

15. La ecología y el ambientalismo: la diversidad biológica y los proyectos de ciencia ciudadana

En la asignatura de Biología y Geología de la ESO existe un bloque específico de ecología y sostenibilidad, desde el cual se aborda el análisis de los ecosistemas del entorno, identificando sus componentes bióticos y abióticos, así como las relaciones intraespecíficas e interespecíficas. Se estudian los ecosistemas terrestres y acuáticos, destacando la importancia de su conservación y la necesidad de un modelo de desarrollo sostenible.

Se examinan las funciones de la atmósfera y la hidrosfera, su composición y contaminación, incluyendo el efecto invernadero y la importancia del agua para la vida. También se describirán las interacciones entre atmósfera, hidrosfera, geosfera y biosfera, su papel en la formación del suelo y su relevancia como recurso no renovable.

Asimismo, se analizan las causas y consecuencias del cambio climático, relacionando los principales contaminantes con sus efectos ambientales. Se reflexiona sobre la importancia de hábitos sostenibles, como el consumo responsable y la gestión de residuos, y se estudiará la relación entre la salud ambiental, humana y de otros seres vivos bajo el enfoque de «One Health» (una sola salud). Bajo este enfoque integral y unificador se pretende equilibrar y optimizar la salud de las personas, los animales y los ecosistemas. Utiliza los vínculos estrechos e interdependientes que existen entre estos campos para establecer nuevos métodos de vigilancia y control de enfermedades³⁹⁴.

En la asignatura de Biología, Geología y Ciencias Ambientales, cursable en primero de Bachillerato, se incorpora el bloque «Ecología y sostenibilidad» que estudia los componentes de los ecosistemas, su funcionamiento, la impor-

³⁹⁴ Más sobre el enfoque «One Health» en: Organización Mundial de la Salud, consultado el 08-02-2025, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/one-health>

tancia de un modelo de desarrollo y la concienciación y el análisis de problemas medio ambientales.

A modo de orientación, el currículum para Bachillerato propone el planteamiento de actividades que traten los distintos bloques de forma simultánea y transversal. Como sugerencia, en relación con el bloque de «ecología y sostenibilidad», podría plantearse que los alumnos abordaran el estudio de la estructura y los factores bióticos y abióticos que afecten a un ecosistema cercano, como puede ser un parque o el propio entorno del instituto, en el que pueda plantearse la realización de un mapa de vegetación de una zona concreta. Este tipo de actividades deberá ser apoyado por el planteamiento de hipótesis, la investigación, la búsqueda de información y la realización de informes y exposiciones por parte de los alumnos. De este modo se contribuirá a desarrollar competencias específicas como: interpretar y transmitir información y datos científicos; localizar y utilizar fuentes fiables para resolver preguntas de investigación; diseñar, planear y desarrollar proyectos de investigación; y utilizar estrategias en la resolución de problemas analizando críticamente las soluciones y respuestas halladas.

En el bloque de «Ecología y sostenibilidad» se tratará la importancia del medio ambiente como motor económico y social, abordando la evaluación de impacto ambiental y la gestión sostenible de recursos y residuos. También se analizará la relación entre la salud ambiental, humana y de otros seres vivos. Se explorará cómo hacer más sostenibles las actividades cotidianas, utilizando indicadores de sostenibilidad y comprendiendo el concepto de huella ecológica. Además, se conocerán iniciativas locales y globales que promueven un modelo de desarrollo sostenible.

Se estudiará la dinámica de los ecosistemas, incluyendo los flujos de energía, los ciclos de la materia y las relaciones tróficas, así como los procesos de sucesión, autorregulación y regresión.

Asimismo, se profundizará en el cambio climático, sus causas y consecuencias, y en las estrategias de mitigación y adaptación. También se abordará la pérdida de biodiversidad y su impacto ambiental y social, además del problema de los residuos, como los compuestos xenobióticos y los plásticos, destacando la importancia de su gestión adecuada.

