

LA EVOLUCIÓN ECOLÓGICA

ANICETO LÓPEZ FERNÁNDEZ
ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

Trabajo de Presentación como Académico Correspondiente, adscrito a la Sección de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de la Real Academia de Córdoba.

Excmo. Sr. Director de la Real Academia, Rector Magnífico de la Universidad de Córdoba, Dignísimas Autoridades, Ilustre Cuerpo Académico, querida familia, queridos amigos, Señoras y Señores:

Representa un verdadero honor para mí el dirigirme hoy a todos ustedes desde esta tribuna, casi bicentenaria, para dictar mi Trabajo de Presentación como Académico Correspondiente adscrito a la Sección de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de esta Real Casa, y quiero comenzar mostrando mi agradecimiento a los Académicos que me propusieron para ocupar esta plaza: D. Antonio Arjona Castro, D. José Roldán Cañas y D^a María José Porro Herrera, por la confianza que en mi persona han depositado, a la vez hago extensiva mi gratitud al resto del Cuerpo Académico que con sus votos avalaron unánimemente esta propuesta en la Sesión celebrada el 17 de Enero del presente año. Está en mi ánimo, como he venido haciendo desde que fuese nombrado en 2006 Correspondiente por Fuengirola, el aportar modestamente, ahora si cabe con renovado estímulo, todo lo que esté en mi mano para contribuir al engrandecimiento de esta longeva Institución. No regatearé esfuerzos para conseguir este objetivo y espero no defraudar en las expectativas que de mí se esperan.

RESUMEN

En este trabajo se exponen la sucesión de acontecimientos más relevantes que dieron lugar al nacimiento de la Ecología como disciplina científica independiente en la segunda mitad del siglo XIX, así como su evolución posterior hasta ser entendida en la actualidad como Ciencia de los Ecosistemas.

ABSTRACT

This paper presents a succession of events which are important because they caused the start of Ecology as a scientific discipline independent in the second half of the nineteenth century, as well as its later evolution until being known today as the Ecosystem's Science.

La Ecología es una ciencia cuyo nacimiento como disciplina científica es muy reciente en el tiempo, ya que hay que situarlo en la segunda mitad del siglo XIX en

un ambiente dominado por el surgir de nuevas ideas. Con cierta ironía, por los años 20 del pasado siglo, Elton comentaba que la Ecología "es el nombre nuevo de algo muy antiguo". De hecho debemos pensar que el hombre primitivo debió tener ciertos conocimientos, que hoy denominaríamos ecológicos, para sobrevivir en un ambiente tan hostil como el de aquellos tiempos prehistóricos. La aparición en el neolítico de la agricultura y la ganadería contribuyó, sin duda, al aprendizaje de cuestiones ecológicas. Las raíces de la Ecología se hunden en la Historia Natural que es tan vieja como la propia historia de la humanidad.

Los antiguos griegos ya manifestaron vivo interés por la observación científica y se mostraban contrarios a que las especies se hubiesen creado tal y como las veían, a la vez que exponían que no eran fijas ni inamovibles. Heráclito de Éfeso en el siglo V a. de C. consideraba que el fundamento de todo está en el perpetuo cambio y transformación. Por su parte, Empédocles de Agrigento, en ese mismo siglo, estudió plantas y animales y expuso curiosos planteamientos como el de la precedencia de las plantas a los animales siguiendo una serie evolutiva de los organismos. Poco después, Aristóteles (384-322 a. de C.) dio nombre a un gran número de seres vivos y distinguió entre plantas con flores y sin flores, así como entre animales con sangre y sin sangre, estableciendo diversos subgrupos entre ellos. Propuso también la teoría de la generación espontánea para explicar el origen de la vida, tras sus observaciones que le sugerían que ciertas formas de vida, como los gusanos y renacuajos, surgían del barro, al igual que las moscas surgían de la carne descompuesta. El concepto de "Ecología Providencial", según el cual la naturaleza está diseñada para beneficiar y preservar a cada especie, ya estuvo implícito en las obras de Herodoto (484-425 a de C.) y Platón (428-347 a. de C.). La armonía de la naturaleza era un principio básico para los griegos con el que a cada especie se le reconocía un lugar especial en la misma.

Ciertas convicciones erróneas aristotélicas, unidas a la interpretación literal del Génesis, perduraron durante muchos siglos, hasta el Renacimiento, cuando la difusión de los principios de la metodología científica contribuyeron en gran medida a la especialización y subsiguiente aparición de nuevas ramas del saber. El nuevo interés por los estudios de Historia Natural y, sobre todo, por las poblaciones humanas constituyó un importante foco de ideas ecológicas. En efecto, Graunt describió en términos cuantitativos la población humana, concluyendo que era bastante inferior a la que cabría esperar tras una natalidad incontrolada durante siglos, por lo que muchos otros factores debían actuar en la limitación de su tamaño.

En el siglo XVII surgió el tema de las fechas que se proponían para la creación del mundo. El Dr. John Lightfoot, vicerrector de la Universidad de Cambridge, proponía en 1642 que la creación tuvo lugar a las 9 de la mañana del domingo 12 de Septiembre, proponiendo dos años más tarde el año de 3928 a. de C. para ese suceso. Por su parte, en 1650 James Ussher (1581-1656), arzobispo anglicano de Irlanda, publicaba sus cálculos que fijaban la creación del mundo la noche precedente al domingo 23 de Octubre de 4004 a. de C. A la sazón un contemporáneo de Ussher, Joseph Justus Scaligero, proponía el año de 3949 a. de C. Como comprobamos las fechas varían poco entre sí porque se basan en una metodología similar a la hora de calcular acontecimientos clave en el relato bíblico, y además por aquella época estaba extendida la creencia de que la vida de la Tierra era de 6000 años (cuatro mil de ellos antes de Cristo), interpretación extraída del texto bíblico.

No obstante, la milenaria teoría de la generación espontánea aristotélica aún en el siglo XVII encontró defensores, como el químico, físico y médico flamenco Jan Baptista van Helmont (1577-1644), observador y experimentador cuidadoso, entre

otras, en cuestiones relativas al crecimiento de las plantas. Pero las experiencias del italiano Francesco Redi demostrando que no salían insectos de la carne podrida si los recipientes que la contienen están suficientemente aislados como para que no penetren los adultos a depositar huevos, las de Lázaro Spallanzani (1729- 1799) que fue profesor de Historia Natural en la Universidad de Pavía, y famoso por sus estudios sobre infusorios y la reproducción de anfibios, y más recientemente las de Louis Pasteur (1822-1895), el insigne químico y biólogo francés, que demostró en sus matraces de cuello de cisne que no había crecimiento bacteriano en el caldo de cultivo esterilizado, dieron definitivamente al traste con la generación espontánea, de la que Pasteur afirmó en 1862 que “era una quimera”.

