comportamiento)
2. Para adaptarse utilizan más unos órganos que otros, los que más usan se desarrollan, los que menos se atrofian (**Ley del uso y desuso**)
3. Los caracteres que se adquieren o pierden, a lo largo de la vida por uso o desuso se transmiten a la descendencia (**Herencia de los caracteres adquiridos**).
4. Como consecuencia de todo ello aparecen nuevas especies cada vez más complejas (**Tendencia a la complejidad** en la escala biológica).

Los padres de la geología, la paleontología y la anatomía comparada levantaron un caudal de conocimientos que fueron sitiando poco a poco las antiguas versiones sobre la edad del globo, la vida en el pasado y las relaciones entre las especies naturales. El descubrimiento de fósiles, cuyos análogos vivos no aparecían por ningún lado, comenzó a hablar de mundos y habitantes perdidos. ¿Habían quedado anegados por el diluvio? ¿Sepultados por varias catástrofes sucesivas? Se acumulaban pruebas de que la flora, la fauna y el clima habían sufrido desplazamientos y alteraciones en el tiempo. Georges Cuvier (1769-1832), otro genio polifacético, exhumó en la época napoleónica cientos de vertebrados extintos y creó una disciplina inédita, la **anatomía comparada**. Poco después se identificaron en Inglaterra los primeros restos de dinosaurios, esos monstruos procedentes del abismo que se abría bajo los pies de la sociedad

victoriana. Estaba emergiendo el tiempo profundo, cientos de miles, millones de años, una escala colosal, no doméstica, difícilmente asimilable para el hombre. Al igual que la física newtoniana había arrojado al planeta Tierra en medio de un espacio abierto e infinito, el nuevo abismo cronológico colocaba al hombre y su historia en un lugar igual de insignificante. Así fuimos cobrando conciencia de lo que somos: una brizna de hierba en una inmensa llanura.

Charles Lyell (1797-1895) escribió un texto capital en la historia de la ciencia, *Los principios de geología* (1830-1833). No sólo demostró cómo actuaban (y seguían actuando) los procesos de sedimentación, erosión y los equilibrios dinámicos de la Tierra a través de los siglos. También dedujo cómo habían afectado estos cambios al clima y a los seres vivos, que hubieron de emigrar y competir unos con otros,

extinguiéndose algunos, surgiendo otros y formando provincias biológicas (una palabra que en todo caso no empleó). Lyell también había leído a Agustin P. De Candolle (1778-1841), otro de los fundadores de la geografía botánica.



Charles Lyell (1797-1875)

Geólogo de gran prestigio, actualizó, documentó, amplió y superó las ideas de James Hutton, padre de la Geología moderna. Denominó ACTUALISMO a la continuidad en el tiempo de los fenómenos geológicos y GRADUALISMO a la acumulación de cambios lentos y graduales a lo largo de millones de años que explican los cambios geológicos

Estas ideas influyeron decisivamente en Darwin, ya que la lectura de su obra *Principios de Geología* durante la travesía del Beagle le proporcionó el sustrato temporal lento y gradual que hacía posible la evolución de las especies por Selección Natural. La gran amistad que les unía y el profundo respeto mutuo, llevó a Darwin a seguir los consejos de Lyell y publicar la versión final de *El Origen de las Especies* en 1859, después de muchos años de indecisión y de recibir una carta de Alfred Russell Wallace en la que le explicaba una teoría sobre los mecanismos de la evolución que coincidía exactamente con la suya, lo que ponía en peligro su originalidad.

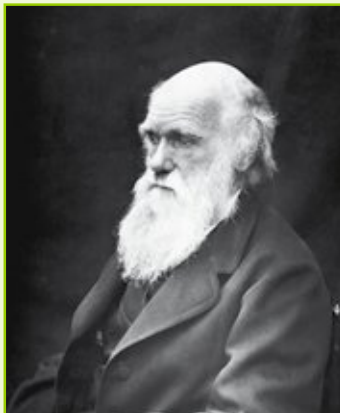
La distribución de las plantas y la acción de procesos constantes y prácticamente imperceptibles en la configuración del relieve y los suelos a lo largo del tiempo. Éstas fueron las primeras preocupaciones de Charles Darwin (1809-1882), el estudiante de Cambridge que cambió definitivamente nuestra imagen de la vida. Con ese equipaje intelectual marchó a bordo del Beagle (1831-1836), el viaje científico más famoso de todos los tiempos (en el caso del libro de Lyell no es una forma de hablar: lo leyó embarcado). Más que en el registro fósil y la paleontología, el padre del evolucionismo se inspiró al principio en la distribución espacial de los seres y en los dilatados procesos geológicos. Se topó con la suma de los dos factores en el archipiélago de las Galápagos, donde la combinación del aislamiento geográfico y las diferencias anatómicas de las especies emparentadas de las distintas islas (las tortugas, los pinzones), le llevaron a deducir la influencia del medio sobre las especies, la adaptación y el mecanismo de la selección natural, la pieza maestra de su

argumento. Sus otras dos fuentes de inspiración fueron la economía política y la domesticación de animales. La ciencia consiste en mirar viejos problemas desde otras ópticas. La división del trabajo que tenía lugar en el seno de las sociedades humanas, especialmente visible en los días de la industrialización y los imperios coloniales, tal vez podía darse en el mundo natural. Thomas Malthus (1766-1834) escribió el Ensayo sobre el principio de la población en 1798, un libro que arrojaba una perspectiva sombría sobre el futuro de los recursos, la pauperización de las masas, el ethos capitalista y el triunfo del más fuerte. Tal vez era un ejemplo de cómo funcionaban otras especies, la naturaleza en su conjunto. En cuanto a la domesticación, la hibridación artificial de ciertos animales, ofrecía ejemplos nítidos de selección (palomas y perros). Lo artificial siempre ha sido un modelo para explicar lo que ocurre en el mundo natural; desde el evolucionismo y el encuentro con la historia de la vida sabemos con certeza que lo artificial también es parte de lo natural.

Darwin fue un observador imaginativo y tremendamente paciente. Estuvo ocho años clasificando percebes, por ejemplo. Publicó *El origen de las especies* (1859) porque leyó un trabajo de Alfred Wallace demasiado semejante a su propio argumento. Se hubiera pasado otros 20 años estudiando y anotando observaciones. Pero cuando leyó ese trabajo, que además le había enviado el propio Wallace, entendió que debía apresurarse. Las polémicas sobre la prioridad de los descubrimientos son episodios clásicos de la historia de la ciencia. Gustan sobre todo a los buscadores de recompensas y adjudicadores de medallas.

Pero la ciencia es una empresa más colectiva de lo que se pinta a menudo. Ni las mejores ideas son patrimonio de una sola persona.

En este caso, parece justo decir que Wallace y Darwin llegaron a conclusiones muy semejantes por vías distintas. Sus trabajos se publicaron simultáneamente.



**Charles
Robert
Darwin
(1809-1882)**

Su vocación naturalista prevaleció sobre los estudios de Medicina en Edimburgo y Humanidades en Cambridge, que cursó por respeto a su autoritario padre;

fruto de esa misma inquebrantable voluntad, sus ideas evolucionistas predominaron sobre el conflicto moral que le planteaban las profundas convicciones religiosas de su querida esposa Emma.

Al enfatizar la interacción de la población y del organismo con el medio y la competencia de unas especies con otras, Darwin dio cuenta de cómo se había gestado la historia de la vida. Frente a los estudiosos del registro fósil y de la morfología (los anatomistas), Darwin logró explicar las conexiones entre las especies como genealogías naturales, es decir, logró demostrar que las relaciones entre los seres vivos tenían que ver con la descendencia y no con la semejanza. Las apariencias pueden engañar. Los genes revelan el material del que estamos hechos, como más tarde mostraron los mecanismos de la herencia y la disciplina de la genética que fundó Gregor Mendel (1822-1884).



Figura 2.5. HMS Beagle en Tierra del Fuego, pintado por Conrad Martens. El viaje del Beagle alrededor del mundo (1831-1836) proporcionó a Charles Darwin la ocasión para estudiar la distribución espacial de las variedades naturales, el asunto que está en la base de *El origen de las especies* por medio de la selección natural (1859), el libro que sigue iluminando buena parte de nuestras ideas sobre cómo se ha desarrollado la historia de la vida en este planeta.

La biología como ciencia dotada de un cuerpo teórico, nació a finales del siglo XIX, constituyendo el darwinismo el gran legado que fecundó todas las disciplinas asociadas al estudio de la vida. Ernst Haeckel (1834-1919), el introductor del evolucionismo en Alemania y responsable de haber integrado la embriología en la teoría de la evolución, elaboró

unos famosos árboles filogenéticos tomados del estudio de las lenguas, otro dato que ilustra las conexiones y préstamos que siempre se produjeron entre las ciencias naturales y las ciencias humanas. La trama linneana necesitaba una tercera dimensión, el tiempo, para explicar la naturaleza y la diversidad de la vida.

Del estudio experimental de la herencia nació la genética; de las reacciones fisiológicas frente al medio la ecología, una disciplina que también ayudó a fundar Haeckel y que tiende a confundirse con el ecologismo. Una cosa es el estudio de las relaciones (bióticas o no) con el medio y otra el movimiento político conservacionista de la naturaleza. La explotación de los recursos y la conciencia del carácter histórico (y por lo tanto contingente) de las especies naturales, nos ha conducido a pensar en cómo preservar el medioambiente y la biodiversidad. Las primeras organizaciones para gestionar mejor determinados recursos o estudiar la distribución y la diversidad de las especies nacieron en los EEUU en la segunda mitad del siglo XIX: la Comisión pesquera, la Unión de Ornitólogos o el Departamento de Estudios Biológicos. También fueron norteamericanos los primeros parques naturales (Yosemite, Yellowstone) y los primeros autores conservacionistas o medioambientalistas, como George Perkins

Marsh o Henry David Thoreau, el poeta de la vida salvaje y defensor de los derechos civiles.

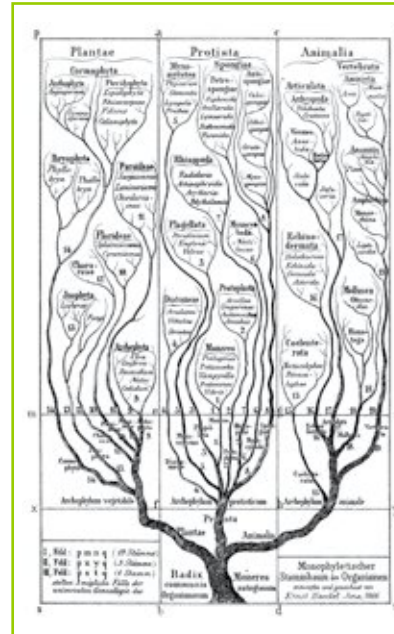


Figura 2.6. Un árbol filogenético de Haeckel. Biólogo y filósofo alemán, Ernst Haeckel (1836-1819) introdujo la anatomía y la embriología en la teoría evolutiva, así como los conceptos de ontogenia y filogenia. El primero hace referencia a la historia del desarrollo de un individuo; el segundo a la historia evolutiva de las especies. Haeckel pensó que la ontogénesis recapitulaba y reproducía la filogénesis, una idea errónea. Sus árboles filogenéticos han sido largamente adaptados y perfeccionados, siendo significativo cómo apuntan al origen común de todos los seres vivos.

La noción de biodiversidad es relativamente reciente, más aún que las ideas de especie natural y conservación del medio. Sus raíces, sin embargo, pueden trazarse hasta muy lejos. La vida, considerada proverbialmente una maravilla y un misterio, se apoya en la diversidad para sostener equilibrios delicados. Desde la década de 1960, gracias a las nuevas técnicas bioquímicas y de microscopía electrónica, esta diversidad y los criterios para clasificarla se han multiplicado considerablemente. La antigua división en dos reinos (animal y vegetal) se sustituyó por otras clasificaciones, una de las más comunes establece cinco o incluso seis taxones (plantas, animales, hongos, protozoos, bacterias y arqueas), siendo los dos últimos dominios y los otros cuatro reinos, incluidos en un solo dominio (eucariontes). La antigua preocupación por las afinidades morfológicas se ha desplazado sobre las semejanzas subcelulares y las relaciones filogenéticas. La taxonomía molecular nos ha llevado a distinguir cerca de 1.8 millones de especies, un porcentaje mínimo de las que se supone que existen sobre la Tierra. El deterioro del medioambiente y el peligro de extinción de numerosas especies son amenazas más visibles que nunca. Quizás porque sabemos más que nunca del carácter histórico de la vida, somos más conscientes de su carácter efímero. La vida no sólo es maravillosa, también es frágil. Darwin ya ponderó los efectos de la diversificación y la variabilidad para la supervivencia de las especies. Durante siglos la cultura occidental ha dado por hecho que el hombre podía emplear a su antojo y provecho la naturaleza entera. Somos herederos y prisioneros de todas estas ideas y maneras de observar y actuar sobre los fenómenos naturales y los seres vivos. También nuestros descendientes lo serán de las nuestras.

Bibliografía comentada

Peter J. Bowler. Historia Fontana de las ciencias ambientales, México: FCE, 1988. Un manual fantástico.

Janet Browne. Charles Darwin, II vols., Valencia: PUV, 2009. Posiblemente, la mejor biografía de Darwin escrita jamás: sofisticado, brillante y escrito con la soltura y la elegancia de los grandes libros.

Clarence J. Glacken. Huellas en la playa de Rodas. Naturaleza y cultura en el pensamiento occidental, Barcelona: El Serbal, 1996. Un libro clásico para eruditos y estudiosos.

Antonio González Bueno. Linneo, el príncipe de los botánicos, Madrid: Nivola, 2008. Un libro sintético, claro y pedagógico, escrito por uno de los mejores especialistas españoles en historia de la botánica.

Stephen Jay Gould. La vida maravillosa, Barcelona: Crítica, 1999. Una de las joyas del gran divulgador de las ciencias de la vida.

Arthur J. Lovejoy. La gran cadena del ser. Historia de una idea, Barcelona: Icaria, 1983. Un clásico, sólo apto para lectores muy adiestrados en la historia del pensamiento.

Brian W. Ogilvie. The Science of Describing. Natural History in Renaissance Europe, Chicago: The University of Chicago Press, 2006. Un buen texto para historiadores de la ciencia o de la cultura del humanismo.

Francisco Pelayo. Charles Darwin. De la creación a la evolución, Madrid: Nivola, 2008. Una visión panorámica, amena y accesible; un libro pensado para un público ancho, escrito por un gran experto en historia de la biología.

Martin J.S. Rudwick. El significado de los fósiles: episodios de la historia de la paleontología, Barcelona: Hermann Blume, 1987. Dificilmente encontrable, este libro es un auténtico tesoro.

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

http://www.natureduca.com/pers_indice_a01.php

Natureduca es una Web personal dedicada a la Biología y a la Ecología con abundantes recursos, entre los que se encuentran enlaces a biografías de grandes personajes de la Historia, en nuestro caso de los científicos que nos han llevado a pensar en la biodiversidad.

<http://www.jgcalleja.es/cazas/Cazas1ESO/trabajocientifico.html>

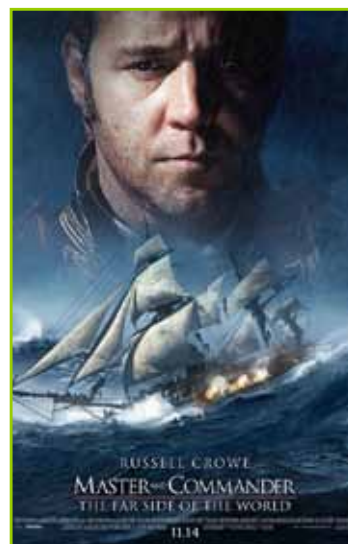
La página de las asignaturas de Ciencias Naturales, Biología y Geología en ESO y Bachillerato, del Colegio Marista San José de León, realizada por el Profesor Javier García Calleja, incluye actividades muy interesantes, muchas de ellas en formato de "Caza de tesoros" que plantean una investigación guiada a partir de enlaces de internet para responder a una gran pregunta inicial; incluyen propuestas reales de evaluación, por lo que se pueden considerar recursos Webquest. Una de esas cazas del tesoro se titula ¿Cómo trabajan los científicos? y ayuda a los alumnos a reflexionar sobre la manera en que se van produciendo los avances en la Ciencia.

OTROS TEXTOS DE CARÁCTER DIDÁCTICO

Cabello, M., Lope, S. Evolución. Biblioteca de Recursos Didácticos Alambra, Madrid, 1993. Repaso histórico de las ideas sobre la evolución de las especies biológicas, desde la antigüedad clásica con Anaximandro, Empédocles y Aristóteles, hasta la actualidad, pasando por las teorías del siglo 19 (Lamarck, Darwin) con abundantes textos literales, destacados y actividades y ejercicios sobre los contenidos trabajados.

VINCULACIONES CINEMATográfICAS

Existen buenas versiones cinematográficas que tratan muchas de las biografías a las que se alude en este capítulo. Destacamos Master and Commander por la perfecta escenificación del papel creciente que la ciencia alcanza desde mediados del siglo XVIII.



Master and Commander
(Peter Weir, 2004)

Basada en la serie de novelas escritas por Patrick O'Brian, tiene como protagonistas al capitán Jack Aubrey y al médico naturalista Stephen Maturin. Durante los siglos XVIII y XIX, era habitual la presencia en los barcos de un personaje que ejerciese labores científicas. Debido a su formación y rango, solía compartir mesa, e incluso camarote, con el propio capitán del barco. Al arribar a costas alejadas de su país de origen, con intenciones de aprovisionamiento, era acostumbrado permitir al naturalista la inspección de los terrenos así como recolectar muestras de suelo, espe-

cies... muchas de las cuales eran encerradas en jaulas preparadas al efecto y colocadas en zonas reservadas en el interior del navío con la intención de trasladarla al país de origen para continuar allí su estudio.

No dejamos de encontrar cierto paralelismo con la relación tirante y, a la vez, afectuosa que tuvieron Charles Darwin y el capitán Robert Fitz Roy, en la travesía del Beagle y la relatada por O'Brien en las peripecias de Aubrey y Maturin.

La película encuentra dos momentos con muchas posibilidades para mostrar en el aula, partiendo de la previa explicación del contexto en que se desarrolla la acción:

Fragmento 58'40'' - 1h 06'25'': El Surprise debe arribar a las islas encantadas (Galápagos) con propósito de cargar provisiones y permitir que Maturin pise esas islas, proporcionándole unos días para dedicar a su estudio y recogida de muestras. Las noticias sobre la cercanía del buque francés Acheron inician un cambio de decisión que provoca un interesante duelo dialéctico entre dos formas de entender la prioridad que capitán y naturalista otorgan al estudio de la ciencia.

Fragmento 1h 31'00'' - 1h 37'30'': Stephen Maturin consigue su deseo de pisar las islas Galápagos. Se recrea un imaginario sobre la exploración, métodos de recogida de muestras, mediciones y clasificación, carga de jaulas... La repetida presencia del Acheron vuelve a frustrar los estímulos que la ciencia provoca.

llevarme a Shrewsbury y hablar con mi padre. Como mi tío pensaba que sería razonable por mi parte aceptar aquel ofrecimiento, y dado que mi padre había mantenido siempre que era uno de los hombres más sensatos del mundo, consintió de inmediato con la mayor amabilidad. Mi vida en Cambridge había sido bastante manirrota, y para consolar a mi padre le dije que “debería ser condenadamente listo para gastar a bordo del Beagle más de lo que me permitía mi asignación”: pero él me respondió con una sonrisa: “Todo el mundo me dice que eres listísimo”.

Al día siguiente marché a Cambridge para ver a Henslow, y de allí a Londres para ver a Fitz-Roy, y todo quedó arreglado enseguida. Más tarde, cuando tuve una relación muy estrecha con Fitz-Roy, oí decir que había estado a punto de ser rechazado debido a la forma de mi nariz! Fitz-Roy era ferviente discípulo de Lavater y estaba convencido de que podía juzgar el carácter de una persona por el perfil de sus rasgos; y dudaba de que alguien con una nariz como la mía poseyera energía y determinación suficiente para el viaje. No obstante, pienso que, luego, se sintió muy satisfecho de que mi nariz hubiera hablado en falso.

(DARWIN, Charles., *Autobiografía*, Pamplona 2008, Editorial Laetoli, páginas 65-66)

VINCULACIONES LITERARIAS

La lectura de fragmentos de cualquiera de las fuentes mencionadas en el artículo puede motivar interés para acercarse a esta materia. Una buena selección de las mismas tiene potencia por sí misma para recrearse en la lectura. Debido a la facilidad y cercanía con la que Charles Darwin escribe, acercándonos al contexto científico, histórico y filosófico de la época, y el empleo de anécdotas que acompaña toda la narración, sugerimos el empleo de su *Autobiografía* (no censurada), de la que aquí mostramos el momento en el cual describe cómo logra embarcarse en el que será uno de los viajes más importantes para la historia de la ciencia:

Al volver a casa después de mi breve excursión geológica por el norte de Gales, encontré una carta de Henslow en la que se me informaba que el capitán Fitz-Roy estaba dispuesto a ceder parte de su camarote a cualquier joven que se presentara voluntario para marchar con él, sin paga, como naturalista en el viaje del Beagle. En mi diario manuscrito ofrecí, según creo, un relato de todas las circunstancias ocurridas entonces; en este lugar diré únicamente que me sentí ansioso de inmediato por aceptar la oferta, pero mi padre se opuso enérgicamente y añadió unas palabras que fueron una suerte para mí: “Si puedes encontrar a un hombre con sentido común que te aconseje ir, te daré mi consentimiento”. Así pues, aquella misma tarde escribí rechazando la oferta. A la mañana siguiente fui a Maer con el fin de hallarme preparado para el 1 de septiembre, y mientras me encontraba fuera cazando, mi tío mandó a buscarme y se ofreció a



Los números de la vida

3

Interconexión

VCrown. Fotografía Botánica vcrown.com

Los números de la vida

Antonio García-Valdecasas



El nombre de la cifra

Pudiera parecer un ejercicio sencillo saber el número de especies que se han descrito hasta la fecha, pero encierra una dificultad que incluso hasta los recuentos más recientes contienen un cierto grado de incertidumbre.

La primera dificultad es que no existe un único ‘centro’ de registro de especies, si es que se puede hablar en esos términos. Pero no sólo eso, sino que botánicos, zoólogos y bacteriólogos tienen reglas distintas para nombrar las especies, publican en diferentes revistas, y se regulan por diferentes Códigos de Nomenclatura (códigos que regulan el lenguaje de los taxónomos).

Afortunadamente Internet está cambiando las cosas y facilitando que aquellos que están interesados en lo que, tomando prestado el término de E. A. Poe, podemos llamar ‘El nombre de la cifra’, puedan ponerse de acuerdo sobre cuantas especies se conocen actualmente.

De todos estos recuentos, el más actual y exhaustivo se debe al investigador australiano Arthur D. Chapman (2009) y se puede descargar libremente en: <http://www.environment.gov.au/biodiversity/abrs/publications/other/species-numbers/2009/index.html>

En esta obra se hace un balance completo y además se repasa *phylum a phylum* el número de especies conocido y el estimado que falta por conocer. Y aunque puede haber pequeñas discrepancias en algunos grupos (ver por ejemplo, el balance de organismos de agua dulce en el capítulo de Valdecasas y colaboradores ‘Sampling Continental

Waters’ capítulo 10 de la obra: Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories, accesible gratuitamente en http://www.abctaxa.be/volumes/volume-8-manual-atbi/volumes/volume-8-manual-atbi/chapter-10/Chapter_10.pdf) el recuento, en general, parece bastante ajustado a lo que hoy conocemos.

En los dos gráficos que siguen resumimos las cantidades conocidas para los grandes grupos de organismos y los que se esperan descubrir. El primer gráfico está construido sobre un total de 1.899.583 de especies conocidas y el segundo sobre un total de 9.327.630 de especies que se cree que faltan por conocer.

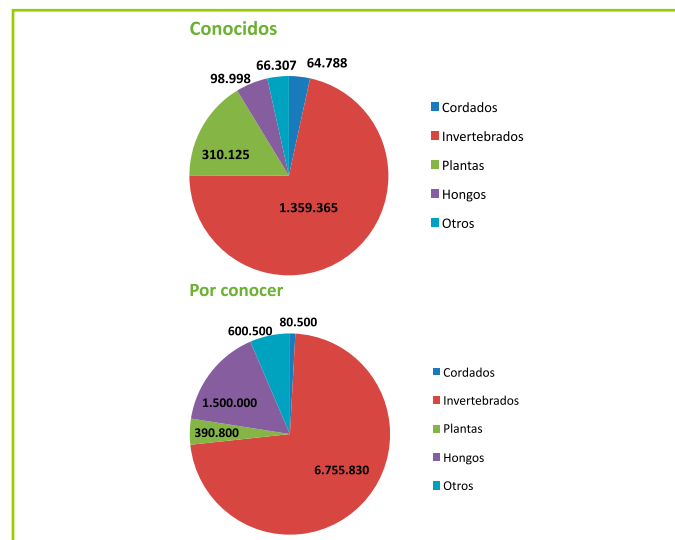


Figura 3.1. Organismos conocidos y por conocer en la Tierra

A simple vista se puede observar que lo que predomina entre las especies conocidas son los ‘invertebrados’, de los cuales los insectos se llevan la mayor parte. No por repetida dejaremos de mencionar la anécdota que pone en boca del biólogo inglés Haldane (uno de los artífices de la síntesis entre la genética mendeliana con la teoría de la selección natural de Darwin para explicar la evolución de las especies) la respuesta de ‘una afición desmesurada por los escarabajos’, cuando le preguntaron ‘qué se podía deducir sobre el Creador del estudio de la naturaleza’. Respuesta bastante razonable, si pensamos que se conocen alrededor de 400.000 especies de estos insectos y se cree que puede haber 1.100.000 en total.

Lo que sí cambia, en la relación de especies por conocer, es el orden de importancia de las plantas, que dejan su segundo lugar a los hongos. Y, aunque la estima de estos últimos supera el millón de especies, hay autores que elevan ese número muy por encima del número total de especies que se espera descubrir.

Lo que nadie pone en duda es que se considera muy superior la Biodiversidad por descubrir que la ya conocida, y aunque esto se plantee como un incremento de los números de especies en grupos ya establecidos, no sería de extrañar encontrar formas de vida completamente ‘extrañas’ en eso que se ha venido a denominar ‘biodiversidad escondida’, la vida que se desarrolla en la escala microscópica.

Las especies “Top Ten” y el Instituto Internacional para la Exploración de Especies

En un mundo donde el crecimiento incesante de la población humana plantea una presión insostenible para el resto de la vida sobre la tierra, promover iniciativas que contribuyan a conocer mejor la Biodiversidad y descubrir y estudiar lo que falta de ella, requieren cierta imaginación y capacidad para unificar recursos y esfuerzos. Esto es lo que viene haciendo desde hace varios años el biólogo norteamericano Quentin D. Wheeler, que ha fundado un International Institute for Species Exploration, IISE, (<http://www.species.asu.edu/>) en la Universidad de Arizona. A

este instituto se deben iniciativas como la ‘especies top ten’ que desde hace varios años se vienen concediendo a aquellas especies descritas que destacan por su originalidad, ya sea por el nombre que llevan, el lugar donde se han encontrado o por lo peculiar de su forma o fisiología. Y aunque, en principio, todas las especies son equivalentes desde una perspectiva evolutiva, estas ‘top ten’ es una forma de reclamar una atención pública a un mundo que va desapareciendo sin que podamos dejar constancia de su existencia.

Otra iniciativa, que está en la línea de una divulgación científica que suministra ideas y conceptos, ha sido la elaboración de un video que se puede descargar en youtube, llamado *Planet Bob* (<http://www.planetbob.asu.edu/>). *Planet Bob* trasmite de una forma clara, que la posibilidad de nombrar de forma diferente lo que se distingue, es el primer eslabón para entender y hacernos entender. Y que si todo se llamara de la misma manera, si a todo lo llamáramos ‘bob’, la vida en sociedad sería imposible. (El video está en inglés, pero se puede conseguir una traducción al castellano pidiéndolo a valdeca@gmail.com).

Desde el siglo XVIII se han descrito 1.800 millones de especies. En 2008 se clasificaron 18.225 especies vivas nuevas para la ciencia. Un pez-rana con apariencia psicodélica, y una esponja carnívora ‘asesina’ están entre las 10 especies más importantes descubiertas en 2009, según un comité de científicos internacional.

La lista de especies recién bautizadas o descritas es realizada cada año por el Instituto Internacional de Exploración de Especies de la Universidad de Arizona, y por un comité internacional de taxónomos, científicos responsables de la exploración y estandarización de especies. En el ‘top 10’ también hay un pececillo de agua dulce dotado de colmillos encontrado en Myanmar, la primera araña dorada descubierta desde 1879, un gusano marino que libera luminosas ‘bombas’ verdes cuando se siente amenazado, y una babosa de mar insectívora hallada en Pak Phanang, en el Golfo de Tailandia.



Figura 3.2. *Histiophryne psychedelica*. Nueva especie con apariencia psicodélica perteneciente a la familia de los llamados peces sapo.

Lo que muestran estas iniciativas y otras que se pueden consultar en la página web del IISE es que el objetivo de la biodiversidad no puede ser obra exclusiva de los científicos o de los gobiernos. Que si queremos llevar a un buen fin el conocimiento y conservación de la biodiversidad es necesario involucrar a la población. Y que para que esa implicación funcione, la gente tiene que entender qué es lo que está en juego. Y ese es el desafío de la buena divulgación: hacer entender conceptos complejos con ideas y ejemplos claros. Porque si no es así, entonces hay que recurrir al criterio de autoridad ('es importante porque lo dice una autoridad en la materia'). Pero el criterio de autoridad puede resultar tan arbitrario como especialistas en discordia haya en una disciplina. Mientras que de lo que se entiende, uno puede juzgar.

El concepto de especie y la visión democrática de la Biodiversidad

Al margen de lo que consideremos qué es una especie –algo que los especialistas siguen sin ponerse totalmente de acuerdo- hay varias formas de mirar al mundo vivo, algunas más acordes con lo que actualmente sabemos y otras menos. Pues aunque no lo parezca, la visión escolástica y antievolucionista de la vida está presente de una forma implícita en muchas de nuestras ideas sobre los organismos que pueblan la superficie de la Tierra. Y una de estas ideas tiene que ver con el concepto de complejidad, que 'primero vienen las bacterias, después los hongos; que las plantas son menos complejas que el más sencillo de los animales, etc'. Y es que esta forma de mirar a la vida, precisamente de lo único que no da cuenta es de la complejidad. Pues en sentido estricto, cualquier organismo vivo actual es el producto del mismo tiempo evolutivo, independientemente de si está formado por una única célula o por varios miles de ellas. Que, como dice el biólogo norteamericano David Baum en un artículo en la serie de acceso libre editada por la revista Nature –Nature Education: www.nature.com/scitable- para estudiantes pre y universitarios: “*el hecho es que todas las especies vivientes están conectadas por descendencia a un mismo antepasado común, y en ese sentido igualmente avanzadas*”. Y que lo verdaderamente interesante es contestar por qué una bacteria actual, descendiente del mismo antecesor común que un mamífero, y con una duración temporal equivalente, sigue siendo bacteria y por qué otros descendientes del mismo antecesor, iniciaron un camino que lleva hasta el mamífero.

Desde este punto de vista, la vida no puede entenderse como una ‘escala naturae’ de perfección (ver el capítulo de Pimentel en esta monografía), de perfección progresiva, sino más bien como un árbol ramificado, que si hacemos caso a recientes descubrimientos en el campo de la biología molecular, con ramas en algunos casos anastomosadas.

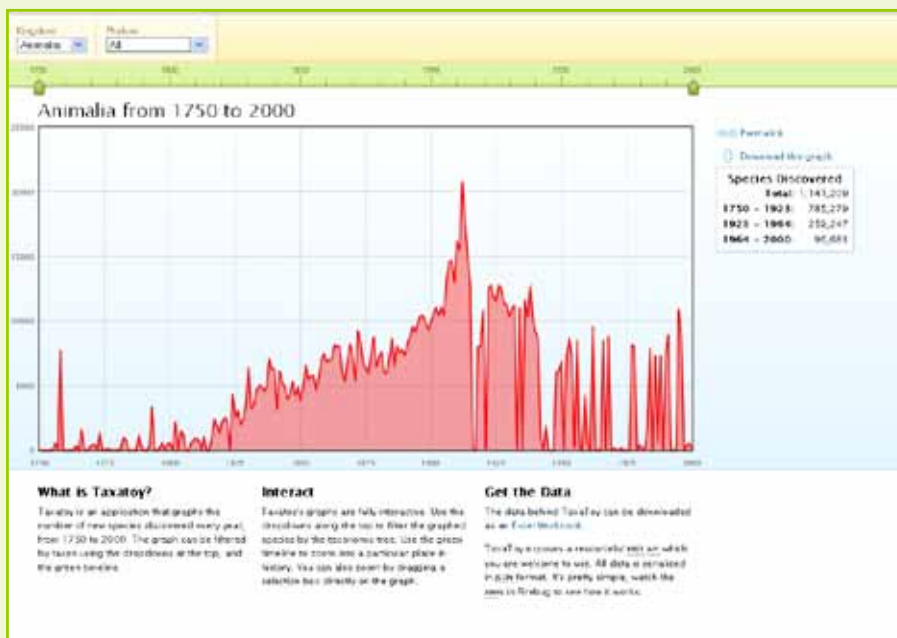
Así que podremos utilizar el concepto de complejidad, pero para comparar con criterios estructurales o funcionales, no como secuencia en la descendencia en la evolución de la vida. **Y que en ese sentido, el de ser producto de procesos que han durado los mismos millones de años, están igualmente evolucionados la bacteria y el ser humano.**

Curvas de tendencia en la descripción de especies

antonio García-Valdecasas

Si es difícil saber el número de especies que se han descubierto, mucho más es calcular el número de las que nos falta por conocer. Hay una importante lección de metodología científica implícita en esta cuestión.

En la siguiente página web: <http://taxatoy.ubio.org/> se puede encontrar un gráfico interactivo, donde se ofrece una estimación aproximada del número de especies publicadas hasta el año 2000. En él se puede saber cuántas especies han sido descritas hasta una fecha determinada, e incluso entre dos fechas arbitrarias, moviendo una regleta de años. También se puede seleccionar un grupo de organismos cualquiera a cualquier nivel de la escala taxonómica:



El principal problema para obtener estimas totales de lo que nos falta por descubrir, es que la exploración de especies en la superficie de la Tierra ha sido muy arbitraria. Se ha muestreado primero lo que estaba más a mano y más fácil de alcanzar. Pero esa 'cercanía' no se refiere exclusivamente al aspecto geográfico. Se han muestreado primero los hábitats más conspicuos y accesibles. Así, hasta mediados del siglo pasado no se tuvo conciencia de que existía una comunidad de organismos en la capa de agua freática superficial de ríos y lagunas. Un medio que algunos han denominado 'medio intersticial' y donde se dan formas de vida semejantes a los organismos de las

cuevas: animales despigmentados y sin ojos. Y más recientemente se han descubierto formas de vida sorprendentes en las grandes profundidades submarinas.

Así que el número de especies que se van descubriendo en años sucesivos depende en parte de los hábitats que se exploran, las tierras que se visitan, los métodos de muestreo que se utilizan y el número de especialistas que se dedican a ello.

Deducir de estos datos fragmentarios y sesgados cuántas especies nos faltan por descubrir, es un ejercicio arriesgado y necesitado de ingenio. Uno de estos métodos es lo que ha venido llamándose 'curvas de tendencia', que en el fondo comparten la idea de 'periodicidad' explícita en la técnica estadística de las 'series temporales.' Un ejemplo del uso de 'series temporales' es el seguimiento de accidentes de coches en un país determinado. Dependiendo de los factores en juego, puede haber una tendencia al alza o a la baja, o simplemente un estancamiento en un valor dado. Lo mismo vale para las especies que se describen. La tendencia temporal puede ser creciente, estancada o decreciente dependiendo del grupo de organismos. Una función acumulativa de los registros previos, puede dar lugar a diferentes tipos de curvas de acumulación. Y es la forma de esa función la que nos permite predecir los números que nos faltan por conocer, tanto si estamos muestreando un prado en busca de insectos, como si lo aplicamos a grandes áreas con un buen número de hábitats diferentes y para varios grupos de organismos.

A modo de ejemplo, tomemos los datos de Taxatoy en intervalos de 50 años, desde 1750, década que marca el inicio oficial de la 'nominación' de especies, siguiendo el sistema nomenclatural de Carlos Linneo.



A estos datos se pueden aplicar distintos tipos de funciones matemáticas y calcular una asíntota, o utilizar métodos mucho más sencillos como marcar el punto medio de la curva y trasponer y rotar a la derecha la curva presente en la izquierda. Sea como sea, cualquier método, como se señala en un trabajo reciente, es demasiado susceptible a factores impredecibles en el proceso de descubrir especies y estimar el número total de especies presentes en la Tierra es una tarea de resultados inseguros.