15.1. Antecedentes de la ecología

El reconocimiento de las interacciones entre los diversos organismos que habitan un área se remonta, al menos, al naturalista sueco Carl Linneo. Sin em-

bargo, un trabajo más sistemático no comenzó hasta principios del siglo XIX, con el científico prusiano Alexander von Humboldt (1769-1859) y su percepción de la naturaleza en conjunto, poniendo gran atención a la unidad paisajística, algo que tiene mucho que ver con el movimiento romántico alemán.

Antes de su expedición científica por América (1799-1804), Humboldt permaneció en España recopilando información botánica y geográfica, obteniendo un salvoconducto de la Corona y estableciendo valiosos contactos científicos, políticos y diplomáticos. Gracias a la influencia del embajador de Sajonia, accedió al Real Gabinete de Historia Natural³⁹⁵. Durante este tiempo, realizó estudios científicos empleando novedosos instrumentos de medición, lo que le permitió aportar importantes avances en la geografía del país, como la determinación de la latitud y longitud de Madrid y otras localidades³⁹⁶. En 1799, solicitó permiso al rey Carlos IV para explorar América, destacando su interés en la Tierra y las conexiones entre los seres vivos, además de presentarse como consejero de Minas.

Humboldt y el botánico francés Emile Bonpland zarparon de A Coruña en 1799, a bordo de la corbeta Pizarro, haciendo escala en las Islas Canarias, donde estudiaron el vulcanismo y la geografía de las plantas en el Teide. Durante su estancia, Humboldt describió la violeta del Teide y representó la geografía vegetal en un dibujo publicado en su atlas de viaje. El 16 de julio de 1799 llegaron a Cumaná, Venezuela, iniciando su exploración por el Orinoco, el Río Negro y otras regiones. Posteriormente, viajaron por el Caribe y el Virreinato de la Nueva Granada, recorriendo el río Magdalena hasta Santa Fe de Bogotá, donde Humboldt cartografió la región y conoció a José Celestino Mutis. En enero de 1802, arribaron a Quito y estudiaron los volcanes del Quindío. El 23 de junio de ese año, Humboldt realizó su ascensión al Chimborazo, alcanzando los 6072 metros de altura. A partir de esta experiencia, estableció relaciones entre botánica, clima y geología para explicar la distribución de las plantas.

El viaje de Alexander von Humboldt y el conocimiento de las expediciones científicas españolas fueron condición necesaria para explicar su gran síntesis sobre el mundo natural americano: «Viaje a las regiones equinociales del Nue-

³⁹⁵ Miguel Ángel Puig-Samper, «La estancia de Humboldt en España», en *Alexander von Humboldt. Estancia en España y viaje americano*, ed. por Mariano Cuesta y Sandra Rebok (Madrid: CSIC, 2008), 70.

³⁹⁶ Puig-Samper, Miguel Ángel y Rebok, Sandra. «Un sabio en la meseta. El viaje de Alejandro de Humboldt a España en 1799». *Revista de Occidente* 254/255 (2000): 95-125.

vo Continente». Entre 1845 y 1847 Humboldt dio a la imprenta los dos primeros volúmenes de *Kosmos*, y entre 1850 y 1858 los dos siguientes volúmenes. La traducción española apareció en 1874-1875.

Humboldt era un innovador visual. Ahora puede parecernos obvio que los gráficos permiten a los científicos resumir los hechos y presentarlos de un modo convincente. Los gráficos, los diagramas de barras y otros métodos similares se estaban empezando a introducir, y su proceso de aceptación fue lento.

Las vicisitudes de mi vida y el ardiente deseo de instruirme en muy diferentes materias, me obligaron a ocuparme durante muchos años, y exclusivamente en apariencia, en el estudio de ciencias especiales, como la botánica, la geología, la química, la astronomía y el magnetismo terrestre. Preparación necesaria era ésta, si habían de emprenderse con utilidad lejanos viajes; pero también tales trabajos tenían otro objeto más elevado: el de comprender el mundo de los fenómenos y de las formas físicas en su conexión y mutua influencia³⁹⁷.

