



# Introducción a la ecología

De la biosfera  
a la antroposfera

Josep Peñuelas

Biblioteca  
Científica  
Salvat

# Introducción a la ecología

De la biosfera a la antroposfera

Josep Peñuelas

SALVAT

Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

*Escaneado: thedoctorwho1967.blogspot.com.ar*  
*Edición digital: Sargont (2018)*

© 1993 Salvat Editores, S.A., Barcelona

© Josep Peñuelas Reixach

Por autorización de Editorial Barcanova, S.A., Barcelona

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)

ISBN: 84-345-8893-5 (Volumen 13)

Depósito Legal: B-27527-1993

Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona

Impresa por Printer, i.g.s.a.. Octubre 1993

*Printed in Spain*

# ÍNDICE

## EXORDIO

## PRIMERA PARTE

### LA BIOSFERA

#### I. LA RIQUEZA Y VARIEDAD DE LA VIDA

#### II. LA MATERIA Y LA ENERGÍA

#### III. EL ESPACIO Y LA ORGANIZACIÓN

#### IV. EL TIEMPO

## SEGUNDA PARTE

### LA ANTROPOSFERA

#### V. LA ANTROPOSFERA EXPLOTA LA BIOSFERA

#### VI. LA ANTROPOSFERA ACTÚA SOBRE EL CANAL ECOLÓGICO DE LA BIOSFERA

#### VII. LA ANTROPOSFERA ACTÚA SOBRE EL CANAL GENÉTICO DE LA BIOSFERA

#### VIII. EL FUTURO: EL REINO DE LA EXPONENCIAL

### EPÍLOGO. MÁS ALLÁ DE GAIA. HOMENAJE A LOVELOCK

## BIBLIOGRAFÍA

## EXORDIO

### BIENVENIDA A LA CRESTA DE LA OLA

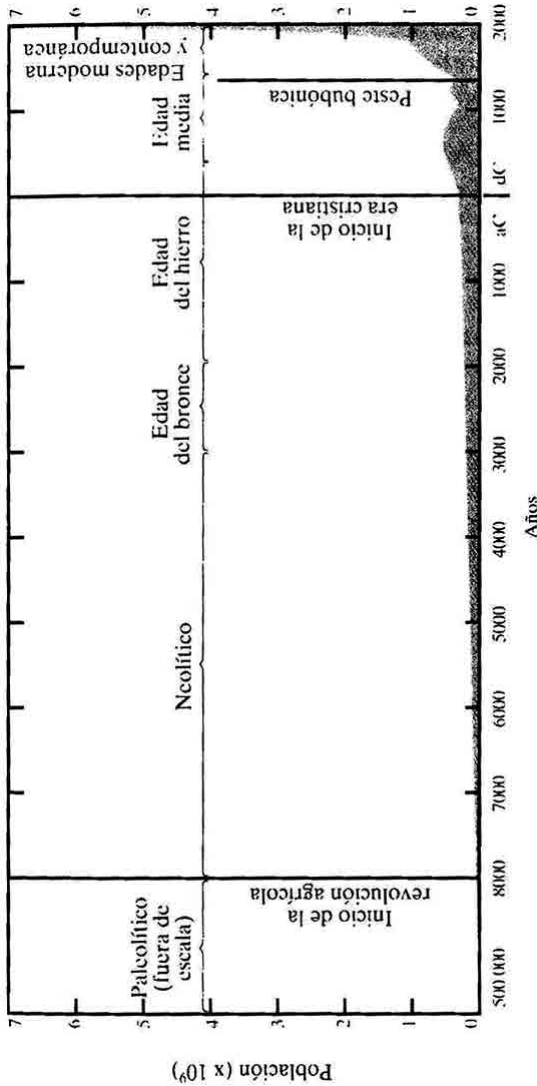
«Bienvenido a la cresta de la ola», me dijo, entre irónico y afa-ble, mi amigo Riochi cuando llegue a Stanford, en la primavera de 1986, becado por la CIRIT (Comissió Interdepartamental per a la Recerca i la Innovado Tecnológica de la Generalitat de Catalunya) para realizar un trabajo sobre el metabolismo gaseoso de las plantas. Estábamos, mi amigo japonés y yo, en el Silicon Valley, atraídos, como tantos otros, por lo que los californianos llaman la «cresta de la ola». Luego, a medida que pasaban las semanas y los meses —por cierto realmente enriquecedores, y sobre todo muy placenteros y divertidos—, le di vueltas a la bienvenida de mi amigo, pero no en el sentido que él le había dado: tecnología punta, alto nivel de vida, cultura, diversión, deportes, arte, modernidad, posmodernidad, etcétera, sino yendo un poco más allá, y preguntándome por lo que viene después de la cresta. De ahí, de comparar la cresta de la ola de la modernidad con la cresta de la ola evolutiva de la biosfera, surgió la idea de escribir este libro. En él se estudia el origen, crecimiento, estructura y función de la ola de la vida, de la biosfera —la capa viva del planeta—, con su parte culminante, la antroposfera —la capa humana—, y sus evoluciones posibles: seguir creciendo, estabilizarse o fenecer, caer al precipicio.