NOTA: Para una visión académica de este problema se puede consultar el siguiente trabajo, que hace referencia a trabajos anteriores sobre esta cuestión:

Bebber, D. P., F. H.C. Marriot, K.J. Gaston, S.A. Harris y R.W. Scotland 2007. Predicting unknown species numbers using discovery curves. *Proceedings of the Royal Society serie B* 274: 1651 - 1658

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/clasica/index.htm>

Conjunto de actividades para trabajar la Clasificación de los seres vivos en 1º ESO con abundantes animaciones e imágenes

http://www.educacion.es/exterior/centros/elpilar/es/pdf/gimnospermas_guia_prof.pdf

La web del Ministerio de Educación tiene una sección dedicada a centros situados en el exterior que dependen de él, por ejemplo el Instituto español “Nuestra señora del Pilar” en Marruecos, en cuya página encontramos este documento pdf que permite realizar con los alumnos una actividad práctica consistente en la identificación de especies vegetales, concretamente de Gimnospermas, con ayuda de claves dicotómicas sencillas. Puede también servir como base para que los alumnos construyan sus propias claves de identificación de plantas o animales del entrono cercano.

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/evolucion/actividad2b.htm>

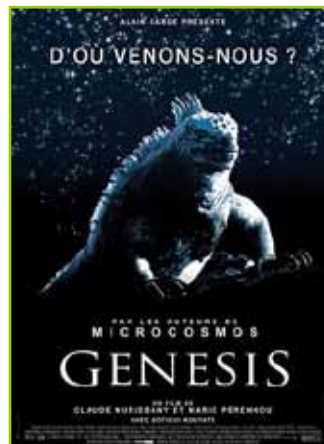
En la página de recursos del CNICE encontramos esta actividad sobre el origen de vida y por tanto de la biodiversidad, partiendo de un vídeo de contenido didáctico sobre el que el alumno debe responder a una serie de preguntas.

http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/tierra_cambia/contenidos11.htm

En la página de recursos del CNICE encontramos un conjunto de actividades para conocer cómo han ido surgiendo los grandes grupos de seres vivos y, por tanto, cómo ha evolucionado la biodiversidad a lo largo de las eras geológicas.

VINCULACIONES CINEMATOGRÁFICAS

Existen numerosas películas de ficción y documentales de impecable factura, como Tierra (2007), Nómadas del viento (2001) o Deep Blue (2003), sin olvidar el enorme potencial de la animación con obras como Buscando a Nemo (2003) o Bee Movie (2007), en los que se muestran aspectos y protagonistas de la biodiversidad con todo su potencial visual. Como una más, entre otras posibilidades, hemos seleccionado el film Génesis, no sólo por su indiscutible capacidad de seducción visual sino por un tipo de estructura que se adapta perfectamente a nuestras pretensiones docentes y a los tiempos que se manejan en el aula. Una estructura formada por capítulos que pueden aceptar una visualización a modo de cuentos casi independientes.



Génesis

(Claude Nuridsany y Marie Perennou, 2005)

Mezclando una narración mítica con unas imágenes donde los efectos especiales son los propios componentes de la naturaleza, un griot (una especie de rapsoda) africano nos habla del origen de la Tierra, de la materia, del nacimiento, del amor y de la muerte. El protagonismo de un cuentacuentos africano evoca el momento en el que la vida era interpretada mediante mitos. La persistencia del conocimiento mediante una transmisión oral todavía se mantiene en muchos lugares y es África lugar idóneo donde esta perspectiva se mantiene viva. Además, la vinculación con el espacio donde se origina la humanidad parece algo más que una metáfora. Los propios documentalistas hacen una declaración de intenciones, al tiempo que se suceden las imágenes de rituales amorosos o evocaciones sobre la creación y dispersión de la vida por el planeta.

VINCULACIONES LITERARIAS

La pretensión de cuantificar toda la vida existente, así como plantear su origen y clasificación ha sido tratada por muchas culturas antiguas. Las respuestas a muchos de sus interrogantes han tomado forma de mito. Su lectura, tan agradable y fascinante para los alumnos, aunque alejada de los postulados científicos, no crea confrontación sino que favorece el interés hacia toda la materia. Mitos egipcios, mesopotámicos, griegos o hebreos han dado explicaciones sobre el origen de la vida y la importancia de determinadas especies para su cultura. Proponemos la lectura del fragmento del Génesis bíblico acerca del diluvio, con una antigüedad de más de tres mil años y cuya originalidad reside en la forma de agrupar las especies y la necesidad de una pareja para su conservación, así como la importancia del medio natural para la supervivencia. Algo insólito a tan temprana edad en la escritura.

(Antiguo Testamento, Génesis 6-11)



Biodiversidad escondida

4

Agaricáceas del bosque tropical. Ecuador

Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Biodiversidad escondida

María Paz Martín



En el mar Mediterráneo, a más de 3.000 metros de profundidad, el equipo del Dr. Roberto Danovaro (Italia) localizó los primeros organismos multicelulares capaces de vivir sin oxígeno. Este hallazgo, publicado en abril de 2010, es el fruto de 3 expediciones oceanográficas al sur de Grecia y de más de 10 años de investigación, en los que se han utilizado diferentes técnicas de microscopía electrónica y de análisis bioquímicos, para llegar a comprobar que estas minúsculas especies de loricíferos (un grupo de animales marinos) son metabólicamente activas y totalmente adaptadas a las condiciones extremas de hipersalinidad y de falta de oxígeno. Así, por ejemplo, los individuos del género *Spinoloricus*, de tamaño inferior a un milímetro, presentan en sus células

unos orgánulos similares a las mitocondrias, hidrogenosomas, pero que a diferencia de éstas, les permiten producir energía en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno.

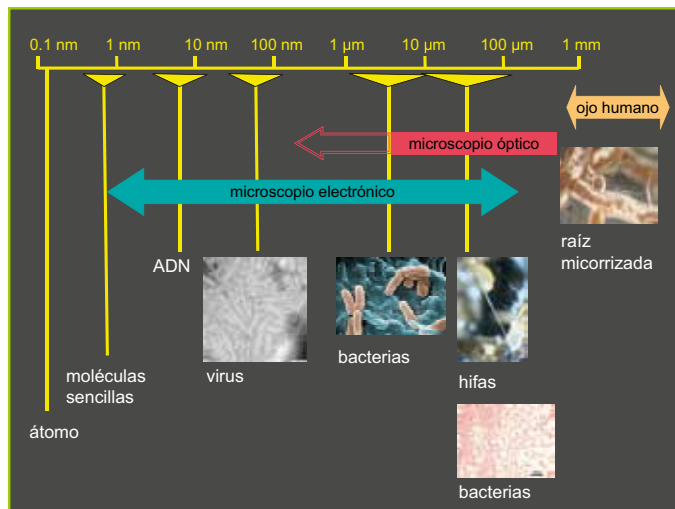


Figura 4.1. Escalas de visualización de organismos. Autora: María P. Martín. Fuentes diversas

Figura 4.2. Imagen al microscopio óptico de *Spinoloricus* (Loricífera; tinción con Rojo de Bengala). Escala 50 µm. Autores: Roberto Danovaro, Antonio Dell'Anno, Antonio Pusceddu, Cristina Gambi, Iben Heiner & Reinhardt Mobjerg Kristensen. Imagen sacada de Wikipedia. Fuente: BCM Biology 2010



Como *Spinoloricus*, muchos organismos no pueden observarse a simple vista y forman parte de la gran biodiversidad escondida del planeta. Mucho antes de que los científicos tuviéramos las herramientas adecuadas para observarlos, Avicena (c980-1037, el príncipe de los sabios como le llamaban sus discípulos) en su obra magna “El Canon de Medicina” publicó la hipótesis según la cual el agua y la atmósfera contendrían minúsculos organismos vectores de algunas enfermedades infecciosas. Hecho que Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) confirmó al observar, mediante un microscopio de lente fabricado por él mismo, que en el agua de lluvia de los estanques y en la propia saliva humana

crecían unas pequeñas estructuras que podían moverse a las que llamó **animáculos**. Hasta fechas recientes, muchos de los logros en la identificación de organismos microscópicos se han producido al aplicar la ciencia a la industria, o bien del estudio de distintas enfermedades humanas y de animales. Por ejemplo, Louis Pasteur (1822-1895), pionero en rebatir la teoría de la generación espontánea y celebre por su vacuna contra la rabia, demostró que en la fermentación del vino intervenían dos levaduras (hongos microscópicos unicelulares), una producía alcohol y otra ácido láctico que lo agriaba. Unos años más tarde, Robert Koch (1843-1910) empleó medios sólidos hechos con gelatina para aislar distintos organismos patógenos, como la bacteria helicoidal del cólera, y conmovió al mundo cuando, mediante nuevas técnicas de tinción, identificó al agente causante de la tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis* o, en su honor, el bacilo de Koch), una de las enfermedades más antiguas que afectan a los seres humanos.



Figura 4.3. Las mejoras introducidas por Leeuwenhoek en la fabricación de microscopios favorecieron el avance del conocimiento de los organismos, al permitir una mejora en la visualización

A finales del s. XIX y principios del XX, numerosos investigadores desarrollaron estudios básicos que fueron desvelando la enorme variedad de los organismos microscópicos. Algunos descubrimientos fueron fortuitos, como el que hizo famoso a Alexander Fleming, quien en 1928 investigaba las variaciones de color en cultivos de estafilococos (bacterias esféricas que forman masas de células en forma de racimos; algunas especies causan infecciones en las heridas y otras enfermedades como escarlatina o neumonía). Se cuenta que el Dr. Fleming se fue de vacaciones y, a su regreso, encontró

que en muchos cultivos había crecido un moho (hongo filamentosos). Otros habrían tirado las placas, pero él observó que alrededor del moho quedaba una zona en la que no crecían las bacterias. El moho lo identificó como *Penicillium notatum* y, unos meses más tarde, demostró que producía una sustancia que inhibía el crecimiento de las bacterias, a la que llamó penicilina.

En la actualidad, se siguen utilizando las técnicas desarrolladas durante el s.XIX, para identificar la variedad de los organismos microscópicos: 1) aislamiento del organismo, ya sea de su hospedante (hombre, animales, plantas, etc) o del ambiente en el que vive (suelo, agua, aire...), 2) crecimiento en medios de cultivo, 3) técnicas de tinción y 4) observación al microscopio óptico. Con la incorporación de nuevas técnicas de análisis, como la **microscopía electrónica**, que permite ampliar los objetos 200.000 veces o más, los aportes de la bioquímica (ciencia que estudia la composición química de los seres vivos y los distintos aspectos de su metabolismo celular, es decir, de las reacciones químicas que tienen lugar en la célula con el fin de obtener energía y componentes básicos para todos los procesos esenciales) y el descubrimiento del **ácido desoxirribonucleico** o **ADN** (molécula que contienen las células y que transmite las características genéticas de una generación a otra), los resultados están siendo espectaculares. Por otro lado, no debemos olvidar que parte de estos logros se han conseguido también gracias a otros avances técnicos, como los robots tripulados con control remoto, que permiten alcanzar zonas de difícil acceso – en especial en los océanos-, o el desarrollo de ordenadores más potentes y de programas informáticos, que nos facilitan evaluar y comparar la información que vamos acumulando sobre biodiversidad.

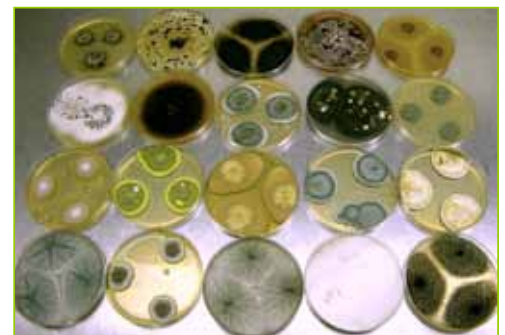


Figura 4.4. Variabilidad de cultivos en placa. Autor: Dr. David Midgley

Por las cifras que se barajan, los investigadores estamos de acuerdo en que los organismos microscópicos son los más abundantes del planeta; aunque, todavía nos quedamos boquiabiertos cuando en documentos científicos o técnicos leemos, por ejemplo, que en un gramo de suelo agrícola hay entre 1 y 10 billones de microorganismos, o que en la misma cantidad de suelo de una localidad boscosa de Noruega se encontraron de 4000-5000 especies desconocidas de microorganismos.



Figura 4.5. En 1 gramo de tierra podemos encontrar entre 1 y 10 billones de microorganismos
Autor: Vcrown
vcrown.com

Pero ¿de qué organismos hablamos? Sí, bacterias, mohos y levaduras son una gran parte de la biodiversidad escondida, pero también, entre otros, un grupo muy numeroso de organismos que, por su forma, hasta hace unos 30 años se habían confundido con bacterias. ¿Cómo se comprobó que no eran bacterias? Antes de conocer el nombre de este grupo de organismos, es interesante comentar que se descubrieron y se comprobó que no eran verdaderas bacterias por la

información genética que contiene el ADN; información que se obtiene al conocer la secuencia del mismo, es decir el orden en el que se disponen en cada cadena lineal las bases nitrogenadas (las famosas Adenina, Citosina, Guanina y Timina, de la estructura en doble hélice propuesta por James Watson y Francis Crick en 1953). Aunque esto pueda sonar a algo muy complicado; en la actualidad, **secuenciar el ADN** es una técnica rutinaria en los laboratorios de análisis molecular. Por ejemplo, la primera secuencia completa de ADN se obtuvo en 1975 de un virus que infecta bacterias, el fago T4.

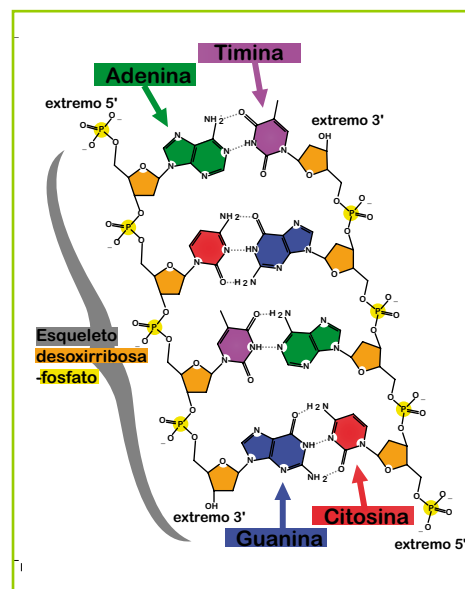


Figura 4.6. El descubrimiento de la doble hélice de ADN por Watson y Crick ha posibilitado el desarrollo de técnicas de conocimiento de la verdadera naturaleza de ciertos organismos.
Autor: Miguel Sierra. Fuente: Commons; DNA_chemical_structure.org



Virus de la gripe. Autores: Dr. Erksine L. Palmer & Dr. M.L. Martin

¿Y qué pasa con los virus?

Dada la gran controversia que existe en la comunidad científica, de si los virus son formas de vida simple o sólo formas moleculares complejas que dependen de organismos para replicarse, no los incluimos en este capítulo; aunque todos los conocemos como agentes infecciosos, todavía no se sabe bien el papel que juegan en mantener, e incluso, aumentar la biodiversidad del Planeta.

Aunque podemos analizar la secuencia de algunas regiones del ADN, todavía estamos lejos de conocer la secuencia del genoma completo de todos los organismos. Así, en la bases de datos del National Center for Biological Information (NCBI; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) aparecen unos 1000 genomas completos, la mayoría de organismos procariontes (organismos formados por una única célula en la que el ADN se encuentra disperso en la misma) y muy pocos eucariontes (organismos formados por una o más células en las que el ADN se encuentra dentro de un orgánulo celular denominado núcleo).

De procariontes a eucariontes

En 1925, el naturalista y biólogo marino francés Édouard Chatton acuñó los términos **procariontes** y **eucariontes** para distinguir los organismos con células que no tienen núcleo de aquellos que tienen células con núcleos.

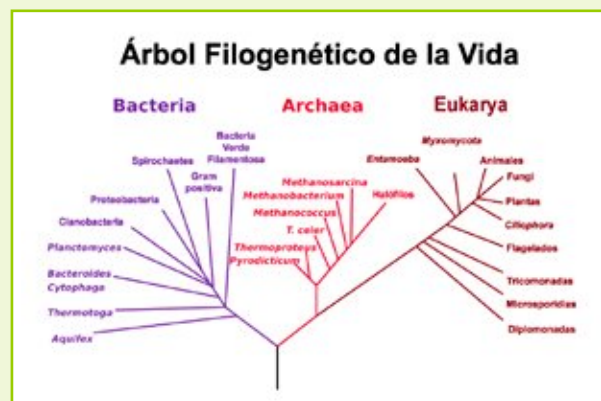
Sin embargo, para **detectar y conocer la variedad** de organismos microscópicos, que pueblan los diferentes ambientes y que son difíciles de cultivar y/o de observar al microscopio, nos basta con analizar una parte del genoma. Una región muy utilizada es la que codifica, en la que están las instrucciones, para formar los ribosomas (orgánulos celulares presentes en todos los seres vivos y que intervienen en la síntesis de las proteínas).

Al comparar las diferencias en las secuencias de ARN ribosómico y plasmarlas en un diagrama a modo de árbol, Carl Woese (1928-) y sus colaboradores descubrieron que los procariontes, considerados desde Chatton, sobre la base de los caracteres morfológicos como un único grupo [Reino Monera en la clasificación de los cinco reinos de Robert H. Whittaker (1920-1980); Reino Bacterias en la clasificación de los seis reinos de Thomas Cavalier-Smith (1942-)], se separaban en dos grupos (clados) bien diferenciados. Como los sistemas de clasificación ideales son los que describen **grupos naturales**, es decir, en los que todos los organismos incluidos en el grupo han evolucionado de un ancestro

común (**clado monofilético**), Woese y sus colaboradores rechazaron las clasificaciones anteriores, que se basaban en una primera división de los organismos en procariontes y eucariontes (la popular, pero obsoleta, de Whittaker de 1969, y la de Cavalier-Smith de 1981), y propusieron en 1990 el sistema de clasificación de los **tres dominios**. Así, separaron los organismos del Reino Monera de Whittaker o Reino Bacterias de Cavalier-Smith, todos con células procariontas y microscópicas, en dos grupos.

Woese y las nuevas clasificaciones: Los tres dominios

Dominio **Eubacterias** (o verdaderas bacterias que tienen una pared celular formada por mureína, un peptidoglucano) y Dominio **Arqueobacterias** (microorganismos con morfología similar a las eubacterias, pero que carecen de mureína en su pared celular). En la clasificación de Woese y colaboradores hay un tercer dominio (**Eucarias**), que engloba todos los organismos eucariontes conocidos, tanto si son unicelulares como pluricelulares.



Autor: Rock'n Roll. Fuente: PNAS 1990

En los últimos cinco años, se han identificado miles de eubacterias, arqueobacterias y de eucarias microscópicas ya que, aunque muchos de ellos no pueden ni visualizarse ni

cultivarse, se pueden detectar en los ambientes en los que viven mediante análisis metagenómico. La **metagenómica**, o también llamada genómica ambiental de las comunidades, permite analizar todos los ADN que hay en una muestra, por ejemplo de agua o de suelo. Para ello, primero se extraen los ADN que contiene (ADN genómicos) y se fraccionan en pequeños fragmentos mediante enzimas de restricción, se clonan, se secuencian y, a partir de las secuencias parciales, se recomponen los genomas de cada uno de los organismos que habitan en la muestra analizada. El pionero en esta técnica, Craig Venter (1946-) junto con sus colaboradores analizó muestras de agua del mar de los Sargazos, mar que por su baja concentración de nutrientes se consideraba que estaría escaso de organismos vivos. A Venter le costó convencer a la comunidad científica sobre la validez de su método; sin embargo, demostró el potencial de esta nueva técnica después de secuenciar y ensamblar más de mil millones (1 millardo= mil millones) de pares de bases de las muestras de los Sargazos e identificar, unas 1800 especies de microorganismos. Desde entonces, son numerosos los trabajos que se publican describiendo nuevos microorganismos utilizando la metagenómica, muchos relacionados con el proyecto CoML, un ambicioso proyecto internacional en el que participan más de 1000 investigadores para elaborar el censo de la vida marina, o con el proyecto MetaHIT, cuyo objetivo es caracterizar la variabilidad genética de las comunidades microbianas del tubo digestivo de los humanos.

En nuestro país, dentro del proyecto CONSOLIDER INGENIO **El Metagenoma de la Península Ibérica**, varios equipos de investigación realizan análisis metagenómicos para explorar la biodiversidad del suelo de unos 100 lugares de nuestro territorio.

http://eigr.grupoei.com/i/i8031/prensa_noticia1.php

Tal y como comenta Cavalier-Smith (2004) los análisis moleculares han sido cruciales para explorar la inmensa diversidad escondida de los organismos, pero debemos ser cautos a la hora de establecer los sistemas de clasificación; ya que las

relaciones obtenidas con análisis de las secuencias de ADN se deben corroborar con otras fuentes de evidencia, como análisis ultraestructurales o datos bioquímicos. Por ejemplo, de muchas eubacterias y arqueobacterias sólo se conocen las secuencias de ARN ribosómico nuclear y carecemos de otros datos; por eso, Cavalier-Smith prefiere hablar del reino Bacterias, aunque separa dos subreinos (Negibacteria y Unibacteria) que casi coinciden con los dos dominios eubacteria y arqueobacteria de Woese. Aquí, veremos algunos ejemplos de la biodiversidad microscópica, siguiendo los tres dominios de Woese y, dentro de cada dominio, algunos grupos monofiléticos.

Las **eubacterias** presentan cuatro formas básicas (esféricas o cocos, en forma de bastón o bacilos, en forma de coma o vibrios y espirales o espirilos) que, previo a los estudios moleculares, se clasificaban en dos grandes grupos, relacionados con la coloración que aparecía en su pared celular, tras utilizar la técnica de tinción que desarrolló Christian Gram en 1884. La bacterias Gram +, con varias capas de mureína en su pared celular, se tiñen de azul o violeta, mientras que las bacterias Gram -, con sólo una capa de mureína, se tiñen de rosa o rojo. Sin embargo, en la actualidad la reacción Gram es sólo un dato más a tener en cuenta a la hora de la clasificación, ya que sobre la base de los análisis de ADN, hay unos 24 grupos de eubacterias con metabolismo muy diverso.

Aunque las eubacterias no tienen muy buena prensa, ya que se asocian en muchas ocasiones con enfermedades y procesos infecciosos, la gran mayoría realiza trabajos muy especializados, como el que llevan a cabo desde hace miles de millones de años las del grupo **Cyanobacterias**. Estas bacterias son **fotolitoautotrófas** y efectúan la llamada fotosíntesis oxigénica, proceso en el que la energía luminosa se transforma en energía química (**fototrofia**). Para realizar la conversión de una energía a otra se necesita un sustrato donante de electrones que, en la fotosíntesis oxigénica, es un compuesto inorgánico (**litotrofia**) - el agua - y como subproducto se genera oxígeno. Estas eubacterias utilizan CO₂ como fuente de carbono (**autotrofia**). La cianobacterias se conocen también por el nombre de cianofíceas (algas verdeazuladas), y se clasificaban en el reino de las plantas, pero son procariontes con reacción Gram negativa. Las más comunes son cocoides, que forman agregados rodeados por una capa

de mucílago, otras forman filamentos en los que las células están en contacto por medio de microplasmodesmos (finos canales que atraviesan las membranas y paredes celulares y que permiten que los citoplasmas de células adyacentes entren en contacto). Algunas cianobacterias presentan heterocistes, unas células de mayor tamaño que contienen en su interior nitrogenasa, una enzima que les confiere la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico [el N_2 es el componente principal de la atmósfera terrestre -78,1 %- y es indispensable para formar los aminoácidos y los ácidos nucleicos]; ya que toman el N_2 del aire y lo reducen a amonio (NH_4^+), una forma de nitrógeno que todas las células pueden utilizar. En las aguas dulces y en los ecosistemas terrestres son las especies de los géneros *Nostoc* (colonias esféricas formadas por filamentos con heterocistes) y *Anabaena* (filamentos con heterocistes) las que realizan la labor de incorporar el N_2 atmosférico a la cadena trófica; mientras que en los océanos, sobre todo en regiones tropicales y subtropicales, esta función la realizan principalmente las especies del género *Trichodesmium* (filamentos sin heterocistes).

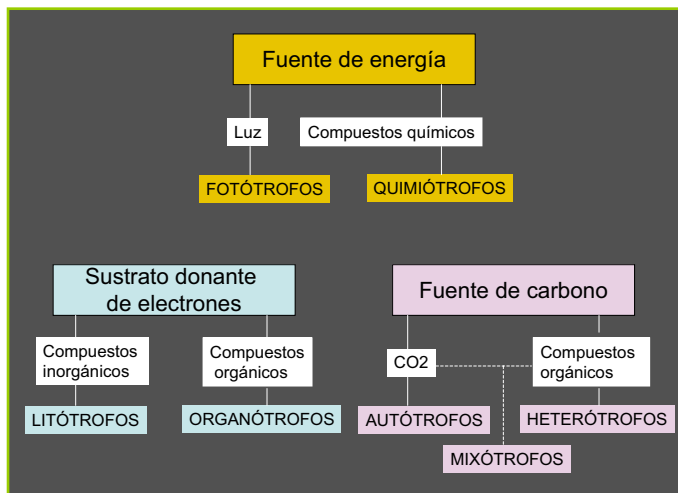


Figura 4.7. Esquema que representa la terminología que se emplea para describir los organismos de acuerdo con las fuentes de energía y de carbono, así como el sustrato donante de electrones. Autora: María P. Martín. Realizada por la autora

Las bacterias verdes del azufre, como las del género *Chlorobium*, forman un grupo monofilético denominado **Chlorobi**. Son bacterias fotolitoautotrófas que realizan la fotosíntesis

anoxigénica, en la que el sustrato donante de electrones no es el agua, sino los compuestos de azufre, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S). Estas bacterias se encuentran en ambientes ricos en azufre como, por ejemplo, en fumarolas (mezclas de gases y vapores que salen por las grietas de los volcanes).

Las **Proteobacterias** son el grupo más numeroso de eubacterias, todas Gram – y con metabolismo muy variado. El bacilo más estudiado *Escherichia coli*, conocido por su nombre abreviado *E. coli*, forma parte de la flora intestinal de mamíferos sanos. De esta eubacteria se han identificado y descrito más de 100 cepas o variantes genotípicas, casi todas ino- cuas; sin embargo, la cepa O157:H7 [las letras y números hacen referencia a los marcadores antigénicos] identificada tras un brote de diarrea aguda en EEUU en 1982, produce una toxina muy fuerte que puede ser letal para niños, ancianos y personas inmunocompetentes.

El serotipo *E. coli* O157:H7 es considerado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) como uno de los principales patógenos involucrados en las enfermedades de transmisión alimentaria, en su caso a través del consumo de carne y leche.

Escherichia coli, como la mayoría de los microorganismos es **heterótrofa** (o más exactamente **quimioorganoheterótrofa**, ya que obtiene la energía de compuestos orgánicos – **quimiótrofo** –, el sustrato donante de electrones en las reacciones metabólicas de oxidación-reducción son compuestos orgánicos – **organótrofos** – y la fuente de C para construir masa celular son compuestos orgánicos – **heterótrofos**). Algunas especies de proteobacterias quimioorganoheterotrófas, pueden fijar el nitrógeno atmosférico como, por ejemplo, las especies de los géneros *Azotobacter*, que crecen de forma libre en el suelo, o *Rhizobium*, que crecen en el interior de las células de las raíces de algunas plantas, la mayoría leguminosas, en las que provocan unos abultamientos (nódulos). Otras proteobacterias realizan fotosíntesis anoxigénica mediante la oxidación del H_2S ; son las llamadas bacterias púrpuras o rojas del azufre, que crecen en manantiales

sulfurosos o en aguas estancadas, como las especies del género *Chromatium*. La proteobacteria *Beggiatoa*, uno de los procariotas de mayor tamaño (las células que forman los filamentos pueden alcanzar los 200 μm de diámetro), también puede oxidar compuestos de azufre.

Las eubacterias, junto con otros organismos microscópicos, forman los tapetes microbianos, densas comunidades de microorganismos que se disponen en capas siguiendo un patrón de estratificación vertical, en el que en la capa superior suele estar dominada por las cianobacterias, la capa media por bacterias verdes y púrpuras del azufre, y las capas inferiores por eubacterias anaeróbicas. Estas formaciones, tal y como indican Camacho & Fernández-Valiente (2005) son frecuentes en ambientes extremos como salinas, charcas y lagos hipersalinos, fuentes termales, desiertos y zonas polares.

En los últimos años se está estudiando el papel de los tapetes microbianos en la biorremediación de las aguas contaminadas por hidrocarburos, ya que pueden, por ejemplo, convertir los componentes tóxicos y mutagénicos del petróleo en productos que pueden incorporarse de nuevo a los ciclos biogeoquímicos naturales (Martínez-Alonso & Gaju 2005).

En los tapetes microbianos, junto a las eubacterias anaeróbicas se han identificado un gran número de **Arqueobacterias**. La clasificación de los grupos monofiléticos en este dominio no está muy clara todavía, ya que la mayoría se ha estudiado a partir de muestras ambientales, mediante análisis metagenómicos, y sólo se tienen datos de las secuencias del ADN. Las primeras arqueobacterias que se descubrieron vivían en ambientes extremos (aguas hipersalinas, como las del Mar Muerto o las del Gran Lago Salado, o en aguas con T superior a los 100 $^{\circ}\text{C}$, como la de los geísers); aunque, son frecuentes en aguas oceánicas. Sólo algunos grupos de arqueobacterias se han podido cultivar y, por su forma (coco, bacilo o espirilo), son similares a las eubacterias. Sin embargo, no poseen paredes celulares con peptidoglicanos y las membranas celulares, a diferencia de las de las eubacterias

y de las de los eucarias, presenta lípidos que poseen enlaces éter para la unión del glicerol con cadenas laterales hidrofóbicas, como las de isopreno (En eubacterias y eucarias las membranas celulares presentan fosfolípidos constituidos por glicerol, al que se unen dos ácidos grasos y un grupo fosfato; los lípidos se unen al glicerol por enlaces éster).

De acuerdo con los datos moleculares, hay dos grupos principales de arqueobacterias, **Crenarchaeota** y **Euryarchaeota**. El primero es un grupo fisiológico homogéneo, que incluye las especies que crecen en ambientes de temperaturas muy altas (crecimiento óptimo entre 75 y 110 $^{\circ}\text{C}$) y dependientes del sulfuro, como zonas volcánicas y fuentes hidrotermales del fondo del océano; presentan un metabolismo diverso (quimioorganoheterótrofas, quimiolitoheterótrofas, quimio-litoautótrofos...) Las Euryarchaeota son un grupo heterogéneo, que incluye, entre otras, a las metanogénicas y las halófilas. Las metanogénicas son anaerobias obligadas, viven en ambientes sin oxígeno (no toleran ni cantidades mínimas de O_2) y producen gas metano a partir de agua y del CO_2 ; así se han creado la mayoría de las fuentes de gas natural. Estas arqueobacterias son abundantes en el tracto digestivo de rumiantes, termitas y humanos. De momento no se conocen arqueobacterias patógenas para los humanos. Las halobacterias pueden sobrevivir con concentraciones de hasta 32% de sal (ninguna eubacteria puede crecer en ambientes hipersalinos); realizan una forma de fotosíntesis, ya que tienen un pigmento, la bacteriorodopsina, que les permite captar energía lumínica y transformarla en energía química; pero, es una fotosíntesis distinta a la de otros fotosintetizadores (bacterias, algas y plantas), ya que no pueden fijar CO_2 .

El dominio **Eucaria** presenta una gran diversidad morfológica, desde organismos unicelulares a pluricelulares que forman pseudotejidos o tejidos verdaderos. En todos los estudios moleculares, algunos grupos monofiléticos coinciden con los reinos clásicos de hongos, plantas y animales, en los que también hay representantes microscópicos. Sin embargo, la mayor dificultad estriba en clasificar a los organismos microscópicos, que no están estrechamente emparentados ni con animales, ni plantas ni hongos, ya que constituyen varios grupos monofiléticos separados, a pesar de que en las clasificaciones tradicionales se incluyen en un reino o en dos: reino Protista (Whittaker 1969) o reinos Protozoa y Chromista (Cavalier-Smith 1998). En una clasificación

reciente, propuesta por unos 30 investigadores sobre la base de estudios ultraestructurales y moleculares, los eucarios se distribuyen, principalmente, en 6 grupos (<http://phylogenetics.bioapps.biozentrum.uni-wuerzburg.de/etv/>).

Whittaker 1969 5 reinos	Woese et al. 1977 6 reinos	Woese et al. 1990 3 dominios	Cavalier-Smith 1998 2 imperios y 6 reinos
Monera	Eubacteria	Bacteria	Bacteria
	Archaeobacteria	Archaea	
Protista	Protista	Eukarya	Protozoa
Fungi	Fungi		Chromista
Plantae	Plantae		Fungi
Animalia	Animalia		Plantae
			Animalia

Figura 4.8. La clasificación de los seres vivos ha ido cambiando a medida que se conocía más sobre ellos. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Reino_\(biolog%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Reino_(biolog%C3%ADa))

Los **Archaeplastidia**, en los que se incluyen las plantas y las algas verdes (**Clorobiontes**), así como las algas rojas (**Rodófitas**) y un grupo de algas de agua dulce (**Glaucófitos**), presentan cloroplastos con dos membranas lo que sugiere que estos orgánulos se adquirieron por endosimbiosis primaria de una cianobacteria. En las especies de clorobiontes en el interior de los cloroplastos contienen clorofila a y clorofila b; mientras que en las rodófitas no hay clorofila b, pero sí otros pigmentos que dan la coloración característica (ficoeritrina y ficocianina). Los glaucófitos tienen, además de la clorofila a otros pigmentos fotosintetizadores. Todos los glaucófitos son unicelulares y viven en agua dulce (e.g. *Glaucocystis*, *Cyanophora*). La mayoría de las algas rojas son pluricelulares y macroscópicas, con muy pocos representantes microscópicos (e.g. *Galdieria*, *Cyanidium*). Las algas verdes son, en su mayoría, unicelulares (e.g. *Chlorella*, *Trebouxia*) o filamentosas (e.g. *Spyrogira*); algunas forman colonias, también microscópicas (e.g. *Volvox*).



Figura 4.9. *Glaucocystis* sp. / from Kanazawa, Ishikawa Pref., Japan / Microscope:Leica DMRD (DIC)

El grupo de los **Opisthokonta** se caracteriza por presentar, en algún momento de su ciclo biológico, células con un flagelo en posición posterior a la del movimiento (flagelo opistoconto, como el de los espermatozoides). Se incluyen los **Fungi** (hongos) y **Metazoa** (animales), así como algunos organismos que se habían clasificado en los antiguos protistas, los **Choanozoa**, parásitos de peces y otros animales, que aparecen en los tejidos de los hospedantes como células esféricas u ovaladas que contienen esporas.



Figura 4.10. Los Choanozoa parasitan diferentes especies animales. *Sphaeroeca*, es una colonia constituida por unos 230 individuos
Autor: Dhzanette

Por lo que respecta a los hongos, la mayoría son invisibles al ojo humano o al menos pasan totalmente desapercibidos durante largos períodos de tiempo. Por ejemplo, en el Bosque Nacional de Malheur (Oregón, Estados Unidos) año tras año muchos árboles se debilitan y caen; desde mediados del siglo pasado se conoce que la devastación es producida por un hongo, *Armillaria ostoyae*, que en otoño fructifica

formando en la base de los árboles grupos de setas de color miel. En 1998, expertos en botánica dirigidos por Catherine Parks, comenzaron a analizar genéticamente este hongo y llegaron a la conclusión de que las setas las producía el mismo individuo, que se extiende por el suelo y entre las raíces de los árboles unas 900 hectáreas (unos 1800 campos de fútbol) mediante unos filamentos llamados rizomorfos.



Figura 4.11. Micelio (conjunto de hifas) de *Armillaria* sp. en la base de un pino rojo (*Pinus ponderosa*). Autor: William Jacobi. Colorado State University

Los hongos son heterótrofos como los animales y presentan unas enzimas hidrolíticas que les permiten degradar los alimentos; a diferencia de los animales, la digestión es externa. Aunque la clasificación de los hongos no es definitiva, se consideran 8 grupos monofiléticos; en cada uno de ellos hay organismos microscópicos: los **Chytridiomycota** son, en general, acuáticos y presentan esporas móviles, muchos son parásitos de plantas e insectos (*Batrachochytrium dendrobatidis* es considerado uno de los responsables del declive global de la población de anfibios); los **Neocallimastigomycota** son anaerobios y viven en el aparato digestivo de los herbívoros, no tienen mitocondrias sino hidrogenosomas; los **Blasotoladiomycota** son saprófitos o parásitos de algas y larvas de insectos; los **Microsporidia** son unicelulares y parasitan animales; los **Zygomycota** presentan unas hifas sin septos transversales (sifonadas), forman parte de los llamados mohos de crecimiento rápido y de un grupo que parasita insectos y otros artrópodos; los **Glomeromycota** que forman una simbiosis especial con raíces de plantas vasculares (micorrizas de tipo arbuscular); los **Ascomycotas**, el grupo más amplio y diverso de hongos, entre los que se encuentran organismos microscópicos tan conocidos como *Saccharomyces cerevisiae* (la levadura de la cerveza) o el *Penicillium notatum*, y otros casi desconocidos parásitos de insectos (laboulbeniomycetes); y, por último, los Basidiomicotas, entre los que

se encuentran las royas y los carbones, parásitos obligados de plantas vasculares, o las levaduras del género *Malassezia* que causan una enfermedad de la piel denominada pitiriasis versicolor. Algunas especies de ascomycotas y basidiomicotas viven en estrecha relación con las raíces de plantas vasculares formando micorrizas lo que facilitan la absorción de agua y sales minerales a las plantas.