Indicaba Humboldt que cuando la botánica descriptiva, no se circunscribía a los límites del estudio de las formas y sistemática de géneros y especies, esto llevaba al observador a estudiar la geografía de las plantas bajo diferentes condiciones climáticas y espacios, llevando al análisis de las distribuciones de los vegetales, según la distancia del Ecuador y su elevación sobre el nivel de los mares.

En el prefacio escribía Humboldt que consideraba el estudio de los seres vivos enmarcado en el medio físico en que se encuentran.

Ahora bien, para comprender las complicadas causas de las leyes que regulan esta distribución, preciso es penetrar en el estudio profundo de los cambios de temperatura del radiante suelo y del Océano aéreo de que nuestro globo se halla envuelto. De este modo es como el naturalista ávido de saber se ve conducido de una esfera de fenómenos dada a otra segunda que limita los efectos de aquella. La geografía de las plantas, cuyo nombre era desconocido ha medio siglo, nos ofrecería una árida nomenclatura, desprovista de interés, si no recibiese poderoso auxilio de los estudios meteorológicos³⁹⁸.

³⁹⁷ Alexander von Humboldt, *Kosmos. Ensayo de una descripción física del mundo. Tomo 1. Prefacio* (Madrid: Imprenta de Gaspar Roig, 1874), 7.

³⁹⁸ Alexander von Humboldt, *Kosmos. Tomo 1. Prefacio*, 8.



Figura 65. Medidas de elevación, condiciones del suelo, vegetación, etc. en tablas a izquierda y derecha del mapa. Humboldt, A.: *Ideas para una geografía de las plantas*. Tubinga, 1807. Fuente: Wikimedia Commons.

Humboldt fue un pionero del trabajo de campo, afirmaba ser un físico terrestre que actuaba de forma muy distinta a los naturalistas. Armado con formidables equipos de instrumentos de gran precisión, demostró que la acumulación de mediciones meticulosas podía poner al descubierto regularidades en los caprichos de la naturaleza. También impuso un orden matemático en fenómenos variables como la presión del aire, el magnetismo o la distribución de la vegetación. En lugar de limitarse a recopilar y describir, su meta era analizar y representar (figura 65).

Además, fue un hábil propagandista de sí mismo. Aprovechó la pujanza de la industria editorial para dar a conocer sus viajes. El uso de diagramas para pensar y comprender la geografía botánica fue potenciado por las nuevas técnicas de impresión. La reproducción barata de imágenes y su incorporación dentro del texto, en lugar de en páginas independientes.

15.2. Definición de ecología y ecosistema

De forma paralela a los trabajos de Humboldt, la botánica de mediados del siglo XIX fue consolidando nuevos conceptos, tal es el caso de August Heinrich Rudolf Grisebach (1814-1879) que estableció que hay determinados grupos de plantas que dan un carácter fisionómico definido, definiendo «formación fitogeográfica» de la siguiente manera:

Se caracteriza a veces por un solo eje gregario, a veces por un complejo de especies predominantes de la misma familia, a veces muestra un agregado de especies que, aunque diversas en su organización, tienen sin embargo

una característica común, como las plantas alpinas constituidas casi exclusivamente por hierbas perennes³⁹⁹.

A lo largo de la segunda mitad del siglo XIX proliferaron los estudios de geografía botánica como, por ejemplo, los de Grisebach en 1838 sobre la vegetación de la Tierra⁴⁰⁰, también una geografía botánica razonada de Alphonse De Candolle de 1855 acerca de la distribución geográfica de las plantas y las leyes que la gobiernan, incorporando a la biogeografía vegetal la componente temporal⁴⁰¹ y la publicación en 1874 de la constitución del reino vegetal por grupos fisiológicos en función de su distribución de la geografía.