Porque, en efecto, estamos en muchos sentidos en esa cresta de la ola, en la parte superior de la curva evolutiva de la vida donde se ha subido la antroposfera amenazando con aplastarla: y en la parte superior de la curva sigmoidea de crecimiento de la población, una curva muy parecida a la que describe el crecimiento de un organismo o el de una civilización, hasta alcanzar un tamaño o un apogeo máximo (fig. 1).

Fig. 1. Curva de crecimiento logística o sigmoidea, con sus fases.

Cuando la población humana no ha estado limitada por factores intrínsecos, ni por falta de recursos o de espacio, ni por la ac-

ción de depredadores, parásitos y enfermedades, ha seguido un crecimiento exponencial. Esto ha tenido lugar en la ultimísima etapa de la evolución, en la que la vertiente cultural y tecnológica se ha superpuesto a la biológica y la ha superado; Lamarck le ha ganado la partida a Darwin (véase la introducción a la segunda parte), y el crecimiento, tanto de la población como de su tecnología y su dominio, ha sido exponencial (fig. 2): la ola ha ido levantando su cresta y nos hemos convertido en una gran plaga, quizá la mayor de la historia (aunque quién sabe si no lo fueron también los dinosaurios). La causa está en la amortiguación de los controles o mecanismos de *feedback* que habían mantenido la población dentro de unos límites definidos hasta hace muy pocos miles de años (fig. 2). Pero, en cualquier momento, a la población humana le puede ocurrir lo mismo que a las demás poblaciones de seres vivos (véase 3.2.3), que tienden a acercarse al límite de las posibilidades nutritivas del medio o a la aparición de otros factores de control. En nuestro caso, además, y por primera vez en la evolución, nosotros mismos, la especie *Homo sapiens sapiens*, constituimos otro factor de control, somos capaces de autoextinguirnos.



Evolución de la población antroposférica, con el actual levantamiento exponencial de la ola de crecimiento.

El hombre y la antroposfera han surgido y son parte de la biosfera. Para entender la estructura y función de estas capas planetarias es necesario entrar en el mundo de la ecología. En este libro pretendo presentar de forma inteligible los temas de ese mundo, especialmente los que más en boga vienen estando en los últimos años. Por lo tanto, va destinado no sólo a estudiantes de biología y ecología, sino también a todas las personas sensi-