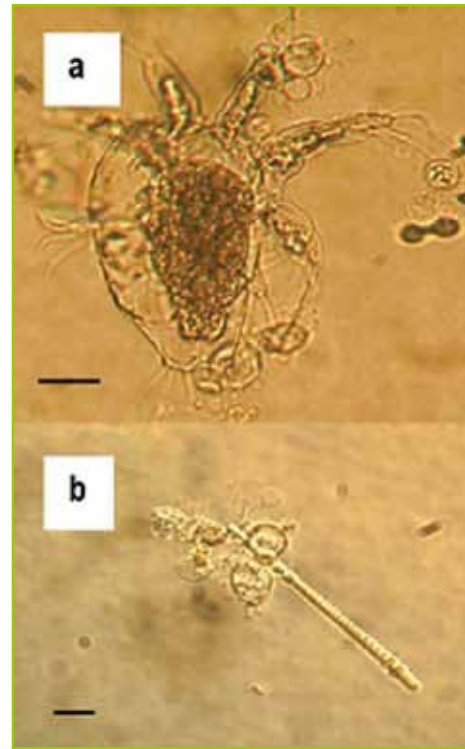


Figura 4.12. Los *Chytridiomycota* son hongos acuáticos microscópicos parásitos de plantas y animales. La especie *Batrachochytrium dendrobatidis* (en la imagen) ha sido considerado uno de los principales responsables del declive global de las poblaciones de anfibios

Los metazoos son heterótrofos, pluricelulares y, en general, con tejidos verdaderos. Los loricíferos, que mencionábamos al principio del capítulo, son los primeros casos de metazoos que pueden vivir sin oxígeno. Entre los metazoos hay algunos representantes microscópicos, como *Myxobolus cerebralis* (**Myxozoa**), parásitos de salmónidos que necesitan de otro hospedante, un gusano segmentado, para completar su ciclo biológico. Los ácaros (arácnidos) se pueden encontrar en diferentes ambientes, desde desiertos, tundras, el polvo de casa, etc; algunos son microscópicos, ya que sólo alcanzan 0.1 mm de longitud.



Figura 4.13. Micrografía de un ácaro de la especie *Aceria anthocoptes* obtenida a través del microscopio electrónico de barrido. Se trata de un posible agente potencial de lucha biológica contra el cardo cundidor (*Cirsium arvense*)

En el grupo de los **Amoebozoa** se incluyen algunas amebas (células que se mueven y se alimentan por proyecciones denominadas pseudópodos, capturando principalmente bacterias), como las **Flabellinea**, que forman numerosas proyecciones no siempre relacionadas con la locomoción, o las **Tubulinea**, que producen caparazones internos denominados testas (e.g. *Arcella*). También se encuentran entre los amebozoos los llamados mohos mucilaginosos (**Eumycetozoa**), que comprenden tres grupos de organismos: los mixomicetes, los dictiostélidos y los protostélidos que, aunque no siempre pueden visualizarse en su hábitat, se pueden estudiar en el laboratorio tras cultivo en cámara húmeda.



Figura 4.14. Imagen de *Arcella* sp.
Imagen: Wikipedia
Autor: ja
User: NEON_ja/
commons

La forma ameboide aparece también en otro grupo monofilético, los **Rhizaria** que constituían parte de los antiguos protistas, y que incluye a **Cercozoa** (comunes en el suelo, aunque también aparecen en ambientes acuáticos), a los

Foraminifera (marinos y, en general, bentónicos), que presentan unas conchas calcáreas, y los **Radiolaria** (marinos y planctónicos), que pueden tener un exoesqueleto de sílice.

Los **Chromoalveolata** constituyen uno de los linajes principales de los eucariotas, comparten la presencia de celulosa en las membranas celulares y, en aquellos que todavía los conservan, los cloroplastos proceden de un evento de endosimbiosis secundaria con un alga roja unicelular. En los **Heterokonta** o **Stramenopiles**, hay representantes autótrofos y heterótrofos; muchos son unicelulares con dos flagelos de distinto tamaño, otros presentan células flageladas en algún momento de su ciclo biológico. Entre los autótrofos microscópicos se encuentran las crisofíceas o algas doradas (unicelulares biflageladas que, en algunos casos, presentan una cubierta formada por placas silíceas) y las diatomeas (algas unicelulares encapsuladas en una cubierta de sílice llamada frústulo); estas últimas son un elemento fundamental del plácton marino. Entre los heterocontes heterótrofos, los más numerosos son los oomicotes, que pueden ser saprófitos o parásitos, tanto de animales o de plantas, e incluso patógenos, como *Aphanomyces astaci*, que está diezmando las poblaciones de cangrejos europeos, o *Peronospora parasitica*, que ocasiona grandes pérdidas anuales en cultivos hortícolas. Los **Alveolata**, son unicelulares y presentan distintos tipos de nutrición, desde autótrofa, como algunos dinoflagelados, o heterótrofa, como los apicomplexos que son parásitos obligados (e.g. *Plasmodium* que causa la malaria) o los ciliados, organismos unicelulares que presentan unas estructuras filiformes – cilios- que rodean toda la célula o parte de ella y se encuentran en el plancton de ríos, lagos, mares y océanos. Otros dos grupos de heterocontes unicelulares son los **Haptophyta**, algunos con un exoesqueleto de placas calcáreas denominados cocolitos, y los **Cryptophyta** con células siempre desnudas.

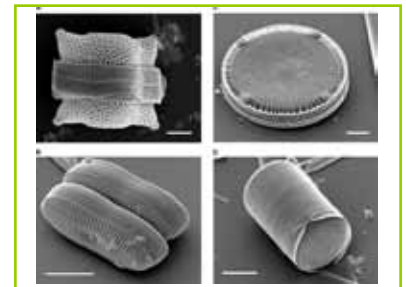


Figura 4.15. Fotografías al Microscopio Electrónico de Barrido.
A: *Biddulphia reticulata*; B: *Diploneis* sp.;
C: *Eupodiscus radiatus*;
D: *Melosira varians*
Fuente: PloS
Biol2/10/2004

Un gran número de los antiguos protistas (los flagelados) se incluyen en los **Excavata**, un grupo bastante heterogéneo del que todavía no se tienen datos suficientes para corroborar si forman un clado monofilético o no. Muchos excavados carecen de mitocondrias típicas, otros presentan mitocondrias bien desarrolladas. Sólo el parentesco entre los **Euglenozoa** y los **Percolozoa** se apoya en datos moleculares y morfológicos robustos, como la presencia de mitocondrias con crestas discoides. Los euglenozoos son unicelulares flagelados con diferentes tipos de nutrición: los depredadores presentan una apertura en la célula (citostoma o boca celular), por donde entran partículas alimenticias, entre ellas bacterias; los fotosintetizadores tienen cloroplastos similares a los de las plantas; los parásitos, como los tripanosomas, pueden provocar enfermedades importantes, como la leishmaniosis que afecta a distintos animales y a los humanos. Los percolozoos, también llamados Heterobolosea, viven en el suelo, agua dulce y en las heces. Algunas especies son parásitas como *Naegleria fowleri* que puede presentar formas flageladas o ameboides y provoca la meningoencefalitis amebica en el hombre. Los **Metamonada** carecen de mitocondrias, porque las han perdido de forma secundaria, y presentan flagelos en grupos de cuatro; muchos son simbioses de animales (e.g. algunos viven en el tracto digestivo de las termitas, degradando celulosa) y su metabolismo es anaeróbico, aunque hay también formas libres (e.g. *Trimastix*).

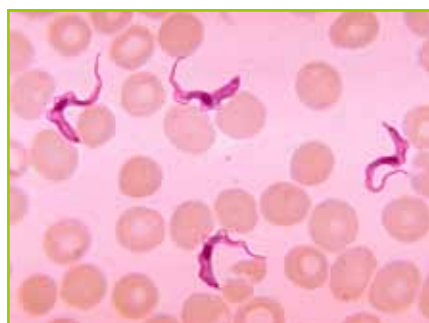


Figura 4.16.
Trypanosoma en
sangre humana.
Autor: CDC/DR. Myron
G. Sch

En los próximos años, con los nuevos métodos de análisis y el conocimiento que vamos acumulando tras siglos de estudio, seremos capaces de añadir nuevas ramas al árbol de la vida al incorporar información sobre toda la exuberante

biodiversidad escondida; aunque, con toda probabilidad, algunas conexiones entre las ramas se hayan perdido en el curso de la evolución o no sean fáciles de interpretar.

Bibliografía de interés

Adl, S.M., Simpson, A.B., Farmer, M.A. et al. 2005. The New Higher level classification of Eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 52 (5): 399-451. (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1550-7408.2005.00053.x/pdf>)

Cavalier-Smith, T. 2004. Only six kingdoms of life. *Proc. R. Soc. Lond. B*. 271: 1251-1262. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691724/pdf/15306349.pdf>)

Camacho, A. & E. Fernández-Valiente. 2005. Un mundo dominado por los microorganismos. *Ecología microbiana de los lagos antárticos. Ecosistemas*. 14(2): 66-78. (<http://revistaecosistemas.net/pdfs/109.pdf>)

Danovaro, R., Dell'Anno, A., Pusceddu, A., Gambi, C., Heiner, I. & R. Møbjerg Kristensen. The first metazoa living in permanently anoxic conditions. *BMC Biology* 2010 (<http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1741-7007-8-30.pdf>)

Maddison, D. R. & K.-S. Schulz (eds.) 2007. *The Tree of Life Web Project*. Internet address: (<http://tolweb.org>)

Martínez-Alonso, M. & N. Gaju. 2005. El papel de los tapetes microbianos en la biorrecuperación de zonas litorales sometidas a la contaminación por vertidos de petróleo. *Ecosistemas*. 14(2): 79-81. (<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=122>)

Woese, C.R., Kandler, O. & M. L. Wheelis 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal of the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. (<http://www.pnas.org/content/87/12/4576.full.pdf+html>)

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

<http://www.monografias.com/trabajos14/microbiol-historia/microbiol-historia.shtml#AVANCES>

Página que abarca, de forma resumida, muchos conceptos de microbiología.

<http://www.biologia.edu.ar/microscopia/meb.htm>.

Textos desarrollados por profesores de Biología, en los que incluyen los contenidos básicos de las materias de las distintas carreras y diagramas e imágenes originales, así como microfotografías de microscopía óptica y electrónica propias.

<http://www.ucmp.berkeley.edu/archaea/archaea.html> (en inglés).

Esta página describe los principales grupos, sus diferencias bioquímicas, recoge información sobre el registro fósil y las estructuras de las paredes celulares.

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/micro/contenidos10.htm>.

Se proponen multitud de actividades sobre microbiología para alumnos de 2º de bachillerato. Clasificación de los microorganismos, sus características, su papel en los ecosistemas, su relación con las enfermedades y su participación en diversos procesos industriales relacionados con la fabricación de alimentos o medicamentos, y la conservación del medio ambiente. Incluye, entre otras, análisis de textos y actividades de investigación en la red.

http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/2BCH/B5_MICRO_INM/T51_MICROBIOLOGIA/INDICE.htm.

Unidad de trabajo publicada en el Portal de la Consejería de Educación del Principado de Asturias, elaborada por José Luis Sánchez Guillén, Profesor de Biología y Geología, para alumnos de 2º de Bachillerato, en la que se encuentran abundantes contenidos teóricos y varias actividades sobre los diferentes tipos de organismos microscópicos.

<http://www.denniskunkel.com/> (en inglés).

Excelente banco de imágenes de microscopio electrónico, que incluye interesantes detalles de virus, bacterias, algas e invertebrados.

<http://www.joseacortes.com/practicas/obsbacterias.htm>.

La Web de José Antonio Cortés contiene abundantes materiales didácticos de Biología, entre ellos una buena selección de guiones de prácticas de laboratorio que se pueden realizar con los recursos de un Instituto de Secundaria. Por ejemplo, éste sobre observación microscópica de bacterias en yogurt, vinagre o sarro dental.

<http://www.joseacortes.com/microbiologia/index.htm>.

La Web de José Antonio Cortés contiene una relación de ensayos microbiológicos que incluye preparación de colorantes, tinciones y pruebas bioquímicas.

<http://alerce.pntic.mec.es/~mnavar6/algasprotoz.htm>.

La página del IES Carlos II de Madrid incluye guiones de prácticas de laboratorio. Un ejemplo, la observación de algas y protozoos (para alumnos de 3º de ESO).

<http://ficus.pntic.mec.es/~jpif0002/mohopan.htm>.

En la página del IES Carlos II de Madrid se incluye guiones de prácticas de laboratorio, como la observación del moho del pan (para alumnos de 1º de Bachillerato).

<http://encina.pntic.mec.es/~nmeb0000/menu.html>.

Completa página sobre el estudio de los invertebrados y algas del litoral, con abundantes actividades de autoevaluación.

The invisible World.

Una serie excelente de National Geographic.

La primera parte es introductoria, la segunda y tercera muy relacionadas con el capítulo de Biodiversidad escondida. Las partes 4 a 6 son más técnicas.

<http://www.youtube.com/watch?v=C2vQNMFPSYw&feature=related>.
The invisible World-Part 1.

<http://www.youtube.com/watch?v=Nln6vEQL1As&feature=related>.
The invisible World-Part 2.

<http://www.youtube.com/watch?v=RDqvyY69BBI&NR=1>.
The invisible World-Part 3.

http://www.youtube.com/watch?v=_1dRyk-zd2U&feature=related.
The invisible World-Part 4.

<http://www.youtube.com/watch?v=Pf3Wi8K283I&feature=related>.
The invisible World-Part 5.

<http://www.youtube.com/watch?v=UFGDRirpFjU&feature=related>.
The invisible World-Part 6.

<http://www.youtube.com/watch?v=dBU6-XK2v54&feature=related>.
We are not alone.- No estamos solos.

<http://www.youtube.com/watch?v=gEwzDydcWc&feature=related>.
Video sobre crecimiento de las bacterias.

<http://www.youtube.com/watch?v=7klZ7PTRgVQ&feature=related>.
Video que compara el crecimiento bacteriano con el crecimiento de las células.

http://www.dailymotion.com/video/x9xotm_la-tuberculosis_school.
Video sobre la tuberculosis. Los postulados de Kohn

http://www.youtube.com/watch?v=C1kUtlJ0yYQ&annotation_id=annotation_116621&feature=iv.

Video sobre el descubrimiento de la penicilina. Muy interesante porque une el descubrimiento de la penicilina, con los investigadores que hicieron posible la producción en masa y, además da la dimensión real de en qué momento los gobiernos se interesaron por esa producción, la 2ª Guerra Mundial.

<http://www.youtube.com/watch?v=X9aLFgggd6A&feature=related>.
Un video corto sobre Fleming y sus descubrimientos.

<http://www.youtube.com/watch?v=chUx2yshHGo&feature=related>.
Video en el que se describen la historia de la citología y sobre la célula eucariota.

<http://www.youtube.com/watch?v=Z080Q8fZmXU&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=n3bHIQ9kdYM&feature=related>

Videos sobre la célula eucariota.

<http://www.youtube.com/watch?v=eOvMNOMRRm8&feature=related>

Genetics 101 part 1: What are genes? Videos sobre qué son los genes, genomas.

<http://www.youtube.com/watch?v=5raJePXu00Q&feature=related>

Genetics 101 part 2: What are SNPs?. Videos sobre genética.

<http://www.youtube.com/watch?v=E5X6Qy772YU&feature=related>

Video en el que Craig Venter habla sobre el código genético, los avances, y sus avances; así como de la expedición al mar de los Sargazos.

<http://www.youtube.com/watch?v=7FiJFm013wk>

Sobre el Proyecto MEtaHIT cuyo objetivo era “descifrar la caracterización y variabilidad genética de las comunidades microbianas que viven en el tubo digestivo de los humanos: 10 millones de millones de bacterias; 3.300.000 genes diferentes traducidos en 20.000 funciones diferentes, 5.000 de las cuales eran totalmente desconocidas hasta ahora”.

<http://www.youtube.com/watch?v=GScyw3ammmk&feature=related>

Videos sobre el crecimiento de mixomicetes y hongos.

<http://www.youtube.com/watch?v=mrrCYQWosJI&feature=related> (en alemán, 10 minutos).

Videos sobre el crecimiento mixomicetes y hongos.

OTROS TEXTOS DE CARÁCTER DIDÁCTICO

Fernández, M. L., Álvarez, J. L., Casaderrey, M. L., España, J. A., Lillo, J., Viel, T., Peac-I. La enseñanza por el entorno ambiental, Servicio Publicaciones del MEC, Madrid, 1981, 363 pp

Una obra clásica, del servicio de publicaciones del MEC, para trabajar con alumnos la Educación Ambiental, que incluye actividades separadas por entornos (regiones costeras, montañas y bosques, ciudad, etc.) con una estructura común (objetivos, técnicas de trabajo, resultados de las observaciones, conclusiones y bibliografía). Entre las actividades relacionadas con la biodiversidad escondida están las prácticas de recolección y estudio de animales y plantas acuáticas de costa.

VINCULACIONES CINEMATográfICAS

El cine se ha ocupado del mundo microscópico, principalmente a través del género de ciencia ficción. Destacan, con relación a la fisiología humana, **Viaje alucinante** (Richard Fleischer, 1966), y la serie francesa de animación **Érase una vez el cuerpo humano** (1987), compuesta por 26 capítulos, que no ha perdido eficacia con el paso del tiempo. En el género de comedia, podríamos mencionar **Cariño he encogido a los niños** (J. Johnston, 1989). Por las posibilidades educativas destacamos dos producciones.



Microcosmos (Claude Nuridsany y Marie Perennou, 1996)

“Una pradera a primera hora de la mañana, en cualquier parte de la Tierra: Oculto en esta pradera hay un mundo inmenso, tan enorme como un planeta. La maleza se transforma en una selva impenetrable, las piedras en montañas e incluso la más pequeña charca es como un gran océano....”.

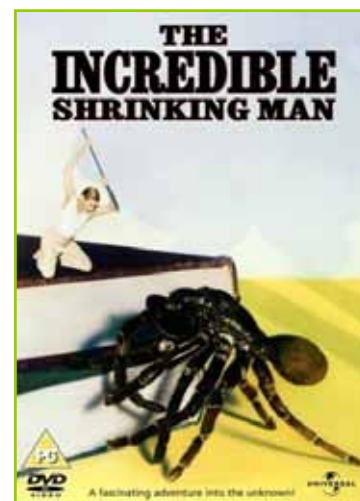
Con estas palabras se inicia este film documental. Son las únicas que escucharemos en toda la película. A continuación la cámara se adentra en un mundo plagado de es-

pecies, no percibidas fácilmente con nuestros sentidos, donde podemos observar cómo, determinadas por sus instintos, nacen, se nutren, se reproducen y se relacionan entre ellas y con el medio ambiente que les rodea.

Galardonado con el Gran Premio Técnico en el Festival de Cannes entre otros, esta película posee una estructura, a base de pequeños fragmentos casi independientes, que favorece su uso en las aulas como transporte de expectativas ante la idea de un universo microcósmico a conocer.

El increíble hombre menguante (Jack Arnold, 1957)

Scott Carey adquiere una extraña enfermedad que le hace menguar progresivamente, tras exponerse a las radiaciones de una extraña nube. Su gato de compañía se convierte para él en un depredador. El enfrentamiento a muerte que ha de tener con una araña le provoca pensamientos acerca de la relación y dominio que el hombre ha de ejercer sobre lo infinitesimal. El hombre se relaciona con toda la naturaleza, independientemente de su escala. Los doce últimos minutos de la película son demostrativos de esta idea y muy provocadores para su uso en el aula.



Pese a tratarse de una película de ciencia ficción con unos efectos especiales alejados de los que los alumnos están acostumbrados a ver, aporta interesantes reflexiones acerca de la necesidad de entender la naturaleza como un todo.

VINCULACIONES LITERARIAS

Los viajes de Gulliver de Jonathan Swift, mal considerada una obra infantil, ya refleja la atracción por otros mundos, poblados de animales inteligentes, gigantes y hombres. El interés por el mundo microscópico se manifiesta en el género de literatura fantástica y de ciencia ficción, muy bien representado por Richard Matheson en *El increíble hombre menguante* o por Isaac Asimov en *Viaje alucinante*. Seleccionamos aquí un texto de una biografía de Ramón y Cajal que refleja la atracción que sus investigaciones del estudio de la célula, como unidad básica de la vida, provocan en las élites científicas:

Ante tal situación Cajal reacciona y decide que no tiene otra opción que presentar sus indudables hallazgos en lo que metafóricamente podemos denominar el templo de la investigación anatómica y micrográfica del mundo, es decir, en la reunión de la Sociedad Alemana de Anatomía que va a celebrarse en Berlín.

Toma pues la decisión de acudir a esa reunión científica y mostrar allí sus preparaciones y sus hallazgos. El primer problema que se le presenta es reunir el montaje económico para el desplazamiento y los gastos que el mismo ocasione. La petición al Ministerio no es atendida y tiene que recurrir una vez más a su padre para recabar su ayuda, que suma a los quinientos de que él dispone. Su padre acepta también hacerse cargo de la familia de su hijo mientras dure su viaje y estancia en Berlín. Con tan modesto recurso económico Cajal viaja en tercera clase y se lleva en su equipaje su microscopio Zeiss que tan excelentes servicios le ha prestado.

Llegado a Berlín y tras alojarse muy modestamente, Cajal se convierte en un asiduo asistente a las sesiones del congreso. Se le destina un pequeño espacio para que pueda montar su microscopio y preparaciones en la sala de demostraciones preparada para el caso. Allí Cajal espera ansioso que alguna de aquellas ilustres figuras de renombre internacional se dirija a observar sus preparados microscópicos, pero desgraciadamente nadie acude ni muestra interés por las preparaciones de ese desconocido español. Cajal decide jugárselo todo a una carta y en un momento dado busca a Albert Kölliker, profesor de Würburgo, y figura internacional de la histología y tomándolo del brazo lo conduce hasta el microscopio con sus preparaciones histológicas. Podemos tener la certeza que ese modo de comportarse Cajal debió causar asombro inaudito entre los ilustres profesores que estaban en la sala en esos momentos. Todos esperaban que Kölliker, una vez vista alguna preparación, abandonara a ese desconocido personaje con toda educación. Pero las cosas evolucionan de modo totalmente diferente ante el asombro general de los asistentes. Kölliker, tras ver las primeras preparaciones que le mostró Cajal solicita que le vaya mostrando otra más. El interés del gran profesor alemán despierta

*la curiosidad de varios de los asistentes que se congregan alrededor de Kölliker y Cajal. Así aparecen Hiss, Waldeyer y Retzius, todos ellos figuras de máximo relieve en la ciencia histológica. Cajal escribe muchos años después recordando este momento: “Al fin, desvanecida la prevención hacia el modesto español, las felicitaciones estallaron calurosas y sinceras”. El raptado profesor Kölliker diría poco después: “Le he descubierto a usted, y deseo divulgar en Alemania mi descubrimiento”. (Aguirre de Viani, César. 2002. Cajal y su escuela, en *Estudios de historia de la ciencia y la técnica*, Nº 22 (pp 56-58). Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, Salamanca).*



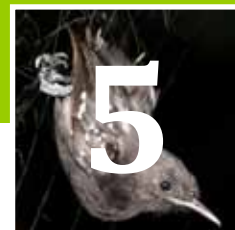
Muestreando la Biodiversidad

5

***Cercomacra serva*, Amazonia ecuatoriana.**
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Muestreando la Biodiversidad

Xavier Eekhout



Como se explica a lo largo de toda esta unidad didáctica, la Tierra es un lugar muy diverso, tan diverso que a día de hoy seguimos sin saber exactamente cuántas especies existen en el planeta. Esto explica porqué sigue siendo fundamental salir al campo y muestrear. Los beneficios de los muestreos, sobre todo si pueden ser llevados a cabo de forma sistemática, los encontramos a distintos niveles:

- A nivel de ciencia básica: Además del descubrimiento de nuevas especies, los muestreos nos dan información adicional como datos comportamentales o interacciones ecológicas, como por ejemplo las cadenas tróficas (quién se come a quién).
- A nivel de ciencia aplicada: Los muestreos permiten obtener listas de especies y mapas de distribución fundamentales para la gestión del medio ambiente. Además se pueden detectar amenazas al medio ambiente antes de que sea demasiado tarde (por ejemplo especies invasoras o amenazas de origen humano).
- A nivel educativo: Los muestreos generan muchísima información de utilidad para diversos grupos de personas, incluyendo estudiantes, naturalistas amateurs, investigadores de otras disciplinas, empresas de ecoturismo y el público en general.
- A nivel de la sociedad: Los muestreos de biodiversidad pueden generar información aplicable al desarrollo de tecnología que sirva para mejorar algún aspecto de nuestra vida cotidiana. Ver el ejemplo del velcro.

La invención del velcro: De un paseo por el campo al mundo de la moda

Georges de Mestral (Nyon, 19 de junio de 1907) era un ingeniero suizo quien un día paseando por el campo con su perro tuvo que luchar para desenganchar de sus pantalones y del pelo de su perro los cardos de una especie de planta del género *Arctium*, lo que popularmente conocemos como arrancamoño. Según se cuenta, al fijarse en la estructura de sus púas con una forma de gancho al final, se le ocurrió la posibilidad de aplicarlo para un sistema de cierre que ahora conocemos como velcro y que hoy en día encontramos en un número enorme de productos.

Los métodos de muestreo son tan diversos como la vida misma, de forma que resulta imposible incluir en unas pocas páginas las distintas técnicas que se pueden utilizar. De hecho, resultaría imposible elaborar unos estándares de muestreo universales para un único grupo taxonómico, ya que en cada campaña dependerá del objetivo concreto que se tiene (qué pregunta se quiere responder) y de los recursos disponibles. De esta forma, aunque el concepto habitual de un biólogo o naturalista muestreando se nos presente como una persona con ropa de safari armado con prismáticos y cazamariposas, la realidad es mucho más compleja que eso y podemos encontrar a gente realizando “simples” muestreos en lo más

alto de los árboles de la selva sobrevolando su copas sobre un moderno globo aerostático, o en lo más profundo del mar dentro de una sofisticada batisfera.

Lo que se pretende en este apartado de la unidad es introducir al alumno de forma general a las formas más habituales de muestreo por hábitat y por grupo taxonómico, para que perciba la complejidad que puede tener una campaña de muestreo. También se quiere resaltar la importancia de estandarizar tanto las observaciones como la toma de datos para que la información obtenida sea lo más aprovechable posible.

Estandarización de muestreos

La utilidad de los muestreos aumenta enormemente si éstos se llevan a cabo de forma sistemática, de manera que los resultados obtenidos sean comparables en el tiempo (distintas épocas del año o distintos años) y en el espacio (distintas localidades). En este apartado enumeramos una serie de aproximaciones metodológicas para tomar muestras independientemente de la técnica de muestreo que luego se aplique. Todas las técnicas que se mencionan en el siguiente apartado se podrían aplicar eligiendo alguna de estas aproximaciones metodológicas, que a su vez pueden combinarse según necesidad.

- **Muestreos dependientes del tiempo:** En esta aproximación cada tanda de muestreo se hace en función de una duración determinada de forma que el esfuerzo de muestreo se mide en tiempo (por ejemplo personas/ hora).
- **Muestreos dependientes del espacio:** En esta aproximación, cada tanda de muestreos se hace en función de un área. Esta área puede definirse previamente sobre un mapa y se trata de explorar cada área intensivamente.
- **Muestreo por cuadrantes:** En este método se definen subáreas (cuadrantes) dentro del área a estudiar que, o bien se muestrean durante un tiempo concreto, o bien se muestrean de forma intensiva. Los resultados entonces se extrapolan al área completa. Estos cuadrantes se pueden seleccionar

aleatoriamente, pero también podrían tratarse de unidades discretas del hábitat en el caso que estemos buscando una especie en concreto que sabemos que habitan en esas unidades (por ejemplo arbustos en una llanura o bajo rocas en un bosque).

- **Muestreos por transectos:** En esta aproximación, en lugar de cuadrantes, se seleccionan líneas (caminos) a través del área de estudio, de forma que estas líneas se muestrean durante un tiempo determinado o de forma intensiva. Como con los cuadrantes, la información que se obtiene se puede usar para extrapolar al área entera de estudio. Además este tipo de aproximación permite estudiar el efecto de gradientes como pueden ser, por ejemplo, la elevación (a lo largo de la ladera de una montaña) o la humedad (desde la orilla de un lago hasta el bosque adyacente).

Ejercicio: Muestreos por cuadrantes y muestreos por transectos

Definir un área de muestreo en una cartulina de 60 x 60 cm. Dividir en cuadrados de 10 x 10 cm asignado un número el 1 al 6 en horizontal y en vertical. Sobre la cartulina extender al azar las 3 poblaciones representadas por judías, garbanzos y lentejas. El número de las mismas será conocido por el profesor y los alumnos tendrán que estimarlas utilizando un muestreo por cuadrantes y por transectos. La elección de cuadrantes al azar se hará lanzando dos veces un dado (un número para el horizontal y otro para el vertical), mientras que para el transecto se puede utilizar una moneda (para elegir horizontal o vertical) y un dado (número de cuadrícula por el que empezar el transecto).

1. Hacer el ejercicio en dos pasos: Primero estimar las poblaciones en base a un único cuadrante y un único transecto y comparar el resultado al utilizar 3 cuadrantes y 3 transectos.

2. Discutir los beneficios y pegas de usar un método u otro, así como de utilizar una única unidad o tres para estimarlo (Esfuerzo vs. Exactitud).
3. Discutir si se ha llevado a cabo un muestreo dependiente del tiempo o del espacio.

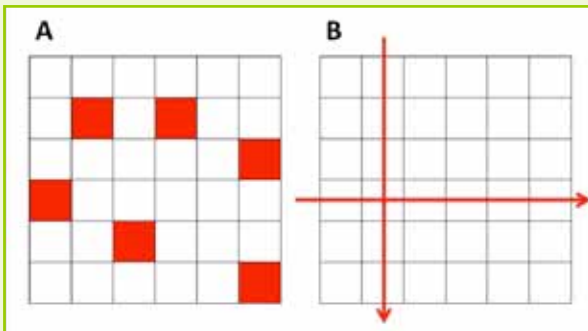


Figura 5.1. Representación esquemática de un muestreo por cuadrantes (A) y transectos (B).

Técnicas de Muestreo

Como se ha comentado, la variedad de técnicas existente es casi tan amplia como la biodiversidad del planeta, por lo que el siguiente resumen no pretende ser extensivo en absoluto. Igualmente el orden utilizado para presentarlo puede ser discutido, pues aunque una técnica se mencione preferentemente para un grupo de animales o plantas, igualmente puede ser utilizado para otro según las circunstancias. Este compendio de técnicas no tiene más objetivo que introducir al alumno a los muestreos biológico mostrarle cuán complejo puede ser una campaña de muestreo y resaltar, por tanto, que la planificación previa es fundamental. La mayor parte de la información aquí recogida se puede encontrar mucho más elaborada en libro “Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories” preparado por investigadores de toda Europa en el seno del proyecto europeo EDIT (European Distributed Institute

of Taxonomy) y publicado por la revista *Abc Taxa*. El libro completo se puede obtener de forma gratuita de la página Web de la revista (<http://www.abctaxa.be/volumes/volume-8-manual-atbi>) y en él se cuenta con más detalle las técnicas y se recoge bibliografía relevante adicional.

1. Medio terrestre:

En el medio terrestre encontramos los grupos más diversos de organismos del planeta. Esto se debe a la gran variedad de hábitats disponibles para que la vida evolucione y se adapte. Para revisar las principales técnicas de muestreo disponibles vamos a seguir una clasificación puramente funcional dividiendo los grupos de organismos en plantas y hongos, invertebrados y vertebrados.

Plantas y hongos: Aquí incluimos grupos súper-diversos como son las plantas vasculares, los briofitos (musgos, hepáticas y antoceras) y los hongos en sentido amplio (setas, hongos microscópicos, hongos parásitos, líquenes y mohos mucilaginosos o mixomicetos, que realmente no son hongos). Para la recolección de todos estos organismos no se suele utilizar ningún mecanismo especial y, básicamente, se localizan y se recogen a mano con ayuda de lupas, cuchillas, pinzas o pinceles. Sin embargo, aunque las indicaciones a seguir para su colecta sean relativamente sencillas, hay que tener en cuenta que son organismos que pueden formar poblaciones muy complejas y, por tanto, para un muestreo propiamente dicho, es fundamental planificar previamente las áreas de estudio utilizando metodologías como las explicadas en el apartado anterior. En muchas ocasiones si lo que se busca es “todo lo que está presente”, es recomendable diseñar transectos que cubran la mayor cantidad de hábitats del área de estudio, mientras que en el caso de que estemos buscando unos organismos concretos que sepamos están asociados a una determinada característica del hábitat, se pueden definir cuadrantes. Además hay que tener en cuenta que muchos de estos organismos presentan una estacionalidad e incluso diferentes formas según el estadio de vida en que se encuentren, de manera que todo esto debe ser considerado para la planificación del muestreo (por ejemplo si salieran a buscar setas durante el momento más seco del verano, seguramente no tendrían mucho éxito). Al recolectar hay que intentar recoger todas las formas de la especie (por

ejemplo en plantas, la hoja, el tallo, el fruto, la flor, etc.) pero a la vez hay que tener como primera prioridad el no poner en peligro a la población (si sólo hay un par de plantas presentes, mejor coger una pequeña muestra que la planta entera). En el caso de los hongos y de algunas hepáticas, las formas y colores originales que sirven para identificar a las especies, se ven alteradas al poco de ser recolectadas, por lo que es aconsejable tomar fotografías descriptivas antes de recoger nada.



Figura 5.2. En el caso de muchos organismos, una vez recolectados, su aspecto cambia mucho (colores, texturas, etc.) por lo que es necesario tomar fotos previamente en su hábitat natural como parte del muestreo. (Fotografía: X. Eekhout)

Invertebrados: Dentro este grupo encontramos un gran número de animales, entre los que destaca el grupo más diverso del planeta: los insectos. Una gran parte de las técnicas que se mencionan a continuación, en origen están ideadas para capturar insectos pero igualmente capturan representantes de otras clases de artrópodos (miriápodos, crustáceos, quelicerados etc.) y representantes de otros filos (nematodos, anélidos, moluscos, tardígrados, etc.). Cuanta más información se tenga de antemano sobre los grupos que se van a muestrear, más eficiente será el muestreo. Estas técnicas se pueden dividir entre recolección activa y recolección pasiva.

◆ **Recolección activa:**

- **Observaciones visuales:** que además sirven para identificar relaciones ecológicas y comportamientos. Para algunos grupos como los ortópteros (saltamontes y similares) también se usan detecciones acústicas.
- **Cazamariposas:** esta es la herramienta por excelencia de los entomólogos. Su uso es relativamente sencillo y rápido, obteniendo un buen resultado en hábitats apropiados. En bosques cerrados o entre arbustos no es útil, y tampoco tolera muy bien la humedad pues la malla se ve afectada por el agua.
- **Aspiradoras de boca o “pooters”:** Constan de un recipiente con tapón, del que salen dos tubos flexibles, uno sirve para inhalar (la parte interior está cubierto por una gasa), mientras que el otro tubo hace las veces de tubo aspirador. Muchas veces estos aspiradores se usan para recoger de la muestra entera recogida las cosas que nos interesan.



Figura 5.3. Con el ‘pooter’ es posible separar los ejemplares que nos interesan de la totalidad de la muestra (Fotografía: X. Eekhout)

- **Aspiradores mecánicos portátiles:** Con el mismo principio que la técnica anterior, pero a mayor escala.

- Nebulización de vegetación con insecticida: Utilizando insecticidas con base de piretrinas, un compuesto natural que se degrada a la luz del sol sin dejar residuos tóxicos. Se usan desde grandes nebulizadores para copas enteras de árboles, hasta simples botes de insecticidas sobre la corteza de los árboles.



Foto 5.4. Nebulización sobre corteza de un árbol. Sobre el suelo se ubica una superficie apropiada (en este caso papel absorbente) donde caerán las muestras
(Fotografía: X. Eekhout)

El muestreo que ayudó a cambiar la percepción de la biodiversidad de la Tierra

Terry L. Erwin (St. Helena, California 1940) es un investigador del Smithsonian National Museum of Natural History que en 1981 trabajó describiendo la fauna de escarabajos de los bosques de Panamá. Allí, en un árbol en particular encontró 1200 especies de escarabajos, de los que 163 sólo estaban

en ese árbol. Basándose en esto y estimando que existen unas 50.000 especies de árboles tropicales, postuló que la diversidad de la Tierra podía rondar los 30 millones de especies y no los 1.5 -2 millones que se consideraban en la época. Hoy en día hay cálculos que apuntan a que esta estimación es excesiva, igual que los 1.5-2 millones eran muy escasos, pero el estudio fue fundamental para cambiar la actitud de las administraciones hacia la conservación de la biodiversidad.

◆ Recolección pasiva:

- Bandejas coloreadas: Se trata de cualquier recipiente coloreado que contiene un líquido para atrapar y en ocasiones preservar los animales capturados. Los animales se ven atraídos por el color y al posarse se hunden y quedan ahí para ser colectados.



Figura 5.5. Investigadores recogiendo muestras de bandejas coloreadas (Fotografía: X. Eekhout)

- Trampas pegajosas: La base es una hoja de cartón, plástico, cristal, etc., que está cubierta por un pegamento resistente a la humedad (para poder tenerlo al aire libre). El tamaño y la forma puede variar según las necesidades y se pueden utilizar distintos colores para atraer a los animales.