En 1866 Ernst Haeckel introdujo, en una nota al pie de página de su *Generelle Morphologie der Organismen*, la palabra «ecología» en el lenguaje científico y dio su primera definición: «(...) la ecología (...) ciencia de la economía, del modo de vida, de las relaciones vitales externas de los organismos»⁴⁰². En el segundo volumen de su morfología general de los organismos, dio una definición más precisa de ecología como la totalidad de la ciencia de las relaciones del organismo con el medio, que comprende, en sentido amplio, todas las condiciones de existencia.

En enero de 1869, Haeckel propuso una tercera definición similar con referencias explícitas al darwinismo:

Por ecología se entiende el cuerpo del saber que concierne a la economía de la naturaleza —el estudio de todas las relaciones del animal con su medio orgánico e inorgánico; éste incluye, ante todo, las relaciones amicales u hostiles con los animales y plantas con los que entra en contacto directa o indirectamente— en una palabra, la ecología es el estudio de esas interrelaciones complejas a las que Darwin se refiere mediante la expresión de condiciones de lucha por la existencia⁴⁰³.

³⁹⁹ August Heinrich Rudolf Grisebach. «Über den Einfluß des Klimas auf die Begrenzung der natürlichen Floren» *Linnaea* 12 (1838): 159.

⁴⁰⁰ August Heinrich Rudolf Grisebach. *Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung. Ein Abriß der Vergleichenden Geographie der Pflanzen*. Tomo I. Leipzig: W. Engelmann. (1872), 12.

⁴⁰¹ Alphonse De Candolle, *Géographie botanique raisonnée; ou, Exposition des faits principaux et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle* (Paris: V. Masson, 1855).

⁴⁰² Ernst Haeckel, *Generelle morphologie der organismen* (Berlin: G. Reimer, 1866), 8.

⁴⁰³ Ernst Haeckel, *Generelle morphologie der organismen* (Berlin: G. Reimer, 1869), 286.

La nueva definición aparece en 1874, en *Anthropogénie*:

El conjunto de las múltiples y diversas relaciones entre animales y plantas, y de éstos con el mundo exterior, todo lo que concierne a la ecología de los organismos, por ejemplo, los interesantes fenómenos del parasitismo, de la vida en familia, de los cuidados de la pollada y del socialismo, etc., todo esto solo se podría explicar de forma simple y natural mediante la teoría de la adaptación y de la herencia genética.

La confluencia de la geografía de las plantas y el término ecología se produce en 1895, con la obra de Eugen Warming (1841-1924), *Plantensamfund*.

En los primeros años del siglo xx, Frederic Clemmets (1876-1945) publicó una serie de trabajos que sentaron las bases de la moderna ecología: *Development and Structure of Vegetation* (1904), *Research Methods in Ecology* (1905), *Plant Physiology and Ecology* (1907) y *Plant Succession* (1916).

En 1913 se constituyó la British Ecological Society. El enfoque botánico de la ecología se complementó en los años 1910-1930 con estudios sobre distribución y densidad de especies animales.

15.3. De las sucesiones de plantas a la ecología moderna

Los conceptos de asociación, competencia, migración y asentamiento de una comunidad rápidamente se convirtieron en temas centrales en ecología. Fue esta corriente de investigación la que inspiró las concepciones organizmicas de las comunidades vegetales de Frederic Edward Clements (1874-1945). En su libro sobre métodos en ecología explica el concepto de formación vegetal:

La formación vegetal es una unidad orgánica. Exhibe actividades o cambios que dan como resultado el desarrollo, la estructura y la reproducción... Según este punto de vista, la formación es un organismo complejo, que posee funciones y estructura, y pasa por un ciclo de desarrollo similar al de la planta⁴⁰⁴.

⁴⁰⁴ Frederic Edward Clements, *Research Methods in Ecology* (Lincoln, Neb.: The University Publishing Co., 1905), 199.

El ecólogo vegetal británico Arthur George Tansley (1871-1955)⁴⁰⁵ comenzó casi de inmediato una guerra de treinta años contra el punto de vista organicista de Clements. Al tratar del concepto de ecosistema, sugirió una solución a la crisis iniciada por el esfuerzo de Clements de tratar a las formaciones como si fuera un organismo individual.