El siglo XVIII, el siglo de la Ilustración cuya finalidad era la de disipar las tinieblas de la humanidad mediante las luces de la razón, marcó un hito en el desarrollo intelectual que afectó también a cuestiones que más tarde se llamarían ecológicas. Fue particularmente prolífico el año de 1707, cuando nacen personajes importantísimos, para varias ramas del saber, que aportarían un bagaje de conocimientos muchos de los cuales han perdurado hasta la actualidad. Me refiero a Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), al músico alemán Johann Heinrich Bach (1707-1783), al prolífico matemático, precursor de la Ecología matemática, Leonhard Euler (1707-1783), al novelista y dramaturgo inglés Henry Fielding (1707-1754), al dramaturgo italiano Carlo Goldoni (1707-1793), al rey Luis I de España (1707-1724) que gobernó menos de un año, al franciscano y músico Padre Martini (Giovanni Battista Martini, 1707-1784) y, como no, al sueco Carl von Linné (1707- 1778). Me voy a referir brevemente al primero y al último de los citados, dos figuras señeras en la aportación de conocimientos para la ciencia que nos ocupa, y lo haré confrontando sus ideas que no compartían.

El conde de Buffon fue un naturalista viajero, como más tarde serían Alexander von Humboldt (1769-1859) y el propio Charles Darwin (1809-1882), que contribuyó a ensanchar los conocimientos de la ciencia ecológica a través de la realización de estudios comparados entre el Viejo Mundo y el Nuevo. No obstante, tuvo algunas ideas que generaron gran controversia como la Teoría de la Degeneración Americana que ofendió a muchos, por considerar que América (del Norte) tenía un estado de evolución retardado, tanto en lo referente a flora como a fauna, (decía que los mamíferos eran menos diversos y más pequeños debido a que el calor fue mucho menor en esa parte del mundo, según su hipótesis de la formación del Planeta) e incluso esto afectaba al propio hombre indígena. Topó también con la Iglesia al retrasar la formación del Mundo hasta los 50000 y después hasta los 75000 años. No obstante, su obra *Historia Natural, General y Particular*, que escribió entre 1749 y el año de su muerte en 1788, de 36 volúmenes más otros ocho que fueron recopilados póstumamente, tuvo una grandísima repercusión, por lo que llegó a ser el naturalista y biólogo más influyente de su época. Buffon era un vitalista que postulaba la existencia de una fuerza o impulso vital sin los que la vida podría ser explicada. Linné, sin embargo, era creacionista, es decir, sostenía que la Tierra y los seres vivos actuales habían sido creados por Dios según narra el Génesis. Linné es el padre de la Botánica sistemática. Relacionó la distribución de las plantas con el ambiente en el que viven y advirtió de las diferencias de la composición florística para áreas de igual latitud. Puso a punto la nomenclatura binomial en su obra *Sistema Naturae* (1735) para identificar con precisión las especies animales y vegetales, lo que evita la imprecisión de los nombres vernáculos. Agrupó los géneros en familias, éstas en órdenes, clases y reinos. Para señalar a la hembra de una especie usó el símbolo del espejo de Venus y para el macho el escudo y la lanza de Marte, avances que han dado uniformidad desde entonces a los trabajos científicos.

Desde mediados del siglo XVIII España sirvió de marco para el estudio natural. Fueron viajeros extranjeros los que dejaron impresos sus trabajos naturalistas incluso hasta llegar al siglo XX. Mención especial merece el irlandés Guillermo Bowles (1714-1780) que vino a España por intervención de D. Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral (Sevilla 1716, Isla del León –actual San Fernando- Cádiz 1795), marino que participase en la expedición francesa para medir el valor de un grado de arco meridiano en Quito. Bowles realizó para Carlos III la primera descripción física de España, cargada de observaciones sobre especies vegetales y animales y de notas biogeográficas (BOWLES, 1782).

Hacia finales del siglo de las Luces encontramos más contribuciones sobre demografía humana. El economista británico Thomas Robert Malthus (1766-1834) publica en 1798 su polémica obra "*Essay on Population*" sobre el crecimiento y regulación de las poblaciones, donde propone que aquél en última instancia quedaría limitado por la producción de alimentos, porque mientras que éstos aumentan en progresión aritmética, la población lo hace en progresión geométrica.

El siglo XIX comienza con la incorporación de una nueva perspectiva ecológica como es, en el campo de las interrelaciones organismos-ambiente, el estudio de la variación de la vegetación utilizando transectos altitudinales, lo que llevó a cabo el botánico español Simón de Rojas Clemente (RIVAS MARTÍNEZ, 1985), en Sierra Nevada desde el Mulhacén a la playa de Castell de Ferro en 1804. Sin embargo, a pesar de su anticipación y el carácter innovador de sus trabajos éstos quedaron inéditos en una España sacudida por las guerras. La medalla innovadora en el campo de la descripción paisajística y de los gradientes altitudinales de la vegetación fue para Alexander von Humboldt que se anticipó en la publicación de los trabajos de su expedición americana, (HUMBOLDT, 1805; HUMBOLDT y BONPLAND, 1807, 1817), comenzada al embarcarse en La Coruña en 1799, y finalizándola en Burdeos el 1 de agosto de 1804.

En 1809 el naturalista francés Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), cuya primera obra fue *Flora Francesa*, publicada en 1778 y en la que por vez primera se emplearon las claves dicotómicas para la identificación de las especies, dio a conocer su teoría explicativa de la evolución en el libro *Filosofía Zoológica*. Pensaba que las especies pasaban de unas a otras, es decir, que no se crearon una a una sino que descendían unas de otras, siguiendo la pauta de que la necesidad crea al órgano, el uso lo refuerza y el desuso lo atrofia. Además, el carácter adquirido se transmitiría a las generaciones sucesivas. El Lamarckismo dominó en muchos ambientes durante gran parte del siglo XIX, hasta que el desarrollo de la genética mendeliana lo refutó.