- **Trampas de succión:** Son receptáculos transpirables (por ejemplo de tela) con un ventilador a la entrada que lo que hace es aspirar hacia adentro cualquier animal del tamaño lo suficientemente pequeño. En su versión más sofisticada, a la vez que el ventilador aspira, desde el receptáculo el aire que sale transporta feromonas que atraen a los machos de una determinada especie.
- **Trampas de luz:** Cualquier trampa que atrae a los animales por medio de la luz y permite capturarlos. Las formas pueden variar desde una simple bombilla en una pared de la que se recolecta, a estructuras más sofisticadas que llevan incorporados botes de colecta. Se pueden utilizar diferentes focos de luz, pero en general las bombillas de luz ultravioleta potentes (unos 125w) son lo más habitual.



Figura 5.6. Investigador recogiendo muestras atraídas por una trampa de luz (Fotografía: X. Eekhout)

- **Trampas de intercepción de vuelo:** Se tratan de estructuras que cortan el paso de los animales que pasan volando, para luego dirigirlos hacia botes colectores. Las más típicas son las llamadas trampas malaise que utilizan tejidos opacos para cortar el paso y luego se aprovechan del fototropismo positivo hacia la luz de los insectos que se dirigen hacia arriba cayendo en botes colectores. La forma de

la trampa puede variar mucho y como alternativa pueden situarse recipientes colectores en la parte inferior para que los insectos más pesados (grillos, escarabajos, cucarachas, etc.) al chocar contra la barrera caigan dentro.



Figura 5.7. Trampa Malaise (Fotografía: X. Eekhout)

- **Trampas de sustrato:** Incluyen multitud de diseños diferentes pero todos se basan grosso modo en introducir recipientes en el sustrato para que los animales que allí habitan lleguen a ellos y caigan a un recipiente con un líquido conservante (por ejemplo agua con sal). Las trampas pueden ser más complejas al introducir cebos o incluso temporizadores que cambien los botes colectores y así registrar estacionalidad.



Figura 5.8. Vaciado de una trampa de superficie (Fotografía: X. Eekhout)

Vertebrados: Los vertebrados terrestres son un grupo de animales bastante pequeño, sobre todo si se les compara con otros taxones (por ejemplo los insectos o los hongos), lo que permite que en general sean bien conocidos. De hecho cualquier muestreo de la biodiversidad probablemente lo que haga es completar el catálogo de los distintos grupos de vertebrados. Las técnicas más habituales para muestrear vertebrados terrestres son:

- Observaciones visuales: Directamente de los individuos, o de rastros dejados (huellas, heces, etc.)
- Detección acústica: Las aves, algunos mamíferos y los anfibios anuros pueden tener una actividad acústica muy marcada que permite su detección e identificación.
- Trampas plegables con mecanismo de cierre: Incluye toda la variedad de trampas que constan de una zona a la que la presa accede y en donde activa un mecanismo (por presión o al coger un cebo) que cierra la entrada dejándola atrapada.
- Embudos: Se pueden construir con gran variedad de materiales y, como las trampas plegables, pueden ser usados con cebo. En un embudo, la entrada se va estrechando hasta del interior de la trampa de donde la presa no puede volver a salir. Pueden construirse de muchos tamaños y muchos materiales diferentes en función de lo que se quiere coleccionar.
- Trampas de caída: Se trata de un agujero a ras del suelo al que la presa cae y no puede salir.
- Barreras de dirección: Las barreras de dirección sirven para bloquear el paso a los animales y obligarles a avanzar en paralelo a ellas. Se usan junto con las trampas plegables, los embudos y/o las trampas de caída que se sitúan a lo largo de las barreras.
- Cubiertas artificiales: La construcción de refugios que usen los animales que se quieren estudiar para facilitar su detección y captura. Algunos ejemplos son simples tabloncillos de madera para muchos reptiles y anfibios o las casas nido de las aves.

- Redes: Las redes se usan para capturar tanto aves (generalmente al amanecer) como murciélagos (generalmente al anochecer) y pueden extenderse a ras de suelo sobre palos ligeros de bambú o aluminio, o entre árboles a mayor altura. Pueden medir de 6 a 18 m de largo y tener una anchura de 2 - 2.5 m.



Figura 5.9. Ejemplos de muestreos de vertebrados: Vaciado de trampas plegables para roedores y muestreo bioacústico de aves. (Fotografía: X. Eekhout)

2. Medio acuático continental (agua dulce):

El medio acuático continental también presenta una diversidad muy alta dado que incluye desde el charco que se forma en una planta, que puede ser un ecosistema en sí mismo, hasta un gran lago. De esta forma muchas aguas continentales pueden ser muestreadas con la ayuda de botas de agua o vadeadoras, pero en muchos casos hace falta disponer de embarcaciones o incluso de equipo de buceo.

Plantas: Las plantas que más comúnmente se encontrarán en aguas continentales se pueden dividir entre algas y plantas vasculares acuáticas, como por ejemplo los nenúfares. En el caso de las algas, éstas pueden aparecer formando parte del plancton en suspensión en la columna de agua, o bien en los fondos sobre el sustrato y las rocas. Para las algas en suspensión su colecta se puede llevar a cabo con botes y redes que tomen muestras a diferentes profundidades, mientras que para los ejemplares de fondo hace falta en

muchas ocasiones llevarse muestras de sustrato o separarlas del mismo con la ayuda de cepillos, pinzas y cuchillas. Las plantas vasculares por su parte pueden ser recolectadas a mano ayudándose de azadas y garfios. Como en el caso de las plantas terrestres, es conveniente asegurarse que se recoge el ejemplar completo.

Invertebrados: La cantidad de invertebrados presentes en las aguas continentales es enorme. Podemos dividirlos entre microinvertebrados que forma parte del zooplancton (rotíferos, cladóceros, copépodos, nematodos, tardígrados, etc.) y macroinvertebrados que están compuestos principalmente por insectos, aunque también se encuentran otros animales como crustáceos (cangrejos), quelicerados (arañas), poríferos (esponjas), platelmintos (gusanos planos) o moluscos (caracoles y babosas). Los macroinvertebrados, al estar en suspensión, se muestrean principalmente con redes que se extienden a distintas profundidades y en distintos hábitats (orilla, zonas profundas, agua con o sin corriente). Por su parte, los macroinvertebrados se muestrean en zonas someras preferentemente con redes de mano mientras se remueve el sustrato. En las zonas más profundas es necesario utilizar dragas, tubos introducidos a presión para sacar la muestra del sustrato completa o incluso equipos de submarinismo.



5.10. Muestreo de macroinvertebrados en aguas someras. Se avanza a contracorriente removiendo el sustrato para que las muestras se vayan depositando en la red. (Fotografía: X. Eekhout)

Vertebrados: Los vertebrados de aguas continentales son principalmente peces, pero también incluyen reptiles y anfibios. En el caso de los peces el método preferido de muestreo es la pesca eléctrica, en la cual se utiliza un generador para transmitir una corriente eléctrica al agua que deja aturdido al pez y permite su captura. También es práctica habitual el uso de redes y nasas con la ayuda de cebos o colocándolas en lugares de paso. En estos casos conviene recordar que tanto anfibios como reptiles respiran por pulmones, por lo que su colocación debe evitar que se ahoguen al caer en la trampa.



5.11. Uso de redes de arrastre para capturar tortugas (Fotografía: X. Eekhout)

3. Medio acuático marino:

El medio marino cubre más del 70% del planeta, sin embargo presenta una biodiversidad total relativamente baja. Esto se debe en gran parte a que es más homogéneo que, por ejemplo, el medio terrestre. Además la biodiversidad presente tiene una distribución agregada, de forma que el 75% de la biodiversidad de los mares se encuentra en las áreas costeras. Debido a esto, la revisión de métodos de muestreo en el medio marino la dividiremos en hábitats.

Medio pelágico: Se refiere a la columna de agua que hay más allá de la plataforma continental. En este medio existe

una estructuración vertical muy fuerte que responde a la variación de factores como los nutrientes, la luz, la temperatura o la salinidad. Esto implica que los muestreos se suelen realizar a diferentes profundidades utilizando sistemas de bombas que succionan agua de forma intermitente (con un mecanismo de cierre). Por supuesto también se usan redes de arrastre y se llevan a cabo colectas manuales por submarinistas, sobre todo en el caso de animales más grandes y/o de cuerpos blandos. Una alternativa a los submarinistas es el uso de vehículos sumergibles teledirigidos. Además, hoy en día se puede tener el apoyo de nuevas tecnologías ópticas y acústicas que hacen medidas de biomasa.

Fondos marinos: El 50% de la tierra se encuentra a profundidades mayores de 3000 m. Este ecosistema se había considerado tradicionalmente como algo sencillo, pero gracias a los muestreos se ha podido ver que su biodiversidad puntualmente puede llegar a ser tan alta como en los arrecifes de coral. Los muestreos a esa profundidad se hacen mediante recogidas por arrastre utilizando dragas, pero la complejidad es enorme. El primer problema es que se ha detectado que la diversidad presente en estos medios es altamente parcheada, así que es necesario identificar la zona de muestreo mediante alta tecnología - óptica o acústica - o bien a través de mini-submarinos y batiscafos, ya sean operados a mano o por control remoto. El siguiente problema está en la recogida de ejemplares. Por ejemplo, para tomar una muestra por arrastre a 8000 m de profundidad, hacen falta hasta 11 km de cable y 24 horas de trabajo, lo que puede llegar a traducirse en presupuestos de 20.000€ al día.

Zonas costeras: Las zonas costeras deben su alta diversidad a la gran variedad de hábitats que pueden incluir: manglares, arrecifes de coral, praderas oceánicas, bosques de algas, cuevas salinas, etc. Para los muestreos podemos diferenciar 3 niveles en los que trabajar:

- En la zona intermareal: La recogida puede hacerse a mano, especialmente en los momentos de marea baja y por las noches, cuando los animales que aquí viven suelen mostrarse más activos.
- Muestreos bajo el agua: Se pueden hacer mediante submarinismo o incluso snorkel. A parte de la recogida a mano, es posible utilizar redes manuales de arrastre (por ejemplo en las praderas oceánicas)

o cubiertas artificiales que se dejan durante un tiempo y luego se retiran para ver que organismos se han asentado. Desde una embarcación también es posible utilizar dragas de arrastre.

- Sedimentos bajo el agua: En este caso se recogen muestras de sedimento, por ejemplo con un tubo de plástico introducido a presión, y se lleva la muestra completa para su análisis.

Ejercicio: Seleccionar un hábitat (conocido o bien conseguir información por Internet) y diseñar una campaña de muestreo aplicando al menos 3 técnicas de muestreo previendo qué grupos de organismos serán capturados principalmente.

Toma de datos

Durante cualquier muestreo es fundamental la toma de datos y no sólo la identidad de la especie. La información típica que debe recogerse es: Qué (identidad de la especie), Dónde (localización, coordenadas GPS), Cuándo (fecha, hora), Quién (persona que tomó la muestra) y Cómo (forma de tomar la muestra). Además, dado que la actividad de los seres vivos depende del medio en el que viven, es muy recomendable incluir información sobre el medio (temperatura, humedad, geología, etc.) La estructura de esta información debe ser homogénea para poder reunir todos los detalles de una campaña de muestreo.



Figura 5.12. El uso del GPS es de gran utilidad para hacer comparables las localidades de muestreo. (Fotografía: X. Eekhout)

Ejercicio: Cada alumno debe anotar durante 24 horas los animales y plantas que se encuentre completando las preguntas “qué”, “dónde”, “cuando” y “quién”(no hace falta coleccionar nada, si quieren pueden tomar una foto o grabarlo). Al día siguiente intentar crear una base de datos única con las observaciones de todos los alumnos y discutir las dificultades encontradas y cómo podría mejorarse.

Bibliografía comentada

<http://www.abctaxa.be/>

Abc Taxa: Publicación belga especializada en manuales en inglés o en francés de contenido taxonómico que permite su descarga gratuita en PDF. El volumen 8 es un manual preparado en el seno de la Red Europea EDIT (European Distributed Institute of Taxonomy) que trata sobre metodología de muestreo. Incluye mucha información y referencias para poder planear un muestreo científico en el contexto de un inventario masivo de biodiversidad de todos los taxones presentes en una determinada zona.

www.ucm.es/info/zoo/Vertebrados/

Censos de Vertebrados: Documento que detalla como elaborar censos científicos de vertebrados.

<http://www.entomopraxis.com/>

Entomopraxis: Página comercial que vende material para entomólogos. En su catálogo se pueden ver muchos tipos de trampas y herramientas para la captura y estudio principalmente de insectos, pero que también pueden servir para otros grupos de animales.

http://www.humboldt.org.co/humboldt/homeFiles/inventarios/GEMA_CAP_01_2ED.pdf

Inventarios de biodiversidad: PDF preparado Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Colombia) con las bases necesarias para llevar a cabo un inventario de biodiversidad.

<http://www.mirahonduras.org/inventarios.html>

Inventarios de animales y plantas llevados a cabo en Honduras por apoyo de la organización Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (US-

AID). Tiene muchos documentos sobre los distintos inventarios llevados a cabo tanto en inglés como en español. Aunque la mayoría son relativamente complejos al tener con un corte claramente científico, incluyendo los análisis de los datos recogidos, se puede revisar para ver la metodología empleada para tomar datos.

<http://www-rbd.ebd.csic.es/Seguimiento/mediobiologico/anfibiosreptiles/anfibios/anfibios.pdf>

Protocolo de seguimiento a largo plazo de anfibios en la Estación Biológica de Doñana. Aunque versa sobre anfibios, el protocolo puede ser extrapolado para realizar seguimientos otros grupos de animales.

<http://www.vertebradosibericos.org/>

Vertebrados Ibéricos: Enciclopedia de los vertebrados de España que incluye fichas de especies con sus características para identificarlas.

<http://www.xeno-canto.org/>

Xenocanto: Catálogo de referencia de cantos de aves del mundo. Bioacústicos amateurs y profesionales colaboran en esta web para hacer accesible el canto de aves de todo el mundo. Página en inglés.

www.fonozoo.com/frogcallsoftheworld

La Fonoteca Zoológica de Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (CSIC) está poniendo en marcha un recurso similar para anuros (ranas y sapos).

MATERIALES AUXILIARES

Otros textos de carácter didáctico

Fernández, M. L., Alvarez, J. L., Casaderrey, M. L., España, J. A., Lillo, J., Viel, T., Peac-I. La enseñanza por el entorno ambiental, Servicio Publicaciones del MEC, Madrid, 1981, 363 p.p.

VINCULACIONES CINEMATOGRAFICAS

Resulta útil mostrar el imaginario que el cine ha sido capaz de recoger acerca de las técnicas de muestreo. La idea de un naturalista, vestido de explorador, a la que aludía el autor del artículo se puede observar en Master and Commander (Peter Weir, 2004), film ya mencionado en otro capítulo, y que recrea las técnicas de muestreo que se podrían utilizar en una excursión con intenciones científicas (Fragmento: 1h 31'00'' - 1h 37'30''). En **La lengua de las mariposas** se reflejan técnicas muy elementales, con intenciones didácticas, en una escuela rural de los años 30 (Fragmentos: 40'29'' - 42'30'' y 46'25'' - 52'18''). Pero es en una película de

animación española, *El lince perdido*, donde se muestra gran interés por recrear las actividades de los naturalistas.



El lince perdido (2008)

Película que consigue el Goya a la mejor película de animación en el año 2008, tiene buenas posibilidades didácticas en temas relacionados con la biodiversidad. Félix es un lince que se recupera de las heridas, que le provocan sus continuos accidentes, en El Acebuche, Centro de Recuperación en el Parque de Doñana. La presencia de Noé, un excéntrico millonario que quiere crear su particular Refugio para animales en peligro de extinción, sin preocuparse demasiado de los métodos utilizados, altera las intenciones del Centro. Para robar animales del Centro, Noé contrata los servicios del cazador New-

mann. La sensibilidad de los trabajadores de Doñana, los erróneos métodos que usa Noé por conservar la naturaleza y los intereses económicos que mueven a Newmann, además de su obsesión por mostrar la superioridad del hombre sobre el resto de animales, parece que sintetizan bien el abanico de tipos de relación que el hombre establece con la Naturaleza. Por otro lado, llama la atención la calidad de la animación, que permite reconocer varios escenarios reales, como el propio Parque de Doñana, la playa de Bolonia o algunos parajes de Despeñaperros, así como el interés que se aprecia en recrear las técnicas que se utilizan para muestrear, los mapas que ubican los lugares donde se avistan las especies en peligro de desaparición, etc.

yo sabía cosas importantes de nuestro mundo que ellos, mis padres, desconocían.

Pero los momentos más fascinantes de la escuela eran cuando el maestro hablaba de los bichos. Las arañas de agua inventaban el submarino. Las hormigas cuidaban de un ganado que daba leche y azúcar y cultivaban setas. Había un pájaro en Australia que pintaba su nido de colores con una especie de óleo que fabricaba con pigmentos vegetales. Nunca me olvidaré. Se llamaba el tilonorrinco. El macho colocaba una orquídea en el nuevo nido para atraer a la hembra.

Tal era mi interés que me convertí en el suministrador de bichos de don Gregorio y él me acogió como el mejor discípulo. Había sábados y festivos que pasaba por mi casa e íbamos juntos de excursión. Recorríamos las orillas del río, las gándaras, el bosque y subíamos al monte Sinaí. Cada uno de esos viajes era para mí como una ruta del descubrimiento. Volvíamos siempre con un tesoro. Una mantis. Un caballito del diablo. Un ciervo volante. Y cada vez una mariposa distinta, aunque yo sólo recuerdo el nombre de una a la que el maestro llamó Iris, y que brillaba hermosísima posada en el barro o el estiércol.

Al regreso, cantábamos por los caminos como dos viejos compañeros. Los lunes, en la escuela, el maestro decía: "Y ahora vamos a hablar de los bichos de Parda!"

Para mis padres, estas atenciones del maestro eran un honor. Aquellos días de excursión, mi madre preparaba la merienda para los dos: "No hace falta, señora, yo ya voy comido", insistía don Gregorio. Pero a la vuelta decía. "Gracias, señora, exquisita la merienda".

"Estoy segura de que pasa necesidades", decía mi madre por la noche.

"Los maestros no ganan lo que tenían que ganar", sentenciaba, con sentida solemnidad, mi padre. "Ellos son las luces de la República".

"¡La República, la República! ¡Ya veremos adónde va a parar la República!"

(Fragmento de: Manuel Rivas, *La lengua de las mariposas*, Madrid 2006, Edición Punto de lectura)

VINCULACIONES LITERARIAS

Este fragmento del delicioso relato *La lengua de las mariposas* reproduce la fascinación que a un niño le producen los conocimientos de Historia Natural que su maestro enseña. El miedo que cualquier tipo de conocimiento produce a las clases dirigidas por maestros es magníficamente retratado en este cuento, muy corto y de aconsejada lectura.

"Las patatas vinieron de América", le dije a mi madre a la hora de comer, cuando me puso el plato delante.

"¡Qué iban a venir de América! Siempre ha habido patatas" sentenció ella.

"No, antes se comían castañas. Y también vino de América el maíz." Era la primera vez que tenía clara la sensación de, que gracias al maestro,



Diversidad amenazada

6

Larvas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)

Imanol Cía (www.anhidra.com)

Diversidad amenazada

Javier Diéguez-Uribeondo, Catherine Sonty-Grosset,
Julian Reynolds, Jesús Muñoz, Francesca Gherardi



Cambios en la biodiversidad

La extinción de especies, es decir, la pérdida de biodiversidad es un hecho natural y, desde el punto de vista de la evolución o de la escala de tiempo geológica, una rutina. Sabemos que la mayoría de las especies que han existido se han extinguido, y que la duración media de una especie es de unos 2-10 millones de años. Por lo tanto, la diversidad biológica, nunca ha sido la misma. Desde los albores de la vida cuando las primeras células se formaron hará unos 3.700 millones de años, los seres vivos se han diversificado y adaptado a casi todos los hábitats y ambientes imaginables. Así, la vida y la biodiversidad han pasado por periodos que han dado lugar a gran generación de formas de vida, y por periodos de grandes crisis y extinciones masivas en los que un gran número de especies han desaparecido (se conocen 5 grandes extinciones, ver <http://www.actionbioscience.org/esp/nuevas-fronteras/eldredge2.html>).

Estas extinciones o pérdidas de diversidad no son en sí mismas, ni buenas ni malas, sino que son un hecho natural. Sin embargo, en la era moderna debido a la acción del hombre, las especies y los ecosistemas se ven amenazados en una dimensión no antes vista en la historia del planeta tierra hasta el punto de que se está hablando de la denominada **sexta extinción** (cerca de 30.000 especies se extinguen cada año). El hecho de que la diversidad biológica se está viendo afectada por la actividad y sobre-población del ser humano, y que esta pérdida sea tan repentina, está poniendo en riesgo no sólo la supervivencia de nuestra especie, sino también a la propia vida en la tierra. Por esta razón hablamos de **amenazas de la biodiversidad**, porque son directa o indirectamente consecuencias de la actividad del ser humano.

De hecho, como se ha mencionado con anterioridad en esta Unidad Didáctica, el término Biodiversidad surgió en un intento del Dr. E. O. Wilson por alertar sobre la pérdida de diversidad biológica en la tierra y de las extinciones masivas. El inventor del término Biodiversidad dijo las siguientes palabras en 1985, las cuales, son muy ilustrativas sobre la amenaza del ser humano:

“Lo peor que podría pasar durante los años 80 no es la pérdida de las fuentes de energía, el colapso de la economía, una guerra nuclear puntual, o la imposición de un sistema de gobierno totalitario. Aunque estas catástrofes serían terribles para nosotros, podrían repararse en unas pocas generaciones. El proceso sin igual que está ocurriendo en los 80 y que llevará millones de años corregir, es la pérdida de la diversidad genética y de las especies debido a la destrucción de los hábitats naturales. Esta es la estupidez que con menor probabilidad nos perdonen nuestros descendientes.”
- E.O. Wilson, 1985

Amenazas del ser humano

La amenaza más obvia sobre la biodiversidad viene del ser humano y su impacto continúa aumentando entre las comunidades naturales con las cuales comparte el planeta. Más del 50% de la producción biológica está actualmente canalizada hacia su uso por nuestra especie. La biodiversidad se encuentra amenazada por una gran variedad de actividades del ser humano (Figura 6.1). Estas amenazas se pueden agrupar en distintas categorías aunque todas se encuentran relacionadas: ejemplos de los mismos son la destrucción

de hábitats, la sobre-explotación mediante caza y pesca, la contaminación, la dispersión de especies alóctonas (alguna

de las cuales e vuelven invasoras), la aparición de enfermedades emergentes y el cambio climático, entre otras.

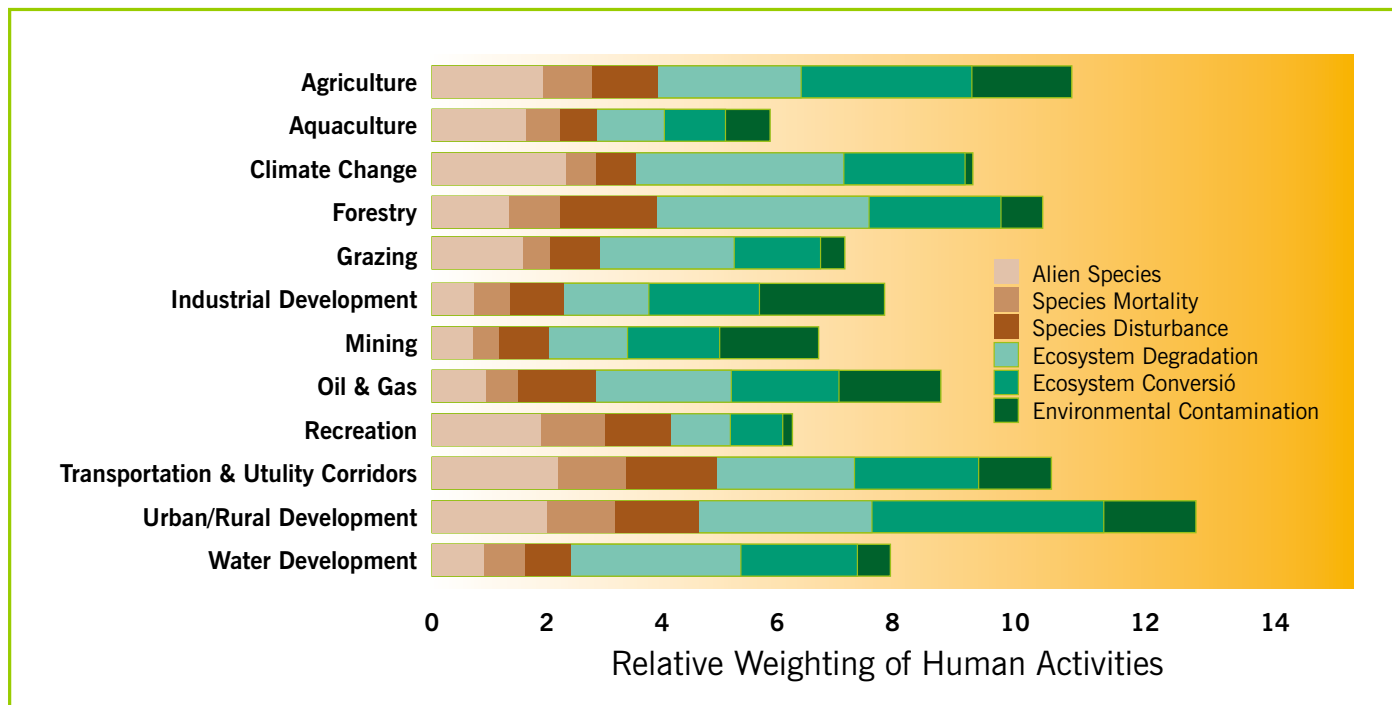
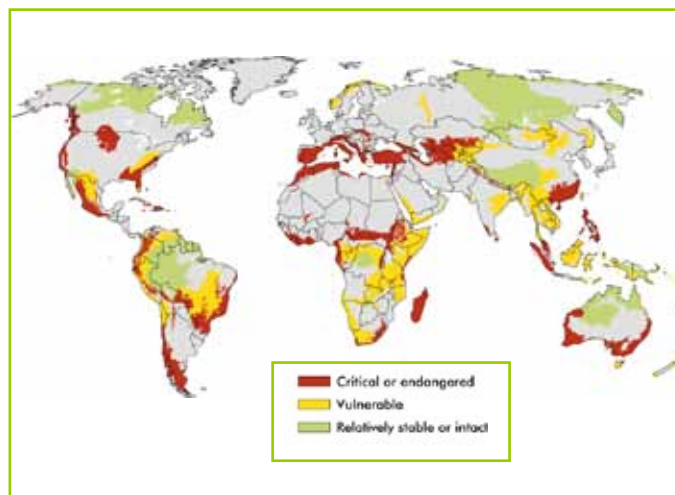


Figura 6.1. Impacto de las actividades humanas en los elementos que forman parte de la biodiversidad. Fuente: Long, G. 2007. *Biodiversity Safety Net Gap Analysis*. Biodiversity BC, Victoria, BC. 66pp. Disponible en inglés en: www.biodiversitybc.org.

La destrucción de hábitats y su pérdida representa la mayor amenaza actual a la biodiversidad. Algunos ejemplos son la pérdida del bosque tropical, utilizado para la producción de madera y papel, o de terrenos agrícolas y ganaderos, la conversión de los humedales en áreas de acuicultura, campos de arroz o pastos, mientras que las aguas continentales están siendo de arrasadas de manera sistemática en busca de pesca.

Figura 6.2. Un estudio de la World Wildlife Fund for Nature (WWF) ha identificado 200 eco-regiones terrestres de alta prioridad de conservación- definidos como sistemas ecológicos una gama de flora, fauna y climas característicos. Se realizó además una clasificación de eco-regiones basándose en los futuros y actuales amenazas y el estado de conservación. Del estudio se desprende que el 47% de las ecorregiones terrestres están consideradas en estado crítico o amenazado, y que el 29% se puede catalogar como vulnerable. Solamente el 24% de estas eco-regiones se consideraron en estado intacto o estable.Fuente: <http://maps.grida.no/go/graphic/status-of-terrestrial-ecoregions-threats-and-vulnerabilities>. Autor: Hugo Ahlenius, UNEP/GRID-Arendal



La contaminación es consecuencia de la actividad humana y de la producción de desechos contaminantes, algunos de los cuales acaban en nuestra atmósfera, ríos y manantiales afectando a los ecosistema y ocasionando la disminución o pérdida de especies y, por lo tanto, de biodiversidad.

Dado que todos los ecosistemas están interconectados, los impactos del ser humano pueden extenderse desde los ecosistemas terrestres a los acuáticos de agua dulce y a los marinos. La producción agrícola transforma los ecosistemas terrestres, los bosques se convierten en pastos, y los mejora

praderas están plagadas de cultivos. Las actividades agrícolas contaminan los ecosistemas acuáticos por la adición de fertilizantes y pesticidas, y la generación de desechos orgánicos. Así, muchos de los ecosistemas terrestres y acuáticos desaparecen y sus especies acaban extinguiéndose localmente.

Otras amenazas para la biodiversidad provocadas por la actividad humana son aquellas debidas a la acción de especies invasoras, de enfermedades emergentes, y al cambio climático.

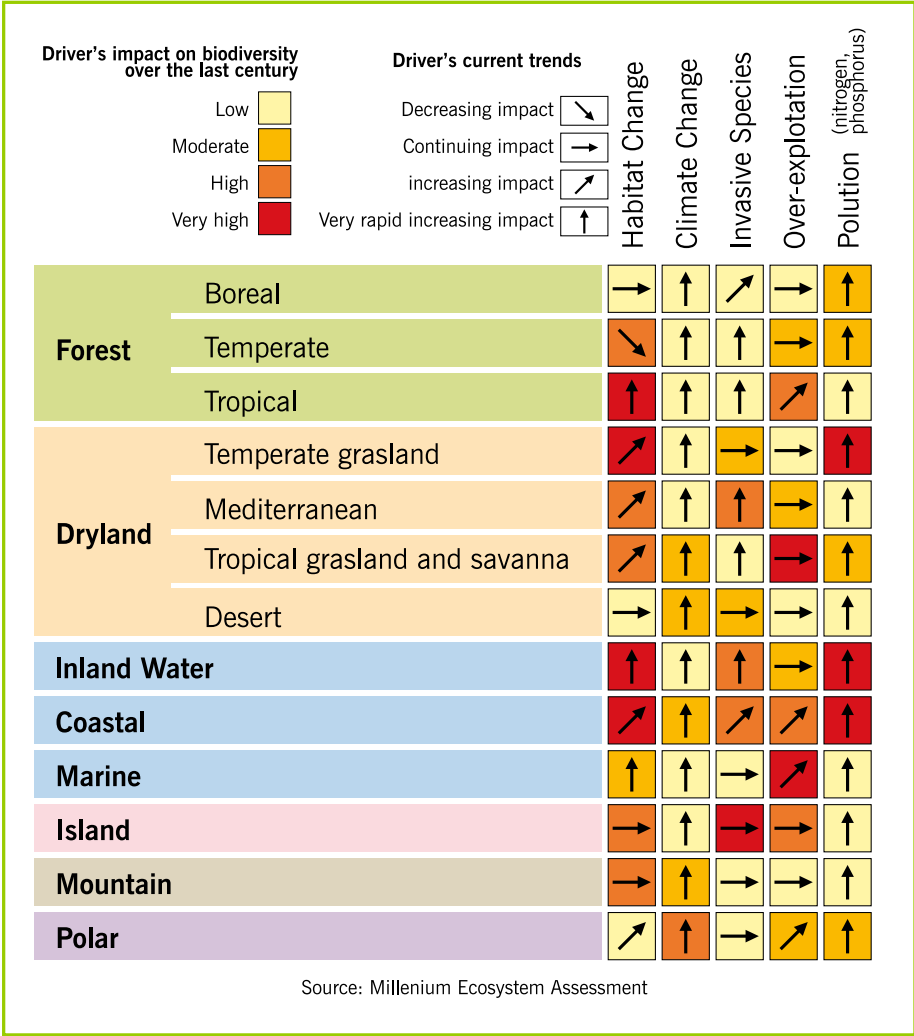


Figura 6.3 Principales factores responsables del cambio de biodiversidad en los ecosistemas. Las celdas en color indican el impacto de cada factor en la biodiversidad y en cada tipo de ecosistema en los últimos 50–100 años. Alto impacto significa que en el último siglo este factor particular ha alterado significativamente la biodiversidad de un bioma. Bajo impacto indica que el factor considerado ha tenido poca influencia en el bioma. Las flechas indican la tendencia del factor. Así, la flechas horizontales indican la perduración del impacto actual; las flechas diagonales y verticales indican un progresivo aumento de la incidencia. Fuente: Millennium Ecosystem Assessment. Autor: Philippe Rekacewicz, Emmanuelle Bournay, UNEP/GRID-Arendal

Especies invasoras

La dispersión de organismos es un proceso natural y crucial en la distribución de la vida en la tierra y en la aparición y expresión de la biodiversidad. La dispersión natural está limitada por barreras geográficas y únicamente situaciones esporádicas asociados a condiciones climáticas, como por ejemplo las tormentas, permiten a los seres vivos sobrepasar estas barreras.

En las últimas décadas el crecimiento extremo de la población humana, nuestra especial habilidad para alterar el medio y la globalización de la economía mundial han venido acompañados por un incremento dramático del grado de dispersión de organismos y de la distancia que se desplazan convirtiéndose en auténticos “globetrotters”. Hoy en día, las **especies alóctonas** y, entre ellas, aquellas que se comportan como invasoras se encuentran en todos los ecosistemas, incluidos Parques Nacionales y Reservas biológicas.

La invasión por especies alóctonas

Alrededor de 480.000 especies alóctonas han sido desplazadas en los últimos 500 años de un continente a otro. Una vez naturalizadas, estas especies han llegado a dominar hasta un 3% de la superficie terrestre no helada. Solamente en Europa, un total de 10.771 especies no-autóctonas pertenecientes a 46 phyla han sido registradas hasta el 2007. Este fenómeno ha sido agravado por el cambio climático y otros componentes del cambio global tales como la degradación de hábitats, contaminación, cambios en el uso de la tierra, etc.

¿Por qué tememos a las especies invasoras?

Durante gran parte de nuestra historia, el intercambio de especies de plantas y animales alrededor del mundo se ha considerado como algo bueno. Se han utilizado, principalmente como recursos alimenticios, médicos o recreacionales

y ornamentales. El porcentaje de especies introducidas que causan problemas en el ecosistema es posible que sea pequeño; sin embargo, sus efectos pueden ser realmente graves. Las **especies invasoras** tienen la capacidad de llegar a ser ecológica y numéricamente dominantes. Se dispersan desde el lugar de su introducción llegando a dominar sobre las especies y poblaciones autóctonas, y afectando negativamente a los procesos de los ecosistemas, e incluso a nuestros intereses económicos y salud pública. Nuestros miedos están también justificados debido a:

1. **La predicción de otro siglo de frenético tráfico intencional que nos llevará a una “homogenización ecológica” del planeta** con un pequeño número de exitosas especies - “the “winners” - como por ejemplo, el mejillón cebra, el cangrejo rojo, la hormiga argentina, el gorrión, el panicillo o cebadilla (*Bromus tectorum*), y el carrizo de las pampas (*Cortaderia* spp) u otras que acabaran reemplazando a las especies autóctonas - “the losers”.



Figura 6.4. El carrizo de las pampas o hierba de las pampas ha invadido grandes áreas de Europa. Actualmente existen planes para su erradicación (Autor: Jon Zulaika, Diputacion de Gipuzkoa)

2. **La habilidad de las especies invasoras para causar extinciones y, por lo tanto, para reducir la biodiversidad.** Las extinciones globales han sido más frecuentes en ecosistemas de islas y acuáticos de aguas dulces y ocasionales en ecosistemas terres-

tres y marinos. Por ejemplo, en EEUU las introducciones de especies alóctonas suponen una amenaza significativa para el 47% de las especies de vertebrados y para un 27% invertebrados.

El McEcosystem y el efecto Frankenstein

Las especies invasoras pueden dar lugar a un escenario en el que haya sólo unas pocas especies exitosas en todos los ecosistemas del planeta, el llamado **McEcosystem**. Este poder de dispersión y dominación de los ecosistemas quedan patentes en los resultados obtenidos en Norte América, donde la similitud de la fauna de peces de agua dulce entre los 50 estados de EEUU ha aumentado dramáticamente como consecuencia de la dispersión de peces de uso recreativo para la pesca. Incluso las introducciones intencionadas con ánimo de producir efectos beneficiosos en la naturaleza han dado lugar al llamado **“efecto Frankenstein”**. Un buen ejemplo de ello fue la introducción del cangrejo rojo, *Procambarus clarkii* - originario de Louisiana (EEUU) - en España en 1973. Su introducción pretendía atender necesidades socioeconómicas para mejorar las rentas de agricultores del arroz. Esta introducción no sólo supuso la introducción de esta especie invasora y su consiguiente impacto en el hábitat, sino la introducción de un hongo acuático asociado endémico de Norteamérica llamado *Aphanomyces astaci*, y devastador del 100% de las especies autóctonas europeas de cangrejo de río, y, en consecuencia, con su pesca. Este ejemplo fue precedido por otro de igual magnitud en Suecia donde se introdujeron cangrejos de río de la especie denominada cangrejo señal, *Pacifastacus leniusculus*, que al igual que el cangrejo rojo es portador de este hongo que igualmente diezmo las poblaciones autóctonas del norte y centro de Europa. Desgraciadamente, esta especie también se introdujo en la Península Ibérica en los años 70 sumándose al efecto devastador del cangrejo rojo.