Para comprender tanto el proceso de sucesión como su culminación en el clímax, Tansley se vio obligado a integrar los factores bióticos y físicos dentro de esa nueva entidad. La palabra «ecosistema» (del griego *oikos*, que significa «casa» o «hábitat», y sistema, que significa «conjunto») fue acuñada en 1935⁴⁰⁶.

En un ecosistema, los organismos y los factores inorgánicos por igual son componentes que se encuentran en un equilibrio dinámico relativamente estable:

La concepción más fundamental es, como me parece a mí, todo el sistema. (en el sentido de la física), que no solo incluye sino también todo el complejo de factores físicos que forman lo que llamamos el entorno del organismo que forman lo que llamamos el entorno del bioma, los factores del hábitat en el sentido más amplio. Aunque los organismos reclamen nuestro interés primordial, cuando tratamos de pensar fundamentalmente no podemos separarlos de su entorno especial, con el que forman un sistema físico⁴⁰⁷.

Como suele ocurrir en el desarrollo de la ciencia, el nuevo concepto ya había sido descrito por otros que trabajaban en el mismo contexto. Aparte del uso temprano del término *microcosmos*, se le llamó *naturcomplex* en 1926 y *holocoen* en 1927. Más tarde, el limnólogo alemán August Thienemann (1882-1960) y el ecólogo soviético V. N. Sukatchev propusieron, respectivamente, las palabras *biosistema* y *biogeocenosis*.

La historia de la biología está llena de epónimos, no solo las especies reciben el nombre de prestigiosas figuras investigadoras, también lo hacen algunas publicaciones científicas como la de la prestigiosa revista botánica *New Phytologist* que publica un artículo especial en cada número llamado el «Tansley

⁴⁰⁵ Además de su cátedra de botánica en la Universidad de Oxford, Tansley se interesó por una amplia gama de temas, incluida la conservación de la naturaleza, la psicología, el psicoanálisis y la filosofía

⁴⁰⁶ Pascal Acot, «Ecosystems», en *The Cambridge History of Science*, ed. por Bowler PJ, Pickstone JV. (Cambridge University Press, 2009), 451.

⁴⁰⁷ Arthur George Tansley, «The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms», *Ecology* 16, n.º 3 (1935): 299.

Review». Estos artículos suelen ser una síntesis de las ideas modernas en la botánica, y llevan el nombre de Arthur Tansley.

En 1942 Raymond Lindeman publicó un trabajo, *The trophic-dinamic aspect of Ecology*, que fue el punto de partida para el enfoque trófico-dinámico, que introdujo en la biología de la época los flujos de energía entre los distintos componentes del sistema y que era susceptible, además, de análisis cuantitativo.

15.4. De los ecosistemas a la ecología global

La palabra «biosfera», que denota la zona terrestre que contiene vida, habría sido usada ya por Lamarck, a comienzos del siglo XIX, aunque su difusión viene más propiamente después de su empleo por el geólogo austriaco Eduard Suess (1831-1914) en su obra *Die Emtehung der Alpen* (1875) y, posteriormente, en su libro *Das Antlitzder Erde*. En los orígenes de los Alpes menciona la biosfera:

La planta que hunde sus raíces en la tierra en busca de alimento y al mismo tiempo se eleva en el aire, respirando, es una buena imagen de la posición de la vida orgánica en la región de interacción de las esferas superiores y la litosfera, y puede distinguirse una biosfera independiente en la superficie del sólido⁴⁰⁸.

Sin embargo, biosfera generalmente se asocia con el mineralogista soviético Vladimir Ivanovitch Vernadsky (1863-1945) quien la utilizó en *La Biosfera*, publicado en 1926, para conceptualizar su punto de vista holístico sobre la vida en la Tierra.