bles al mundo de la ciencia y sus avances, así como al papel y futuro del hombre en el planeta. Para ellas, la primera parte (la biosfera) quizá resulte un poco tediosa por la avalancha de información resumida, a pesar de que he procurado limitar bastante los términos más específicos de la jerga científica, aunque tratando siempre de no perder exactitud y rigor. Como en cualquier otra ciencia, la mayoría de las cuestiones tratadas no están resueltas definitivamente, no son verdades reveladas o hechos consumados: en muchos de los temas se plantean problemas, se analizan datos, se generaliza y se pronostica, pero en todos los casos mi deseo es que el lector los analice y discuta por sí mismo. La mayoría de los capítulos se alejan del academicismo de muchos otros libros sobre ecología. Y ello es porque coincido plenamente con Parker cuando dice, en su libro *Sex, Science and Society*, que «la ciencia puede ser seria sin ser sacrosanta». Quizá se pueda calificar de periodístico el tratamiento que se hace de algunos temas. En realidad así es, primero con la intención de hacer más amena la lectura y, segundo porque, en efecto, parte del material que aquí he reunido ha sido publicado de forma regular en las secciones de ciencia de *La Vanguardia* y más ocasionalmente en las de otros periódicos (*El País*, *El Correo de Andalucía*, *Diario de León*, *Hora Nova*, *Papers Empordanesos*). Vaya para *La Vanguardia* y para los demás mi agradecimiento por impulsarme a escribir sobre estos temas y por permitirme utilizarlos aquí.

Los biólogos siguen distintos estilos de trabajo y presentación de sus ideas y resultados. Algunos se deleitan en la diversidad y pasan su vida entera describiendo variaciones intrincadas sobre temas comunes. Otros tratan de ver detrás de las diferencias una unidad que reduzca los millones de especies y de acontecimientos a unos pocos temas y leyes comunes. A esta última visión se aproxima más este libro por dos razones: por mi interés en ella, y por la inevitable limitación de páginas. Abordar una materia como la ecología, con un cuerpo de conocimientos tan vasto y complejo, en una pequeña obra como ésta, es particularmente difícil, por no decir imposible. La presentación ortodoxa de toda una ecología, ciencia de síntesis de otras muchas, es alargadle tanto como se quiera, pues el «oikos» es nuestro hogar, y a medida que aumenta el conocimiento humano, aumenta exponencialmente el tamaño de ese hogar. Por eso, he escogido unas cuestiones que, aunque no son tratadas exhaustivamente, permiten aportar una visión del mundo de la ecología y pretenden atraer el interés sobre sus temas. He concedido un peso importante a mis



puntos de vista, y aunque se ha procurado presentar con objetividad y eclecticismo los principales conceptos, la línea argumental y algunos de los capítulos y temas tratados más extensa e intensivamente están fuertemente motivados por mi particular y parcial visión y selección de temas y materiales. Hay en esta actitud cierto ánimo de provocación, de polémica. Espero transferir interés por los organismos y su medio, de tal modo que el lector se aventure en la observación del ambiente, natural y artificial, lo descubra por sí mismo y discuta lo aquí explicado. Aunque trato bastantes de los temas que configuran un curso de ecología, lo hago abreviadamente y no de forma completa. El lector interesado en profundizar puede estudiar los textos de Margalef, Odum, Ricklefs, Conlivaux, etc., citados en la bibliografía. También me he alejado un poco de la teoría de sistemas, sobre la cual tenemos en nuestro país a un magnífico profesor, uno de sus padres, el doctor Margalef. Sus libros están al alcance de cualquier interesado en este tema, que aquí simplemente se va a esbozar.

En esta obra se sigue un orden (que podría haber sido cualquier otro, dada la estrecha interrelación de todo con todo): va de la descripción de la vida a la ecología social, pasando por la energía, la materia, los individuos, las poblaciones y los ecosistemas en el tiempo y en el espacio. He entrelazado los temas dándoles la ligazón clásica de los textos de ecología: descripción de la vida, flujo de energía, ciclos de materia, ecología de poblaciones, dinámica de comunidades y ecología humana. Esta ordenación permite seguir cómo se surge la biosfera y con ella tiene lugar un cambio trascendental, no tan sólo de la capa viva, sino del mismo planeta, y quién sabe si, con el tiempo, también de otros lugares del universo. Ese va a ser el hilo conductor de los temas que va a hacer posible establecer, o por lo menos yo me tomo esa licencia, la hipótesis de una antroposfera situada en la cresta de la ola. Quizá los últimos capítulos sean más especulativos que basados en hechos científicamente comprobados, e incluso se puede pensar que algunos se acercan a la ciencia ficción. Es especialmente acerca de esos que el lector hará bien en discutir y opinar para sí. Los restantes no se alejan de la ortodoxia de esta ciencia, aunque presentados desde mi punto de vista, sin duda influido por mis estudios, por mis maestros preferidos (Margalef, Conlivaux, Hutchinson, Gould, Lovelock y Gribbin, de quienes he lomado muchas de las ideas y temas sobre la biosfera) y por mis vivencias personales. Entre estas últimas juega un papel destacado la tramontana, el viento de mi Empordà, que

con su enorme carga eléctrica ha excitado mi imaginación y generado la voluntad de escribir estas páginas. Las puestas de sol vividas en sus montañas, con la mirada en el mar y el viento en la espalda, inspiraron este libro en esa comarca, conjunción magnífica de cielo, montaña y mar, la mejor síntesis de la ecología.

La bibliografía no es exhaustiva ni mucho menos, pero sí un poco demasiado culta o técnica dado el nivel de esta obra. La he elaborado así con la idea de presentar las referencias más significativas, en especial las de síntesis y las más modernas, que van a facilitar al lector interesado profundizar sobre los temas y desenredar el ovillo de las fuentes bibliográficas. Como es tópico, debo «jurar» que soy el único responsable del mal uso que se pueda haber hecho de la información presente en los trabajos consultados para elaborar este ensayo. A lo largo de él podrán apreciarse las huellas de los eminentes ecólogos citados; quizá un buen fin de lo que sigue sea el animar al lector a consultar sus obras.

A la hora de los agradecimientos, vayan para el profesor Margalef, que me introdujo en este fantástico mundo de la ecología cuando yo me dedicaba al de la biología molecular. Él ha generado muchas ideas en conversaciones de pasillo y de recreo. Han leído y comentado el manuscrito el propio doctor Ramon Margalef, y mis compañeros y amigos doctor Joan Vallés, Joaquim Murillo, doctor Francesc Sabater, doctor Mikel Zabala, doctor Jordi Massó y Josep Lluís Monje. El director de mi Departamento. Joandomènec Ros, me ha ayudado en la búsqueda bibliográfica. Finalmente Teresa, mi mujer, me ha ayudado, indirectamente con su paciencia en la vida cotidiana, y de forma más directa en la elaboración del libro: «moltes gràcies». A todos ellos, y en especial a Teresa, dedico este libro.

## **LAS GRANDES CUESTIONES DE LA ECOLOGÍA. HOMENAJE A MARGALEF**

Cuando iniciaba mi cuarto curso de licenciatura (1978-1979), llegó al aula el profesor de ecología —un personaje de aspecto entre descuidado, travieso y sabio, llamado Margalef— y dijo: «La ecología, asignatura que vamos a estudiar este curso, es, como se ha dicho alguna vez, aquello que le queda a la biología cuando todo lo importante ha recibido ya algún nombre». Aunque pueda parecer una frase fácil o un chiste —o por lo menos así me lo pareció en un primer momento—, no es tal; es una defi-

nición profunda que prima la característica de síntesis de esta ciencia, más conocida como la que estudia las relaciones de los seres vivos con su ambiente (tanto biológico como físico-químico). Su materia de estudio está constituida por los niveles superiores de organización biológica (fig. 3).