Figura 6.5. Efectos de la introducción de la especie invasora *Procambarus clarkii* en el Delta del Ebro. De izquierda a derecha: arrozal del delta, cavidad hecha por un cangrejo y márgenes del arrozal afectados por las filtraciones debidas a la gran densidad de cangrejos y su elevada actividad excavadora. Autor: J Diéguez-Urbeondo)

Los mecanismos de las especies invasoras (y algunas autóctonas no invasoras) por los que desplazan a las autóctonas son:

Patogenicidad o actuación como vectores de patógenos.

Ejemplos: (1) La malaria aviar y el poxvirus que llegaron a través de mosquitos alóctonos a Hawaii provocando extinciones de poblaciones de de especies de aves autóctonas;

(2) El caso de la introducción de ganado de la India en África por las tropas italianas y la introducción del virus de la peste bovina que diezmó las poblaciones de antílopes y de la ganadería local finales de 1800; (3) La introducción de la especie americana de cangrejo de río que lleva consigo a la otra especie invasora (el patógeno *Aphanomyces astaci*).



Figura 6.6. Dos especies invasoras por el precio de una. De izquierda a derecha: las especies invasoras *Procambarus clarkii* (cangrejo rojo) y *Pacifastacus leniusculus* (cangrejo señal) originarias de Louisiana y California (EEUU) respectivamente. Estas especies actúan como 2x1 la especie es invasora y lleva consigo otra especie invasora, el hongo acuático *Aphanomyces astaci*, el cual esta catalogado como una de las 100 peores especies invasoras (Global Invasive Data Base, <http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss>). Las dos figuras siguientes corresponden a una microfotografía del hongo *Aphanomyces astaci* responsable de "la peste del cangrejo" creciendo en el caparazón del cangrejo (diámetro de la hifa del hongo es de 10 micras). La última fotografía corresponde a 3 cangrejos autóctonos, *Austropotamobius pallipes*, de la península ibérica, que son afectados por este hongo. (Autores: Josu Anton, Javier Diéguez-Urbeondo y Vicente Corona)

Competencia entre especies. Aunque raramente la competencia entre especies lleva a la extinción, lo que tiene lugar es una regresión de las especies autóctonas. **Ejemplos:** (1) el caso del visón europeo *Mustela lutreola*, que se encuentra en una mala situación debido a la pérdida de hábitat y su caza desmedida, agravada ahora por la introducción y la competencia con el visón americano, *Mustela vison*; (2) la lucha por recursos del famoso mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) con la especie autóctona

de la fauna dulciacuícola y, en especial, de otros moluscos como el mejillón quagga mussel (*D. bugensis*) (en 1997 en el lago St. Clair, EEUU, se constató que todas la especies autóctonas de la familia de moluscos de los Unionidos se habían extinguido después de la aparición del mejillón cebra). (3) otro ejemplos son las plantas invasoras *Cortaderia* spp mencionada anteriormente y *Pennisetum setaceum*, esta última se ha dispersado por toda la costa mediterránea española y Canarias.



Figura 6.7 El mejillón cebra, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), es un molusco bivalvo de agua dulce procedente de los mares Negro y Caspio. A partir del siglo XIX se extendió por Europa con la navegación fluvial y en los años ochenta se dispersó a Norteamérica con el transporte marítimo de mercancías. Actualmente se ha dispersado y colonizado numerosas aguas continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses) de América del Norte y Europa. En la imagen, de izquierda a derecha, se pueden observar ejemplares adultos, larvas y destrozos causados. (Autor: Imanol Cia www.anhidra.com)



Figura 6.8. *Pennisetum setaceum*. Se trata de una especie invasora originaria del noreste de África y suroeste de Asia muy utilizada en jardinería en la costa mediterránea española y en Canarias y que representa un ejemplo del uso e irresponsable de estas especies y de su dispersión y colonización de hábitats naturales (Autor: Carlos Aedo)

Cambios genéticos. Los cambios genéticos influyen en las poblaciones autóctonas y tienen efectos evolutivos. **Por ejemplo:** se estima que la pérdida debida a asimilación genética ha llevado a la extinción de cerca del 38% de las especies autóctonas de peces. Otros cambios sutiles pueden influir también en el comportamiento, biología y ecología de las especies autóctonas que, posiblemente, lleven a efectos nocivos a largo plazo.

Efectos mediados por una tercera especie. Este efecto indirecto ha sido estudiado principalmente en plantas. La planta conocida como hierba del ajo o ajera por su intenso olor a ajo, *Alliaria petiolata*, inhibe con sus exudados la actividad de los organismos del suelo alterando las interacciones entre plantas autóctonas y microorganismos, y afectando a éstas de manera indirecta.



Figura 6.9. La hierba del ajo o ajera se ha convertido en una amenaza para las especies autóctonas al modificar las interacciones de estas últimas son los microorganismos del suelo en el que habitan.

Modificación del hábitat y producción de regresiones de las especies autóctonas. Ejemplo: en California, las especie alóctonas de gusanos de tierra, *Aporrectodea trapezoids*, que en pastos degradados domina por su rápida velocidad de crecimiento sistemas altamente productivos.

Depredación. Ejemplo clásico: En los años 50, en el Lago Victoria fue introducida la perca del Nilo (*Lates niloticus*). Especie depredadora y voraz, su introducción provocó, casi 20 años después, la desaparición de más de 200 especies de cíclidos del género *Haplocromis*. Hasta entonces, se podían encontrar en el lago más de 300 especies distintas de estos peces endémicos, ocupando nichos muy diversos.

La Perca del Nilo



El Lago Victoria es la segunda reserva de agua dulce del mundo que se ha visto alterado por la acción de un pez invasor, la perca del Nilo, introducido 1950, y que

destruye a las especies autóctonas. En la actualidad, en estas aguas, casi exclusivamente viven estas gigantescas percas, las cuales pueden llegar alcanzar los 2 metros de longitud. El ecosistema original se ha perdido, el río es una gran cantidad de precarios puestos de trabajo y una rueda espiral de negocios sucios, miseria y prostitución, en una zona anteriormente privilegiada y rica.

“En los sesenta, alguien llevó la perca del Nilo al también africano lago Victoria. Depredador como pocos, pronto este pez se cepilló al resto de la fauna. Hoy, los aviones - principalmente pilotados por rusos - que llegan con armas a la zona, despegan de vuelta a Europa con sus bodegas llenas de filetes de este pescado. Pero, además de las armas, ¿qué queda en África? Miseria y prostitución, explotación y hambre, subdesarrollo y tercermundismo.” El País, 04 de julio de 2010.

http://www.elpais.com/articulo/madrid/mortal/presencia/perca/Nilo/elpepiespmad/20100704elpmad_7/Tes

Enfermedades emergentes

Por definición, se consideran enfermedades emergentes (ver pág. <http://recursostic.educacion.es/>) a aquellas de etiología (origen) conocido y de carácter epidémico y generalmente contagioso. Para considerar una enfermedad como emergente es necesario que su incidencia mayor haya ocurrido en los últimos 20 años afectando a hospedantes de riesgo en lugares donde antes no existía y con diferentes vías de transmisión. Organismos patógenos causantes de estas enfermedades, como en el caso de cualquier otra enfermedad, son las bacterias, hongos, o virus y priones, etc. La Organización Mundial de la Salud (OMS) también considera como emergentes a las enfermedades reemergentes, es decir, a enfermedades casi desaparecidas o eficazmente tratadas, cuya incidencia está aumentando en los últimos años.

El concepto de enfermedades emergentes ha cambiado desde ser una mera curiosidad médica a constituir una disciplina en sí misma, no solo en el campo de la medicina

sino también en el de la biología como amenaza a la biodiversidad. Nos referiremos aquí a este concepto más amplio.

La pérdida de biodiversidad como consecuencia de las amenazas anteriormente citadas - destrucción de hábitats, monocultivos, introducción de especies alóctonas e invasoras, cambio climático - está trayendo consigo una disminución de la diversidad genética de las poblaciones. Estas pérdidas tienen una influencia en el equilibrio natural de la biodiversidad global y, en particular, en la reducción de la capacidad de las especies a adaptarse rápidamente a su ecosistema y sobrevivir en hábitats modificados. Normalmente el sistema inmunológico, en especial de los mamíferos, es capaz de adaptarse rápidamente a nuevas situaciones. Si la diversidad genética de las poblaciones afectadas por la pérdida de biodiversidad se ve afectada los microorganismos patógenos podrán repentinamente expandir y crear epidemias con riesgos de pandemia. Así, la biodiversidad parece actuar como un amortiguador especialmente eficaz frente a los organismos patógenos. De aquí la importancia de mantener la biodiversidad para prevenir la aparición de enfermedades.

Enfermedades emergentes

Los anfibios son uno de los grupos animales más amenazados. La alteración y destrucción de sus hábitats les está llevando a sobrevivir en áreas muy reducidas donde gozan de protección legal.

Esta situación se está viendo agravada por el surgimiento de peligrosas amenazas que atacan también en zonas protegidas. Se trata de las enfermedades emergentes.

Las enfermedades en anfibios producidas por hongos acuáticos son un claro ejemplo de enfermedades emergentes. La quitridiomycosis producida por el hongo flagelado *Batrachochytrium dendrobatidis* que provoca una enfermedad altamente infecciosa de reciente aparición, afecta sólo a los anfibios y se extiende rápidamente provocando extinciones masivas de poblaciones y especies en todo el mundo, las cuales podrían, en un futuro no muy lejano, hacer desaparecer a la gran mayoría de los anfibios del planeta.

Además de esta dramática enfermedad existe otra producida por otros hongos acuáticos del género *Saprolegnia*, y que afecta a sus puestas. La saprolegniosis o «Saprolegnia de anfibios» está causada por dos especies del género *Saprolegnia*: *Saprolegnia ferax* y *Saprolegnia diclina*. Estas especies afectan naturalmente a puestas de animales acuáticos aunque su incidencia se ha disparado en las últimas décadas. Estudios realizados en Oregón por el Dr. Blaustein demuestran que el incremento de luz ultravioleta afecta a las puestas superficiales de algunas especies de anfibios y las hacen más susceptibles a estos hongos acuáticos. Los efectos de esta enfermedad se han visto más claramente en zonas de montaña, donde el grado de exposición a los rayos ultravioleta es mayor.



Figura 6.10. La *Saprolegnia* de anfibios es un claro ejemplo del calentamiento global y la aparición de una enfermedad emergente. En la fotografía vemos embriones de la especie en estado crítico de extinción *Atelopus nanay* endémica de Ecuador, afectada por *Saprolegnia* diclina. A la izquierda fotografía de esporangio de *S. diclina* (Autor: Javier Diéguez-Uribeondo)

Otros ejemplos de enfermedades emergentes son la **gripe aviar** (influenza aviar ó IA), enfermedad infecciosa de las aves de etiología viral, muy contagiosa causada por las cepas A del virus de la gripe. La enfermedad fue identificada por primera vez en Italia hace más de 100 años y se da en todo el mundo. Puede afectar a todas las especies de aves, pero algunas son más resistentes a la infección que otras. El virus de la gripe aviar normalmente puede causar infección en los cerdos, otros susceptibles son los felinos, caballos, mamíferos marinos y el hombre. Los virus de la gripe aviar son miembros de la familia Orthomyxoviridae, género *Influenzavirus* tipo A. Los virus A de la gripe carecen de mecanismos de corrección de pruebas y reparación de errores que ocurren durante la replicación, por lo que la composición genética del virus va cambiando conforme se va replicando en el hombre y los animales, y la cepa de partida se ve reemplazada por una nueva variante antigénica (deriva antigénica).

Por último, otro de los ejemplos de enfermedad emergente y con gran repercusión económica y ecológica es la llamada **Pierce's Disease** (enfermedad de Pierce) producida por la bacteria *Xylella fastidiosa* y que está devastando los cultivos de vid del sur de California, así como de un gran número de frutales. Esta enfermedad es un curioso efecto del resurgimiento de un patógeno a la introducción de una especie invasora que propaga al patógeno con gran eficacia. Newton Barris Pierce describió esta enfermedad en 1892 en el sur

de California, si bien no representó una amenaza real para la industria del vino californiano hasta la llegada de una chicharrita, *Homalodisca coagulata*, en 1996 originaria del sur de EEUU:

Cambio global

El conjunto de transformaciones que se están produciendo en el ambiente como consecuencia de nuestras actividades le hemos dado el nombre de **cambio global**. Uno de los efectos principales del mismo es el **cambio climático**, el cual, es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (definición de La Comisión Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, CMNUCC). El Cambio Climático es consecuencia del incremento de los llamados “gases de invernadero”, como el dióxido de carbono, que atrapan el calor y calientan la superficie de la Tierra. Las emisiones provenientes de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo son las responsables de este incremento. Es posible que, antes del fin de este siglo, el Cambio Climático se convierta en la principal causa de pérdida de la diversidad biológica. Por ejemplo, los pequeños aumentos de temperatura irán acompañados de importantes impactos. Así para el fin del siglo se prevé un aumento de la temperatura media global de 1.5 a 6 °C que puede resultar en:

- ascenso global del nivel del mar de 9 a 88 cm
- acontecimientos climáticos más frecuentes y extremos como olas de calor, tormentas y huracanes
- mayor calentamiento del Ártico y de la Antártica

Además, la distribución de las especies, ecosistemas y biomas está determinada en gran medida por el clima. El cambio climático puede simplemente cambiar estas distribuciones dado que algunas especies no pueden adaptarse a las nuevas condiciones. La rapidez del cambio climático es mayor que la que muchos organismos tienen para migrar a lugares donde encontrar las condiciones adecuadas para su vida. Además, la presencia de carreteras, ciudades y otras

barreras asociadas a la presencia humana añaden un impedimento enormemente la migración de los seres vivos que si pudiesen desplazarse a los nuevos territorios donde se ha desplazado su clima óptimo. Un ejemplo son los Parques Nacionales y reservas Naturales. En algunos casos, como el de Yellowstone Park, el clima que los caracteriza actualmente se prevé que se desplace varios cientos de kilómetros hacia el norte. El parque representa una entidad fija y aislada y por ello algunas especies y ecosistemas probablemente desaparecerán eliminados por el cambio climático. En consecuencia, muchos investigadores temen que para el final de siglo el 25% de las especies desaparezca.

Entre los estudios sobre la biodiversidad es cada vez más habitual que la preocupación sobre el cambio global se traduzca en investigaciones sobre cómo incidirá el cambio observado en la distribución de la riqueza de especies. Esta riqueza no es importante simplemente por sí misma, sino también por todos los servicios ecosistémicos que nos brinda (p.ej., agua, alimentos, regulación de ciclos, valores estéticos, culturales, turismo, etc.). Lamentablemente, muy pocas veces dichos servicios están traducidos a su valor en euros, por lo que difícilmente se percibe por la población el grave daño que causa dicha pérdida de diversidad, tan acostumbrados como estamos a que los daños se cuantifiquen económicamente.

La necesidad de prever el alcance de la influencia del cambio climático y de tomar medidas para la reducción de daños

ha ido calando estos años en las agendas políticas internacionales. Posiblemente la iniciativa más relevante en este contexto fue la aprobación en la Conferencia de la UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change, Montreal, 2005) del “Programa de trabajo quinquenal sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de los efectos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático”. En este Programa se estableció como prioritario que los países fortalecieran su capacidad de adaptación al cambio climático. En este contexto, España aprobó en el año 2006 el **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático**, que plantea como uno de sus objetivos “Desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos”.

Los resultados del PNACC en lo que respecta a este objetivo, que se pueden consultar en <http://secad.unex.es/wiki/libroOECC/index.php>, son muy preocupantes. Se prevé que el cambio climático cause una disminución dramática de la riqueza de especies forestales, tal y como se muestra en la figura. Si bien hay una gran incertidumbre para las simulaciones climáticas generadas para el periodo 2070-2100, la pérdida de riqueza es ya muy preocupante para el periodo 2011-2040 en la mitad oriental del norte de la península y en el Sistema Central. Las simulaciones para el periodo 2041-2070 son aún más preocupantes, con una pérdida generalizada de riqueza y, por tanto, de servicios ecosistémicos fundamentales.

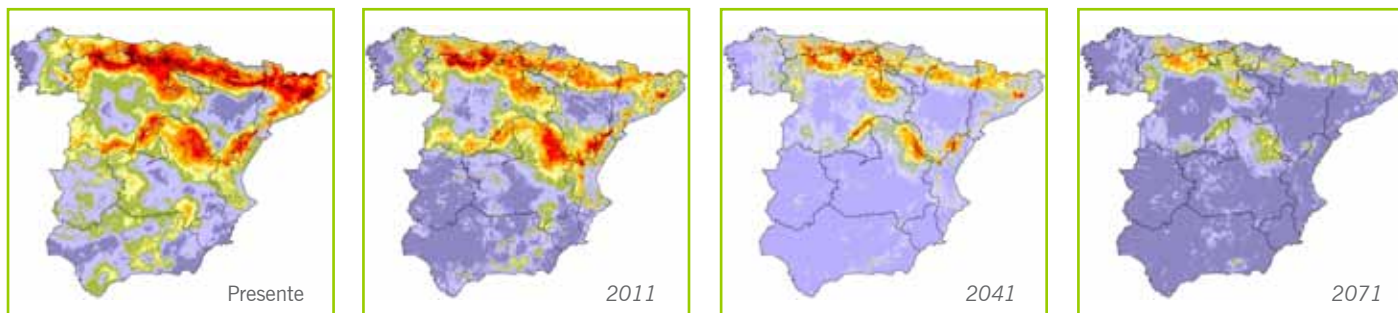


Figura 6.11. Riqueza potencial para el presente (arriba izquierda), y los periodos 2011-2040 (arriba derecha), 2041-2070 (abajo izquierda) y 2071-2100 (abajo derecha). Los colores van desde el azul medio (menos de 6 especies) hasta el rojo (más de 40 especies). Los modelos de distribución de especies predicen una pérdida general y progresiva de la riqueza de especies a lo largo del siglo. (Figuras: Jesús Muñoz)

Bibliografía de interés

Groombridge, B. 1992. *Global biodiversity: status of the Earth's living resources*. World Conservation Monitoring Centre. New York: Chapman and Hall. 585 p. Groombridge, 1992

Holdich D.M., Reynolds J.D., Souty-Grosset C. and Sibley P.J., 2009. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 394-395, 11.

Millennium Assesment Synthesis report *Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis* Quammen, David. 1997. *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions*. Simon & Schuster, New York.

Wilson, E.O. 1992. *The Diversity of Life*. W.W. Norton & Co., New York

WEBS de interés

www.climatex.org/

Se estima que más del 90% de las especies de coral de las Islas Galápagos ha desaparecido como consecuencia del llamado 'efecto de blanqueo' (decoloración que se produce en los arrecifes de coral como consecuencia de, entre otros factores, el incremento de la temperatura del agua del mar y la radiación ultravioleta)

www.toddadams.net

<http://www.globalchange.umich.edu/globalchange2/current/lectures/biodiversity/biodiversity.html>

<http://www.nybiodiversity.org/threats.html>

<http://www.urbanecology.org.au/topics/biodiversitythreats.html>

http://www.npca.org/wildlife_protection/biodiversity/report/

<http://www.greenfacts.org/en/global-biodiversity-outlook/l-3/6-threat-biodiversity.htm>

<http://www.fathom.com/course/21701785/session2.html>

<http://www.globalchange.umich.edu/globalchange2/current/lectures/biodiversity/biodiversity.html>

<http://recursostic.educacion.es/bachillerato/ccmc/enfermedadesemergentes/>

Global invasive Data Base, <http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss>

<http://www.sosanfibios.org/menu.php>

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

http://www.ite.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2005/tierra_vista_satelite/index.htm. La Tierra a vista de satélite.

Jordi Vivancos, Mònica Grau, Albert Llastarri y Daniel Vivancos Segundo Premio a Materiales Educativos del Instituto de Tecnologías educativas del MEC, 2005. Recurso que ofrece un conjunto de materiales didácticos interactivos sobre teledetección, pensados para alumnos de Bachillerato. Muestra al alumnado la importancia que tiene la teledetección espacial en la investigación del cambio climático global de nuestro planeta a través de diversos ejemplos y estudios de casos actuales, como la disminución de la capa de ozono o la retracción del Mar de Aral. El alumno puede trabajar con cierta autonomía ya que la página tiene un enlace de auto-evaluación.

<http://www.ieschirinos.com/departamentos/biologia/documentos/Laboratorio3Eso.pdf>

Cuaderno de prácticas de laboratorio para alumnos de 3º de ESO del IES Ginés Pérez Chirinos de Caravaca de la Cruz, que incluye 15 actividades, destacando las dos últimas dedicadas al efecto invernadero y la lluvia ácida.

<http://www.ite.educacion.es/w3/recursos/secundaria/naturales/gaia/index.htm>

Gaia: Problemas medioambientales. Proyecto del Instituto de Tecnologías Educativas del Ministerio de Educación que trata de dar a los alumnos una visión global de los problemas ambientales que sufre el planeta y de las posibles soluciones razonables de los mismos. Presenta tres grandes bloques:

- Contaminación del medio: agua, aire y suelo.
- Agotamiento recursos naturales.
- Producción excesiva de recursos.

Cada apartado ofrece los contenidos conceptuales en varias páginas y con enlaces a una información complementaria. Un enlace denominado "Diviértete y aprende" conduce a diversas actividades: ejercicios, experimentos, realiza tú mismo, juegos y enlaces de interés. Se incluye también un glosario.

<http://www.ite.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem/pronatura/indice.htm> Pronatura.

J. Antonio Herreros Ruiz. Segundo Premio a Materiales Educativos 1999. El principal objetivo de esta aplicación es promover la reflexión sobre la naturaleza de los problemas ambientales que afectan actualmente a la humanidad. Ofrece, básicamente, tres tipos de contenidos: documentos informativos sobre los temas ambientales propuestos (por ejemplo lluvia ácida o desarrollo sostenible), actividades de aprendizaje con un enfoque evaluador y enlaces de interés.

http://www.ite.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2008/explorando_cambio_climatico/index.html

Explorando el cambio climático es una actividad del ITE que incluye numerosas simulaciones animadas en las que el alumno debe resolver situaciones relacionadas con la influencia de la actividad humana en el entorno y con la pérdida de biodiversidad.

http://roble.pntic.mec.es/cgee0003/4esobiologia/4quincena12/index_4quincena12.htm

Unidad didáctica del CIDEAD (Centro para la Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia) con actividad interactiva La humanidad y el medio ambiente para alumnos de 4º ESO sobre la influencia de la actividad humana en el planeta y la diversidad de especies.

<http://biologia-en-internet.com/documentales-biologia/97/ted-la-transicion-hacia-un-mundo-sin-petroleo/>

Vídeo de distribución libre en la red, recopilado en la página **Biología en Internet**, proyecto creado por José Luis Checa en 1996 con el fin de recopilar enlaces a temas relacionados con la Biología. Incluye una Conferencia de Rob Hopkins, profesor y fundador del movimiento Transición, cuya idea central es que nuestro mundo depende de un petróleo que se está acabando y propone como solución para la sostenibilidad del planeta construir sistemas y comunidades que sean completamente independientes de los combustibles fósiles. En inglés, con subtítulos en varios idiomas, incluido el castellano.

http://www.natureduca.com/videoext_cont_calentglobal4.php

Web personal dedicada a la Biología y a la Ecología, con abundantes recursos entre los que se encuentran enlaces a vídeos relacionados con las amenazas a la biodiversidad, como éste de la BBC sobre los factores que influyen en el calentamiento global del planeta.

VINCULACIONES CINEMATOGRÁFICAS



Una verdad incómoda (Al Gore, 2006)

Debido a la presencia mediática que ha tenido en los últimos tiempos el ex vicepresidente de los Estados Unidos, Al Gore, capitaneando un movimiento ecológico mediático sin precedentes, seleccionamos su film documental **Una verdad incómoda**, galardonado con dos oscars. Su idea del peligro del calentamiento global aparece muy bien explicada, y de forma muy didáctica, en un fragmento (08'36'' - 11'20'') en el cual se combinan una clase magistral, una tecnología poderosa aplicada al docente y la presencia de los Simpsons.



Cuando ruge la marabunta (Byron Haskin, 1954)

Joanna llega a una hacienda americana con el fin de conocer a su propietario, Christopher Leiningen, hombre con el cual se ha casado por poderes. En este romántico contexto, las plantaciones son atacadas por la marabunta (hormigas legionarias carnívoras). La película recrea, con buenos efectos especiales, la defensa que los hombres intentan realizar de sus tierras y animales (Fragmento 1h 10'44'' - 1h 31'23'').

VINCULACIONES LITERARIAS

La conciencia que pretende potenciar Al Gore la continuaremos en este texto, aparecido en el Suplemento Tierra del diario El País el 21 de abril de 2007:

Al Gore habla pausado y rotundo. "El calentamiento global es la amenaza más grave a la que jamás se ha enfrentado la civilización". El ex vicepresidente de los Estados Unidos, tras su polémica derrota en las elecciones de 2000, ha convertido la lucha contra el cambio climático en el motor de su vida (...) La entrevista ha sido realizada por teléfono, y Al Gore suena amable desde California.

Tierra. ¿A qué nos enfrentamos con el cambio climático? Mucha gente piensa que el calentamiento global sólo supondrá un par de grados más, veranos más largos e inviernos más cortos. Y, si es así, no parece tan grave.

Al Gore. El calentamiento global es la amenaza más grave a la que jamás se ha enfrentado la civilización: La comunidad científica ha advertido por unanimidad que tenemos que actuar para frenar la acumulación de esta contaminación de efecto invernadero en la atmósfera: Ya vemos que el aumento de temperaturas seca el suelo más rápidamente que antes, y que está la amenaza de que suba el nivel del mar mucho más si Groenlandia se desestabiliza. La ola de calor de 2003, que mató a miles de personas en Europa, es un signo de lo que podría ser cada vez más frecuente si no actuamos.

T. Dice que el cambio climático es la mayor amenaza. ¿Y el sida, la malaria, el agua contaminada? ¿Por qué un africano debería preocuparse por el calentamiento global? ¿No es ésta una preocupación de países ricos?

A.G. Todas esas materias que menciona empeorarán con la crisis climática: Los países pobres de África tendrán muchos problemas enfrentándose al cambio climático. Además, si solucionamos la crisis climática será más fácil encontrar las otras soluciones (...) Las enfermedades tropicales, como la malaria, se extenderán con el cambio climático. Hay muchas razones para ello. Por ejemplo, los mosquitos que la transmiten llegarán a mayores altitudes y latitudes y se reproducirán más rápidamente en

climas cálidos. Así que el esfuerzo para frenar estas enfermedades será más sencillo si se frena el cambio climático. Además, algunas de las soluciones contra el calentamiento obligarán a esfuerzos de cooperación entre los países ricos y pobres (...)

T. ¿Por qué hay aún tantos escépticos? ¿Es que los grupos de presión que cuestionan la existencia del calentamiento han hecho muy bien su trabajo, o es que no es un problema tan grande?

A. G. Si alguien piensa que éste es un problema que empezará en las próximas décadas, está equivocado. El calentamiento está ocurriendo ya. Pero creo que hay una mezcla de los dos factores que menciona. Algunas de las grandes industrias contaminantes han gastado millones de dólares

para convencer de forma intencionada a la gente de que no existe el calentamiento global. Además, creo que todos tenemos una tendencia natural a creer que los problemas serios no son reales. Deseamos que desaparezcan mágicamente. Creo también que la tarea de confusión de los lobbies ha funcionado especialmente bien porque han conectado con el deseo de mucha gente de que el problema no exista (...) Puede ser una verdad incómoda, pero es verdad. Cuanto antes lo reconozcamos y respondamos, mejor nos irá (...)

“No hay por qué elegir entre crecimiento y contaminación”, entrevista con Al Gore, político y ecologista, El País, Suplemento Tierra, 21 abril de 2007, páginas 4-6.



**Valor económico de la
biodiversidad**

7

Empleo de atarraya
Berta Martín (UAM)

Valor económico de la biodiversidad

Berta Martín-López, Javier Benayas



El papel de la biodiversidad en el bienestar humano

La biodiversidad del planeta está siendo severamente afectada por las modificaciones sin precedentes inducidas por las actividades humanas sobre los ecosistemas, entre las cuales destacan el cambio de usos del suelo, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la destrucción y fragmentación de hábitats, la introducción de especies exóticas y la alteración de las condiciones climáticas. Por otra parte, aunque no haya sido tan ampliamente reconocido, existen también claras evidencias de que los cambios en la biodiversidad están repercutiendo directa o indirectamente sobre el bienestar humano, ya que comprometen el funcionamiento mismo

de los ecosistemas y su capacidad de generar servicios esenciales para la sociedad. Por tanto, la biodiversidad influye en el suministro del flujo de servicios, los cuales son definidos como las contribuciones realizadas por los ecosistemas (de manera directa o indirecta) al bienestar humano.

Los servicios de los ecosistemas se clasifican en los servicios de abastecimiento -productos obtenidos directamente de los ecosistemas, como p. ej. el alimento-, los servicios de regulación -beneficios obtenidos de manera indirecta de los ecosistemas, como p. ej. purificación del agua-, y los servicios culturales -beneficios no materiales que la gente obtiene a través de las experiencias estéticas, turismo o el enriquecimiento espiritual- (MA, 2003).

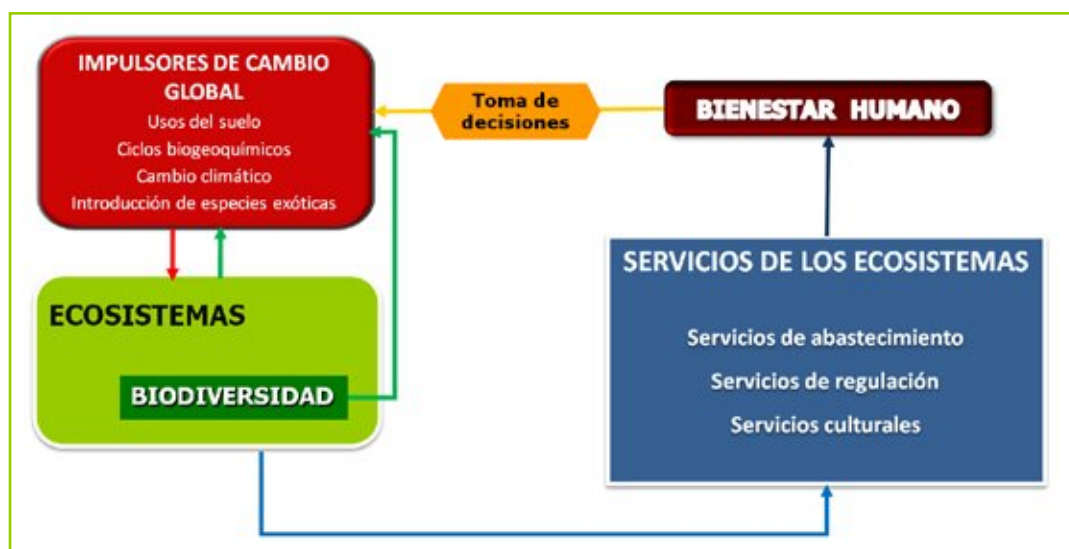


Figura 7.1. Modelo simplificado que refleja el papel de la biodiversidad como proveedor de servicios a la sociedad, así como uno de los principales componentes que regulan la respuesta de los ecosistemas frente al cambio global

Evaluación de los ecosistemas del milenio (EM; MA en inglés)

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA; <http://www.millenniumassessment.org/es/index.aspx>) es un programa científico internacional desarrollado entre los años 2001-2005 y promovido por las Naciones Unidas para evaluar el estado de los ecosistemas en el planeta. La piedra angular de dicho proyecto es analizar las relaciones entre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano con el fin de aportar información actualizada a los tomadores de decisiones y público en general.

En general, este proyecto concluye que del buen funcionamiento de los ecosistemas del planeta depende el futuro económico, social y cultural de las sociedades humanas. Sin embargo, los resultados muestran que el **60% de los servicios de los ecosistemas evaluados (15 de 24) se están degradando o usando de manera no sostenible**, siendo principalmente los servicios de regulación los más afectados.

Además, este proyecto fue llevado a cabo desde una perspectiva multiescalar, consistente en evaluaciones del estado de los ecosistemas y los servicios que suministran a diferentes escalas: desde la global hasta la local. De esta manera, se incorporaron estudios de todos los continentes del planeta. Actualmente, se están incorporando nuevos casos de estudio a esta iniciativa, incorporándose España a través del proyecto de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (<http://www.ecomilenio.es/>).

Como consecuencia, si bien en el pasado buena parte de las iniciativas de conservación de la biodiversidad se basaron casi exclusivamente en sus valores intrínsecos o en criterios éticos, en los últimos años han comenzado a cobrar fuerza argumentos de carácter más pragmático, que toman en cuenta la contribución de la biodiversidad a la calidad de vida y el bienestar de las sociedades humanas.

Son varias las iniciativas a nivel internacional que reconocen la importancia de la biodiversidad para el mantenimiento del bienestar humano. Por ejemplo, en el preámbulo del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) se reconoce 'el valor intrínseco de la diversidad biológica, así como los valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos de la diversidad biológica y sus componentes'. El proyecto de Biodiversidad en el Desarrollo (2001) reconoce que mientras la población humana siga creciendo 'el mantenimiento de las funciones de los ecosistemas que aseguren paisajes productivos para el desarrollo humano... es incluso más importante que la extinción de una especie'. El V Congreso de Parques del Mundo desarrollado en el año 2003 reconoce a los espacios naturales como sustento de vida humana. Por último, los Objetivos del Milenio reconocen en su séptimo

objetivo la importancia de los ecosistemas como fuente de 'recursos naturales los cuales pueden convertirse en riqueza para las comunidades pobres'. Más aún, cada uno de los objetivos del Milenio depende en cierta manera del estado de los ecosistemas y la biodiversidad. Por tanto, cada vez más se está reconociendo los estrechos vínculos existentes entre ecosistemas y bienestar humano, o lo que es lo mismo, entre ecosistemas y sistemas socio-culturales.

En un proceso de co-evolución, los sistemas humanos y los ecosistemas se han ido moldeando y adaptando conjuntamente, convirtiéndose en un sistema integrado de humanos en la naturaleza denominado socio-ecosistema o sistema socio-ecológico. Berkes y Folke (1998) concluyen que los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados y que, por tanto, la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social resulta arbitraria y artificial. Además, el vínculo existente entre los ecosistemas y los sistemas sociales es multi-escalar, desde la escala local hasta la global. En este estudio, usaremos el término de sistemas socio-ecológicos o socio-ecosistemas para referirnos a aquellos sistemas que integran la perspectiva ecológica, socio-cultural y económica, o lo que es lo mismo, el ser humano en la naturaleza.

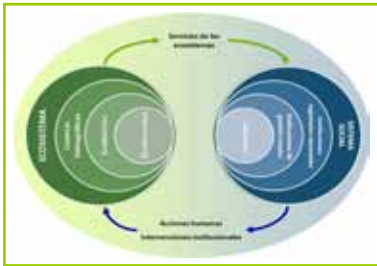


Figura 7.2. Diagrama conceptual de los elementos que componen un socio-ecosistema. El sistema socio-cultural está compuesto por los individuos, los grupos locales, y las instituciones a mayor escala, así como por las relaciones que se

establecen entre ellos. Este sistema se beneficia de los servicios generados por el ecosistema, y desarrolla acciones (pesca, agricultura, etc.) o intervenciones (restauración, conservación, etc.) que modifican directa o indirectamente el funcionamiento y estructura de los ecosistemas (Fuente: Olsson y Folke, 2001; Martín-López et al., 2009).

La importancia de valorar económicamente los servicios generados por la biodiversidad

Desde finales de la década de los sesenta, ha habido un interés creciente por analizar y valorar los múltiples beneficios que la biodiversidad genera al ser humano. Dicho interés aumentó con el reconocimiento de que los servicios son infravalorados en la toma de decisiones políticas. Desde entonces, la valoración económica de la biodiversidad ha recibido una considerable atención en los foros científicos, desarrollándose diferentes marcos para este fin. De esta manera, un nuevo paradigma ha emergido, en el cual la biodiversidad se conceptualiza como un capital natural.

Muchos de los servicios suministrados por la biodiversidad son necesarios para el ser humano, y por tanto son valorados por la sociedad, aunque carezcan de expresión en términos monetarios porque dichos servicios no tienen un reflejo en el mercado. El problema radica en que estos servicios, que carecen de precios en el mercado, no son incluidos en el proceso de toma de decisiones, de forma que, la decisión final favorece a las decisiones cuyas actividades tienen un reflejo en el mercado. En la actualidad, la mayoría de los servicios de abastecimiento están incorporados en el sistema de mercado tanto local como global, mientras que para los servicios culturales y de regulación existe un vacío de información relativo a su valor social, especialmente en el

caso de los servicios de regulación. Esta falta de información provoca que las políticas actuales de gestión favorezcan a los servicios de abastecimiento, implicando el deterioro de los servicios culturales y los de regulación. Por ejemplo, un estudio realizado en 2001 por los economistas Suthawan Sathirathai y Edward Barbier en los manglares del sur de Tailandia demostró claramente la importancia de considerar todos los servicios en la toma de decisiones. Dicho estudio pretendía explorar qué escenario es socialmente más beneficioso: la conservación de los manglares o la transformación de éstos en granjas camaroneras. Inicialmente, si sólo consideramos los valores que tienen reflejo en el mercado (los servicios de abastecimiento) parece ser más beneficioso transformar los manglares a granjas camaroneras. Sin embargo, si consideramos los servicios de regulación como el servicio de la protección de la costa frente a las tormentas, parece evidente que resulta socialmente más beneficioso conservar los manglares. Más aún resulta socialmente más beneficioso mantener los manglares cuando se descuentan los subsidios que perciben las granjas camaroneras por el gobierno o los costes de contaminación de la misma actividad. En la figura 3 podemos apreciar el análisis de los beneficios sociales de dichas actuaciones.