La materia viva está constituida por todos los organismos presentes en la Tierra en un momento dado. Normalmente, esa totalidad es la que tiene importancia, si bien al considerar el efecto del hombre sobre los procesos del planeta puede tener relevancia un individuo por sí solo. Puede considerarse que la materia viva de la Tierra es la suma de la materia viva media de todos los grupos taxonómicamente reconocibles⁴⁰⁹.

⁴⁰⁸ Eduard Suess, *Die Entstehung der Alpen* (Viena: W. Braumüller, 1875), 159.

⁴⁰⁹ Vladimir I. Vernadsky, *La Biosfera* (Leningrado: Nauchnoe Khimikotekhnicheskoe Izdatelstvo, 1926), 205.

Apuntaba Vernadsky que, en términos relativos, la materia viva constituye una parte insignificante de nuestro planeta concentrada en una delgada, aunque más o menos continua, capa de la superficie terrestre, en los bosques y campos, e impregna todo el océano.

Explicaba el ecólogo Ramón Margalef, en el prólogo de la versión en español de la *Biosfera* de Vernadsky, que con la conciencia del carácter global de muchos problemas ambientales, la noción de biosfera podía resultar popular y experimentar el riesgo de trivializarse excesivamente.

El concepto de biosfera, como ente holístico, condujo en 1950 al concepto de «ecología planetaria». En 1969 James Lovelock, un químico especializado en polución, logró hacerse famoso con su hipótesis de Gaia, a pesar de la desaprobación de los científicos ortodoxos. Dicho término servía para referirse a la Tierra como un sistema autorregulado, en la que la interacción de los factores ambientales y los propios seres vivos contribuyen al sostenimiento de la vida.

15.5. Desarrollo de una conciencia ambiental global

En la segunda mitad del siglo xx, surgió una creciente conciencia sobre la crisis ambiental entre amplios sectores de la población. Esta preocupación fue impulsada por los impactos de la actividad industrial, marcada por tres grandes revoluciones científicas —el carbón, la electricidad y el petróleo—, junto con el desarrollo de la industria química y la explotación excesiva de recursos naturales. A esto se sumó el temor al uso de la energía nuclear y la difusión masiva de documentales e imágenes que mostraban la amenaza a los «paraísos» naturales en peligro.

Además, estudios realizados por especialistas contribuyeron a establecer la emergencia sobre ciertos aspectos, como el libro *Silent Spring* (Primavera silenciosa) de Rachel Carson en 1962, que evidenció los efectos devastadores del uso de pesticidas en los ecosistemas. Estos factores impulsaron una mayor atención hacia los problemas ambientales globales. Las externalidades se refieren a las consecuencias imprevistas o no deseadas de la tecnología. Es evidente que todo lo nuevo e innovador puede potencialmente tener efectos negativos, especialmente si se trata de una nueva área de desarrollo. Aunque las tecnologías se inventan y desarrollan para resolver ciertos problemas percibidos, a menudo crean otros problemas en el proceso.

El más ambicioso de los proyectos de desarrollo científico fue la denominada «Revolución Verde». A mediados de la década de 1960, los gobiernos y

las organizaciones internacionales decidieron enfrentarse a la pobreza en el mundo mediante la transformación de la agricultura global. El objetivo de este programa era eliminar el hambre y aumentar la producción de comida en las zonas más pobladas, empezaron a sustituir los métodos tradicionales por las últimas técnicas científicas. En este sentido, la propagación de la ciencia de las potencias industriales reforzaba su supremacía, así que los programas de desarrollo filantrópicos eran también una forma disfrazada de imperialismo.

El mundo entero se entregaba a las bondades de esta Revolución Verde y se congratulaba por los millones de personas que el mejoramiento genético y la agrotecnología habían salvado del hambre, por lo que a Norman E. Borlaug, uno de sus principales líderes, le otorgaron el Premio Nobel de la Paz en 1970.