Por este tiempo el biólogo y geólogo francés Georges Cuvier (1769-1832), creador de la anatomía comparada y de la paleontología, discutía los puntos de vista de Lamarck sobre la evolución. Él concibió que la historia de la Tierra había sido perturbada por sucesivas revoluciones y diversas catástrofes que habrían producido la extinción de las especies y su sustitución por otras. Desde la perspectiva catastrofista no necesitaba una edad de la Tierra excesivamente larga, por lo que abogaba por los 6000 años de antigüedad. Estas ideas lo enfrentaron tácitamente con el geólogo británico Charles Lyell (1797-1875), autor de *Principios de Geología* publicada entre 1830 y 1833. Lyell defendía el uniformismo y el gradualismo geológico, según el cual la Tierra se habría formado en períodos muy largos de tiempo, millones de años, regidos por las mismas fuerzas físicas que las que operan hoy en los fenómenos geológicos.

El interés por los aspectos matemáticos de la demografía creció después de Malthus. En la primera mitad del siglo XIX hay que destacar las aportaciones del matemático belga Adolphe Quételet (1796-1874), que en 1835 sugirió que existía una resistencia

que compensaba la capacidad de crecimiento geométrico de las poblaciones, que sería plasmada más tarde por su discípulo Pierre François Verhulst (1804-1849) en 1838 cuando descubrió la ecuación que describía el crecimiento logístico.

A mediados de este siglo los estudios botánicos integrados se desarrollan de manera independiente a los zoológicos, sobre todo en el medio terrestre. La disponibilidad de instrumentación adecuada contribuyó a desgranar los grandes conceptos de clima y suelo. En 1854 Kerner examinó la influencia del clima y del suelo en la distribución de los vegetales y De Candolle (1855) propuso una división de la vegetación del Planeta en regiones. Los avances en edafología vinieron de campos aplicados, tanto agrícolas como forestales, y constituyeron un complemento más para el estudio de la vegetación. Dokuchaiev (1846-1903) fue el primero en concebir el suelo como una entidad viva, destacando en el estudio de sus caracteres y los factores geográficos que sobre él inciden.

También, mediado ese siglo, aparece la obra del que es considerado como el último gran sabio de cultura enciclopédica Humboldt con su obra: *Cosmos ó Ensayo de una Descripción Física del Mundo* (HUMBOLDT, 1851-52) donde deja impreso todo su saber científico y donde marca hacia donde debe dirigirse el conocimiento ecológico: *la ciencia de la Naturaleza no es una árida acumulación de hechos aislados, ni puede ser limitada por los estrechos términos de la certidumbre matemática, antes bien debe elevarse a miras generales y concepciones sintéticas.* (Cosmos p. 251).

Esta premonición de Humboldt no tardaría en hacerse efectiva. En efecto, el mismo año en que Humboldt muere, Carlos Darwin publica *El origen de las Especies* (DARWIN, 1859), donde explica el proceso temporal que cambia las especies –evolución– y su mecanismo intrínseco por medio de las interrelaciones entre los organismos y con el ambiente: ya estamos ante un planteamiento plenamente ecológico. Además Darwin publicó otros trabajos puramente ecológicos como *The Structure and Distribution of Coral Reefs* (DARWIN, 1842) ó *The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on their Habits* (DARWIN, 1881), entre otros.

Sólo faltaba el nombre para designar esta concepción integradora de la naturaleza y se lo dio el biólogo alemán Ernst Heinrich Haeckel (1834-1919), que acuña la voz Ecología (HAECKEL, 1868) - que ya fuese usada con anterioridad por Henry David Thoreau, en 1858, pero sin precisarla – y la definió como *la ciencia de las relaciones del organismo con el medio, que comprende en sentido amplio todas las circunstancias de la vida.* Con posterioridad ofrecerá otras definiciones. Haeckel eligió para titular esta ciencia la palabra griega *Oikos*, que significa casa, y tiene la misma raíz que economía. En sentido estricto ecología significa *la ciencia de la casa*, del lugar donde uno vive y se desenvuelve.

El definir una ciencia y darle nombre no suele suceder hasta que no se cuenta con un cuerpo sistematizado de conocimientos, y a veces ocurre que la persona que da nombre a tal o cual ciencia no es un cultivador de esos conocimientos. A Haeckel le sucedía esto, no trabajaba en el ámbito de la ecología, era más bien zoólogo que investigaba sobre el desarrollo embrionario y defendió la teoría de que los animales presentan un desarrollo embrionario común. Así lo expresaba en su obra *El Origen de la Vida*, publicada en 1874, tesis que llamó mucho la atención en el mundo científico de la época.

Haeckel conocía bien la obra que Darwin escribió, tras 20 años de gestación, fruto de su periplo alrededor del mundo en el H. M. S. Beagle, bergantín que al mando del capitán Fitz Roy, zarpó de Plymouth el 27 de Diciembre de 1831 regresando a Inglaterra en 1836, tras cinco años de expedición, y él fue un entusiasta propagador de las ideas que se expresaban en esa obra.

Darwin sopesó mucho la conveniencia o no de publicar sus trabajos, en los que incidió la influencia de Malthus sobre el crecimiento poblacional, la obra *Relato Íntimo* de Humboldt, los *Principios de Geología* de Lyell, que leyó en el Beagle, o la *Introducción al estudio de la filosofía natural* de Herschell, que le suscitaron el deseo de contribuir a la noble estructura de la ciencia natural. Al final se debió dar prisa en hacerlo. En 1858 recibe un ensayo desde Indonesia del joven naturalista, que fuese pionero de la zoogeografía basada en la evolución, Alfred Russell Wallace, titulado: *Sobre la tendencia de las variedades a apartarse indefinidamente del tipo original*, estudio que le dejó sorprendido porque contenía una teoría igual a la suya. Se comprueba con este hecho, una vez más, que cuando los conocimientos han llegado a un determinado nivel, cuando están suficientemente maduros, en seguida surge alguien que sube de nuevo el listón, que avanza un peldaño más en la escalera del conocimiento, y que si no es uno será otro el que solucione interrogantes que a la vez servirán para plantear nuevos retos a la ciencia.

Darwin decidió entonces mandar a la imprenta un resumen de su propio trabajo junto al ensayo de Wallace. Refiriéndose al resultado de la publicación Darwin comentó lo siguiente: *Nuestros trabajos combinados recibieron muy escasa atención y la única mención que se publicó al respecto fue la del profesor Haughton de Dublín, cuyo veredicto fue "que todo lo que había de nuevo en esa publicación era falso y lo que había de cierto era viejo"*. Nada que ver con el revuelo que al año siguiente causó la aparición definitiva de su Libro, que se agotó el mismo día de su puesta a la venta el 24 de Noviembre de 1859, del que él mismo afirmaba: *"es, sin duda, la obra más importante de mi vida"*. Aquí pronostica que las especies no son inmutables, sino que descienden unas de otras y que el motor de esa evolución es la selección natural o la supervivencia del mejor adaptado, que es el que obtiene los recursos limitados del medio que le permiten perpetuarse mejor que los menos afortunados, es decir, los menos adaptados.