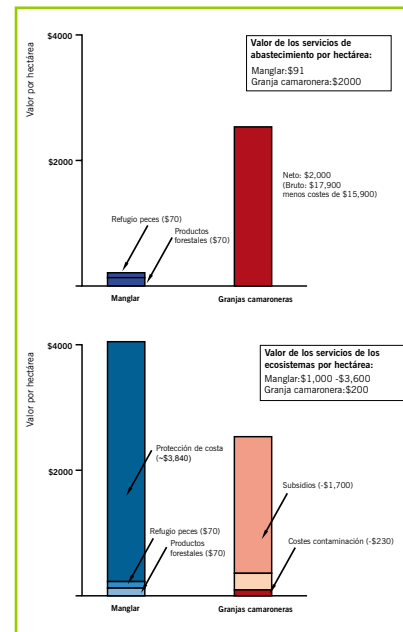


Figura 7.3. Análisis de los beneficios sociales obtenidos por los manglares y las granjas camaroneras en el sur de Tailandia. (Fuente: Sathirathai y Barbier, 2001)

De esta manera, la valoración económica de los servicios es capaz de traducir la biodiversidad a una terminología comprensible por los tomadores de decisiones así como por el público en general. El reciente proyecto La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity; <http://www.teebweb.org>), el cual fue gestado en marzo del año 2007 en Postdam (Alemania) cuando los ministros de Medio Ambiente del G8+5, ha demostrado que los beneficios suministrados por los ecosistemas y la biodiversidad tienen un valor monetario entre 10 y 100 veces mayor que el coste relacionado con su conservación.

La importancia de la valoración económica de la biodiversidad ha quedado patente en diferentes acuerdos no vinculantes firmados por distintos países, así como en sus planes nacionales. De esta forma, el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), en el artículo 11, reconoce la necesidad de 'adoptar medidas económicas y sociales adecuadas que actúen como incentivos para la conservación y uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica'. Posteriormente, la Conferencia de las Partes, en su decisión IV/10, entiende que 'la valoración económica de la biodiversidad y los recursos biológicos es una herramienta importante para definir adecuadamente los incentivos económicos' para la conservación, y enfatiza la importancia de 'tener en cuenta la valoración económica, social, cultural y ética en el desarrollo de medidas e incentivos relevantes'. En España, la Estrategia Española para la Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica, en su objetivo 25 resume el planteamiento del enfoque de la valoración: 'Hay que considerar el valor total de los componentes de la diversidad biológica, destacando, además de los valores que hoy se le reconocen derivados del uso productivo o de recreo, aquellos que no son tácitamente reconocidos por carecer de un valor de mercado y que, sin embargo, ofrecen un servicio básico a la sociedad (valores de opción, de existencia, ecológico y cultural)' (MMA, 1998).

Valoración económica de servicios generados por la biodiversidad

Los beneficios sociales generados por la biodiversidad pueden dividirse en los beneficios que influyen directamente en el bienestar humano y que determinan el Valor Económico Total y los beneficios que no repercuten directamente en el bienestar humano y, por tanto, no pueden ser estimados en términos económicos. Estos beneficios de la biodiversidad intangibles están relacionados con la ética ambiental, es decir, con el derecho a existir de las especies y los ecosistemas y frecuentemente se denominan valores intrínsecos. La figura 4 nos muestra cuáles son estos beneficios.

Para los beneficios que pueden ser disfrutados por el ser humano (valor instrumental), la Teoría Económica ha desarrollado una serie de herramientas y técnicas cuyo objetivo es aproximar el valor de los servicios generados por la biodiversidad en términos monetarios, para dotar en última instancia a los decisores políticos, economistas o analistas ambientales, de un factor más a la hora de justificar las actuaciones de conservación. El valor de los servicios generados por la biodiversidad depende de las necesidades de cada uno de los usuarios o actores sociales implicados, existiendo una relación dinámica entre servicios y actores sociales. Diferentes actores sociales tienen diferentes preferencias sobre cuál servicio es más importante, y por ello generalmente otorgan distinto valor monetario a cada uno de los servicios. Esta diversidad de intereses implica que existan diferentes visiones sobre la gestión de los servicios de los ecosistemas y de los socio-ecosistemas. Los servicios suministrados por los ecosistemas determinan los actores sociales implicados, y los actores determinan cuáles servicios resultan más importantes, otorgándoles de esta manera diferentes valores. Así cada tipo de servicio (abastecimiento, regulación y culturales) puede ser valorado a través del uso de diferentes técnicas de valoración, asociadas con diferentes tipos de valor.

La Economía Ambiental reconoce que los actores sociales pueden considerar diferentes tipos de valor: los valores de uso y los valores de no-uso. El valor de uso a su vez está compuesto por tres tipos de valor. El valor de uso directo, que se obtiene por el uso directo de los ecosistemas y la biodiversidad por parte del ser humano, el cual puede ser

extractivo (p. ej. recolección de alimentos) o no (p. ej. ecoturismo). El valor de uso indirecto se obtiene por la utilización indirecta de los ecosistemas, en concreto a través de las externalidades positivas que los ecosistemas y la biodiversidad generan. Es el valor que el ser humano obtiene a partir de los procesos ecológicos (p. ej. control de erosión del suelo, fertilidad del suelo, purificación del agua, polinización, etc.), expresando así los servicios de regulación. El valor de opción se refiere a la postergación del uso de cualquier servicio conocido para una época futura.

Los valores de no-uso, pueden ser divididos en dos tipos. El valor de existencia que está basado en el beneficio que los actores sociales encuentran por el simple hecho de que una especie o ecosistema exista. El valor de legado está basado en el beneficio que una persona adquiere al saber que las futuras generaciones pueden disfrutar de cualquiera de los servicios. El valor de legado al estar relacionado con el disfrute de las generaciones futuras, muchos autores lo incluyen dentro del valor de uso.

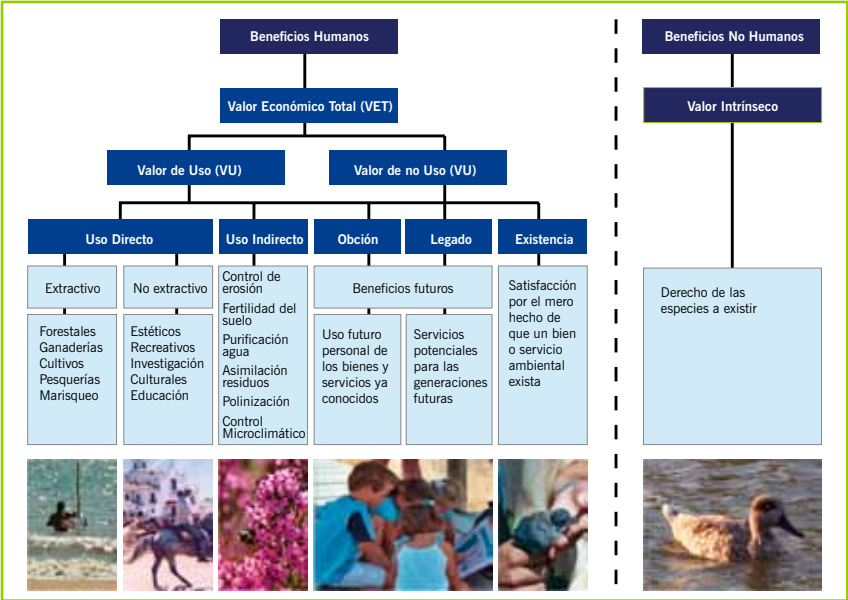


Figura 7.4. Los beneficios sociales generados por la biodiversidad. Los beneficios que repercuten en el ser humano pueden ser estimados dentro del marco del Valor Económico Total (VET).

Métodos de valoración empleados para estimar los beneficios sociales generados por la biodiversidad

Para estimar dichos valores existen diferentes métodos de valoración, los cuales se suelen dividir en tres grandes grupos: los métodos basados en el mercado, los métodos de preferencias reveladas y los métodos de preferencias declaradas.

Los métodos basados en el mercado son principalmente la función de producción y los costes de reemplazo y/o restauración. La función de producción está basada en estimar la contribución que un servicio realiza a la producción de otro servicio con expresión en el mercado. Las técnicas de costes de reemplazo y/o restauración evalúan el valor de un servicio a través de cuánto costaría en el mercado reemplazarlo o restaurarlo, si éste ha sido dañado.

Los métodos de preferencias reveladas se denominan así porque se basan en la observación de mercados de algún bien relacionado con el servicio a valorar, donde los agentes económicos “revelan” sus preferencias mediante sus decisiones, aunque el mercado no se corresponda directamente con el servicio objeto de estudio. Los dos métodos principales son el coste de viaje -que investiga cómo varía el número de visitas, p. ej. a un espacio natural, en función del coste de viaje- y precios hedónicos -que investiga cómo varía el precio de un bien en función de sus atributos, asignando un precio implícito a cada uno de dichos atributos-. El ámbito clásico de utilización de los precios hedónicos es la vivienda, en donde se investiga cómo varía el precio de la vivienda en función por ejemplo de que en ella se disfrute de un servicio estético paisajístico o no.

Los métodos de preferencias declaradas simulan mercados mediante la utilización de cuestionarios. Los métodos principales en este grupo son el de valoración contingente y los modelos de elección. El primero de ellos busca que las personas declaren su máxima disposición a pagar (o la mínima disposición a aceptar una compensación) por algún cambio que afecte la cantidad o calidad del servicio. En cambio, en los modelos de elección a los individuos se les enfrenta a dos o más alternativas formadas por atributos comunes del servicio a valorar, pero con diferentes niveles del atributo. Uno de esos atributos es el dinero que las personas tendrían que pagar, o recibir en compensación, por el servicio tal cual lo describen sus atributos.

Para más información sobre metodologías de valoración económica, consultar Lomas et al. (2005).

La figura 5 muestra un ejemplo real de diseño de muestreo en los modelos de elección

	Situación futura 1	Situación futura 2	Mantener situación actual
Agricultura Tradicional	Como Hoy 22100 Ha 37% sup. 	Restauración 100 Ha 23100Ha 38,5% sup. 	Como Hoy 22100 Ha 37% sup. 
Turismo rural Naturaleza	Incremento Nº equipamientos turísticos= 60 	Como Hoy Nº equipamientos turísticos= 46 	Como Hoy Nº equipamientos turísticos= 46 
Energía Eólica	Incremento 14900 Ha 25% sup. 	Como Hoy 12500 Ha 21% sup. 	Como Hoy 12500 Ha 21% sup. 
Espacio Natural Protegido	Como Hoy 25800 Ha 43% sup. 	Protección Sierra Filabres 34000 Ha 57% sup. 	Como Hoy 25800 Ha 43% sup. 
Calidad Agua del Río	Como Hoy Puntos con calidad buena y otros con calidad crítica 	Como Hoy Puntos con calidad buena y otros con calidad crítica 	Como Hoy Puntos con calidad buena y otros con calidad crítica 
Coste por Habitante Periodo 2007-2013 (Cambio finalidad fondos ESE)	42€, 30% Re-inversión 98€, 70% planes previstos 	63€, 45% Re-inversión 77€, 65% planes previstos 	0€ Re-inversión 140€, 100% planes previstos 
Yo prefiero	☐	☐	☐

Figura 7.5. Ejemplo de diseño de muestreo en los modelos de elección. Al individuo encuestado se le presentan diferentes escenarios de gestión futura, en el que se combinan diferentes atributos (p.ej. superficie agrícola, calidad del agua, superficie protegida, coste asociado-valor económico) con diferentes niveles en cada atributo. Diseño cedido por M. García-Llorente

Una revisión de los principales métodos usados para valorar los servicios generados por biodiversidad demuestra que la mayoría de los estudios han usado métodos de preferencias declaradas, principalmente el método de valoración contingente, y que muy pocos estudios lo han hecho mediante técnicas de preferencias reveladas, si bien es cierto que el coste de viaje ha sido amplia-

mente usado para determinar el valor de los servicios recreativos de especies y espacios naturales, tal y como podemos ver en la figura 6. Adicionalmente, la mayoría de los estudios se han centrado en valorar un único servicio limitando así la información disponible para la toma de decisiones políticas basada en el valor de un flujo diverso y variado de servicios.

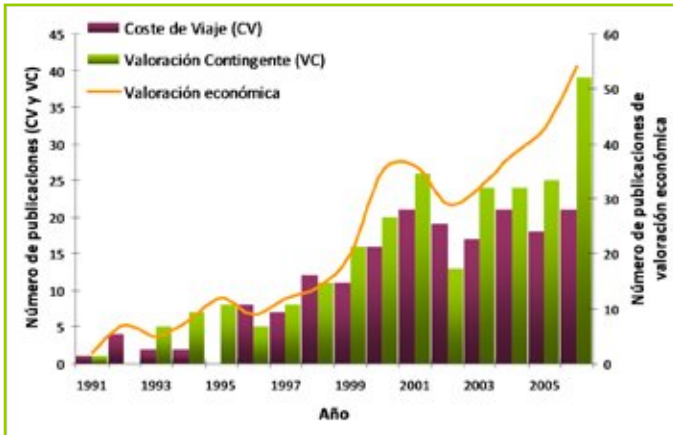


Figura 7.6. Tendencia temporal de los estudios de valoración económica de los servicios generados por la biodiversidad (línea amarilla) y de los métodos usados (coste de viaje y valoración contingente). Fuente: Web of Science

Valoración económica de especies

En la estimación del valor económico de las especies frecuentemente subyacen los valores de no uso (existencia) o los valores de uso directo (valor estético o recreativo). Es por ello que la metodología más empleada en la valoración económica de especies sea la valoración contingente. Mientras que para estimar el valor de existencia, se analiza la disposición a pagar para conservar una especie, para estimar el valor de uso recreativo se pregunta por la disposición a pagar por cazar-pescar u observar dicha especie.

En cualquiera de los dos casos, se ha demostrado que la valoración económica de las especies aparece sesgada por factores afectivos (cercanía filogenética de la especie al ser humano, y características morfológicas de neonatos) y por factores utilitaristas (si la especie es beneficiosa para los intereses humanos). De esta manera, un análisis conjunto de diferentes estudios realizados sobre valoración económica de la biodiversidad en el mundo demuestra que las variables que subyacen en la disposición a pagar vienen determinadas por dichos factores. De esta manera, el factor afectivo aparece representado por los mamíferos y aves, ya que estos taxones filogenéticamente cercanos al ser humano, son los que reciben mayor valor económico. Por otro lado, el diámetro ocular de la especie (como indicador de las características

morfológicas asociadas con neonatos) influye positivamente sobre la disposición a pagar, demostrando que animales con tamaños de ojos grandes reciben mayor valor económico por parte de la sociedad. Por otro lado, el factor utilitario influye directamente sobre la disposición a pagar. De hecho, especies que son objeto de pesca o caza reciben mayor valor que el resto. La tabla 1 muestra las especies que han sido valoradas económicamente y su valor monetario asociado en \$. Por tanto, se observa que el factor utilitarista aparece relacionado con el valor de uso directo, y el factor afectivo con el valor de existencia.

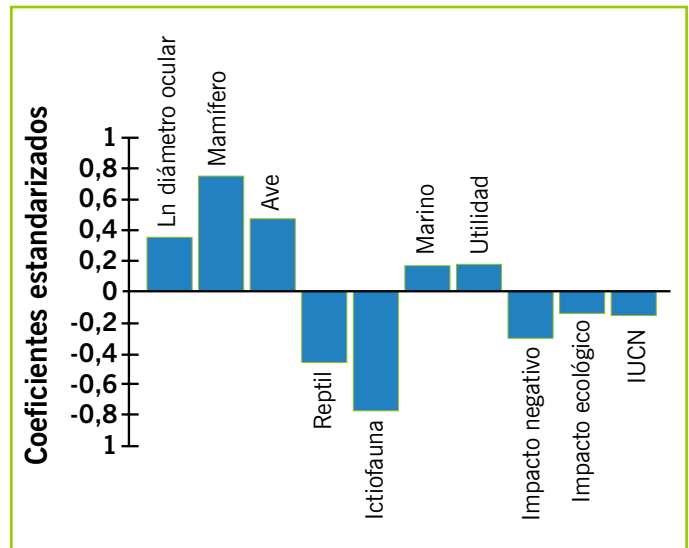


Figura 7.7. Factores que influyen en la disposición a pagar por conservar diferentes especies.

Es interesante observar en la figura 7 cómo variables asociadas con el grado de amenaza de la especie, como las categorías establecidas en las Listas Rojas de especies amenazadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), o si la especie tiene un papel clave en el mantenimiento de los procesos ecológicos influyen negativamente en el valor económico. Esto refleja que las estimaciones basadas en la disposición a pagar están basadas más en aspectos socio-culturales que en cuestiones ecológicas de la propia especie.

Las Listas Rojas de UICN (<http://www.iucnredlist.org/>)

La Lista Roja de la UICN es el inventario más reconocido sobre el estado de amenaza de las especies. Dicha lista está preparada por una red de más de 8.000 especialistas de todo el mundo que trabaja por la conservación de especies a nivel mundial. La Lista Roja incluye siete categorías de conservación: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC). De éstas, solo tres categorías son consideradas como amenazadas: CR, EN y VU. A éstas se adicionan la categoría de datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). La categoría DD se adopta cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación del riesgo de extinción de la especie basándose en su distribución y/o condición de su población y la categoría NE cuando un taxón no ha sido clasificado en relación a los criterios adoptados por UICN (UICN, 2001).

De acuerdo a su última versión (2007) existen 41.415 especies en la Lista Roja de la UICN, de las cuales 16.306 son consideradas como amenazadas, es decir clasificadas como CR, EN o VU. El número total de especies extintas ha llegado a 785. Esto indica que a nivel mundial, uno de cada cuatro mamíferos, una de cada ocho aves, un tercio de todos los anfibios y el 70% de las plantas que han sido evaluadas en la Lista Roja 2007 de la UICN están en situación de riesgo.

En España contamos con el Comité Español de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), siendo uno de los Comités Nacionales oficialmente reconocidos por esta entidad (<http://www.uicn.es/>). Su objetivo es la conservación de la diversidad biológica y para ello actúa como plataforma de debate entre organismos gubernamentales y no gubernamentales implicados en la conservación de la naturaleza en España.

Actualmente en España se han publicado diferentes listas rojas de especies amenazadas según el grupo taxonómico considerado: briófitos, flora vascular, invertebrados, peces, anfibios y reptiles, aves reproductoras y mamíferos terrestres. Estas Listas Rojas ponen de manifiesto que los grupos taxonómicos más amenazados en España son los anfibios y reptiles, con el 38% y el 46% de las especies reconocidas en las categorías de amenaza, respectivamente. El Inventario Nacional de Biodiversidad publicado por el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino recopila las Listas Rojas actualizadas de los vertebrados en España (http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/inventarios/inb/inventario_vertebrados/index.htm).

Consecuentemente, la valoración económica de la biodiversidad resulta más útil si tiene como objetivo determinar los factores que subyacen a las preferencias individuales de las personas, que realizar una mera estimación del valor o un catálogo de valores. Efectivamente, en muchos procesos las estimaciones del valor en términos monetarios no son

necesarias, sino más bien interesa conocer las complejas relaciones que se establecen entre la sociedad y la biodiversidad para poder determinar estrategias de comunicación o concienciación social en relación con la conservación de la naturaleza.

Bibliografía comentada

Berkes, F., Folke, C. 1998. *Linking social and ecological systems. Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. En este libro los autores muestran la necesidad de analizar los sistemas bajo la premisa de la integración del ser humano en la naturaleza, pues los ecosistemas y sistemas socio-económicos han evolucionado de manera paralela, estando estrechamente vinculados.

Biodiversidad en el Desarrollo. 2001. *Enfoque estratégico para integrar la biodiversidad en la cooperación para el desarrollo*. Comisión Europea, Bruselas, Bélgica/UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. URL: www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2001-036-1-Es.pdf Este libro se concibió en respuesta a una necesidad que expresaron la Comisión Europea y las agencias de cooperación para el desarrollo de los Estados Miembros de la Unión Europea (UE) en el sentido de procurar una mayor coherencia en cuanto al enfoque de los temas de la biodiversidad y en el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Convenio de Diversidad Biológica (CDB). Por tanto, este Enfoque estratégico aborda el aspecto conexo e importante de integrar la biodiversidad en la política y práctica de la cooperación para el desarrollo.

Lomas, P.L. Martín-López, B., Louit, C., Montoya, D., Montes, C., Álvarez, S. 2005. *Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas*. Ulzama digital, Madrid. Este libro recopila las principales técnicas de valoración económica, las ventajas e inconvenientes de cada una, así como ejercicios prácticos disponibles

MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2003. *Ecosistemas y Bienestar Humano: Un Marco para la Evaluación*, Island Press, Washington, DC. URL: <http://www.millenniumassessment.org/es/Framework.aspx> Informe del marco conceptual del proyecto de la Evaluación de los Ecosistemas de Milenio (MA), de sus principales resultados y de las principales cuestiones a considerar en la toma de decisiones. El marco conceptual de este proyecto radica en que el ser humano forma parte de los ecosistemas, y que de las interacciones existentes entre ecosistemas y ser humano pueden producirse cambios en el estado de los ecosistemas, en el flujo de servicios suministrados por los mismos y, por tanto, en el bienestar humano.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 1998. *Estrategia española para la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica*. MMA, Madrid. [online] URL: http://www.mma.es/secciones/biodiversidad/banco_datos/info_disponible/index_estrategia_espaniola.htm La Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica es la respuesta a la ratificación por parte de España del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) el 21 de diciembre de 1993. El documento que con todo este proceso se obtuvo, quiere ser la base sobre la que se construyan los planes de acción para la conservación de la biodiversidad que en el futuro se desarrollen para llevar a la práctica los principios y objetivos del CDB.

UICN. 2001. *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. URL: <http://www.iucnredlist.org/docu->

[ments/redlist_cats_crit_sp.pdf](#) Es una guía básica para entender los criterios de UICN a la hora de incorporar una especie en la Lista Roja de Especies Amenazadas, así como de la categoría de amenaza en la que se incluye.

MATERIALES AUXILIARES

RECURSOS DIDÁCTICOS EN LA RED

<http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>

Proyecto Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Para satisfacer las demandas de información científica de los tomadores de decisiones sobre las consecuencias del cambio de los ecosistemas en el bienestar humano, desde el año 2001 al 2005 un consorcio de más de 1.360 científicos de todo el mundo, con el apoyo de 5 Agencias de las Naciones Unidas, 4 Convenios Internacionales, el sector privado y la sociedad civil, han llevado a cabo la mayor auditoria ecológica sobre el estado de conservación de los ecosistemas del planeta y el uso de los servicios que generan a la sociedad. El secretario general de la ONU Kofi Annan, para entender mejor las consecuencias de los actuales cambios de los ecosistemas y evaluar posibles escenarios futuros, inauguró este estudio científico exhaustivo, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio.

<http://www.teebweb.org/>

Iniciativa 'The Economics of Ecosystems & Biodiversity (TEEB)'. En la reunión de los ministros de medio ambiente del G8+5 que tuvo lugar en Postdam en marzo de 2007, el gobierno alemán propuso realizar el estudio de 'The economic significance of the global loss of biological diversity' como parte de la denominada iniciativa Postdam para la biodiversidad. En esta página web se encuentran todos los informes que se generaron en la primera fase y segunda fase del proyecto (2008-2010) como inputs para el documento final que se presentará en la X Conferencia de las Partes del Convenio de Diversidad Biológica (CBD, COP9) en Nagoya, Japón.

<http://www.rubicode.net/rubicode/index.html>

Proyecto RUBICODE-Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems. Este proyecto de investigación europeo trata de explorar los elementos esenciales de la biodiversidad para el mantenimiento del flujo de servicios. Todos los documentos de este proyecto son descargables en:

<http://www.naturalcapitalproject.org/about.html>

Natural Capital Project. Este proyecto de investigación es una colaboración entre la Universidad de Stanford, The Nature Conservancy y World Wildlife Fund. Con sus resultados pretenden ayudar a los tomadores de decisiones a incorporar el valor de los servicios de los ecosistemas.

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/manuales/wq_donana/castellano/index.htm

Juego de rol interactivo sobre los problemas medioambientales que afectan al Parque Nacional de Doñana, publicado en la página de la junta de Andalucía, diseñada por la profesora Lourdes Luengo, conocida en el mundo de la educación por sus aportaciones libres a la red para trabajar las Ciencias Naturales con ayuda de las TIC.

<http://www.ite.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem/ecomec/index.htm>

Ecomec. Santiago Blanco Suárez. Segundo Premio a Materiales Educativos del Instituto de Tecnologías educativas del MEC 2000. Webquest que proporciona experiencias prácticas de Educación Ambiental con recursos procedentes de Internet. Se proponen cuatro actividades relacionadas con el medio ambiente:

-Residuos y reciclaje: práctica destinada a sensibilizar a los jóvenes con el problema de los residuos sólidos urbanos y su tratamiento.

-¿Qué hacemos?, los alumnos deberán elaborar una encuesta, buscar centros y compañeros que estén dispuestos a contestar y, posteriormente, analizar resultados.

-Defendámoslo: actividad que pretende estudiar algunos de los problemas que los seres humanos producen en la naturaleza.

-Nuestras bellezas: destinada a conocer nuestros Parques Nacionales.

http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2ESO/Energia_ecosistemas/act_invest3.htm

La actividad propone al alumno realizar un informe sobre una noticia relacionada con la conservación del medio ambiente que aparece en las revistas electrónicas de divulgación científica, a las que se accede mediante enlaces en la propia página.

http://www.natureduca.com/conserva_biodiversid1.php

Natureduca es una Web personal dedicada a la Biología y a la Ecología con abundantes recursos, entre las que se encuentran contenidos para reflexionar sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad, a partir de los que se puede diseñar una sesión en el aula.

<http://www.2bachillerato.es/CTM/tema18/p6.html>

Web dedicada a proporcionar materiales auxiliares para trabajar los contenidos propios de las diferentes materias de 2º de bachillerato, por ejemplo el tema 18 de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente referido a los impactos ambientales de la actividad humana, con un apartado dedicado a los elementos que componen un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y otro muy amplio dedicado a los efectos sobre la biosfera. Se puede complementar con la presentación en Power Point de esta página, que trata sobre los contenidos de un EIA:

http://www.industrial.frba.utn.edu.ar/MATERIAS/seguridad/archivos/impacto_ambi.pdf

http://elprofe.iespana.es/documentos/ejemplos_eia.htm

Se incluye una amplia selección de ejemplos reales de estudios de Evaluación de Impacto Ambiental en formato pdf, localizados en diferentes zonas de Latinoamérica, que se pueden descargar y utilizarlos para trabajar en el materia de Ciencias de la Tierra y Medioambientales.

Actividades a realizar

Mencionamos otras posibilidades prácticas en el aula:

1) Diseño de una encuesta para estimar los valores de la biodiversidad en una y situación concreta como punto de partida para la actividad 2

2) Juego de Rol en el que el profesor asigna los personajes, que intervienen, les informa de cuál es su papel y les proporciona un pequeño guión orientativo para iniciar la sesión. Personajes: Responsable político de medio ambiente de una localidad (concejal, ministro, etc.), representante de una ONG ambientalista, empresario y dos ciudadanos. Situación: Se pretende instalar un criadero de mejillones en un ecosistema de la costa gallega bien conservado en términos medioambientales.

VINCULACIONES CINEMATOGRAFICAS

Existen numerosas películas interesantes que relacionan economía y biodiversidad. La selva esmeralda (John Boorman, 1985) es un ejemplo perfecto que, además, puede ser tratada de modo efectivo, desde un punto de vista multidisciplinar. Al haberla incluido en otro capítulo, hemos optado por destacar las posibilidades del film documental Darwin's nightmare.



La pesadilla de Darwin
(Hubert Sauper, 2004)

La perca del Nilo es el ejemplo perfecto de cómo una sola especie puede alterar el equilibrio de un ecosistema. Los desajustes biológicos van acompañados de graves consecuencias económicas y sociales. Esta situación es vista con una aparente desidia política pero no exenta de intereses.

Pista de aterrizaje; Lago Victoria, Oeste de Tanzania. Dos vuelos diarios con aviones de gran carga recojen cientos de toneladas de perca

del Nilo. Nadie sabe cómo se introdujo la perca del Nilo en este lugar, en los años 60. Alrededor de la industria que ha originado este pescado viven empresarios, pescadores, trabajadores de fábricas, pilotos, prostitutas, contrabandistas y niños de la calle. Más de dos millones de personas del primer mundo consumen a diario este pescado. En Tanzania han proliferado fábricas que marchan muy bien, llegando a almacenar más de 500 toneladas diarias. Estos aviones, antes de embarcar la perca, desembarcan grandes equipos. Su contenido es desconocido para el piloto y los empresarios aseguran que es inexistente. El pueblo asegura que es material bélico para usar en las continuas guerras de la región.

En algo menos de quince minutos, se pueden visualizar y comparar el desajuste y la miseria que la globalización ha trasladado a la zona. Imágenes del Congreso Ecológico Internacional de la IUCN en Kenia (Fragmento 56°56' - 1h 00'06'') muestran el desastre ecológico que se está produciendo en el lago. La voracidad de la perca ha destruido más de doscientas especies mientras las autoridades de Tanzania le restan importancia. Algún tiempo después, la Delegación de la Comisión Europea, con representación de los Estados miembros, con sus embajadores, felicitan la política de pesca que allí se produce (Fragmento 1h 08'37'' - 1h 10'10''), mientras las colonias de trabajadores, conocidas como Las mil Islas, hacían una población compuesta por pescadores jóvenes y prostitutas rurales. Más de la mitad de la población de Tanzania vive con menos de un dólar al día y se pelean por consumir los desechos (raspas y cabeza) de la perca del Nilo (Fragmento 1h00'06''-1h 03'17'').

su producto nacional bruto. Entonces, si la industria, que se nutre de la Naturaleza, no cesa de expansionarse, día llegará en que ésta no pueda atender las exigencias de aquélla ni asumir sus desechos; ese día quedará agotada.

(...) La Humanidad se resiste a embridar la técnica por la biología y así asistimos, frecuentemente, a auténticos disparates ecológicos, provocados por desconocimiento e imprevisión. La presa de Asuán, en Egipto, es un ejemplo ya tópico. (...) El limo (...) fertilizaba los campos (...) al mismo tiempo, fertilizaba las aguas del mar (...) Durante siglos, las sustancias nutritivas que arrastraban las aguas hasta la desembocadura permitieron capturas espectaculares, de hasta 15 y 20.000 toneladas anuales de pescado. Hoy, tras la pérdida de nutrientes provocada por la represa del agua, apenas se consiguen 500 toneladas, o, lo que es lo mismo, el succulento banco de peces ha desaparecido.

(Miguel Delibes, Discurso de recepción en la RAE, incluido en Un mundo que agoniza, Barcelona, 1979, Plaza & Janés Editores).

VINCULACIONES LITERARIAS

La ONU declaró el año 2010 como el Año Internacional de la Biodiversidad. En idéntico año fallece Miguel Delibes, considerado como uno de los mejores escritores, en lengua española, del siglo XX. Cuando Miguel Delibes ingresó en la Real Academia de la Lengua, en el año 1975, aprovechó para, en su discurso de recepción, mostrar su desacuerdo ante la destrucción de la naturaleza, de la que consideraba tenía gran culpa el modelo de progreso económico actual. Como homenaje póstumo, rescatamos un fragmento del citado discurso:

La Naturaleza se convierte así en el chivo expiatorio del progreso (...) El hombre se complace en montar su propia carrera de obstáculos. Encandilado por la idea de progreso técnico indefinido, no ha querido advertir que éste no puede lograrse sino a costa de algo. De este modo hemos caído en la primera trampa: la inmolación de la Naturaleza a la Tecnología. Esto es de una obviedad concluyente. Un principio biológico elemental dice que la demanda interminable y progresiva de la industria no puede ser atendida sin detrimento por la Naturaleza, cuyos recursos son finitos.

Toda idea de futuro basada en el crecimiento ilimitado conduce, pues, al desastre. Paralelamente, otro principio básico incuestionable es que todo complejo industrial de tipo capitalista sin expansión ininterrumpida termina por morir. Consecuentemente con este segundo postulado, observamos que todo país industrializado tiende a crecer, cifrando su desarrollo en un aumento anual que oscila entre el dos y el cuatro por ciento de

Tabla 7.1. Resumen del valor económico estimado (en \$) para diferentes especies. (Martín-López et al., 2008)

	Nombre Común	Nombre científico	Valor medio (U.S.\$2005)
Mamíferos			
Rodentia	Ardilla roja	Sciurus vulgaris	2.87
	Rata topera	Arvicola terrestris	15.24
Artiodactyla	Muflón canadiense	Ovis canadensis	21.94
	Ciervo	Cervus elaphus	206.93
	Arce	Alces alces	145.49
	Reno	Rangifer tarandus	44.74
Carnivora	Coyote	Canis latrans	5.49
	Nutria marina	Enhydra lutris nereis	36.76
	Nutria europea	Lutra lutra	24.40
	Oso panda	Ailuropoda melanoleuca	13.81
	Lobo	Canis lupus	19.26
	Foca gris	Halichoerus grypus	12.83
	Fonca monje de Hawaii	Monachus schauinslandi	93.87
	Foca monje mediterránea	Monachus monachus	17.54
	Oso grizzly	Ursus arctos horribilis	38.89
	Elefante marino	Mirounga angustirostris	31.53
	León marino de Steller	Eumetopias jubatus	73.83
Cetacea	Beluga	Delphinapterus leucas	14.20
	Ballena azul	Balaenoptera musculus	44.57
	Delfín mular	Tursiops truncatus	23.17
	Ballena gris	Eschrichtius robustus	34.70
	Ballena jorobada	Megaptera novaeangliae	128.34
Perissodactyla	Caballo de Pentro	Equus caballus	33.89

Tabla 7.1. (cont.)

	Nombre Común	Nombre científico	Valor medio (U.S.\$2005)
Proboscidea	Elefante asiático	<i>Elephas maximus</i>	1.94
Diprotodontia	Petauro de caoba	<i>Petaurus gracilis</i>	29.88
	Canguro arborícola	<i>Dendrolagus bennettianus</i> ;	53.10
		<i>D. lumholtzi</i>	
Marsupial		<i>Gymnobelideus leadbeateri</i>	25.83
Aves			
Anseriformes	Pato arlequín	<i>Histrionicus histrionicus</i>	11.15
	Ganso	<i>Anser sp.</i>	11.91
Galliformes	Pavo salvaje	<i>Meleagris gallopavo</i>	11.59
Gruiformes	Grulla americana	<i>Grus americana</i>	53.42
Falconiformes	Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	29.89
	Pigargo americano	<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	114.67
Strigiformes	Cárabo	<i>Strix occidentalis caurina</i>	59.43
	Cárabo	<i>Strix occidentalis lucida</i>	74.38
Piciformes	Carpintero de cresta roja	<i>Picoides borealis</i>	12.10
	Carpintero de cresta blanca	<i>Dendrocopos leucotos</i>	66.39
Reptiles			
	Tortuga boba	<i>Caretta caretta</i>	16.98
Peces			
Salmoniformes	Salmón	<i>Salmo salar</i>	9.45
		<i>Thymallus arcticus arcticus</i>	22.69
	Salmón chinook	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	126.66
	Trucha degollada	<i>Oncorhynchus clarki</i>	17.02
	Trucha arcoiris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	64.47
Acipensiriformes	Esturión chato	<i>Acipenser brevirostrum</i>	30.86
Cipriniformes	Carpa gigante	<i>Ptychocheilus lucius</i>	10.91
		<i>Luxilus chrysocephalus</i>	6.83
Perciformes	Cabrilla de Sargazo	<i>Paralabrax clathratus</i>	43.35
	Corbineta blanca	<i>Genyonemus lineatus</i>	43.35



**Biodiversidad y
Cibertaxonomía**

8

Gotas de agua en una tela de araña

Berta Maestro Santamaría (Obra seleccionada en Fotciencia 07)

Biodiversidad y Cibertaxonomía

Antonio G. Valdecasas, Laura T. Cayuelas, José M. Becerra



El mundo era tan reciente, que muchas cosas carecían de nombre, y para mencionarlas había que señalarlas con el dedo.

Gabriel García Márquez, Cien años de soledad.

Se puede cuestionar si es necesario estudiar la diversidad orgánica que queda por descubrir en la Tierra, de la misma forma que se puede polemizar sobre el interés de conocer los confines del Universo a los que, muy probablemente, nuestra especie nunca llegará. También sobre si la forma de conocer los organismos que pueblan la tierra se tiene que hacer como hasta ahora o si se debe llevar a cabo con una nueva estrategia.