Sin embargo, los aspectos negativos no tardaron en aparecer: el excesivo costo de semillas y tecnología complementaria, la dependencia tecnológica, la pérdida de los cultivos tradicionales o la aparición de nuevas plagas. Por esto, la Revolución Verde fue muy criticada desde diversos puntos de vista, desde el ecológico al económico, pasando por el cultural e incluso nutricional.

15.5.1. Ensayos de alarma realizados por especialistas: Rachel Carson y la *Primavera Silenciosa*

En 1948, dos libros ofrecieron perspectivas malthusianas y ecológicas sobre el crecimiento de la población humana en un mundo finito: *Road to Survival* de William Vogt y *Our Plundered Planet* de Fairfield Osborn. Fueron obras que resumieron el estado ecológico global, documentando numerosos casos de los efectos negativos de una población en expansión sobre el medio ambiente, alertando sobre las consecuencias de la sobrepoblación y el agotamiento de los recursos naturales.

Rachel Carson (1907-1964) entró a formar parte del Departamento de Zoología de la Universidad de Maryland en 1932. Sin embargo, tras renunciar a su carrera académica, pasó a trabajar en el servicio de Estados Unidos para la pesca y la vida natural. En 1951 apareció su libro *The Sea Around Us* (El mar en torno a nosotros), convirtiéndose en escritora profesional e instando a los estadounidenses a percibir la belleza que les rodea.

En 1962, publicó *Silent Spring* (Primavera silenciosa) y su mensaje adquirió un tono marcadamente diferente, Carson describió los efectos de los pesticidas en las plantas, los animales y los seres humanos. Planteó que la humanidad forma parte de la naturaleza y su guerra contra ella es, inevitable-

mente, una guerra contra sí misma. Para Carson, esa guerra se ejemplificaba con el creciente uso del dicloro difenil tricloroetano (DDT), un potente insecticida sintético que fue «venerado» por su capacidad para matar mosquitos portadores de la malaria durante la Segunda Guerra Mundial. Esta «arma» científico-tecnológica moderna salvó a millones de seres humanos a corto plazo, se presentó como la solución a todas las plagas de insectos. Millones de libras fueron rociadas anualmente, aplicándolo a todo, desde vastos bosques y tierras de cultivo a la difusión de extensiones de casas suburbanas estadounidenses.

Carson calificó el DDT como «elixir de la muerte», su ensayo fue didáctico y contundente. Transmitió la idea de que, por primera vez en la historia del mundo, todo ser humano estaba en contacto con productos químicos peligrosos, desde el momento del nacimiento hasta la muerte. Mediante ejemplos conocidos por todos puso de manifiesto la presencia de contaminantes en la cadena trófica.

Primavera silenciosa se convirtió en un gran éxito de ventas, inspirando al movimiento conservacionista o medioambiental, que podría haberse retrasado durante mucho tiempo, por lo que algunos han designado la obra de Carson como uno de los libros más influyente sobre ecología. Líderes políticos y de la industria química unieron sus fuerzas para desprestigiar a Carson, que criticaba a los poderes establecidos presentando información científica de una forma que todos podían comprender. Diversos actores negacionistas, entre los que se destacaron científicos, políticos, gestores, empresas y medios de comunicación, criticaron las observaciones científicas de Carson, su género y su cuestionamiento de la irresponsabilidad de una sociedad industrializada y tecnológica hacia el mundo natural.

Pese a las advertencias y a la repercusión del libro, aún persiste el peligro de los insecticidas y otros contaminantes artificiales de enorme potencia biológica, de su capacidad de penetración y persistencia en la naturaleza y ciclos vitales; la producción y empleo de estos productos sintéticos no ha disminuido.

Carson advirtió también de que inevitablemente la fumigación intensiva con potentes productos químicos solo empeora el problema que pretende resolver. Si dependes de un solo insecticida, tendrás insectos inmunes. En países del oeste de África como Burkina-Faso la prohibición del DDT no tuvo efecto, pese a ello y utilizarse, vemos cómo este país es, en la actualidad, el epicentro de la epidemia mundial de paludismo. Casi el cuarenta por ciento de los habitantes del país acaban contrayendo la enfermedad cada año. Los mosquitos se han vuelto resistentes a los pesticidas que se usan contra ellos, incluido el DDT.

Los mosquitos con propensión genética a metabolizar el DDT sobrevivieron a las fumigaciones y, cada año, esos supervivientes se reprodujeron y multiplicaron. En muchos países africanos, esa resistencia se combinó con décadas de negligencia gubernamental, infraestructuras deficientes y sistemas sanitarios pésimos para convertir la malaria en una tormenta perfecta.

Carson advirtió del auge de los productos químicos industriales como causa de los mayores problemas sanitarios, cuyos efectos, impredecibles y omnipresentes, podrían ser una amenaza para la salud de forma desconocida.

Los futuros historiadores quizás no comprendan nuestro desviado sentido de la proporción. ¿Cómo pueden los seres inteligentes tratar de dominar unas cuantas especies molestas por un método que contamine todo lo que les rodea y les atraiga la amenaza de un mal e incluso de la muerte de su propia especie? Y, sin embargo, esto es precisamente lo que hemos hecho. Lo hemos hecho, no obstante, por razones que se derrumban en cuanto las examinamos⁴¹⁰.

15.6. La diversidad biológica en el aula

Un proyecto de ciencia ciudadana es una iniciativa en la que personas no especializadas en ciencia colaboran con investigadores profesionales en la recopilación, análisis o interpretación de datos científicos; a menudo con la colaboración o bajo la dirección de científicos profesionales e instituciones científicas.

Estos proyectos permiten la participación de la sociedad en la investigación, promoviendo el aprendizaje y la concienciación sobre diversas áreas del conocimiento. Algunos ejemplos pueden ser los monitoreos de biodiversidad: registro de aves, mariposas o polinizadores para estudiar cambios en los ecosistemas. En el transcurso estos proyectos los voluntarios participantes tienen la oportunidad de adquirir una mejor comprensión de los conceptos biológicos y aumentar sus conocimientos sobre las especies.

En cuanto a la ciencia ciudadana en entornos escolares, el aprendizaje autónomo y el trabajo al aire libre pueden mejorar las actitudes hacia la conservación de la naturaleza y la investigación científica. Sin embargo, esto no se traduce automáticamente en que los alumnos pasen a la acción en su tiempo

⁴¹⁰ Rachel Carson, *La primavera silenciosa* (Barcelona: Crítica, 2005), 21.

libre, pero puede influir positivamente en sus actitudes de valoración de la biodiversidad y el interés por la naturaleza a largo plazo. Por tanto, proporcionar aprendizaje al aire libre durante el horario escolar es muy importante para alcanzar estos objetivos de la educación ambiental.

Los proyectos de ciencia ciudadana sobre biodiversidad al aire libre contribuyen de manera efectiva a los objetivos de la educación científica en el contexto de una clase escolar en entornos naturales. La participación en actividades de investigación con animales cercanos ya era promovida por los pedagogos de principios de siglo xx, por ejemplo, el caso de Margarita Comas que recomendaba el estudio y la captura de artrópodos como un objetivo frecuente de las excursiones.

Por otro lado, recientes investigaciones en didáctica⁴¹¹ muestran el lado afectivo que generan ciertos animales como las aves, mariposas, abejas y erizos, que genera un aumento significativo en el interés, el conocimiento, la motivación, el comportamiento y la actitud de los alumnos hacia diversas cuestiones científicas.

Los proyectos de biodiversidad en ciencia ciudadana fomentan la concienciación, modifican actitudes y, en consecuencia, pueden influir en el comportamiento, por lo que contribuyen al cumplimiento de los objetivos de la Estrategia de Biodiversidad de la UE 2020.

⁴¹¹ Julia Kelemen-Finan, Martin Scheuch y Silvia Winter, «Contributions from citizen science to science education: an examination of a biodiversity citizen science project with school in Central Europe», *International Journal of Science Education* 40, n.º 17 (2018): 2078-2098.