Estas cuestiones suscitaron fuertes críticas en ciertos ámbitos científicos y también en la Iglesia Anglicana, opuesta a la interpretación liberal de la Biblia. Darwin no quiso participar de forma directa en estas polémicas y dejó al antropólogo británico Thomas Henry Huxley, a la sazón Presidente de la *Royal Society* de Londres, la defensa pública de su teoría de la evolución. Con Darwin y Wallace quedó definitivamente relegada la "Ecología Providencial".

Después del momento fundacional de la ecología ve la luz una obra que es considerada por muchos la que marca el verdadero inicio de esta ciencia. Se trata de un estudio del que fue profesor de zoología de la universidad Humboldt de Berlín, Karl August Möbius (1825-1908), sobre un banco de ostras, donde introduce el concepto de "biocenosis" para designar al conjunto de organismos vegetales y animales que habitan en un lugar (Möbius, 1877). Este nuevo término incluía una cantidad considerable de elementos funcionales e incluso una parte del ambiente físico-químico, que se llamaría después "biotopo", un término introducido por Dahl en 1908 para designar el espacio físico que ocupa la biocenosis. Otra obra que contribuyó a engranar la nueva disciplina fue la del botánico danés Eugene Warming (1841-1924) sobre geografía vegetal (WARMING, 1895), donde ya se utiliza la palabra ecología, formaliza una teoría ecológica e induce un cambio en el concepto que hasta entonces se tenía de "medio", al advertir la necesidad de ampliar el ambiente físico-químico con el biótico. La obra de F. W. Schimper *Pflanzengeographie auf der Physiologischen Grundlage* es otro texto clásico que aparece en 1898.

Los botánicos prefirieron hablar de "asociación", un concepto ligado a la frecuente

aparición conjunta de ciertas especies, de honda significación funcional desde su origen. En este sentido BRAUN-BLANQUET (1928) formó el cuerpo de doctrina de la Fitosociología, dando predominancia al análisis florístico total y a la distinción de especies características como criterio esencial de la asociación. Paralelamente al movimiento fitosociológico, en otros campos van surgiendo elementos funcionales relacionados sobre todo con el estudio de la sucesión. Los pioneros trabajos en las dunas del lago Michigan (COWLES, 1899), y de CLEMENTS (1916), destacan en esta línea.

Los estudios sobre medios acuáticos también experimentaron la positiva incidencia del desarrollo de técnicas adecuadas de prospección y análisis. En el campo de la oceanografía destacaron Edward Forbes (1815-1854) que describió, en 1844, la distribución de los organismos en las costas británicas y en parte del Mediterráneo reconociendo el aspecto dinámico de la interrelación entre éstos y su ambiente, y Alexander Agassiz (1835-1910), ambos sentaron las bases de la moderna biología marina con enfoque ecológico. La expedición del *Challenger* entre 1872 y 1876 propició el trabajo conjunto de científicos de distintas especialidades y fue decisiva en el progreso de la ecología marina. Son históricas las obras de John Murray (1841-1914), expedicionario del *Challenger*, y J. Hjort que escriben *The Depths of the Ocean*, en 1812, y *The Ocean* de Harold U. Sverdrup (1888-1957).

Aunque oceanógrafos y limnólogos siguieron un camino un tanto independiente, la Limnología se aprovechó de los avances técnicos surgidos con anterioridad, como el microscopio de Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), el termómetro de alcohol que construyera hacia 1730 el físico y naturalista francés René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), y de la exploración del mar. Así la Limnología alcanzó pronto un grado importante de madurez ecológica, por ocuparse de un medio muy favorable para llevar a cabo la síntesis ecológica. Simony, ya en 1850, reconoce la estratificación periódica de los lagos. Posteriormente S. A. Forbes publica su clásico artículo *The lake as a microcosm* (FORBES, 1887) y F. A. Forel, considerado como el padre de la Limnología, su monografía sobre el lago Lemán (FOREL, 1892-1904) con enfoque claramente sintético, marcando así el inicio de la Limnología moderna, que se enriquecerá con figuras eminentes como Naumann (1891-1934) y Thienemann (1882-1960) en Europa, y con Birge (1851-1950) y Juday (1871-1944) en Norteamérica, y más recientemente con G. Evelyn Hutchinson (1903-1991), (HUTCHINSON, 1957/67/75/93), un hombre de extensísima cultura de quien derivaron multitud de discípulos, y Ramón Margalef López (1919-2004), (MARGALEF, 1983), quien ha dado un impulso definitivo a la Limnología española.

Con el transcurrir del tiempo se va logrando cada vez mayor integración. El estudio conjunto de plantas y animales condujo a la apreciación de que invariablemente ambos se entrecruzan con el ambiente físico, de tal forma que constituyen con él un complejo que por fuerza es necesario estudiar como un todo. Para expresar esta idea, que ya estaba patente en el "microcosmo" de Forbes y en la "biocenosis" de Möbius, se propusieron los nombres de "holoceno" (Friederich), "naturcomplex" (Markus), "biogeocenosis" (Sukatshev), "cuerpo bioinerte" (Vernadsky) o "biosistema" (Thienemann). Sin embargo, prosperó el término acuñado por Sir Arthur George Tansley (1871-1955), quien expresó admirablemente aquella noción sintética entre los componentes bióticos y abióticos, proponiendo el nombre de "ecosistema" para esa unidad básica de la naturaleza (TANSLEY, 1935). Señaló además que tales ecosistemas eran de muy diverso tipo y tamaño y que constituyen una categoría de los sistemas físicos del universo, sentando así gran parte de las bases de la Ecología tal como hoy la concebimos.

El desarrollo posterior de la Ecología se ve favorecido por la difusión de las técnicas informáticas, del análisis de sistemas y la investigación operativa, además de por la incorporación de nuevos elementos funcionales que vienen a completar el esquema del ecosistema, como son los relativos a la circulación de la materia, producción y flujo energético.

Desde que Liebig en 1840 precisara la necesidad de la devolución completa de los elementos minerales, han sido muchas las aportaciones relativas al conocimiento de los ciclos biogeoquímicos que han favorecido la comprensión de las interrelaciones entre los subsistemas terrestre, acuático y atmosférico.