Qué supone estudiar la diversidad orgánica es un paso previo a decidir el cómo. Y en ello tiene mucho que decir la Taxonomía. Construida como disciplina científica dentro de la eclosión de la Historia Natural en el Renacimiento Europeo, la Taxonomía puede definirse como la 'exploración y descubrimiento de especies' o como 'la base empírica de la especiación'. Decir Taxonomía implica buscar, descubrir, identificar, describir, modelizar, categorizar y clasificar el mundo orgánico. Y conviene eliminar de antemano ideas y conceptos - símiles desafortunados - que son más negativos que ilustradores.

Una de las ideas más extendidas es la que conceptualiza a los taxónomos como los bibliotecarios de la vida. Craso error. Uno puede ser bibliotecario y no haber leído ningún

libro de la biblioteca donde ejerce. Pero no es concebible un taxónomo que no conozca las características de cada uno de los organismos que constituyen su grupo de estudio.

Así que, antes de empezar con el cómo, detallamos el qué (hace) de la Taxonomía:



Cada una de estas actividades implica herramientas y funciones diversas que detallamos a continuación.

Explorar, para un taxónomo supone:

- Delimitar áreas poco o mal estudiadas.
- Decidir los hábitats y la intensidad del muestreo.
- Concretar los útiles y herramientas más adecuados para esos muestreos (redes, grabadoras para registros sonoros, sondas moleculares para ADN, etc.).

- Si es posible, hacer una estima previa, ya sea basada en experiencia propia ya en modelos cuantitativos, de resultados esperables. Esto puede permitir decidir prioridades sobre qué áreas muestrear primero ante varias posibles opciones.
- tener en cuenta otros factores que pueden afectar, como pudiera ser el nivel de amenaza de la zona a estudiar.

Descubrir es la etapa en la que se reconoce el material procedente de la exploración. En el caso de organismos llamativos o aparentes, como grandes animales o plantas, el procedimiento puede ser relativamente directo: guías de campo y monografías de grupo de estudio y asignación a un taxón ya descrito o declararlo como nuevo.

En la inmensa mayoría de los organismos que faltan por descubrir, el cometido es mucho más laborioso y puede implicar tareas tales como:

- Transporte de muestras completas, ya sean de suelo o agua, a los laboratorios,
- Separación de los organismos del material inerte y otros organismos que no interesen.
- Organización del material separado por grupos y especialidades.
- Almacenamiento en líquidos o en recipientes adecuados hasta su estudio.

Si pensamos en organismos como los Nematodos (un tipo de gusano de entre 0,2 mm y 2 mm de tamaño, para los que los autores más optimistas calculan unas 500.000 especies) o los ácaros (entre 0,2 mm y 8 mm de tamaño y con unas 100.000 especies supuestamente) que hay que separar de entre los restos de material inerte como hojarasca, granos de arena, etc., nos daremos cuenta de lo laborioso que puede ser. Pero ¿qué decir de bacterias y hongos microscópicos?

Caracterizar es lo que tradicionalmente se ha denominado describir. Se trata de especificar los rasgos y atributos de los organismos en estudio que permitirá establecer semejanzas y diferencias con lo previamente conocido. Esta etapa se puede dividir en dos:

- *Visualización*, que en su sentido más literal responde a la imagen mental que el especialista se hace del organismo
- *Representación*, que es la selección de rasgos y características que el especialista selecciona para su transmisión a otros especialistas. En esa selección opera la elección de caracteres diagnósticos –aquellos que separan a un organismo de otros parecidos– y un retrato adicional del organismo que permita poner los caracteres diagnósticos en contexto.

Nombrar puede parecer una etapa trivial o menor, pero no es así. Al nombrar se construyen clasificaciones y éstas tienen valor predictivo. Porque no se nombra de forma arbitraria, ni las clasificaciones responden a criterios de indexación. Así que nombrar cumple con el objetivo de individualizar lo estudiado y organizarlo en el conjunto de lo previo. Desde Darwin sabemos que la organización de una clasificación de los seres vivos debe ser genealógica, es decir, reflejar las relaciones de descendencia, sean cuáles sean las semejanzas y diferencias.

¿Cómo se nombran los organismos?

Hay varias organizaciones encargadas de regular el uso correcto de los nombres de los organismos (algo así como la Real Academia de la Lengua para el uso correcto del castellano).

La Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica (<http://iczn.org/>) regula el nombre de los animales. Desde hace poco mantiene un registro digital de nuevas especies llamado Zoobank.

La Asociación Internacional de Taxonomía de Plantas (http://www.botanik.univie.ac.at/iapt/index_layer.php) mantiene al International Bureau for Plant Taxonomy and Nomenclature que publica el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, aplicable a plantas y hongos.

Hay también un Comité Internacional para la Sistemática de los Procariotas (<http://www.the-icsp.org/>) que se encarga de regular los nombres de los mismos.

Todas estas actividades las realizaban los taxónomos antes con la ayuda de libros, lupas, microscopios, etc. Este capítulo está dedicado a repasar cuáles de esas herramientas siguen siendo válidas hoy en día y en qué contexto.

Cibertaxonomía

La cibertaxonomía es la ejecución de tareas taxonómicas en un contexto digital.

Estas actividades van desde la comunicación entre dos taxónomos, ya sea por correo electrónico u otros, hasta cosechar información en una biblioteca digital con un objetivo taxonómico, pasando por operaciones de integración de datos cualitativos y métricos, producción de claves de identificación, etc.

Para esta nueva etapa de la Taxonomía, los especialistas todavía son necesarios. Y es bastante probable que lo sean durante mucho tiempo. Así que, a fin de sistematizar el impacto de lo digital en la Taxonomía se pueden establecer los tres tipos siguientes de interacción:

Taxónomo --- *Taxónomo*
Taxónomo --- *Máquina*
Máquina --- *Máquina*

Cuando se habla de máquina en este contexto, se suele asumir un ordenador conectado a Internet. Es así en muchos casos, pero no todos. Ya hay prototipos de sistemas automáticos de gestión de colecciones de Historia Natural que permiten a investigadores acceder a la visualización de ejemplares valiosos, que no se pueden prestar, desde lugares remotos. En un sistema de este tipo, puede haber un microscopio óptico robotizado asociado a la cadena de almacenamiento de los organismos en colecciones (que en este caso sería una preparación microscópica de un organismo o parte de él), o sencillamente una cámara con un brazo articulado que permita visualizar a diferentes aumentos el objeto de estudio.

Digital taxónomo – taxónomo

Esta interacción incluye las siguientes modalidades:

- **Comunicación verbal y escrita**, vía email (Gmail, Thunderbird, Outlook, etc.), videoconferencia (Skype, Messenger y similares) y redes sociales (Facebook, tuenti, google Buzz -<http://google.dirson.com/post/4414-google-buzz/> Buzz es un servicio que permite comunicarte e intercambiar información con aquellos contactos de Gmail, por tanto, es imprescindible tener una cuenta ahí-).

- **Intercambio de documentos**, vía email o para aquellos de gran volumen con aplicaciones especiales disponibles en páginas web como YOUSEN-DIT, BIGMAIL o el tradicional FTP.
- **Intercambio estructurado de datos** a través de páginas webs interpuestas entre dos o más taxónomos: Schratchpads, Google Docs, TaxoBrowser. En estas aplicaciones pueden residir imágenes, datos de medidas, datos de distribución, datos morfológicos, etc., para su posterior tratamiento, de forma separada, por otros programas accesibles a través de la red. Sistemas ‘descentralizados’ semejantes ya fueron propuestos hace muchos años, y consistían en una terminal ‘tonta’ en la que se descargaban datos y programas para su tratamiento. Finalizada la sesión, se devolvía todos al servidor central, que operaba como un banco de información, protegiendo y actualizando sus contenidos.

La tecnología actual permite que tanto datos como programas residan en algún mundo virtual, o en términos informáticos la cloud (nube), permitiendo el intercambio entre uno o varios sujetos simultáneamente.

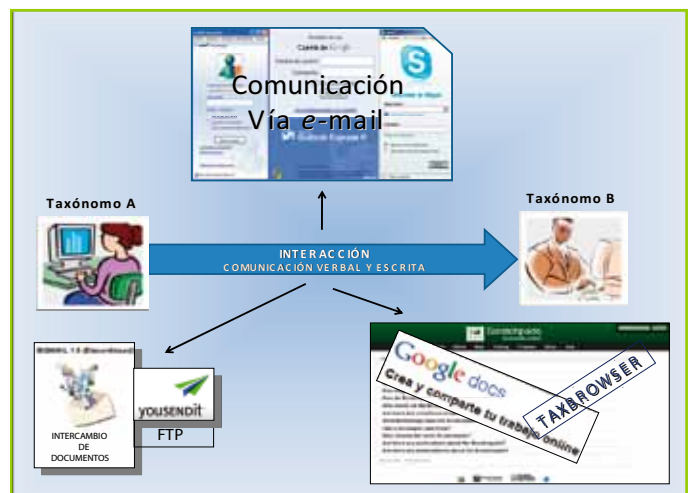


Figura 8.2. Esquema digital taxónomo-taxónomo (Laura Cayuelas)

Digital taxónomo – máquina: el concepto de malla

Utiliza la capacidad de almacenamiento estructurado para la ejecución de órdenes/tareas por ordenadores.

- **Almacenamiento estructurado** en ficheros especiales de bases de datos bibliográficas, de contenidos textuales, imágenes, términos (ontologías), genomas, datos cualitativos, métricos, medidas morfométricas, geográficos, vídeos, sonidos (multimedia en general). Y, por supuesto, repositorios de programas de libre acceso.
- **Ejecución de tareas** sobre información estructurada:
 - Descripciones automáticas de organismos.
 - Elaboración de claves de identificación dicotómicas automáticas.
 - Volcado de datos a matrices de entrada para nuevos procesos de análisis.
 - Análisis estadísticos, genealógicos (filogenéticos, incluyendo análisis moleculares), de estructura morfológica sobre matrices de datos previas ya sea con la morfometría clásica o la geométrica.
 - Análisis de imagen.
 - Análisis biogeográficos.
- **Uso interactivo** de información almacenada, por ejemplo claves de identificación interactivas

Cada elemento de esta interacción admite subconjuntos por contenidos. Pongamos un ejemplo:

En el caso del concepto 'Bibliografía' nos podemos referir a referencias y a contenidos. Hay una diferencia sutil, que funciona de forma automática en algunos entornos web, que nos permite diferenciar la búsqueda de referencias bibliográficas por vía directa e indirecta.

- Referencias directas. Es cuando preguntamos a una base de datos por palabras o frases completas, ya sea un autor o un tema concreto

(e.g. preguntamos por Wallace o por hormigas de Colombia). En este caso Google Scholar o Google Books son una buena muestra de bases de datos abiertas para encontrar referencias de artículos y de libros sobre esas materias. Bases de datos más específicas, pero que requieren suscripción son, por ejemplo, el Zoological Record para bibliografía exclusivamente zoológica o Web of Knowledge (WoK) para disciplinas científicas tradicionales (Biología, Física, Matemáticas, etc).

- Referencias indirectas. Este es un concepto sutil, que tradicionalmente se hacía por el sistema del 'boca a boca' y que con la web se puede realizar de forma automática, sabiendo las referencias que especialistas de un mismo tema comparten sobre ese problema. Los editores de Nature desarrollaron hace tiempo la aplicación web Connotea, que de forma automática informa a los que están en red, qué referencias tienen otros especialistas que han declarado un interés semejante. ¿Qué sentido tiene esto si podemos acudir a las búsquedas directas? Todo el que haya buscado bibliografía on line sabe que para un mismo término, por ejemplo 'evolución', podemos obtener listados de referencias tan dispares como 'evolución del traje', 'evolución del lenguaje', 'evolución de las costumbres', etc. Solapar nuestra bibliografía con alguien que tiene nuestros mismos intereses profesionales puede que nos ahorre mucho tiempo para encontrar referencias oscuras pero importantes.
- Contenidos. Bases de datos que tienen el texto de los artículos o libros que buscamos. En el ámbito de esta obra de biodiversidad, la biblioteca por antonomasia es la Biodiversity Heritage Library (BHL), que tiene ya sucursales en Europa (BHL-E), China (BHL-China), Brasil (BHL-Brasil), etc, y no estamos lejos del BHL-Global. En estas bibliotecas de libre acceso se puede encontrar y descargar la literatura sobre biodiversidad, tanto antigua como moderna.

Hay cuestiones pendientes sobre la literatura de diversidad reciente que tiene derechos de autor, pero mientras se resuelve ese problema, hay ya millones de páginas en diferentes idiomas para su consulta y estudio. Otras bibliotecas de contenidos más generalistas son el Archivo de Internet (*Internet Archive*), *Europeana* ó *Hispana*, por poner tres ejemplos de generalidad decreciente.

Otras bases de datos pueden contener 'objetos' específicos, de los que en el caso de la taxonomía, las imágenes o las secuencias moleculares son un material de trabajo importante. Aplicaciones como Flickr (<http://www.flickr.com/>) o Picasa (<http://picasa.google.com.ec/>) permiten administrar y compartir fotos en la red. Se pueden retocar, organizarlas por temas, compartirlas (ya sea de forma pública o privada), incluyendo mapas para localizar el lugar donde fueron tomadas. En una especialidad como la Taxonomía donde el soporte gráfico es importantísimo, estas herramientas abren un horizonte de colaboraciones ilimitadas. En el caso de imágenes con valor taxonómico, MORPHBANK es la base de datos abierta de referencia hoy en día. Por otro lado, para datos moleculares GENBANK es una referencia imprescindible. No sólo es una base de datos moleculares, tiene también muchos programas para el tratamiento de esos datos. Sin entrar en la discusión de si la tecnología molecular desplazará algún día a las técnicas descriptivas morfológicas en el descubrimiento e identificación de los seres vivos, sí se puede decir que los datos moleculares, como cualquier otro tipo de dato –citogenético, de comportamiento, etc.– ofrecen elementos adicionales para que nuestra representación de lo vivo sea cada día más completa. Y quien dice eso, dice entender mejor el proceso de origen de los mismos. Menos familiares pueden ser bases de datos de términos científicos (han venido a denominarse '*ontologías*') y en un sentido más reducido, los contenidos en apéndices de trabajos sobre distribución de organismos, medidas morfológicas, etc

Donde la cibertaxonomía ha supuesto una inflexión radical sobre los métodos tradicionales es en la realización de tareas que antes eran privativas de las personas. Y aquí tenemos que hacer una mención de honor a un sistema de tratamiento de datos taxonómicos llamado DELTA (DEscription Language for TAXonomy). Este sistema, idea original

del australiano Mike J. Dallwitz, pretendía con un lenguaje común humano-máquinas realizar un única entrada de información a la máquina y con ello derivar a cualquier producto taxonómico deseado, ya fueran descripciones, claves dicotómicas o interactivas y volcado de esos datos a matrices que fueran interpretables por otros programas que realizaban análisis estadísticos y filogenéticos. Con el aumento de la capacidad de memoria de los ordenadores y el desarrollo de las tarjetas gráficas, el mundo de la imagen irrumpió también en este sistema, como apoyo auxiliar en las descripciones y en la claves de identificación. En su origen fue un concepto nuevo, del que han derivado muchos otros sistemas de tratamiento de datos taxonómicos.

La segunda etapa cibertaxonómica, son programas y aplicaciones que han sido desarrollados para trabajar en un entorno web, y aprovecharse de los productos de otros programas. La idea no es un encadenamiento de programas, sino la presencia simultánea de muchos de ellos, lo que permite actuar con cualquiera de ellos en un momento determinado del proceso taxonómico. Quizás la idea que mejor puede expresar este potencial es imaginarse las distintas tareas de la cibertaxonomía como un entorno GIS, donde el concepto malla o capa, ocupan un lugar central. Desde nuestro punto de vista, el concepto se acerca más a la idea de una malla donde cada nudo puede ser una especie o un taxón superior o una actividad concreta. El concepto de capa transmite una idea estática ausente del concepto malla. Así, hay mallas de datos de distinta naturaleza: malla de datos morfológicos, malla de datos moleculares, mallas de vocalizaciones y otro sonidos, malla de datos de distribución, mallas de donde se encuentran esos datos ya sean agrupados o de forma individual, mallas de programas para operar con mallas, etc. Para un determinado objetivo puede interesar poner en activo dos tipos de mallas, como un programa de discriminación de caracteres y un contenido de datos morfológicos. El resultado puede ser una clave dicotómica en papel o una clave interactiva por ordenador. O sencillamente nos puede interesar conocer toda la bibliografía referente a una especie, o todas las localidades donde se ha encontrado o en que museos e instituciones podemos encontrar ejemplares de los mismos, o donde están depositadas las imágenes o cualquier otra información que nos sirva para identificar o conocer más en detalle el organismo en estudio y poner en activo sólo aquellas mallas que nos llevan a esos resultados deseados. Y con los resultados de esas operaciones

se crean unas nuevas mallas sobre las que podemos seguir realizando nuevas tareas. Los datos de distribución de una especie se puede poner en relación con un malla de datos climáticos y ambientales de las localidades de distribución y encontrar aquel subconjunto de variables que se muestran fuertemente asociadas con la distribución de la especie y encontrar otras áreas equivalentes en las que la especie podrá ser reintroducida con éxito. Las descripciones previas de una especie pueden ser contrastadas con los ejemplares digitalizados existentes en diversas colecciones y material recogido en el campo, en distintas localidades, y a través de un estudio comparado resolver potenciales sinonimias o descubrir nuevas especies allí donde se creía que sólo había una. Y estos datos pasar a la malla del grupo en cuestión para actualizar el balance de especies y su organización jerárquica.

Cualquier tarea tradicional llevada a cabo por los taxónomos de siglos pasados puede ahora realizarse de forma interactiva. Y cada parcela particular del entorno taxonómico puede informar automáticamente al resto de los entornos que una cierta información ha sido actualizada.

Y es esta segunda etapa la que puede recibir el genuino nombre de cibertaxonomía. La ocurrencia simultánea de universos de datos y universos de operaciones que interactúan a veces a manos de un usuario determinado y a veces realizan de forma automática operaciones de 'gestión' interna como indización, transferencia de resultados y actualización de contenidos compartidos.

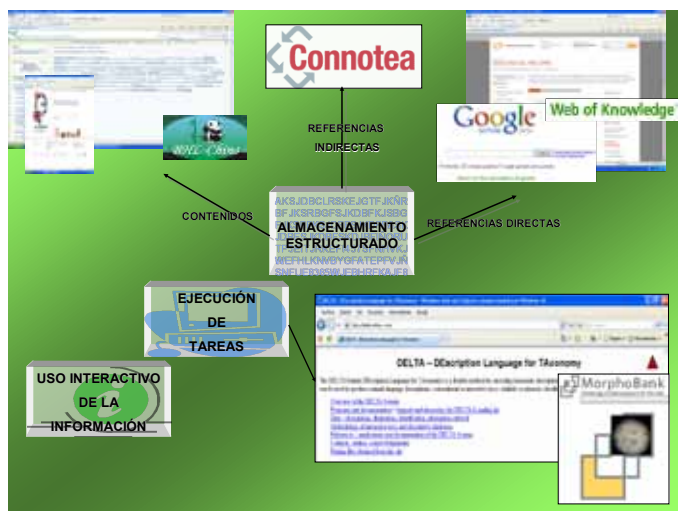


Figura 8.3. Esquema digital taxónomo-máquina (Laura Cayuelas)

Digital máquina – máquina

Procesos automáticos realizados de forma periódica sin necesidad de iniciación personal.

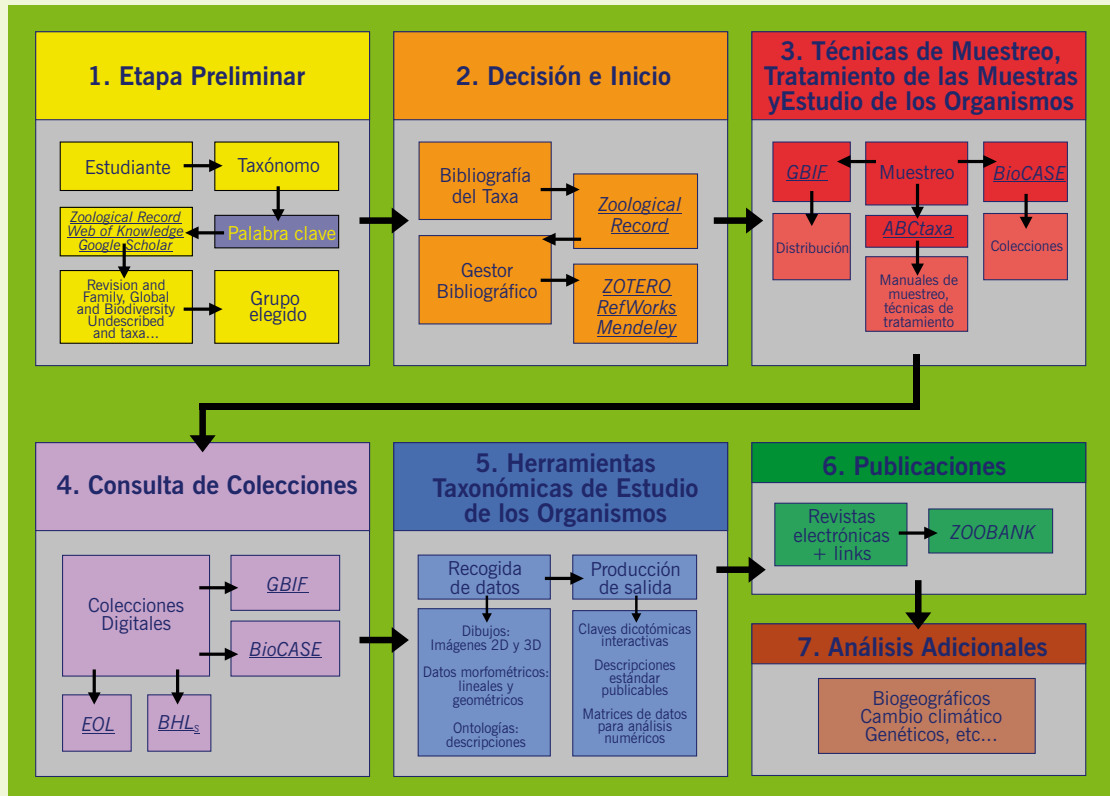
Puede que el día de mañana ésta sea la parte del león de la Cibertaxonomía, pero a día de hoy las tareas autónomas de las máquinas se suelen reducir a procesos de indización programados a tiempos regulares y limpieza en las bases de datos de elementos repetidos.

Si los servidores tienen 'mirrors' en diferentes localizaciones, la actualización de los mismos puede realizarse con criterios de tiempo o con cantidad de material nuevo.

Figura 8.4. Esquema digital máquina-máquina (Laura Cayuelas)

Las tareas de la taxonomía

(Laura Cayuelas)



Algunos protagonistas

No sería completa esta perspectiva apresurada de la cibertaxonomía, si no hiciéramos mención de algunas de las personas e hitos de la misma.

Ya hemos hablado de Mike J. Dallwitz, autor del lenguaje DELTA y la serie de programas asociados para realizar tareas taxonómicas regulares.

La lista de discusión Taxacom, en sus sucesivas encarnaciones, ha servido como entorno para la comunicación de un amplio grupo de especialistas interesados en cualquier aspecto de la Taxonomía.



MIKE J. DALLWITZ

El creador del sistema de identificación llamado DELTA (<http://delta-intkey.com/>), fue el primero en desarrollar un lenguaje que podía ser entendido por las máquinas y facilitar, al mismo tiempo, las tareas de los taxónomos. Una única entrada de datos permitía la producción de claves de identificación dicotómicas, descripciones verbales, claves interactivas y la construcción de matrices de datos/especies para el posterior análisis con programas de análisis de semejanza, descendencia y otros.

El sistema ha desembocado en el programa INTKEY, que tiene todas las funciones de los programas originales de DELTA, pero permite también el uso de imágenes.

QUENTIN D. WHEELER

El primero en usar el término cibertaxonomía ha sido Quentin D. Wheeler, entomólogo estadounidense, fundador del *Instituto Internacional para la Exploración de Especies*, (<http://www.species.asu.edu/>) empeñado en una renovación de la conceptualización de la taxonomía como disciplina científica y promotor de actividades como las *Top Ten* especies descritas cada año (mencionado en el Capítulo 3 de esta Unidad), que ya va por su tercera convocatoria. Su video 'Planet Bob' (<http://www.planetbob.asu.edu/>) es una de las mejores explicaciones del sentido de la taxonomía para un público general.



En noviembre de 2010, el IISE dirigido por Wheeler, promovió un encuentro entre distintos especialistas mundiales con el fin de desarrollar un ambicioso proyecto encaminado a describir 10 millones de especies en pocos años y hacer que esa información esté asequible a diferentes tipos de especialistas, desde ecólogos a conservacionistas. El encuentro se denominó 'Sustain What'.



RODERICK D. M. PAGE

Rod Page (<http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/rod/rod.html>) es un biólogo de la Universidad de Glasgow que mantiene una mirada alerta sobre el desarrollo de programas y contenidos en Internet que tengan relación con la Taxonomía. Muchas de sus evaluaciones han sido tenidas en cuenta por los responsables de proyectos como, por ejemplo, el proyecto de la Biblioteca del Patrimonio de la Biodiversidad, BHL.

Su página web *ispecies* (<http://ispecies.org/>) permite preguntar a Internet sobre una especie concreta y recupera toda la información accesible, construyendo páginas webs 'sobre la marcha'.

Su blog iphylo (<http://iphylo.blogspot.com/>) es altamente recomendable para todo aquel interesado en el futuro de la Cibertaxonomía.

Conclusiones

La idea de que alguna vez terminemos por conocer toda la vida sobre la tierra encierra una pequeña trampa. Una cosa es “avistar” otra “conocer”. Se podría decir que una de las primeras funciones de la taxonomía es ‘avistar’ y a continuación ‘dar noticia’ de algo nuevo. Pero una vez hecho eso, está la tarea interminable de profundizar en aquello de lo que acabamos de dar noticia. Y en esto la taxonomía no se distingue de ninguna otra disciplina, pues está en la lógica del conocimiento científico la profundización en el funcionamiento y constitución de los organismos, y ese conocimiento es el que mejor nos puede informar acerca de sus relaciones y también acerca de sus posibles aplicaciones o de sus posibles peligros. Sólo si pensamos que la labor de un taxónomo es la de un bibliotecario, crearemos que su trabajo puede estar terminado algún día, el día que estén colocados todos los libros.

La forma en la que se concibe la taxonomía del siglo XXI es más cercana a su uso por parte no sólo de taxónomos, sino también de especialistas de otras disciplinas afines, como ecólogos, conservacionistas, etólogos, etc. Y tiene un potencial impresionante como soporte de medidas legislativas de protección del patrimonio natural.

Pero no olvidemos que la taxonomía como una disciplina científica genuina, tiene su propio programa de investigación al margen de sus posibles aplicaciones. Y en esta nueva etapa, como la Cibertaxonomía puede llegar a convertirse en una disciplina de referencia para la Biología, como lo ha sido en otras etapas de su historia.

Bibliografía de interés

Chapman, A. D. 2009. Numbers of Living Species in Australia and the World. Report for the Australian Biological Resources Study, Canberra, Australia. 2nd ed.

Este es el recuento de especies más actualizado que se tiene a día de hoy.

Clark, B. R.; Godfray, H. C. J.; Kitching, I. J.; Mayo, S. J., Scoble, M. J. 2008. Taxonomy as an eScience. Phil. Trans. R. Soc. A, 2009 367, 953-966.

Iniciativas para convertir a la taxonomía en una ciberciencia.

Dallwitz, M. J. 1974. A flexible computer program for generating identification keys. Syst. Zool. 23: 50–7

Un clásico de la automatización de last areas taxonómicas, proponiendo un lenguaje que pueden entender las personas y las máquinas.

Hine, C. 2008. Systematics as cyberscience. Computers, change, and continuity in science. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts

Una historia, un poco retórica, de los comienzos de la Taxonomía/Sistemática en Internet.

Penev, L.; Erwin, T.; Thompson, F. C.; Sues, H. D.; Engel, M. S.; Agosti, D.; Pyle, R.; Ivie, M.; Assmann, T.; Henry, T.; Miller, J.; Ananjeva, N. B.; Casale, A.; Lourenço, W.; Golovatch, S.; Fagerholm, H. P.; Taiti, S.; Alonso-Zarazaga, M., Van Nieuwerkerken, E. 2008. ZooKeys, unlocking Earth's incredible biodiversity and building a sustainable bridge into the public domain: From “print-based” to “web-based” taxonomy, systematics, and natural history. ZooKeys Editorial Opening Paper 1: 1-7.

Wheeler, Q., Valdecasas A.G. 2010. Cybertaxonomy and Ecology. Nature Education Knowledge 1 (11):6.

MATERIALES AUXILIARES

Páginas web (estructurado por temas)

INTERACCIÓN CIBERTAXÓNOMO-CIBERTAXÓNOMO

COMUNICACIÓN VERBAL Y ESCRITA

Facebook - <http://www.facebook.com/>

Gmail - <https://www.google.com/accounts/>

Google Buzz - <http://www.google.com/buzz?hl=es>

Messenger - <http://es.msn.com/>

Outlook - <http://office.microsoft.com/es-es/outlook/microsoft-outlook-2010-FX010048775.aspx>

Thunderbird - <http://www.mozillamessaging.com/es-ES/thunderbird/>

Tuenti - <http://www.tuenti.com/?m=login>

Skype - <http://www.skype.com/intl/es/home/>

INTERCAMBIO DE DOCUMENTOS

Bigmail - <http://www.cyber-mint.com/bigmail/>

FTP - http://es.wikipedia.org/wiki/File_Transfer_Protocol

Yousendit - <https://www.yousendit.com/>

INTERCAMBIO ESTRUCTURADO DE DATOS

Google Docs - <https://www.google.com/accounts/ServiceLogin?service=writely&passive=1209600&continue=http://docs.google.com/&followup=http://docs.google.com/<mpl=homepage>

Schcratchpads - <http://vsmith.info/scratchpads>

TaxoBrowser - <http://biodiversitydata.blogspot.com/2009/10/taxobrowser-beta.html>

INTERACCIÓN CIBERTAXÓNOMO-MÁQUINA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA DIRECTAS

Google Books - <http://books.google.es/>

Google Scholar - <http://scholar.google.es/>

Web of Knowledge - <http://www.accesowok.fecyt.es/>

Zoological Record - http://thomsonreuters.com/products_services/science/science_products/a-z/zoological_record

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS INDIRECTAS

Connotea - <http://www.connotea.org/>

Mendeley - <http://www.mendeley.com/>

Zotero - <http://www.zotero.org/>

CONTENIDOS

BHL (Biodiversity Heritage Library) - <http://www.biodiversitylibrary.org/>

Encyclopedia of life - www.eol.org

Zoobank - www.zoobank.org

GBIF - www.gbif.org

Internet Archive - <http://www.archive.org/>

Hispana - <http://hispana.mcu.es/>

Europeana - <http://www.europeana.eu/portal/>

DELTA - <http://delta-intkey.com/>

Genbank - <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

MorphBank - <http://www.morphbank.net/>

Picasa - <http://picasa.google.com/ec/>

Flickr - <http://www.flickr.com/>

ICZN-ICBN - <http://www.iczn.org/> - <http://www.icbn.org/>

Zootaxa - <http://www.zootaxa.com/>

Zookeys - <http://pensoftonline.net/zookeys/index.php/journal/index>

ALGUNOS PROTAGONISTAS

Planeta Bob - <http://www.planetbob.asu.edu/>

Roderic Page - <http://iphylo.blogspot.com/>

Taxacom - <http://mailman.nhm.ku.edu/mailman/listinfo/taxacom>

La biblioteca del patrimonio de la biodiversidad

Antonio García-Valdecasas

Internet es un espacio digital ocupado por múltiples Webs, que tienen programas, datos, imágenes y sonidos. No está lejos el día en que también se puedan incluir olores.

Esta capacidad de almacenamiento, prácticamente ilimitada, no podía ser desaprovechada para el estudio de la Biodiversidad. Y en ese estudio, uno de los primeros pasos es saber lo que ya se conoce, aunque ese conocimiento sea fragmentario. Tener accesible digitalmente toda la bibliografía que desde tiempos de Linneo (y antes) se ha publicado sobre plantas, animales y hongos, es un idea que se le ha ocurrido a muchos, pero que tiene grandes dificultades de ser llevada a cabo.

Conscientes de esas dificultades, algunas de las principales instituciones académicas mundiales relacionadas con el estudio de la Biodiversidad se pusieron manos a la obra en 2005. Entre estas pioneras se encuentran el Museo de Historia Natural de Londres y la Universidad de Harvard. Fruto de ese trabajo fue la construcción del Biodiversity Heritage Library (<http://www.biodiversitylibrary.org/>) que en el momento de escribir esta nota tiene cerca de 32 millones de páginas digitalizadas.



En España, el Real Jardín Botánico (CSIC) ha sido pionero en este tipo de iniciativas. La Biblioteca Digital (<http://bib-digital.rjb.csic.es/spa/index.php>), liderada por Félix Muñoz Garmendia cuenta con más de millón y medio de páginas digitalizadas, pudiéndose decir que es una herramienta fundamental para los botánicos taxónomos, tanto nacionales como extranjeros.

Por otro lado, en mayo de 2009 varias instituciones Europeas decidieron iniciar un proyecto BHL-Europe (<http://www.bhl-europe.eu/>) complementario al original, que recogerá toda la literatura de Biodiversidad en las diferentes lenguas Europeas y tendrá un acceso en las lenguas vernáculas.

La posibilidad de transferir estos fondos a libros electrónicos y el desarrollo de programas especializados que permitan cosechar selectivamente sus contenidos, abren posibilidades ilimitadas para el uso de estos fondos, no sólo en el trabajo de gabinete, sino también en la misma selva.

El principal escollo para cumplir el objetivo de 'universal' es la existencia de derechos de autor de mucha literatura de la Biodiversidad reciente, que será preciso negociar para dejarla en régimen abierto.



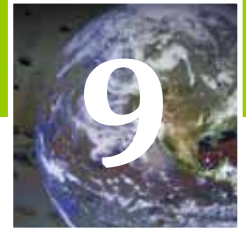
**Epílogo. Los mundos de la
biodiversidad**

9

Planeta Tierra

Vcrown (Fotografía Botánica vcrown.com)

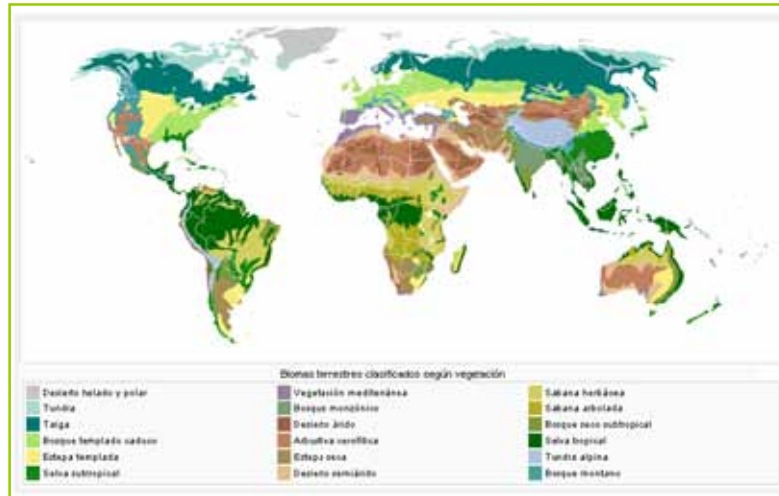
Epílogo. Los mundos de la biodiversidad



Francisco A. Peña

Agradecimiento: El coordinador de esta obra agradece al Dr. Adolfo Marco su contribución en el presente Epílogo

Los biomas constituyen la concreción de la diversidad biológica presente en la Tierra y el conjunto de ellos compone la biosfera. Son el resultado de la interacción dinámica entre los procesos naturales (relieve, clima, comunidades biológicas) y la actividad humana, lo que origina biodiversidad a diferentes escalas (genética, individual, específica, ecosistémica).



Si definimos los biomas terrestres como unidades biogeográficas asociadas a una banda climática latitudinal, caracterizadas por un tipo de vegetación dominante, la distribución es casi simétrica en ambos hemisferios, con la alta montaña como bioma transversal.

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Vegetation-no-legend.PNG>

A pesar de su elevado grado de independencia energética (autarquía), los sistemas naturales no son mundos aislados, al contrario, intercambian materia y energía con el entorno, compensando la pérdida de entropía de su complejo y delicado orden interno. Sus límites son difusos y el mestizaje, la mezcla propia de las zonas de contacto, genera máximos de biodiversidad.

La especie humana, la más flexible y adaptable de cuantas componen la biodiversidad, ha ido colonizando biológica y culturalmente los biomas, modificándolos hasta el punto de poner en peligro la continuidad del sistema global. A pesar de ello, la diversidad cultural, inherente a las poblaciones humanas, debe considerarse un elemento integrado en la biodiversidad.

1. Los hielos perpetuos y la tundra

Las regiones frías se sitúan por encima de los 60° de latitud N y S. En las zonas de hielos perpetuos las cadenas tróficas se construyen sobre la base productora del plancton marino y consumidores de 2 ó 3 niveles, con invertebrados, peces, aves (entre ellas los pingüinos, ausentes en el hemisferio norte), ballenas, focas, delfines, orcas, y el oso polar, ausente en el hemisferio Sur. La tundra presenta una distribución boreal, debido a la escasez de tierras emergentes por encima del paralelo 45° en el Sur. Ocupa grandes extensiones en Alaska, Canadá, Groenlandia y Rusia. La brevedad de la estación vegetativa (sesenta días) y las bajas temperaturas

estivales (unos 10° C) son sus factores limitantes. El suelo (permafrost) permanece helado, salvo unos decímetros superficiales en el corto verano, con escaso drenaje.