La ecología —el estudio del hogar, si tenemos en cuenta el significado griego del vocablo acuñado por Haeckel en 1869— nació como ciencia más o menos autónoma hace alrededor de un siglo. La gestaron la teoría de la selección natural de Darwin, las grandes expediciones oceanográficas y a territorios exóticos y el comienzo de los problemas demográficos ligados a la revolución industrial. Desde entonces ha ido avanzando en el conocimiento de la cubierta viva del planeta, la biosfera, y en el entendimiento de la distribución y abundancia de los organismos a través del estudio de la relación con sus hábitats y con sus hábitos.

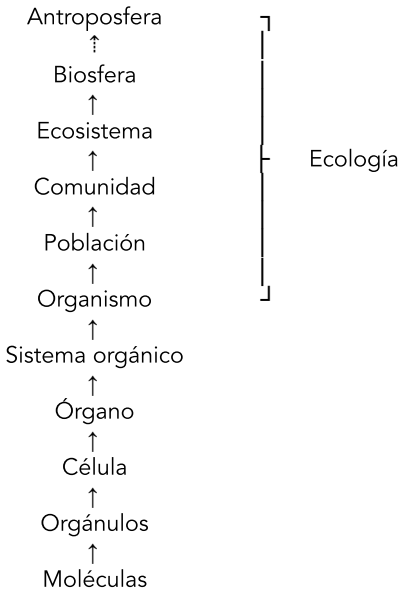


Fig. 3. Niveles de organización de la materia viva que constituyen la materia de estudio de la ecología.

Vivimos en un planeta azul por su abundante agua y por su atmósfera, en equilibrio con el agua y con los organismos. Estos son los que lo han cambiado con respecto a la primitiva Tierra, que se formó hace unos cinco mil millones de años. El cambio es una de las características más notorias de nuestro universo y por tanto también de nuestro planeta. No es de extrañar, pues, que

durante ese tiempo, le hayan ocurrido muchas cosas no sólo a la biosfera, sino también a la litosfera, entre las cuales destacan los movimientos de las placas continentales, que flotan como escoria sobre una masa central más densa. Hace al menos tres mil millones de años apareció la vida, que luego se ha ido extendiendo y diversificando en muchas especies de plantas, animales, hongos y bacterias que, junto con sus relaciones entre sí y con el medio, constituyen el objeto de estudio de la ciencia ecológica. Sin embargo, aunque los cambios son continuos, se da también un hecho notorio puesto de manifiesto en la famosa teoría de Lovelock sobre Gaia, la madre Tierra, que nos recuerda que, una vez cambiadas las condiciones iniciales, las grandes características físico-químicas de la Tierra han variado relativamente poco, favoreciendo la vida y su evolución, y que ha sido en la capa viva donde han tenido lugar los cambios. Parece como si el planeta y la biosfera actuasen como un todo homeostático, regulador de las condiciones que han posibilitado su mantenimiento y desarrollo. Esta autorregulación tiene su máxima expresión en la composición atmosférica y en el clima, como veremos en 6.6 y 6.8. De la importancia del control biológico sobre el ambiente geoquímico da prueba la comparación de la atmósfera y de la temperatura de Marte. Venus, la Tierra y una hipotética Tierra sin vida (tabla 1).

Gas	Planeta			
	Venus	Tierra sin vida	Marte	Tierra tal como es
Dióxido de carbono	98%	98%	95%	0.03%
Nitrógeno	1.9%	1.9%	2.7%	79%
Oxígeno	Vestigios	Vestigios	0,13%	21%
Argón	0.1%	0,1%	2%	1%
Temperaturas de superficie (en °C)	477	290±50	-53	13

Tabla 1. Comparación de la atmósfera de Venus, la Tierra. Marte y una hipotética Tierra sin vida. (De LOVELOK 1983).

La vida es una elaboración (o sí se quiere una sublimación) del mundo físico que ha desarrollado un conjunto de propiedades que de él la distinguen, entre las cuales el movimiento y la reproducción son las más evidentes. Lógicamente, ambos mundos son estrechamente interdependientes: la vida está íntimamente ligada al mundo físico por tres necesidades esenciales: el agua como medio para los procesos biológicos, la energía para mover la máquina viviente, y los elementos químicos (carbono, nitrógeno, fósforo y otros) como nutrientes químicos esenciales que constituyen

la materia constructora de la vida. Esos tres recursos, agua, energía y nutrientes, son tratados aquí, en el mundo de la ecología, ciencia ambiental y evolucionista que pretende descubrir cómo se reparten entre los individuos de diferentes especies, y cómo en ese reparto se regulan las especies, las poblaciones y hasta los sexos. También es estudiada la gran paradoja del elegante diseño de plantas y animales, tan bien adaptados al aprovechamiento de esos recursos, como resultado de procesos cuyo inicio es básicamente fortuito, pero sobre los que ha actuado la selección —reproducción diferencial y supervivencia de individuos con diferentes características hereditarias—, que no trabaja aleatoriamente sobre la infinita variedad proporcionada por la recombinación genética. Por la misma razón se pueden apreciar comunidades bien adaptadas. Todo esto conlleva el estudio de los procesos desarrollados en los distintos hábitats y de la física y la química de la biosfera, al mismo tiempo que se procura averiguar qué regula la composición del aire, la salinidad de los océanos o el clima.

Dentro del reino de la ecología cabe, pues, un amplísimo abanico de temas: los ciclos de los nutrientes en los bosques, el equilibrio genético entre la selección y la mutación, los balances energéticos de los ecosistemas, los sistemas de polinización y dispersión de las plantas, las oscilaciones en las poblaciones de depredadores y de sus presas, etcétera. Todos parecen unificarse bajo la égida de unos pocos principios básicos (fundamentalmente unos cuantos letreros de «prohibido el paso»), que constituyen el reto y la fascinación de la ecología. Dos de los importantes son las primeras leyes de la termodinámica: la energía se conserva y las transformaciones energéticas producen un aumento de la entropía; otro es que dos cosas no pueden ocupar un mismo punto: otro es la irreversibilidad del tiempo... Las leyes de la ecología y de la termodinámica impiden aceptar cualquier hipótesis sobre el origen y moldeado de la vida que no implique el incremento de organización sobre un sistema disipativo de energía. Los sistemas vivos se descomponen cuando dejan de funcionar: su persistencia estructural y funcional son inseparables, de manera que la estructura de la materia viva es un sistema que disipa la energía y al mismo tiempo fruto de la que incorpora (ODUM 1980). La flecha del tiempo va en ese sentido, en el de la acumulación de información, de organización, consecuencia de la energía disipada. Uno de esos grandes principios es, pues, que una misma energía no se puede usar dos veces de la misma manera. Una vez ha inte-

ractado con la materia, ni aquélla ni ésta son cualitativamente iguales. Con el tiempo aumenta la complicación de nuestro mundo, se acumulan los trastos en el desván cósmico, dice Margalef.

### **Las grandes cuestiones infantiles**

Dentro de ese mundo de la ecología también caben cuestiones como por qué el cielo es azul o por qué la hierba es verde... ¿Qué padre no se ha visto impotente y desmoralizado ante las preguntas con respuestas al parecer muy obvias y evidentes de sus pequeños vástagos? Pensaba que conocía tales respuestas, pero no recordaba que de pequeño también él se las había planteado. Son las cosas que creemos saber, que nos circundan cotidianamente y que nos parecen tan elementales, las que presentan las mayores dificultades cuando nos vemos ante el desafío de tener que explicarlas. Cuando dejamos de ser niños solemos perder nuestra capacidad de admiración y sorpresa, aunque más tarde la podemos recuperar en parte. Lo maravilloso, si es frecuente, deja de llamar la atención: actitud bastante práctica, pues nos permite dedicarnos a los quehaceres cotidianos. Sin embargo, saber prescindir de ellos de vez en cuando y recuperar la capacidad de maravillarnos propia de la infancia es la fuerza motriz que nos lleva a revivir muchas ideas y preguntas ocultas sobre nuestro entorno —y sobre cualquier materia.

Es a la ecología a la que le toca buscar las respuestas a una serie larguísima de interesantes cuestiones que surgen de su materia de estudio, nuestro hogar. Muchas de ellas me las he planteado tras leer los amenos libros de Colinvaux. ¿Por qué existen especies discretas y no una capa continua de biosfera? ¿Por qué hay tantas? ¿Por qué hay más especies en unos lugares que en otros? ¿Por qué unas son más comunes que otras? ¿Por qué los individuos tienen la forma que tienen y hacen lo que hacen? ¿Cómo se regulan las poblaciones? ¿Por qué existen sexos distintos? ¿Por qué coinciden los mapas de vegetación, suelos y clima? ¿Por qué tras la destrucción de una comunidad viene la sucesión? ¿Por qué no hay árboles en el Ártico? ¿Por qué los árboles son perennifolios a bajas y altas latitudes y caducifolios a las intermedias? ¿Por qué tienen diferentes formas las hojas? ¿Cómo se mantienen las composiciones atmosférica y oceánica? ¿Cuál es el límite de la biomasa de la biosfera y cuál el límite de la energía de que dispone...?

Pero, además, a la ecología le ha surgido un interesante nuevo campo de estudio, la capa humana del planeta, que con su manipulación del ambiente para su propio provecho y su crecien-

te potencial (tratados en la segunda parte de este libro) merece ser elevada a la categoría de nueva capa terrestre: a esa capa, surgida de la biosfera, y que amenaza con envolverla y cubrirla totalmente, la he llamado «antroposfera». Hay también numerosas preguntas que plantearse en el estudio de las interacciones de la especie *Homo sapiens sapiens* (repetir *sapiens* no es enfatizar nuestra —menguada— sabiduría, sino una obligación impuesta por las oscuras leyes de la nomenclatura zoológica) con su hogar: ¿Por qué produce más comida la agricultura occidental de monocultivos que la vegetación silvestre? ¿Por qué esta agricultura no va tan bien en los trópicos? ¿Cuál es el papel de los océanos en la producción de los alimentos? ¿Qué peligro representan la radiactividad o los plaguicidas o las sustancias recalcitrantes a la biodegradación? ¿Tiene límite la energía utilizable por la sociedad humana? ¿Por qué crece la población humana? ¿Está la atmósfera en peligro? ¿Podemos alterar el clima? ¿Construirá nuevos organismos, quizá humanoides, la ingeniería genética? ¿Llegará a desaparecer la biosfera totalmente absorbida por la antroposfera? ¿Está próxima la autoextinción de la especie humana? ¿Será el ordenador de silicio la nueva especie dominante sobre la Tierra, en sustitución del hombre de carbono...?

A todas estas cuestiones nos iremos aproximando en las páginas que siguen. La mayoría están lejos de presentar soluciones claras y aceptadas unánimemente: por el contrario, son motivo de controversia y estudio dentro de la comunidad científica, controversia que a menudo trasciende el conjunto de la sociedad humana.

La ecología no es sólo el resultado de disquisiciones de «sabios» alejados de la sociedad. Como en cualquier ciencia básica, podemos utilizar algunos de los conocimientos adquiridos para mejorar nuestro presente y nuestro futuro. Hay numerosos ejemplos de ello, desde la necesidad de evitar la roturación de la selva tropical hasta el conocimiento del nocivo efecto acumulativo del DDT en la cadena trófica. Investigación básica y aplicada van absolutamente ligadas, de tal forma que interaccionan en mutuo beneficio: yo diría que son lo mismo.

Otra cosa es el debate ecologista, que no ecológico. Muchos de los que estén leyendo estas líneas quizá no hayan distinguido entre ambos adjetivos, y de hecho en inglés sólo hay un término común: otros tendrán bien presente el —entre los ecólogos— manido aforismo, muchas veces criticado por elitista: «ecología es a ecologismo como sociología es a socialismo». Esto puede