El estudio de la producción ecológica comenzó estando relacionado con problemas agrícolas. Desde que Mayer en 1845 informase de la fijación de energía en forma química por las plantas, quedaron sentadas las bases del flujo energético de los ecosistemas. Con posterioridad se descubren procedimientos para medirlo, como el de Edgar Nelson Transeau (1875-1960), primero, en 1926, en medir la respiración de las plantas a través del anhídrido carbónico y en calcular la eficiencia de transformación en glucosa. Otros métodos se basan en el oxígeno (GAARDER y GRAN, 1927) ó en el carbono radioactivo, empezado a utilizar durante la expedición del "Galathea" (STEEMANN-NIELSEN, 1951,1952). Paralelamente se desarrollan técnicas sobre el análisis de las clorofilas, que permitieron un mejor conocimiento de la biomasa, productividad y estructura de las comunidades acuáticas (MARGALEF, 1953a; 1963a).

Las contribuciones, sobre todo de LINDEMAN (1942), ayudan a la fijación de los conceptos de producción y productividad y a entender el paso de la energía por el ecosistema. Más tarde crece el interés, incluso desde el punto de vista teórico, por las implicaciones estructurales y dinámicas (SLOBODKIN, 1954; MacARTHUR, 1955; ODUM, 1957; MARGALEF, 1968; etc.).

Los procesos de descomposición y la intervención bacteriana en el reciclado de los elementos son asuntos que más recientemente han sido estudiados por los ecólogos. Por ejemplo, en Andalucía destacamos los realizados en embalses por Julia Toja (TOJA, 1980), o por CANTERAS (1981) y por nosotros mismos en el río Guadalquivir (LÓPEZ y ANCHÍA, 1988)

Debemos significar también el papel jugado por las cuestiones de carácter práctico en el desarrollo de la ecología moderna. En efecto, hasta finales de los años 60 del pasado siglo la Ecología no empezó a ser considerada como una ciencia importante. Sin embargo, la creciente preocupación de la sociedad por los incesantes incrementos de la población humana, las alteraciones producidas por metales pesados, pesticidas y otros contaminantes, la problemática de la eutrofización de las aguas epicontinentales, las especies foráneas que están colonizando numerosos ecosistemas, la reducción de biodiversidad, el cambio climático, y otras formas de presión humana sobre los recursos y el medio ambiente, han contribuido a sentir la necesidad de una ciencia como la Ecología, cuyo objeto de estudio fuese superior al nivel de organismo y que recurriera a enfoques globales cuando haya necesidad de solucionar problemas de índole práctico. De hecho ha calado tanto en la sociedad que hoy día se abusa del término "ecológico". Hoy todo es ecológico: coches, casas, cultivos, etc. como si se quisiera distinguir a un producto simplemente por colgarle esa etiqueta.

En definitiva, el desarrollo histórico de la Ecología no ha seguido una secuencia lineal de pensamiento. Su historia no ha recorrido el camino común de otras ciencias -la tendencia al análisis, a circunscribir su temática y luego dividirla- sino que por el contrario, su origen ha sido múltiple, ligado a la evolución paralela de una serie de líneas científicas y temáticas con frecuencia dispares, por lo que ha conseguido ser una

disciplina autónoma tras un considerable esfuerzo de abstracción. Tradicionalmente estas líneas de pensamiento se pueden esquematizar así:

1.- Ecología de los factores ambientales, Mesología o ecología del ambiente físico-químico.

2.- Ecología de poblaciones o Demografía.

3.- Ecología de las comunidades o biocenosis (Biocenología).

4.- Ecología de los sistemas.

Esta cuarta dirección doctrinal es la que ha servido para dar cohesión o unificar las anteriores por medio de la consideración de los sistemas ecológicos.

La Mesología pretende explicar las relaciones que existen entre los organismos y los factores físico-químico-biológicos del ambiente o medio en el que viven. Para nosotros "medio" y "ambiente" son dos términos que tienen el mismo significado, por lo que nos parece una redundancia el decir "medio ambiente". Lo que ha sucedido es que indebidamente se ha popularizado y, aunque a regañadientes, puede ser hoy aceptado. Un individuo (Fotografía 1), se caracteriza por su anatomofisiología, su biomasa, metabolismo, crecimiento y desarrollo, su forma de reproducción, irritabilidad o capacidad de respuesta ante un estímulo, sensibilidad o facultad de percibir por medio de los sentidos sensaciones o impresiones del medio externo o interno, por sus ritmos biológicos y por su comportamiento o características etológicas, que lógicamente son más patentes en el reino animal.

La demografía, -fijémonos en la imagen (Fotografía 2) que nos muestra un cultivo de olivos en la falda de la sierra Gallinera, en Rute-, se encarga del estudio de las poblaciones, es decir, del conjunto de individuos de la misma especie que habitan en un lugar determinado. Se estudian cuestiones como la densidad o número de individuos por unidad de superficie o volumen, las tasas de natalidad y mortalidad, los modelos de crecimiento, la competencia intraespecífica, la estructura o distribución espacial de los individuos, etc.

Esta imagen (Fotografía 3) de unos castaños, quejigos, encinas, pinos, junto a lo que no se ve, -fauna, organismos del suelo, etc.-, nos sirve para introducirnos en la biocenosis o comunidad que estudia el sistema biológico formado por el conjunto de poblaciones que viven en un espacio determinado que se denomina "biotopo", que designa el espacio que ocupa la biocenosis. Los atributos de la comunidad son: su densidad, frecuencia, diversidad, -que hace referencia al número de especies y a la distribución de los individuos en ellas-, estructura o distribución de los organismos en el espacio, dinámica temporal o sucesión, organización definida en niveles tróficos, desde los productores u organismos fotosintéticos a los más altos niveles de consumidores, una competencia interespecífica, etc.

En cuanto a la ecología de sistemas, aquí vemos la fotografía de un ecosistema típico, como es un lago (Fotografía 4), en este caso el lago de Zóñar en Aguilar de la Frontera, hay que decir que la comunidad y el biotopo constituyen un conjunto indisoluble que, actuando el uno sobre el otro, forman un sistema más o menos estable que recibe el nombre de "sistema ecológico" o "ecosistema".

Hasta tal punto caló la idea de ecosistema, que hoy día se define a la Ecología como la "*Biología de los ecosistemas*" según Ramón Margalef López, catedrático de Ecología de la Universidad de Barcelona desde 1963 a 1987 y máximo exponente de la Ecología a nivel mundial, con una extensísima obra bibliográfica, (entre la que destacamos, además de las anteriormente citadas, a : MARGALEF, 1957b, 1962, 1963b, 1967, 1973, 1974,

1980, 1991, 1999, 2001 y 2006); también como “*ciencia de los ecosistemas*” según Fernando González Bernáldez (1933-1992), impulsor de la Ecología del paisaje, que fue catedrático de Ecología desde 1970 en la Universidad de Sevilla y más tarde en la Autónoma de Madrid, con obras señeras como GONZÁLEZ (1985, 1992). Ambos como comprobamos, ecólogos españoles recientemente desaparecidos. La tercera cátedra de Ecología fue ocupada en 1976 por el profesor Francisco García Novo en Santiago de Compostela y después en Sevilla. García Novo ha seguido los pasos de Margalef que fue nombrado en 1974 Académico Correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, siendo él nombrado Académico de Número en 2007 (GARCÍA NOVO, 2007).

Insisto en que el ecosistema comprende a la vez los seres vivos y el medio en el que viven, incluyendo todas las interacciones recíprocas entre los factores ambientales y los organismos. El ecosistema presenta una cierta homogeneidad y unos límites definidos que son fijados por el ecólogo según su conveniencia.

Desde un punto de vista funcional, en el ecosistema hemos de considerar el flujo de energía, las redes alimentarias, la diversidad espacial y temporal, los ciclos biogeoquímicos y la sucesión.

El ecosistema es un sistema cibernético integrado por elementos que mantienen relaciones recíprocas, que constituyen circuitos recurrentes, ya sean negativos o estabilizadores o bien positivos y por tanto desestabilizadores. Es decir, funciona como un mecanismo Feed-Back o de retroalimentación. Así, está dotado de poder autoorganizativo, en el que se produce la sustitución automática de un estado por otro, que permita igual o mejor persistencia de la organización, con el mismo o menor flujo de energía.

Desde un punto de vista termodinámico, el ecosistema es un sistema exportador de entropía, es decir, se trata de un sistema abierto y relativamente estable en el tiempo.

El sol y el espacio sideral constituyen los dos depósitos anisotérmicos que requiere la realización continua de trabajo, una parte del cual se invierte en la construcción de estructuras ordenadas a partir de otras más sencillas. Ello se conjuga con los procesos de disipación, intrínsecos a la distribución al azar de la energía, que actúan degradando las estructuras biológicas, lo que origina una tensión entre la construcción fotosintética y la degradación calorífica que, en definitiva, rige los grandes ciclos ecológicos y el funcionamiento de la biosfera.

A tenor de lo expuesto, según refleja el siguiente esquema (Esquema 1), resulta acomodado considerar el conocimiento actual de la ecología, encuadrado en un orden lógico basado en un esquema de clasificación jerárquica de la materia, que ya pusiera de manifiesto el biólogo austriaco Karl Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) en su obra “*An outline of a general system theory*” (BERTALANFFY, 1950) y que comprende desde el átomo en un extremo de la escala, a la consideración del universo entero en el otro.

Es bien conocido que los electrones y otras partículas subatómicas se organizan en átomos, los átomos en moléculas, éstas en compuestos químicos que dan lugar siguiendo la vía orgánica a células, las células forman tejidos, los tejidos órganos y los órganos individuos que marcan el comienzo del ámbito ecológico. Los individuos se organizan en poblaciones, éstas en comunidades y las comunidades en ecosistemas, cuyo conjunto forma la biosfera, constituyendo esta última serie, que señalamos en rojo en el esquema, el campo de actuación ecológico.

En definitiva, como quiero expresar en la siguiente imagen (Esquema 2), la naturaleza está organizada de manera jerárquica, donde cada nivel de organización posee una serie

de propiedades emergentes o atributos a los que nos hemos referido con anterioridad.

Cada uno de estos niveles está formado por elementos del sistema inmediato inferior, aunque muestra nuevas regularidades particulares, específicas y cada vez de mayor complejidad, inherentes a su propio nivel. Es una aproximación holística, donde el sistema completo se comporta de modo diferente a la suma de las partes que lo integran.

El ecólogo que trabaje sobre un nivel particular deberá buscar los mecanismos explicativos en niveles inferiores y el significado biológico en los superiores, al igual que sucede, cambiando los términos, con muchas instituciones. No es similar el conocimiento científico que tenemos de cada uno de los niveles: va decreciendo a medida que nos acercamos a los de rango superior, que son los de mayor complejidad, a lo que se une el inconveniente de la imposibilidad de operar con ellos en el laboratorio.

La correcta interpretación del funcionamiento de la Naturaleza nos da el ejemplo, el rumbo a seguir, para muchas cuestiones de índole personal en la vida. En las películas hay actores principales y secundarios. Nosotros debemos vivir nuestras vidas como actores protagonistas, debemos ser protagonistas de nuestra vida, aún a sabiendas de que a la naturaleza poco le interesa el individuo temporal, inclinándose por la especie y la función que debe desempeñar en cada momento en la Naturaleza, incluso permite que especies diferentes cumplan con el mismo trabajo en lugares distintos.

Sirva este trabajo de homenaje para todos aquellos investigadores que aprendieron a lo largo de su vida a descifrar pequeños detalles del funcionamiento de la naturaleza y a otros que supieron buscar y encontrar leyes más generales. Todos han contribuido al engrandecimiento de una ciencia, que necesita de una gente tan dispar e independiente, tan multidisciplinar, como la Ecología, una disciplina que nos ayuda a comprender y a aprender del pasado, a la vez que es capaz de preparar el futuro que queremos para nuestro Planeta.

BIBLIOGRAFÍA

BERTALANFFY, von L. (1950). "An Outline of a General System Theory". *British Journal for the Philosophy of Science* 1: 139-164.

BOWLES, G. (1782). *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Tercera Edición 1789. Imprenta Real. Madrid. 554 pp.

BRAUN BLANQUET, J. (1928). *Pflanzensociologie. Grundlage der Vegetationskunde*. Springer Verlag. Viena.

CLEMENTS, F. E. (1916). *Plant Succession*. Carnegie Institution. 242. Washington.

COWLES, H. C. (1899). *The Ecological Relation of the Vegetation the Sand Dunes of Lake Michigan*. The University Press, Chicago.

DARWIN, Ch. R. (1842). *The Structure and Distribution of Coral Reefs. Being the First Part of the Geology of the Voyage of the Beagle*. London.

DARWIN, Ch. R. (1859). *The Origin of Species by means of Natural Selection*. London.

DARWIN, Ch. R. (1881). *The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on their Habits*. London.

FORBES, S. A. (1887). "The lake as a microcosm". *Bull. Peoria Scient. Ass.*:77-87.

FOREL, F. A. (1892-1904). *Le Leman*. F. Rouge. Lausana.

GAARDER, T. and GRAN, H. H. (1927). Investigations of the production of

plankton in the Islo Fjord. *Rapp. Cons. Explor. Mer* 42: 24-29.

GARCÍA NOVO, F. (2007). *La Diversidad Ecológica*. Discurso de Ingreso como Académico Numerario en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Contestación del Excmo. Sr. D. Emiliano de Aguirre Enríquez. 28 de Marzo de 2007. Madrid. 323 pp.

GONZÁLEZ BERNALDEZ, F. (1985). *Invitación a la Ecología*. Blume. Madrid.

GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992). Características esenciales del Paisaje Mediterráneo. La Frutalización del Paisaje Mediterráneo. En Chaves, M., Blanc, J. y Cremonese, G. (Eds.), *Paisaje Mediterráneo*. Electa. Milán: 136-141.

HAECKEL, E. H. (1868). *Natürliche Schöpfungsgeschichte*. Georg Reimer. Berlín.

HUMBOLDT, von A. (1805). *Essai sur la Geographie des Plantes*. F. Scheel. París.

HUMBOLDT, von A. y BONPLAND, A. (1807). *Ideen su einer Geographie der Pflanzten nebst einem Nasturgemälde der Tropenländer*. F. G. Cotta. Tubinga.

HUMBOLDT, von A. y BONPLAND, A. (1817). *Nova genera et species plantarum quas in peregrinatione ad plagam equinoctialem Orbis Novi collegerunt, descripserunt, partium adumbraverunt*. Suntibus librariae Graeco-Latino-Germanicae. Lutetia Parisiorum.

HUMBOLDT, von A. (1851-1852). *Cosmos, ó Ensayo de una descripción física del mundo*. Tomos I y II. Madrid.

HUTCHINSON, G. E. (1957/67/75/93). *A Treatise on Limnology*. J. Wiley and Sons. Nueva York.

LINDEMAN, R. L. (1942). The trophic-dinamic aspect of ecology. *Ecology*, 23: 340- 417.

LÓPEZ FERNÁNDEZ, A. y ANCHÍA VILDA, E. (1988). Ecology of some species of *Thiobacillus* and Sulfate-reducing Bacteria in the Middle Course of the river Guadalquivir (Spain). *Int. Revue ges. Hydrobiol*, 73, 3: 309-318.

MacARTHUR, R. H. (1955). Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*, 36: 533- 536.

MARGALEF, R. (1953). Estudios experimentales sobre las modificaciones inducidas por diferentes temperaturas en células de clorofíceas. *P. Inst. Biol. Apl.*, 12: 5-78.

MARGALEF, R. (1957a). Nuevos aspectos del problema de la suspensión en los organismos planctónicos. *Inv. Pesq.* 7: 105-116.

MARGALEF, R. (1957b). La teoría de la información en Ecología. *Mem. Real Acad. C. Art. Barcelona*, 32: 373-449.

MARGALEF, R. (1962). Adaptación, Ecología y Evolución: nuevas formas de plantear antiguos problemas. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.* 60: 231-246.

MARGALEF, R. (1963a). Modelos simplificados del ambiente marino para el estudio de la sucesión y distribución del fitoplancton y del valor indicador de sus pigmentos. *Inv. Pesq.* 23: 11-52.

MARGALEF, R. (1963b). On certain unifying principles in Ecology. *American Naturalist*, 97(897): 357-374.

MARGALEF, R. (1967). Some concepts relative to the organization of plankton. *Oceanog. Mar Biol. Annual Review*, 5: 527- 289.

MARGALEF, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago University Press. Chicago.

MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Omega. Barcelona.

MARGALEF, R., PLANAS, D., ARMENGOL, J., VIDAL, A., PRATS, N., GUISET, A., TOJA, J. y ESTRADA, M. (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 422+85 pp.

MARGALEF, R. (1980). *La Biosfera entre la termodinámica y el juego*. Omega. Barcelona.

MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona.

MARGALEF, R. (1991). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Universidad de Barcelona. Barcelona. 290 pp.

MARGALEF, R. (1999). La Ecología, entre la Física y la Sociedad. *Investigación y Ciencia*.

MARGALEF, R. (2001). Diversidad y Biodiversidad. En Pineda, F. D., Miguel de, J.M., Casado, M. A. y Montalvo, J. (Eds.), *La Diversidad Biológica de España*. CYTED-Prentice Hall. Madrid: 3-5.

MARGALEF, R. (2006). The play diversity/biodiversity in the construction of the biosphere, as exemplified in the Mediterranean phytoplankton and as expression of the operation of very general principles. En García Novo, F., Díaz Pineda, F. y Gómez Sal, A. (Eds.), *Diversidad biológica y biodiversidad*. Fundación Ramón Areces, Madrid: 21-27.

MÖBIUS, K. (1877). *Die Auster und die Austerwirtschaft*. Berlín.

RIVAS MARTÍNEZ, S. (1985). *Biogeografía y Vegetación*. Discurso de Ingreso. Contestación A. Martín Municio. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 103 pp.

SLOBODKIN, L. B. (1954). Population dynamics in *Daphnia obtusa* Kurz. *Ecol. Monogr.* 24: 69-88.

STEEMANN-NIELSEN, E. (1951). Measurement of production of organic matter in sea by measuring of carbon-14. *Nature*, 267: 684-685.

STEEMANN-NIELSEN, E. (1952). The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Expl. Mer*, 18: 117-140.

TANSLEY, G. (1935). On the use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16: 284-307.

TOJA, J. (1980). Limnología del embalse de La Minilla durante 1976. *Oecol. Aquat.*, 71-110.

USSHER, J. (1650). *Annals of the World: James Ussher's Classic Survey of World History*. (Republicación Larry and Marion Pierce (Eds.). Green Forest AR: Master Books, 2003).

WARMING, J. E. B. (1895). *Plantefundgruntrak af den Okologiska Plantengeografi*. Kobenhavn.

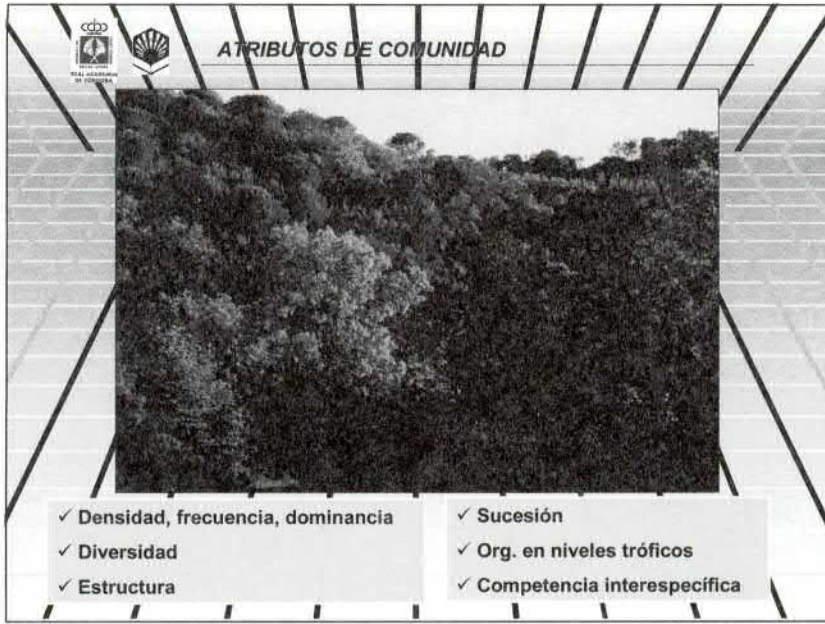


Fig. 3. Atributos de Comunidad. Puerto Artafi. Trassierra

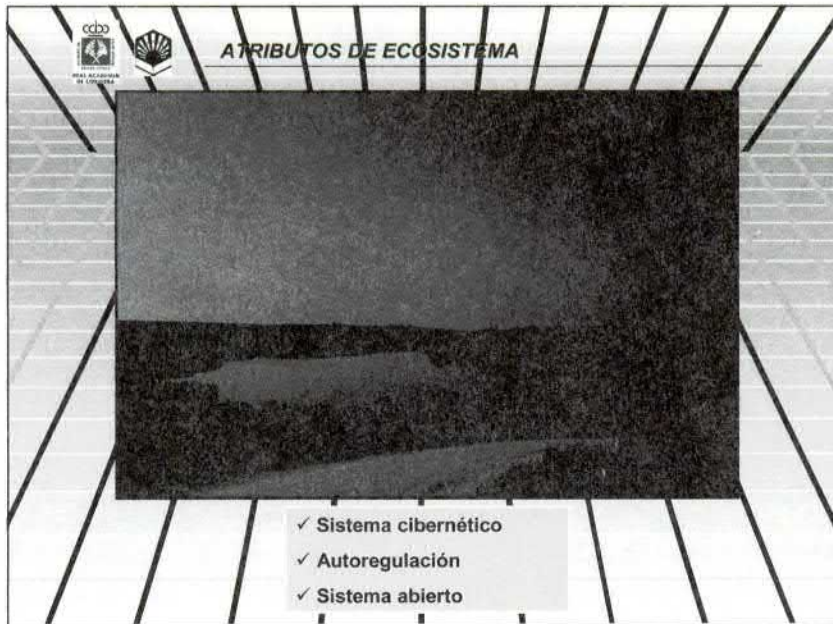
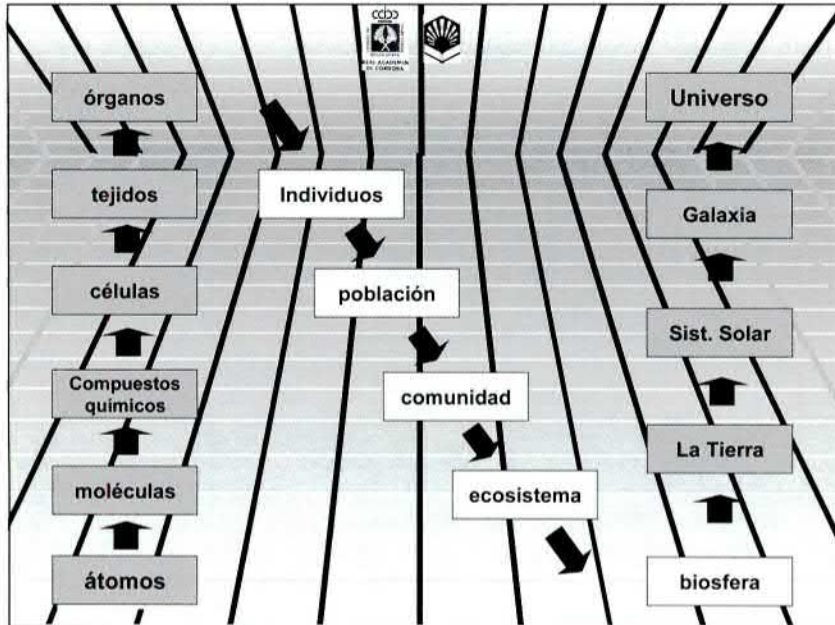
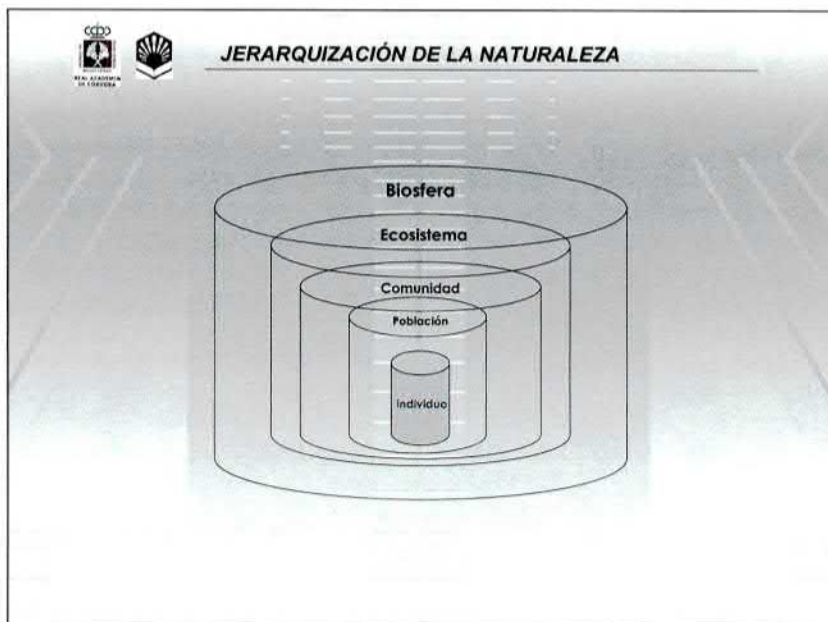


Fig. 4. Atributos de Ecosistema. Lago de Zóñar. Aguilar de la Frontera.



Esquema 1. Los niveles de organización de la naturaleza.



Esquema 2. Jerarquización de la Naturaleza.