1.700 especies de plantas vasculares y 48 de mamíferos componen su escasa biodiversidad y la biomasa es tan pequeña, unas 30 toneladas/hectárea, que a veces se denomina desierto frío. Arbustos (brezos, sauces y abedules enanos) en las zonas menos frías, líquenes y gramíneas en el resto, alimentan a grandes rebaños migratorios de renos y caribús, herbívoros de pelaje denso y grasa subcutánea abundante; manadas de lobos, bueyes almizcleros, liebres y zorros árticos, lemings, búhos nivales e insectos con ciclos de desarrollo cortos completan la fauna.

La ocupación humana de la tundra se limitó, durante siglos, a comunidades nómadas de pastores como los esquimales (inuit) en zonas de Groenlandia, Alaska y Siberia, hasta la llegada de los exploradores a finales del siglo XIX. Una amenaza severa es el deshielo debido al calentamiento global, proceso que se retroalimenta, ya que el dióxido de carbono, acumulado durante siglos en las capas de hielo, se libera a la atmósfera cuando éste se funde.

2. La alta montaña

La zonación escalonada de los ecosistemas en altura, de acuerdo con un gradiente de temperatura y humedad, es equivalente a la distribución latitudinal de los biomas terrestres. La gran biodiversidad que reúnen las montañas ha proporcionado a los humanos, desde la prehistoria, recursos energéticos, alimenticios, medicinales y espirituales al abrigo de un buen fuego. La culminación de sus cumbres, al igual que la conquista de los polos, ha significado un reto en su afán de colonizar las últimas fronteras del planeta azul.

3. La taiga, bosque boreal de coníferas

Se extiende entre los 45° y 57° de latitud norte, en Siberia, norte de Rusia, de Europa y de Canadá y Alaska. Débiles precipitaciones (entre 400 y 700 mm.), distribuidas a lo largo de todo el año, con un máximo estival y bajas temperaturas, determinan un periodo vegetativo de tres o cuatro meses. Los horizontes superiores del suelo, ricos en materia

orgánica y en continua lixiviación (lavado de sales hacia capas inferiores), son ácidos y pobres en cationes.

El bosque es uniforme, con pocas o incluso una sola clase de coníferas, cuyas hojas en forma de aguja les permiten soportar las heladas, y sólo en zonas de clima más suave están acompañadas por árboles de hoja caduca. La biodiversidad animal es reducida, destacando grandes y pequeños mamíferos migratorios o hibernantes, como visones, alces y osos.

La biomasa alcanza las 250 toneladas/hectárea. La sobreexplotación de sus recursos forestales está transformando enormes extensiones en formaciones herbáceas (estepas y praderas). La acidificación de la lluvia por la contaminación parece afectar especialmente a estos bosques.

4. Los bosques templados

Los bosques caducifolios templados ocupan latitudes boreales templadas por encima de los 40 ° en toda la Europa templada, China septentrional y central, América del Norte, y algunas zonas de Australia y Nueva Zelanda. En Europa se componen de robles y hayas, mezclados con tilos y arces, árboles de hoja ancha y caduca, para aprovechar la pluviometría uniforme y adaptarse al frío invernal. Los suelos son fértiles y profundos. La rica diversidad vegetal está bien estratificada, con herbáceas y arbustos de cortos periodos vegetativos coincidentes con la caída de la hoja del estrato arbóreo. Landas de brezos y retamas en los sotobosques aclarados.

La fauna es muy diversa, constituida por pequeños mamíferos (liebres, ardillas...), grandes herbívoros (ciervos, corzos...), algunos depredadores (lobos, zorros), aves, reptiles, anfibios, insectos y otros invertebrados, que conforman complejas redes tróficas. La biomasa es elevada, por ejemplo, un robledal puede alcanzar 400 toneladas en materia viva por hectárea.

Si hay una marcada estación seca se instalan ecosistemas mediterráneos, que aparecen entre los 35° y 50° de latitud, no sólo en torno al Mediterráneo, desde Marruecos y la Península Ibérica hasta el Cáucaso, también en Australia, Chile y Oeste de Estados Unidos. Las formaciones potenciales son

bosques esclerófilos (hoja perenne endurecida) de *Quercus* o *Eucalyptus*, aunque a veces lo son de coníferas de crecimiento rápido, favorecidos por el hombre. Formaciones arbustivas suceden al bosque degradado.

Los territorios del bosque, poblados desde antiguo, se enfrentan a amenazas como la fragmentación de hábitats, la deforestación para tierras de cultivo y la contaminación asociada al desarrollo industrial. Los incendios forestales, elementos naturales de autorregulación del bosque esclerófilo, se ven incrementados por la actividad humana. La introducción de especies alóctonas de crecimiento rápido, empobrece los suelos y acelera la desertización.

5. Las estepas

En zonas templadas de Asia central y Norteamérica, alejadas del mar, con clima continental y escasas precipitaciones, se instalan formaciones abiertas con abundante sustrato herbáceo de gramíneas bajas, por ejemplo la pradera norteamericana. Los suelos esteparios se encuentran entre los más fértiles del mundo, más ricos en humus que los suelos forestales, ya que el breve ciclo vegetativo de las herbáceas produce acumulación de materia orgánica; por otro lado una evaporación que supera a la precipitación favorece el depósito superficial de sales minerales. Antaño pobladas por grandes herbívoros, y utilizadas desde siempre para la caza, el pastoreo o el cultivo de cereales, la sobreexplotación está provocando su desertización.

6. El desierto cálido

Su extensión máxima se produce a nivel de los trópicos, con precipitaciones inferiores a 200 milímetros anuales, temperaturas elevadas y fuerte amplitud térmica, lo que determina una aridez extrema, acentuada por el viento. La biomasa es pequeña, unas 20 toneladas/hectárea, y pobre la biodiversidad. La escasa cubierta vegetal está formada por plantas vivaces (partes subterráneas perennes), leñosas y xerófilas (adaptadas a climas secos, con raíces desarrolladas, tejidos carnosos y espinas en lugar de hojas), o anuales de período corto, así como palmerales en los oasis. Escasa fauna de reptiles e invertebrados, protegidos de la insolación por escamas o corazas, y de mamíferos pequeños (roedores) o

grandes (camélidos). Las poblaciones humanas son nómadas, dedicadas al pastoreo.

7. La sabana

Se desarrolla en regiones intertropicales, con una estación seca (invierno) y otra húmeda (verano), en el centro y este de África, Sudamérica y Australia. Las precipitaciones, entre 100 y 400 mm anuales, permiten formaciones herbáceas bajas, parecidas a las estepas, o de gramíneas perennes altas con grupos de árboles diseminados. Su biodiversidad tiene valor cualitativo, por el gran número de plantas endémicas, y cuantitativo, por la enorme biomasa de las manadas de herbívoros (cebras, ñus, búfalos, antílopes, gacelas, elefantes), abundantes carnívoros (leones, leopardos, guepardos, hienas), aves, reptiles e insectos. Los suelos son pobres y duros, por el lavado de la estación lluviosa, la sequía invernal y el movimiento de las manadas siguiendo los cambios de producción vegetal a medida que se desplazan las lluvias.

Se asientan poblaciones nómadas, cuya actividad agrícola y ganadera agota los recursos del suelo, lo que supone una amenaza si la población crece. La contaminación y la caza furtiva son también amenazas serias. El turismo natural y cinegético contribuye a su conservación.

8. El bosque tropical

Sucede a la sabana cuando no hay dos estaciones tan marcadas. Según el régimen de lluvias, se instala un bosque tropical seco, semiperenne o húmedo. El primero, está formado por árboles de hoja caduca que pierden en la estación desfavorable, la menos húmeda. El segundo, es típico de Asia monzónica, con una corta estación seca y otra húmeda muy lluviosa, a lo que responden las plantas con estrategias variadas y sólo algunas pierden las hojas. Precipitaciones altas y uniformes dan lugar a los bosques húmedos o selvas, con árboles de hoja perenne y ancha, sobre una banda casi continua entre los 10° de latitud N y S.

Aunque las selvas reciben un flujo de insolación elevado y constante, es la luz su factor limitante, ya que la gran superficie de las hojas produce una sombra permanente;

árboles que compiten en altura, lianas y epifitas, mamíferos arborícolas, aves, reptiles, anfibios e insectos conforman su biodiversidad. Aunque son los ecosistemas terrestres que albergan la mayor cantidad de biomasa y biodiversidad, la descomposición y la absorción de minerales por las plantas son tan rápidas, que no se acumulan desechos y los suelos son delgados y frágiles.

Los grupos humanos que habitaron primariamente estas selvas eran cazadores recolectores, algunas de cuyas culturas aún perviven, como los pigmeos en las selvas africanas o los 64 pueblos indígenas de la cuenca amazónica, pero están viendo amenazado su espacio vital por la intervención humana de origen externo. La sobreexplotación por tala indiscriminada para obtener madera, pastos y terrenos agrícolas hace que se pierdan 10000 hectáreas de selva cada año, lo que conduce a pérdidas de suelo y biodiversidad. La caza furtiva para obtener pieles o para el mercado de las mascotas, la construcción de grandes presas y la contaminación de suelos y aguas son nuevas amenazas que se ciernen sobre estos paraísos naturales.

9. Los biomas acuáticos

Las aguas de mares y océanos cubren dos terceras partes de la superficie terrestre, son fuente de recursos y reguladores esenciales del clima; el CO_2 atmosférico disuelto, incorporado a la biomasa y retenido en sedimentos, mantiene el efecto invernadero en límites tolerables. El bioma marino litoral, luminoso, poco profundo y rico en nutrientes, y el pelágico, cuya luz disminuye hasta las profundidades afóticas, se diferencian también por otros factores limitantes como salinidad, oxigenación y presión. En la base de las cadenas tróficas se encuentran algas unicelulares (fitoplancton) y pequeños invertebrados (zooplancton), además de bacterias que asimilan el CO_2 en ausencia de luz. El bentos, habitante de orillas intermareales y fondos, incluye organismos fijos (algas, corales y esponjas) y móviles (erizos, gusanos, moluscos y crustáceos). Cefalópodos, peces, tortugas, mamíferos marinos y otros animales que se desplazan activamente forman el necton. Los arrecifes de coral ocupan mares intertropicales cálidos y poco profundos y son los más eficaces constructores de materia viva.

Los biomas de aguas continentales, menos diversos, generan microclimas, presentan formaciones vegetales características, son ricos en invertebrados y peces, y multitud de especies de aves y mamíferos dependen directa o indirectamente de ellos. Según su movilidad, pueden ser lénticos (lagos, lagunas y humedales) o lóticos (ríos y arroyos). En los biomas salobres como estuarios, marismas y manglares se producen contacto y mezcla entre océanos y aguas dulces.

Excelentes ejemplos de economía sostenible pueden hallarse en la explotación de lagos, marismas y manglares, convertidos en espacios protegidos. En el otro extremo, vertidos de petróleo, industriales, agrícolas y urbanos y sobreexplotación de recursos pesqueros e hídricos son serias amenazas para los biomas acuáticos.

10. Conclusión

La Tierra, vista desde el espacio, invita a pensar en la biodiversidad que acoge, en la dinámica de un planeta vivo, un inmenso, ordenado y cambiante mosaico de biomas, caleidoscopio de adaptable vida. Los bosques y selvas garantizan la presencia del O_2 y regulan el ciclo del agua, los océanos controlan el efecto invernadero al retener el CO_2 , de la atmósfera. Delicados equilibrios sobre la base de complejas redes tróficas, mantienen un sistema global amenazado por la actividad humana, que necesariamente tendrá que regresar a límites de sostenibilidad.

**Justificación de la
estructura de la obra**

IV

Vicuñas del volcán Chimboraro (Ecuador)

Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Justificación de la estructura de la obra

IV

La normativa vigente en materia educativa en nuestro país ha transformado el papel del profesor de Educación Secundaria desde hace varios años. Las funciones que en el pasado se dirigían a una formación del alumnado donde los contenidos tenían un papel preponderante y casi único han evolucionado. El nuevo doble papel del profesor-educador obliga a estos profesionales a profundizar en aspectos como el contacto con innovaciones en los sistemas de enseñanza que permitan enfrentarse a nuevos retos (aulas inclusivas, temáticas interdisciplinares...), pero también en otros como el dominio de herramientas de inteligencia emocional y mediación de conflictos, que permitan no renunciar al papel cohesionador en el aula, fundamental para propiciar el aprendizaje del grupo-clase.

Afrontar estos nuevos retos puede parecer una tarea compleja, frente a la que únicamente una adecuada formación, unida con las correspondientes dosis de entusiasmo y dedicación, puede permitir que el profesorado abandone los esquemas clásicos del enciclopedismo científico, característico de los competentes catedráticos de Instituto de otros tiempos, para dirigir su mirada a otros campos.

Este proyecto trata de responder a parte de estas expectativas, en concreto a dos necesidades educativas básicas, por una lado la formación permanente del profesorado, y por otro la disponibilidad de materiales auxiliares de trabajo en las aulas de Secundaria y Bachillerato. Éstos, pretenden apoyar al profesorado favoreciendo, no sólo su formación continua, sino también la posibilidad de transferirlo a sus alumnos como forma de motivación.

La Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE) en su artículo 102 establece que “La formación permanente constituye un derecho y una obligación de todo el profesorado..... encaminada a mejorar la calidad de la enseñanza.... “ La formación de los profesores debe incluir tanto las novedades de metodología didáctica como el contacto con los últimos contenidos científicos, y ambos tratan de estar presentes en esta obra.

Relación con el currículo

Inspirado en las directrices europeas en materia educativa, el currículo de Secundaria y el de Bachillerato están regulados legislativamente por la propia LOE, que establece la estructura del sistema educativo y los elementos del currículo, así como por los Reales Decretos de Enseñanzas Mínimas, (1467/2007 de 2 de noviembre para Bachillerato y 1631/2007 de 29 de diciembre para Educación Secundaria Obligatoria), además de la regulación específica de las Comunidades Autónomas dotadas de Competencias Educativas.

Consideramos que las conexiones de los contenidos que se trabajan en esta obra con los elementos del currículo son múltiples, entre ellas, consideramos trascendentales las que se establecen con algunas de las 8 Competencias Básicas que los alumnos deben adquirir al finalizar sus estudios obligatorios y de Bachillerato, (lo que será posible si el propio profesor es también competente), los Objetivos Generales de cada una de las etapas, que se concretan en Objetivos y Bloques de Contenidos para las diferentes áreas

y materias, reflejados en los Criterios de Evaluación. El último nivel de concreción del currículo está constituido por las programaciones de aula, en cuyo diseño podrán ser de utilidad los materiales auxiliares de esta unidad didáctica sobre biodiversidad.

Contribución al desarrollo de las Competencias Básicas (especialmente en Secundaria)

a) Competencia Lingüística

La comprensión crítica de los textos y las actividades complementarias que se proponen, tratan de fomentar la utilización del lenguaje como herramienta de comprensión y representación de la realidad en relación con la diversidad biológica de nuestro planeta, y su puesta en práctica en contextos múltiples, cercanos o globales como elemento generador de conocimiento.

b) Competencia Matemática

A lo largo de los textos y a través de los materiales auxiliares se trata de favorecer las formas de expresión y razonamiento matemático, tanto para producir e interpretar distintos tipos de información, como para ampliar el conocimiento sobre aspectos cuantitativos y espaciales de la biodiversidad como una realidad cercana. La contribución al desarrollo de esta competencia se completa con la aplicación de estrategias para la resolución de situaciones problemáticas relacionadas con amenazas a la biodiversidad.

c) Competencia de Conocimiento e Interacción con el medio físico

Es la más directamente relacionada con los contenidos de la obra; en todos sus artículos y materiales trata de desarrollar en el alumnado las habilidades para:

Interactuar con el mundo físico, tanto en sus aspectos naturales como en los generados por la acción humana.

Desenvolverse adecuadamente, con autonomía e iniciativa personal, en ámbitos de la vida y del conocimiento muy diversos (salud, actividad productiva, consumo, ciencia, procesos tecnológicos, etc.).

Utilizar valores y criterios éticos asociados a la ciencia y al desarrollo tecnológico.

d) Competencia tratamiento de la Información y Digital

Esta competencia consiste en disponer de habilidades para buscar, obtener, procesar y comunicar información, y para transformarla en conocimiento. La competencia digital comporta hacer uso habitual de los recursos tecnológicos disponibles para resolver problemas reales de modo eficiente. Estos aspectos se ponen de manifiesto especialmente en el capítulo titulado Cibertaxonomía, pero también en muchas de las actividades que se proponen para utilizar las nuevas tecnologías como herramientas para generar conocimiento.

e) Competencia Cultural y artística

Esta competencia supone conocer, comprender, apreciar y valorar críticamente diferentes manifestaciones culturales y artísticas, utilizarlas como fuente de enriquecimiento, conocimiento, disfrute y considerarlas como parte del patrimonio de los pueblos. La utilización del cine como herramienta educativa en los materiales auxiliares de esta obra contribuye a la adquisición de estas capacidades.

Relación con los Objetivos generales de Educación Secundaria Obligatoria

a) Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos.

b) Concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.

c) Comprender y expresar con corrección, oralmente y por escrito, en la lengua castellana, textos y mensajes complejos.

d) Valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado de los seres vivos y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora.

Relación con los Objetivos generales de Bachillerato

a) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.

b) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales

c) Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.

Relación con el desarrollo de los Bloques de Contenidos propios de diferentes materias de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato

Capítulo	Materia	Curso/Etapa	Bloques de Contenidos	Observaciones
2. Cómo hemos llegado a pensar en la Biodiversidad	Biología y Geología	4º ESO	3 La Evolución de la vida	Desarrollo histórico del pensamiento
	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Bachillerato. Materias comunes	1 Conocimiento Científico	Avances históricos del conocimiento
3. Los Números de la vida	Ciencias de la Naturaleza	1º de ESO	4 Los seres vivos y su diversidad	Descripción de la Biodiversidad
	Biología y Geología	Bachillerato. Modalidad Ciencias y Tecnología	4 Unidad y diversidad de la vida 5 y 6 Biología de Plantas y animales	Elementos comunes y diferenciales de la Biodiversidad
4. Biodiversidad Escondida	Ciencias de la Naturaleza	1º de ESO	4 Los seres vivos y su diversidad	
	Biología	Bachillerato Modalidad Ciencias y Tecnología	4 El mundo de los microorganismos y sus aplicaciones	
	Ciencias de la Tierra y Medioambientales		4 La ecosfera	
5. Muestreando la Biodiversidad	Biología y Geología	Bachillerato Modalidad Ciencias y Tecnología	4 Unidad y diversidad de la vida 5 y 6 Biología de plantas y animales	Importancia de la Biodiversidad y las medidas para su conservación
6. Diversidad amenazada	Biología y Geología	3º ESO	6 Las personas y el medio ambiente	
	Ciencias Sociales, Geografía e Historia	3º ESO	4 Transformaciones y desequilibrios del mundo actual	Riesgos y problemas medioambientales. Medidas correctoras
	Biología y Geología	4º ESO	4 Transformaciones en los ecosistemas	
	Ciencias para el Mundo contemporáneo	Bachillerato Materias comunes	4 Hacia una gestión sostenible del planeta,	
7. Valor económico de la Biodiversidad	Ciencias de la Naturaleza	2º ESO	6 El Medio Ambiente Natural	Diversidad y entorno físico
	Ciencias Sociales, Geografía e Historia	3º ESO	2 Actividad económica y espacio geográfico	
	Ciencias para el Mundo contemporáneo	Bachillerato Materias comunes	4 Hacia una gestión sostenible del planeta	
	Ciencias de la Tierra y Medioambientales	Bachillerato Modalidad Ciencias y Tecnología	6 La gestión del planeta	
	Historia del Mundo contemporáneo	Bachillerato Humanidades y Ciencias Sociales	5 Perspectivas del mundo actual	Impacto de la actividad humana sobre la diversidad
8. Biodiversidad y Cibertaxonomía	Ciencias de la Tierra y Medioambientales		1 Medio ambiente y fuentes de información	Uso de las TIC (*)
Apéndice Los mundos de la Biodiversidad	Ciencias Sociales, Geografía e Historia	1º ESO	2 La Tierra y los medios naturales	

* Además se relaciona con todas las actividades que utilizan las TIC, materiales audiovisuales o análisis de textos

Relación con otras materias

- Estrecha relación entre las matemáticas y las ciencias que se manifiesta especialmente cuando ambas se integran dentro de una materia común como el Ámbito Científico Tecnológico, por ejemplo en los programas de Diversificación Curricular en Secundaria.
- Las Implicaciones éticas de los avances científicos y tecnológicos en general y de la toma de decisiones en relación con la gestión del territorio y sus efectos sobre la biodiversidad en particular, pueden ser objeto de estudio de materias como Educación para

la Ciudadanía, en 2º de ESO, Ética y Ciudadanía en 4º de ESO o Filosofía y Ciudadanía como materia común en Bachillerato.

- La materia de Economía, de la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales, puede encontrar materia de trabajo en el capítulo de El valor de la Biodiversidad.
- La modalidad de bachillerato de Artes, especialmente la materia Artes Escénicas, puede encontrar utilidad en la Vinculación Cinematográfica comentada.



Glosario

V

***Megaptera novaeangliae*, ballena jorobada del Pacífico**
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Glosario



A

Actor social: Aquella persona u organización con un particular interés en el uso o gestión de los servicios de los ecosistemas.

Anélidos: Filo de invertebrados genéricamente denominados como “gusanos”. Se caracterizan por tener el cuerpo segmentado, como por ejemplo la lombriz de tierra o la sanguijuela.

B

Bases de Datos: Conjuntos estructurados de datos descriptivos, geográficos (distribuciones), imágenes, etc.

Bienestar humano: La libertad de los individuos para poder vivir el tipo de vida que valoran en función de cinco componentes: (1) la seguridad, (2) la salud física y mental, (3) las relaciones sociales, (4) los bienes materiales básicos para vivir - alimento/agua, vivienda y vestimenta- , y (5) la posibilidad de elegir las vías de obtención de las cuatro variables precedentes en función de los deseos y necesidades individuales.

Biomás: Es el conjunto de ecosistemas característicos de una zona biogeográfica que es nombrado a partir de la vegetación y de las especies animales que predominan en él.

Biosistemática: Es la ciencia que estudia las distintas formas de vida, las identifica, describe, nombra, clasifica y cataloga, según distintos criterios.

C

Cambio climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Cambio global: Conjunto de transformaciones que se están produciendo en el ambiente como consecuencia de nuestras actividades.

Capital natural: Aquellos ecosistemas con integridad ecológica que tienen capacidad de suministrar un flujo variado y diverso de servicios de ecosistemas a la sociedad.

Cibertaxonomía: Ejecución de actividades taxonómicas en red.

Cladística: (del griego klados = rama) Es el método más empleado y aceptado de análisis filogenético (ver filogenia) que se basa en la hipótesis de que las relaciones entre organismos miembros de un grupo comparten una historia evolutiva común, y están estrechamente relacionados entre ellos, más que con otros organismos.

Claves taxonómicas: Secuencia de pasos verbales o gráficos para la identificación de organismos.

Colectar: Recoger o capturar. En el contexto de la obra, se refiere a la recogida de muestras con fines científicos.

Crustáceos: Subfilo de los artrópodos cuyos representantes más característicos son los cangrejos, langostas y camarones.

D

Distancia genética: Es una medida de la diferencia del material genético entre distintas especies o individuos de la misma especie.

Draga: Aparato que se emplea para recoger productos marinos, arrastrándolo por el fondo del mar.

E

Ecología: (del griego «οἶκος» oikos="casa", y «λόγος» logos=" conocimiento") Es la ciencia que estudia a los seres vivos, su ambiente, la distribución y abundancia, y cómo esas propiedades son afectadas por la interacción entre los organismos y su ambiente.

Ecosistema. Es un sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico en donde se relacionan. Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat.

Endémico: Si se aplica al ser vivo significa aquel que es originario solamente de una región determinada.

Enfermedad emergente: Aquella de etiología (origen) conocido y de carácter epidémico y generalmente contagioso.

Entomólogo: Biólogo especializado en el estudio de los insectos.

Especie: Es una unidad taxonómica (ver taxonomía) fundamental generalmente reconocida, basada en características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, moleculares, etc., a la que, una vez descrita y aceptada, se le atribuye un único nombre científico.

Especie invasora: Especie no autóctona que tiene la capacidad de llegar a ser ecológica y numéricamente dominantes.

Especies alóctonas: Especie no autóctona.

Evolución: Es el conjunto de transformaciones o cambios a través del tiempo que ha originado la diversidad de formas de vida que existen sobre la Tierra.

Evolucionismo: Se refiere generalmente al paradigma científico basado en la evolución biológica.

Extrapolar: Aplicar conclusiones obtenidas en un campo a otro.

F

Fenotipo: Es el conjunto de rasgos de un organismo.

Feromona: Sustancias químicas secretada por un individuo con el fin de provocar un comportamiento determinado en otro individuo de la misma u otra especie.

Fijismo: Creencia que sostiene que las especies actualmente existentes han permanecido básicamente invariables desde un mismo momento: la Creación.

Filo: Categoría taxonómica situada entre Reino y Clase.

Filogenia: Secuencia antecesor-descendiente del mundo orgánico.

Fitogeografía: Es una rama de la biogeografía responsable de estudiar el origen, distribución, adaptación y asociación de las plantas, de acuerdo con la localización geográfica y su evolución.

Fototropismo: Respuesta a un estímulo lumínico. Si la respuesta es acercarse se denomina fototropismo positivo. Si la respuesta es alejarse, fototropismo negativo.

G

GPS: Global Positioning System (sistema de posicionamiento global), un sistema de satélites que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros. La posición se define por coordenadas.

Gen: La unidad biológica básica de la herencia. Esta formada por ADN.

Genotipo: Es el conjunto de genes de un organismo.

Gran cadena del ser: La *scala naturae* (escala natural) o cadena de los seres es una idea recurrente en la historia de

la biología según la cual, todos los organismos pueden ser ordenados de manera lineal, continua y progresiva.

H

Historia natural: Es la parte de la Ciencia que se ocupa de los seres naturales y de los fenómenos de toda índole que en ellos se verifican (fenómenos volcánicos, terremotos, fenómenos vitales).

Hot spot: Lugares biológicamente más ricos y a la vez más amenazados del planeta que fueron identificados por Conservación Internacional (IC) y con alta prioridad para la conservación.

L

Linaje: Un linaje es una secuencia de especies que forman una línea directa de descendencia, siendo cada nueva especie el resultado directo de la evolución desde una especie ancestral inmediata.

M

Moluscos: Filo de invertebrados más numeroso después de los artrópodos que incluye formas tan conocidas como las almejas, ostras, calamares, pulpos, babosas y una gran diversidad de caracoles, tanto marinos como terrestres.

Miriápodos: Subgrupo de los artrópodos cuyos representantes más característicos son los ciempiés y milpiés.

Mucilaginoso: Que contiene mucílago, una sustancia viscosa más o menos transparente análoga a la goma y que aparece en muchos vegetales.

N

Nebulizar: Transformar un líquido en partículas finísimas que forman una especie de nubecilla.

Nemátodos: Filo de invertebrados referidos como gusanos redondos. Es un grupo de gran diversidad con unas 25.000 especies registradas. Algunas de ellas son parásitas de

vegetales y animales (incluido el hombre) y producen enfermedades como la triquinosis.

Nomenclatura: Es la subdisciplina de la Taxonomía que se ocupa de reglar los nombres de los taxones.

Normalizar (datos): Transformar los datos de diferentes variables a una misma escala y hacerlos así comparables.

O

Ontologías taxonómicas: Vocabulario especializado para la descripción modelizada de los organismos.

P

Physis: Palabra griega (φύσις, φύσεως: physis, physeos) que se traduce por naturaleza y que procede etimológicamente del verbo phyo (φύω), que significa brotar, crecer, hacer salir.

Poríferos: Filo de invertebrados que son mayoritariamente marinos, sésiles y carecen de auténticos tejidos. Son lo que generalmente se conoce como esponjas.

Precio: Es la resultante del equilibrio entre la oferta y la demanda existente para un bien o servicio determinado. Se emplea como indicador del valor de una mercancía o servicio en términos monetarios.

Q

Quelicerados: Subfilo de los artrópodos cuyos representantes más característicos son las arañas y los escorpiones.

S

Selección natural: La selección natural es un fenómeno esencial de la evolución con carácter de ley general y que se define como la reproducción diferencial de los genotipos (ver genotipo) en el seno de una población biológica.

Servicios de los ecosistemas: Contribuciones de los ecosistemas, directas o indirectas, al bienestar humano. Los servicios de los ecosistemas incluyen los servicios de abas-

tecimiento, como el alimento o agua para consumo humano; los servicios de regulación, como el control de la erosión, la purificación del agua, o la calidad del aire; y los servicios culturales, que incluyen los beneficios no materiales obtenidos de las relaciones entre el ser humano y naturaleza a través del enriquecimiento espiritual, cognitivo o experiencias estéticas o recreativas.

Sistema socio-ecológico: Sistema complejo e integrado de humanos en la naturaleza, en el que los sistemas humanos y los ecosistemas se han ido moldeando y adaptando conjuntamente.

Sistemática: Es la disciplina que se encarga de clasificar los organismos teniendo en cuenta el componente evolutivo (filogenia). A menudo se confunde con taxonomía.

T

Taxonomía: (del griego *τάξις*, taxis, “ordenamiento”, y *νομος*, nomos, “norma” o “regla”) Es la disciplina que se encarga de la clasificación de los organismos que implica el muestreo, descubrimiento y descripción de las especies.

Tardígrados: Filo de invertebrados llamados comúnmente osos de agua que tienen un tamaño microscópico (de 0,1 a 1,2 mm), poseen ocho patas y son especialmente abundantes en la película de humedad que recubre musgos y helechos, aunque no faltan especies oceánicas y de agua dulce.

Transformismo: Es una doctrina según la cual los caracteres típicos de las especies animales y vegetales no son por naturaleza fijos e inmutables, sino que pueden variar por la acción de diversos factores intrínsecos y extrínsecos.

Tiempo profundo: Concepto acuñado por Charles Lyell, geólogo del siglo XIX, para referirse a etapas remotas de la evolución y rastrear la evolución de la vida.

V

Valor: Grado de utilidad o aptitud de las cosas para satisfacer necesidades o proporcionar bienestar.

Valor Económico Total: Es una expresión monetaria de los beneficios que los ecosistemas, a través del flujo de servicios

generan a la sociedad. Este valor está compuesto por los valores de uso y de no uso.

Valor intrínseco: Valor inherente a alguna cosa, independientemente de si sirve para satisfacer necesidades y aspiraciones del ser humano. Por tanto, el valor intrínseco es un requisito necesario para el desarrollo de las cuestiones éticas o morales hacia la Biodiversidad.

Valor de Uso: Es el valor monetario asociado con el uso real e *in situ* de un servicio de los ecosistemas.

Valor de No Uso: Es el valor que surge independientemente de su uso, es decir, no está relacionado con el uso actual o potencial del servicio de los ecosistemas. Se relaciona con la satisfacción individual de conocer que una especie o ecosistema existe (valor de existencia) o al saber que las generaciones futuras puedan disfrutar de cualquiera de los servicios de los ecosistemas.



Autores

VI

Amblyrychus cristatus. Iguanas marinas de Galápagos, Ecuador
Vladimir Sandoval Sierra (RJB-CSIC)

Autores

VI



Antonio G. Valdecasas

Investigador Científico del CSIC en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. Especialista en invertebrados de agua dulce y aplicaciones informáticas a la Taxonomía, en especial, tratamiento de imagen 3D.



Javier Diéguez Uribeondo

Doctor en Fisiología de hongos por la Universidad de Uppsala. Es Científico Titular del CSIC en el Real Jardín Botánico y profesor del Master oficial de Biodiversidad y su Conservación de Áreas Tropicales del CSIC y de la Universidad Menéndez-Pelayo en Ecuador. Dirige y colabora en distintos proyectos de conservación de especies amenazadas de ecosistemas acuáticos, como crustáceos, anfibios, salmónidos y tortugas marinas debido a especies invasoras de hongos y enfermedades emergentes.



Juan Pimentel

Historiador de la ciencia en el Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC. Ha sido Visiting Scholar en la Universidad de Cambridge y es autor de varios libros sobre viajes, exploraciones e historia natural en la Edad Moderna. Entre ellos, La física de la Monarquía. Alejandro Malaspina, 1754-1810 (Doce Calles, 1998); Testigos del mundo. Ciencia, literatura y viajes en la Ilustración (Marcial Pons, 2003) y El Rinoceronte y el Megaterio (Abada, 2010). También ha publicado un libro de relatos, Corazones Sagrados (La Discreta, 2007).



María Paz Martín Esteban

Investigadora Científica del CSIC en el Departamento de Micología del Real Jardín Botánico de Madrid. Especialista en técnicas moleculares, su investigación se centra en descubrir y describir la biodiversidad de hongos mediante caracteres morfológicos, fisiológicos y moleculares, analizar la variabilidad genética de las especies y establecer las relaciones filogenéticas entre ellas.



Xavier R. Eekhout Chicharro

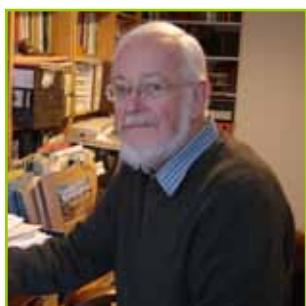
Biólogo licenciado por la Universidad de Alcalá. Su trabajo científico ha sido principalmente con anfibios y reptiles. Entre 2002 y 2006 trabajó en la Fonoteca Zoológica del Museo Nacional de Ciencias

Naturales (MNCN-CSIC) en bioacústica de anuros de España y México. Actualmente se ha especializado en la gestión de proyectos internacionales y trabaja como gestor dentro de la Red de Excelencia EDIT (European Distributed Institute of Taxonomy) en la que participa el Museo Nacional de Ciencias Naturales.



Catherine Marie Souty-Grosset

Doctora por la Universidad de Poitiers, es especialista en estructura de las poblaciones de isópodos terrestres en humedales y el impacto de las actividades agrícolas sobre sus niveles tróficos.



Julian Reynolds

Ecólogo de especies de aguas dulces, es especialista en ecología, acuicultura y enfermedades del cangrejo de río. Sus intereses científicos se centran en el estudio de crustáceos y coleópteros de hábitats efímeros. Fue miembro fundador del grupo Erasmus de Biología acuática.



Jesus Muñoz

Investigador Científico CISC Real Jardín Botánico. Es especialista en Sistemática de briófitas, en modelización de distribuciones y cambio climático. Dirige el Programa de Máster y Doctorado: "Biodiversidad en áreas tropicales

y su conservación" del CSIC y de la Universidad Menéndez Pelayo en Ecuador.



Francesca Gherardi

Profesora en la Facultad de Ciencias matemáticas, físicas y naturales de la Universidad de Florencia. Está especializada en comportamiento animal, conservación de la biodiversidad, eco-etología de crustáceos decápodos y especies invasoras.



Berta Martín-López

Profesora ayudante doctor del Departamento de Ecología de la UAM. Doctora en Ecología y Medio Ambiente y licenciada en CC. Ambientales por la UAM. Su trabajo se ha centrado en la Valoración Económica de Servicios de Ecosistemas en diferentes

lugares de España. Actualmente, está colaborando en varios proyectos de evaluación de servicios de ecosistemas en España y en Colombia.



Javier Benayas del Alamo

Profesor del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid. Desde el año 2000 es el coordinador del programa interuniversitario de doctorado en “Educación Ambiental” que imparten

9 universidades españolas y es el responsable del módulo de uso público del “Master en Gestión de Espacios Naturales Protegidos”. Ha estado implicado en el desarrollo de distintos estudios sobre gestión del uso público en espacios naturales de España y Latinoamérica y en la actualidad dirige un equipo que está evaluando el impacto del turismo en la Antártida.



Fernando Diéguez Rodríguez-Montero

Licenciado en Geografía e Historia por la Universidad Complutense de Madrid. Profesor de Educación Secundaria, ha coordinado diversos grupos de trabajo interdisciplinar y publicado trabajos relacionados con el empleo del cine en la enseñanza.



Laura Tábara Cayuelas Reyes

Licenciada en Biología por la Universidad Autónoma de Madrid. Ha realizado el Proyecto Fin de Carrera sobre **Recursos Taxonómicos en Internet: Cibertaxonomía.**

Sus intereses científicos se centran en el desarrollo de herramientas auxiliares para la Taxonomía Animal, Botánica y la Ecología.



Francisco A. Peña Benito

Licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid, Profesor de Educación Secundaria, ha formado parte de equipos directivos y coordinado diversos grupos de trabajo relacionados con la innovación educativa en tres comunidades autónomas.



José María Becerra González

Doctor en Ciencias Biológicas por la UAM, y postgrado en Bioinformática por la UOC, actualmente presta servicio en Informática del Ayuntamiento de Madrid, colaborando con el Museo Nacional

de Ciencias Naturales en proyectos de análisis de imagen, morfometría y taxonomía digital.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

www.fecyt.es



FECYT
FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA