

Ecología General



Leonardo Malacalza
COMPILADOR

2^{da.} edición virtual

Ecología General

Leonardo Malacalza
COMPILADOR

Autores:

Leonardo Malacalza
Fernando Momo
Carlos Coviella
M. Andrea Casset
Adonis Giorgi
Claudia Feijóo

Autores de artículos especiales

María Busch
Liliana Falco
Patricia Gantes
Nancy Greco
Gerardo Liljesthröm
Norma Sánchez
Aníbal Sánchez Caro

Portada: Meandros del río Luján atravesado
por la Ruta Panamericana (año 1995).
Registrado Expediente 121791
Dirección Nac. Derechos del Autor
Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina

2^a. edición virtual

e-libro.net

www.e-libro.net

Marzo 2002

ISBN 99934-64-69-4

ÍNDICE

<i>Prólogo</i>	6
Capítulo I. La vida y la energía	8
¿Qué es la vida?	8
La materia, la energía y el orden	9
La célula y el consumo de energía	11
La clasificación de los seres vivos	14
Capítulo II. La biosfera y su evolución	16
La biosfera	16
La organización de la naturaleza	17
Evolución prebiológica: Oparin y Miller	18
La vida: ¿dónde, cómo y cuándo comenzó?	19
Evolución biológica: Carlos Darwin	21
Cuestionario	26
Capítulo III. Los ecosistemas	28
Sistemas y ecosistemas	29
El perifiton: una comunidad desconocida	40
Cuestionario	44
Capítulo IV. La sucesión ecológica	45
Cuestionario	48
Capítulo V. Las poblaciones	49
El tamaño y la densidad	50
Distribución espacial de poblaciones	52
Estructura de edades de una población	53
Crecimiento poblacional	54
Regulación poblacional	58
Estrategias demográficas	60

Ecología General

Una relación entre especies de distinto nivel trófico:	
la depredación	62
Selección de estrategias	64
Una relación entre organismos del mismo nivel trófico:	
la competencia	66
Capítulo VI. Las poblaciones humanas	69
Introducción	69
¿Está superpoblado el planeta?	71
¿Cuánto consume cada ser humano?	72
El origen del hombre	74
El crecimiento de la población humana	77
Los grandes saltos en el crecimiento de la población	78
Teorías sobre población	81
La población latinoamericana	83
Distribución de la población y concentraciones urbanas	84
Capítulo VII. La ecología y la salud	86
Endemias, epidemias y pandemias	87
Zoonosis y antroponosis	90
Esquitosomiasis	91
Enfermedad de Chagas	93
Paludismo	95
Dengue	96
Enfermedades transmitidas por roedores	97
Capítulo VIII. La contaminación ambiental y el cambio	
global	103
Efecto invernadero y cambio climático	107
Contaminación del agua dulce	114
Contaminación por plaguicidas	115
Contaminación por metales pesados	117
Contaminación por hidrocarburos	119
Elementos radiactivos	122
La gestión de los residuos sólidos urbanos domiciliarios en	
Buenos Aires	122

Ecología General

Las lombrices de tierra y el reciclado de materia orgánica	127
Para pensar y proponer	130
Capítulo IX. Los recursos naturales	131
Recursos naturales en América Latina	135
Suelos	137
Degradación de suelos	139
Aguas subterráneas	141
Ecología de restauración	142
Plagas y recursos naturales	144
Control biológico de plagas por conservación de enemigos naturales	148
Interacción huésped-parasitoide y un caso en estudio en Argentina	154
Las plantas acuáticas como recursos y malezas	157
<i>Bibliografía</i>	161

PRÓLOGO

Este libro está dirigido a todo lector que quiera buscar ayuda para comenzar a responder a las cuestiones ambientales. Pero especialmente a los estudiantes de cualquier carrera universitaria y también a los docentes primarios y secundarios.

Ha sido escrito por docentes investigadores que, desde hace muchos años, trabajan en universidades argentinas dando clases de ecología a alumnos de distintas carreras, desde licenciatura en biología hasta profesorado en historia o administración de empresas.

Los temas están ordenados en una secuencia que es conveniente seguir para que los conocimientos tengan sustento sólido y puedan generar nuevas y bien formuladas preguntas. La ecología es una ciencia que fundamenta su teoría en la observación de las cosas y procesos que existen y se desarrollan en la Naturaleza.

Hay tres problemas que, desde hace casi medio siglo, buscan explicaciones en la teoría ecológica: el crecimiento de la población humana, el uso de los recursos naturales y la contaminación ambiental. De esos aspectos nos ocuparemos después de entender los principios teóricos de la ecología. Y a esta teoría debemos estudiarla cuando tengamos información acerca de cómo apareció y se desarrolló la vida en el planeta Tierra. Los temas ecológicos y del ambiente son problemas de los seres vivos, y nunca podríamos entenderlos ni explicarlos sin conocimientos, siquiera elementales, de los procesos que permiten mantener organizados los sistemas vivientes.

Cuando hace treinta años decíamos que nos ocupábamos de la ecología, nos preguntaban *¿qué es eso?* Años

Ecología General

más adelante decían *ecología ¡qué lindo es eso!* Y ahora comentan *ecología... ¡qué problema ése!* Estos cambios en la apreciación nos sugieren —más que algún conocimiento del tema— que los problemas de la ecología y del medio ambiente ahora son percibidos en la vida cotidiana.

Aspiramos a que este libro contribuya no sólo a conocer cómo funcionan los ecosistemas, sino también a que los lectores recuperen o adquieran la capacidad para observar a la naturaleza con espíritu inquisitivo. Quizá logremos que se despierten vocaciones para seguir indagando en alguno de los muchos campos de la ecología.

Aspiramos también a que, conociendo el enorme tiempo transcurrido desde el comienzo del desarrollo de la vida, y la diversidad y complejidad de los organismos vivientes entre los cuales estamos, se incremente nuestra comprensión y aceptación de las diferencias; son éstas las que posibilitan y enriquecen la vida en el mundo que conocemos.

Para este texto han realizado muchos aportes valiosos los docentes con los que comparto el trabajo en la Universidad Nacional de Luján. A ellos, los colaboradores actuales, a los que lo fueron a lo largo de tantos años, y a otros ecólogos amigos que han colaborado en esta segunda edición, mi sincero agradecimiento. También estoy agradecido a los estudiantes, primeros destinatarios de nuestros trabajos, cuyas preguntas siempre nos estimulan. Cuando encuentran por sí mismos las respuestas los docentes hemos alcanzado nuestros fines.

Leonardo Malacalza
Luján, marzo del 2002.

Capítulo I
LA VIDA Y LA ENERGÍA

Leonardo Malacalza y Fernando Momo

¿Qué es la vida?

Estamos vivos. Transcurre nuestra vida entre objetos vivos y otros que consideramos no vivos. Diferenciamos un organismo vivo, con vida, de uno muerto, sin vida. Observamos y estudiamos a los seres vivientes y, quizá sin mayores dificultades hemos aprobado cursos de biología, de botánica o de zoología; y hasta ahora casi todos hablamos de vida y de seres vivos con cierta seguridad.

Comencemos preguntándonos ¿qué es la vida? ¿cómo se originó? ¿se originó sólo una vez?, y sigamos: ¿de dónde viene la enorme diversidad de plantas y animales que existe? ¿siempre han sido los mismos desde que surgió la vida? ¿por qué los seres vivos tienen estructuras y comportamientos más o menos complejos adaptados al medio ambiente?

Muchos científicos que han tratado el tema expresan las dificultades para una definición de **vida**; y que, por ahora, no es posible una definición exacta, es decir, una que incluya a todas las cosas vivas del pasado y del presente, y que excluya a todas las no vivientes. Cuando se trata de situaciones extremas es fácil ponerse de acuerdo respecto de un ser vivo —un hombre, un árbol— y un ser no viviente —un vidrio, un metal—; ya no es tan fácil el límite de separación entre un ser vivo y ser no vivo cuando se comparan sistemas tales como algunas macromoléculas. Más sencillo que una macromolécula, es una

molécula, y más que ésta los átomos que la componen. Entonces átomos, moléculas, macromoléculas son niveles de complejidad crecientes de organización de la materia. Después de las macromoléculas —y con éstas— surgen las primeras formas de vida.

Para aproximarse a una definición de la vida deberemos identificar los procesos que permiten la aparición y mantenimiento de estructuras químicas que mediante flujos de energía son capaces de reproducirse y sobrevivir en un ambiente de las que pasan a ser parte.

Así, para la mayoría de los científicos esos procesos o funciones de la materia que nos permiten referirnos a la materia viviente, o a la vida, son el **automantenimiento**, la **autorreproducción** y la **autorregulación**, que son la posibilidad de mantener la estructura viva recibiendo materia y energía por medio de la fotosíntesis, la nutrición, la asimilación y la respiración; la posibilidad de propagarse mediante la reproducción; y la posibilidad de controlar tanto su crecimiento como su relación con el ambiente. Estas tres funciones se dan en todos los seres vivos, desde las estructuras vivas más elementales: las células.

En este capítulo nos ocuparemos de la vida como un proceso que comenzó hace 3800 millones de años en el planeta Tierra, y no como el tiempo que transcurre entre el nacimiento y la muerte de cada ser viviente.

La materia, la energía y el orden

Los seres vivos están constituidos por *materia* y funcionan y se mantienen *organizados* por el aporte constante de *energía*. **Materia** es todo aquello que tiene masa y ocupa espacio. En tanto que la **energía** es una capacidad de la materia que, en parte, puede transformarse en trabajo. La materia, aunque pueda combinarse y recom-

binarse persiste, en tanto que la energía que posibilita esos cambios fluye y va perdiendo su capacidad de realizar trabajos, se va degradando.

El agua de un embalse tiene energía potencial (energía capaz de realizar un trabajo) dada por la fuerza de la gravedad, que puede transformarse en energía cinética (trabajo realizándose) si abrimos las compuertas; una parte de esa energía cinética se transforma en trabajo al mover las turbinas, y la energía cinética de las turbinas se transforma en energía eléctrica en la dínamo. En realidad es imposible que toda la energía de un sistema se transforme en trabajo: la fracción de dicha energía que efectivamente se convierte en trabajo es la **energía libre**, el resto se pierde como calor.

Esas propiedades de la energía están enunciadas por las **leyes de la termodinámica**.

La primera ley, ley de la **conservación de la energía**, dice que la energía no puede crearse ni destruirse, puede transformarse —puede ser luz, calor, movimiento, estar en los enlaces entre átomos y moléculas, etc.— pero que siempre la energía de un sistema más su entorno no aumenta ni disminuye, se conserva.

Todas esas formas de energía no tienen la misma capacidad de realizar trabajo, así el calor es la forma de energía que menos capacidad tiene y que tiende a desorganizar los sistemas. Esto se explica en la segunda ley de la termodinámica, que dice que en cada movimiento, en cada transformación de la energía, ésta va perdiendo capacidad de realizar trabajo, disipándose en su entorno en forma de calor. Y como el calor tiene poca capacidad de realizar trabajo —como es mantener el orden dentro de un sistema— el desorden aumenta y decimos que aumenta la **entropía**. La entropía es, entonces, una medida del desorden de cualquier sistema.

Volviendo al ejemplo del embalse, estas leyes se ponen de manifiesto si observamos que la energía eléctrica máxima que podemos obtener en la dinamo es insuficiente para elevar toda el agua que movió las turbinas hasta el nivel en que se encontraba en el embalse. Esto no indica que la energía haya disminuido, es **la capacidad de realizar trabajo** lo que ha disminuido.

La energía potencial del agua embalsada tiene un orden mayor que la energía cinética del río que fluye. A medida que la energía potencial se transforma en energía cinética el desorden aumenta; aumenta la entropía.

Los procesos espontáneos —como el flujo del agua del río— siempre tienden a desarrollarse en el sentido en que la energía libre del sistema disminuye y la entropía del universo —el sistema más su entorno— aumenta. Podemos hablar de una *tendencia natural al desorden* que se da en los sistemas materiales inertes y en los sistemas vivos, como las células.

La célula y el consumo de energía

*La obtención y el consumo de energía
es la mayor ocupación de la vida.*

Aristóteles

La célula viva es una organización inestable y poco probable. Para mantener su estructura necesita del aporte constante de energía. Si esto no sucede la célula se desordena y muere. La capacidad de recibir, transformar y usar energía es lo que, como una característica fundamental de la vida, conocemos como **autoconservación** o automantenimiento.

El orden requiere energía; cuanto más organizado sea un sistema, mayor cantidad de energía requerirá para mantener su *organización contra la tendencia natural al desorden*. Para luchar contra esta tendencia al aumento de entropía y evitar la cantidad de desorden que represente la muerte, la célula requiere constantemente nueva energía del exterior. Esto explica por qué todo ser vivo, por sencillo que sea, necesita energía en alguna de sus formas.

Pero los seres vivos necesitan energía no sólo para mantener sus estructuras organizadas sino también para desplazarse, relacionarse, reaccionar ante estímulos, pensar, agredir, huir, etc.

Nosotros somos sistemas constituidos por células: somos inestables, ya que, aun durmiendo, necesitamos el aporte de energía; y somos poco probables, en el sentido de que, individualmente, lo más probable es la muerte y no la vida. Si así no fuera no tendríamos que cuidarnos de nada, todos moriríamos tan sólo de viejos.

Toda la vida se mantiene de la energía proveniente del sol. El sol continuamente emite radiación que se propaga por el espacio en forma de «ondas particuladas», ondas cuyas longitudes y amplitudes determinan la cantidad de energía que contienen los *fotones* —que serían algo así como «paquetes de energía»—. Cuanto menor es la longitud de onda del rayo, mayor es la cantidad de energía del fotón. La luz es la porción de radiación comprendida entre los 370 y 750 micrómetros de longitud de onda (1 nm es la millonésima de 1 mm).

Las plantas verdes mediante moléculas especializadas (clorofila y otros pigmentos) son capaces de absorber y transformar la energía de la luz. Esta transformación se efectúa a través de una serie de reacciones químicas intermedias y, en conjunto, el proceso se denomi-

na **fotosíntesis**. Con esa energía construyen nuevas moléculas y en éstas, una parte, queda almacenada en forma de energía química. Una de las moléculas que se construyen es la de glucosa: primer combustible energético utilizado por los seres vivos.

Los animales necesitan comer, necesitan recibir moléculas orgánicas de donde obtener energía que les permita seguir viviendo. También las plantas en las partes que generalmente no fotosintetizan (raíces, tallos, frutos, flores), deben recibir moléculas orgánicas capaces de proveerles energía.

Unos y otros, todos los seres vivos obtienen energía libre, utilizable en trabajo, por medio de la **respiración**¹, nombre con el que se conoce al proceso que se lleva a cabo dentro de las células, en estructuras llamadas mitocondrias, y que consiste básicamente en la oxidación lenta de moléculas orgánicas ricas en energía.

A los organismos vegetales con clorofila se los denomina **autótrofos**, esto significa que son capaces de fabricar sus propios compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas y luz. En tanto que a los organismos carentes de clorofila se los denomina **heterótrofos**, o sea los microorganismos, los animales y las plantas no verdes que deben tomar los alimentos del medio en que viven. También son heterótrofos las células y órganos sin clorofila de los autótrofos.

¹ La acción de inhalar y exhalar aire que realizamos continuamente permite que el oxígeno llegue a las mitocondrias de nuestras células y que exhalamos el dióxido de carbono.

La clasificación de los seres vivos

En las primeras etapas de su existencia el hombre comenzó a observar los animales y las plantas que atrajeron su atención, o bien que le fueron útiles o perjudiciales. Una vez que estableció sus diferencias o semejanzas, les dio un nombre. Ese criterio de clasificación tenía un fin práctico inmediato; se podía aprender y transmitir con facilidad.

Las cosas se clasifican para ordenarlas, entenderlas y eliminar el aprendizaje repetido. En biología la tarea de clasificar y ordenar los organismos es muy grande; hace algunas décadas se sabía de la existencia de alrededor de dos millones de especies; hoy se estima que son muchas más y quizá lleguen a 100 millones.

Cuando se trata de clasificar objetos no vivos la tarea es más simple. Pero cuando nos referimos a plantas y animales la clasificación se complica; debemos tener en cuenta que los seres vivos tienen una historia evolutiva a la que llamamos filogenia y también un porvenir con la posibilidad de cambiar.

Las plantas y los animales tienen nombres vulgares vernáculos, como "algarrobo", "churrinche", "bagre", "pino paraná", «perro», etc. de uso más o menos amplio. Pero no es raro que el mismo organismo reciba distintos nombres en el mismo país o que cambie en países con el mismo idioma; o que por el contrario se dé igual nombre a diferentes organismos. Para evitar la confusión, se hizo necesario adoptar una nomenclatura generalizada. A mediados del siglo XVIII, Linneo, naturalista sueco, propuso la **nomenclatura binomial** para designar a las especies en latín.

A partir de Linneo, la **especie** es la unidad básica en sistemática. Pero aún hoy es problemático definir qué es una especie. En general, podemos decir que una especie está delimitada por discontinuidad en sus características morfológicas, y por un aislamiento reproductivo que impide o hace fracasar su cruzamiento con individuos de otras especies.

El sistema de Linneo consta de siete agrupamientos básicos (taxa en plural y taxón en singular):

TAXA	Ejemplos	
REINO	<i>Vegetal</i>	<i>Animal</i>
DIVISIÓN (o Phylum)	<i>Angiospermas</i>	<i>Cordados</i>
CLASE	<i>Monocotiledóneas</i>	<i>Mamíferos</i>
ORDEN	<i>Liliflorales</i>	<i>Primates</i>
FAMILIA	<i>Liliáceas</i>	<i>Homínidos</i>
GÉNERO	<i>Allium</i>	<i>Homo</i>
ESPECIE	<i>Allium cepa</i>	<i>Homo sapiens</i>

En nuestros ejemplos *Allium cepa* y *Homo sapiens* son los nombres de las especies que conocemos como cebolla y hombre. Esos nombres están compuestos por dos palabras, por eso la nomenclatura se llama binomial. *Allium* y *Homo* son los nombres de los géneros, y *cepa* y *sapiens* son los epítetos específicos, pero el nombre de las especies está formado por las dos palabras: *Allium cepa* y *Homo sapiens*.

Existe en los siete taxa un orden jerárquico, es decir que cada agrupamiento incluye una variedad de características mayor que el inmediato inferior. Un género contiene comúnmente más de una especie, una familia varios géneros, un orden varias familias, etc.

Capítulo II
LA BIOSFERA Y SU EVOLUCIÓN

Leonardo Malacalza, Fernando Momo y Carlos Coviella

La biosfera

Biosfera es el nombre que se da al conjunto de seres vivientes de todo el planeta que existen en un tiempo dado. No es una capa continua de materia viva sino que está cuantificada en individuos pertenecientes a unos cien millones de especies de las que sólo conocemos poco más de millón y medio. Tiene un espesor de unos veinte kilómetros; diez hacia abajo en las fosas marinas y diez hacia arriba en las montañas.

Entre esos organismos existe una trama compleja de relaciones, tanto más evidente cuanto más próximos están unos de otros.

Se estima que la masa de todos los seres vivos distribuida homogéneamente sobre la superficie del planeta formaría una capa de sólo un centímetro de espesor. No obstante los efectos que produce son muy grandes, tanto en la atmósfera como en las aguas y los suelos. De hecho, la biosfera ha cambiado tanto la composición de la atmósfera de nuestro planeta que muchos científicos piensan en buscar la presencia inusual de oxígeno y metano en la atmósfera de otros planetas como una buena indicación de la posible presencia de vida.

La aparición y desarrollo de la biosfera y la modificación de su entorno ha ocurrido en el curso de un largo proceso que comenzó hace unos 3.800 millones de años.

Las interfases entre los estados líquido, sólido y gaseoso constituyen quizá los lugares más propicios para el desarrollo de la vida. Piénsese una planta arraigada en una laguna, con sus raíces que puede tomar los nutrientes del suelo, el agua que nunca ha de faltarle cubriendo parte de su cuerpo, y otra parte emergida expuesta al aire de donde puede obtener siempre dióxido de carbono y oxígeno. Pero la vida se desarrolla —al menos en nuestro planeta— en todo lugar donde haya agua líquida, aun donde es mínima y sólo en algún tiempo, y donde reciba energía de la luz o de alguna molécula capaz de suministrarla.

La organización de la naturaleza

La materia viva o inerte es atravesada por un flujo constante de energía que le da movimiento. Esto es así tanto para los átomos como para los más complejos sistemas vivientes. Esta característica, la del movimiento de la materia, es de gran importancia para poder entender el concepto de evolución, concepto aplicable para la evolución cósmica, la evolución biológica y la evolución social. Evolución significa cambio con continuidad, normalmente con cierta dirección.

Ha sido el movimiento lo que ha permitido la compleja organización de la materia. La materia del universo se organiza así en una larga cadena de complejidad creciente: partículas elementales, átomos, moléculas, células, organismos, poblaciones, comunidades, hasta llegar a sociedades, como la humana. A veces se habla de niveles de organización para referirse a cada uno de los eslabones de esa imaginaria cadena.

Cada uno de esos niveles de organización posee propiedades de complejidad creciente. Cada nivel de orga-

nización posee propiedades heredadas del nivel anterior y propiedades nuevas, denominadas emergentes, a partir de las cuales se construye el nivel siguiente. Por ejemplo, la sexualidad es una propiedad emergente de los sistemas biológicos; ningún átomo ni molécula tiene sexo, pero una célula, construida con moléculas y macromoléculas, sí puede tenerlo; las células aisladas no pueden emitir sonidos, pero sí un organismo animal que está constituido por células.

La clasificación por orden de complejidad se corresponde con una clasificación cronológica. En la primera etapa inanimada de la evolución de la Tierra, que duró alrededor de 600-800 millones de años, los procesos que en ella se desarrollaban, con partículas subatómicas, átomos y moléculas combinándose y recombinándose obedecían sólo a leyes físicas y químicas. Ésta fue la etapa que denominamos de la evolución prebiológica.

La vida como una expresión del movimiento de la materia aparece, hace algo más de 3800 millones de años, que es cuando comienza la etapa de la evolución biológica. Es decir que la vida aparece como una propiedad emergente de un nivel inanimado donde sólo actuaban las que hoy conocemos como leyes físicas y químicas. Aparecen las reglas de juego de la vida, las leyes biológicas.

Evolución prebiológica: Oparin y Miller

A la pregunta de cómo se inició la vida en la tierra respondió el bioquímico ruso Alexander Oparin (1894-1981) con una trascendental teoría que publicó en 1929. Suponía que en una atmósfera primitiva, muy distinta de la actual, constituida básicamente por metano (CH_4), amoníaco (NH_3), hidrógeno (H_2) y vapor de agua (H_2O), contando con suficiente energía podían formarse moléculas

orgánicas que a su vez harían posible, con suficiente tiempo, la aparición de macromoléculas con características de seres vivos muy elementales pero capaces de crecer y reproducirse. Replanteó la generación espontánea de la vida a partir de materia inerte, pero no pudo probarla. En 1953, el científico norteamericano Stanley Miller, diseñó un aparato para probar la hipótesis de Oparin de que en una atmósfera de metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua, con suficiente energía, era posible la obtención de moléculas orgánicas que en las condiciones actuales solamente son construidas por los seres vivientes. Con su experimento Miller obtuvo entre otros compuestos cuatro aminoácidos diferentes. Muchos han seguido estas investigaciones pero aún no se ha logrado la aparición de verdaderas células vivas en el laboratorio. En enero del año 2001 científicos de la NASA publicaron un trabajo en el que describen la posible formación en el espacio interestelar de membranas semejantes a las de las células vivas. Combinando hielo de agua, metanol, amoníaco y monóxido de carbono en el vacío a muy bajas temperaturas e irradiándolas con luz ultravioleta, obtuvieron compuestos orgánicos que al ser sumergidos en agua líquida adquirieron espontáneamente la forma de estructuras esféricas con doble membrana, semejante a las de las células vivas. Si la formación de este tipo de compuestos en el espacio exterior es tan común como pareciera, podrían haber "llovido" sobre la tierra primitiva ayudando a poner en movimiento los procesos que originaron la vida en nuestro planeta. Un interesante corolario es que si los procesos que dieron origen a la vida comenzaron en el espacio exterior, la vida puede haberse desarrollado también en otros planetas.

La vida: ¿dónde, cómo y cuándo comenzó?

Esta pregunta se la está haciendo desde hace miles de años una particular manifestación de la vida, un ser viviente, el hombre —la especie animal *Homo sapiens*— y en todo ese tiempo fue encontrando y desechando respuestas.

Fragmentos de historia nos dicen que en Egipto, China, India, Grecia, nuestros antepasados, con no menos capacidad intelectual que nosotros, creían en la generación espontánea. Creían que los organismos podían surgir espontáneamente de la materia inerte: las moscas y los ratones de la basura, la polilla de la ropa vieja, los peces del agua, los sapos del barro. Así parece que lo creyó Aristóteles que vivió hace 2300 años. Y lo siguieron creyendo sin dudar hasta hace tan sólo 300 años. Al pensamiento de Aristóteles se fueron sumando grandes pensadores como San Agustín (354-430) y Santo Tomás de Aquino (1225-1274).

Fue en los últimos tiempos (siglos XVI y XVII) que, desafiando los dogmas heredados, se manifestaron pensamientos críticos basados en el **método experimental**. Copérnico (1473-1543) y Galileo (1564-1642) introdujeron la idea del espacio infinito en el que estaba nuestro planeta girando alrededor del Sol.

Sin embargo, aunque se progresaba en el conocimiento de las ciencias exactas y naturales, se seguía creyendo en la generación espontánea de los organismos, hasta que Louis Pasteur, en 1862, demostró la existencia de microorganismos que están presentes en todos los ambientes donde pueda desarrollarse la vida. El uso del microscopio para observar un líquido nutritivo que fue esterilizado, parte del cual fue expuesto al aire y otra parte se conservó estéril, mostró que en la primera se desarrollaban microorganismos y en la otra no; eso fue suficiente para probar que no existía generación espontánea de organismos vivos, ni aun los más simples y pequeños, como las bacterias.

En esos años ya se hablaba de cambio y de evolución de las especies según transcurría el tiempo en el universo, y que los seres vivos que veíamos provenían de

otros iguales, o de otros que habían existido en el pasado. Por ese camino, andando hacia atrás en el tiempo, tendríamos que llegar al origen de los primeros seres vivos: o era creación sobrenatural —y no se hablaba más del tema— o había que buscar una explicación científica, existiera o no un ser sobrenatural o Dios.

La vida podría haber llegado del espacio (teoría llamada de la panspermia), pero las formas vivas que conocemos no resistirían las condiciones extremas de la travesía: sólo la radiación ultravioleta de nuestro sol destruiría las complejas moléculas orgánicas, aun de los organismos más simples. Por otra parte, aun aceptando la panspermia como causa de aparición de la vida en nuestro planeta, no contestamos las preguntas fundamentales de cómo, cuándo y dónde fue que comenzó la vida.

Evolución biológica: Carlos Darwin

Muchas evidencias, tanto directas como indirectas, muestran que los organismos vivientes han ido cambiando con el paso del tiempo. Pero no ha sido fácil explicar cómo cambian y evolucionan las especies. Aún existen muchos aspectos sin resolver.

En 1859 Carlos Darwin, un científico inglés, publicó un libro titulado *El origen de las especies*, en el que sostenía que las especies descienden de otras que existieron anteriormente y que el proceso fundamental en la naturaleza para que esto ocurra es la **selección natural**.

Según Darwin el mundo no es estático sino que evoluciona; las especies cambian continuamente, unas se originan y otras se extinguen. En esto no fue el primero; ya otros como el zoólogo francés Lamarck, a principios

del siglo XIX, dijeron que los seres vivos habían surgido por transformación de unas pocas especies primitivas. Lamarck no habló de “evolución de las especies”. Sí lo hizo Darwin para quien el proceso de la evolución era gradual y continuo. Postuló también que los organismos estaban emparentados por un antepasado común, y que todos, incluido el hombre, podían remontarse hasta un origen único de la vida.

Hubo muchas protestas por la inclusión del hombre en la comunidad de descendencia de los mamíferos, pero la idea fue pronto aceptada por la mayoría de los biólogos, pero no por la mayoría de los que no lo eran.²

Darwin observó que los individuos pertenecientes a una misma especie presentan variaciones entre ellos, son todos diferentes, aunque sea muy poco. También notó que tanto animales como vegetales dejan, o pueden dejar, mayor número de descendientes para un espacio y tiempo limitados. Sin embargo en la naturaleza el número de individuos de cada especie se mantiene más o menos constante durante un tiempo más o menos largo, que puede ser de centenares de miles o millones de años. ¿Cuáles son los individuos que sobreviven en cada generación?: los que, por esas diferencias individuales están, ya al nacer, mejor adaptados al ambiente en que crecerán y se reproducirán, transmitiendo a los descendientes sus características diferenciales ventajosas. En tanto que han de morir tempranamente los que, por las diferencias individuales, estén en peores condiciones para obtener del ambiente lo necesario para crecer y reproducirse. En otras palabras, los individuos no se adaptan al ambiente, sino que algunos ya nacen con característi-

² Se atribuye a una dama de la alta sociedad inglesa de los tiempos de Darwin haber expresado, respecto de nuestro pasado común con otros mamíferos: “Dios quiera que esto no sea verdad, pero, si lo es, esperemos que la gente no se entere”.

cas que les otorgan mayores probabilidades de sobrevivir. Son las poblaciones las que, a lo largo del tiempo, resultan adaptadas por selección natural. Hablaba Darwin de la lucha por la existencia y de la **selección natural**. Cuanto más dura sea la lucha, más rápida será la evolución hacia nuevas especies.

Lamarck había sostenido que las especies se transformaban según las necesidades que el ambiente le fuese creando, pues ya se estaba sabiendo que en el planeta se producían grandes cambios geofísicos a lo largo del tiempo. Para Lamarck los organismos vivos, las especies, *debían adaptarse para* poder sobrevivir si el ambiente cambiaba. El ambiente les creaba nuevas **necesidades**, y por consiguiente adoptaban nuevos **comportamientos** que originaban nuevas **estructuras**. A la larga, estos cambios de comportamientos y estructuras originaban nuevas especies.

Lamarck daba como ejemplo de su teoría el caso de las aves zancudas, que tenían —decía él— las patas tan largas por el deseo de estar en el agua sin mojar sus cuerpos (!).

Una diferencia importante entre las teorías de Lamarck y de Darwin está en que mientras la primera sostiene que las variaciones en los individuos de las especies son la respuesta a una necesidad, la segunda las atribuye sólo al azar. Otra diferencia es que mientras Darwin creía que el ambiente determinaba la evolución de las especies, Lamarck sostenía que los organismos elegían el ambiente en el que podrían transformarse según las necesidades que apareciesen.

Darwin dio gran importancia a la competencia entre los organismos en la evolución de las especies. Actualmente se considera que también la cooperación (simbiosis) entre especies ha tenido y tiene una importancia muy

grande en la aparición de estructuras y funciones de los seres vivos. Nosotros mismos, organismos de la especie *Homo sapiens*, sólo podemos vivir por la asociación permanente con muchas especies de bacterias (se estima que alrededor del 10% de nuestro peso seco pertenece al de nuestras bacterias).

Más aún, cada una de nuestras células proviene filogenéticamente de asociaciones de bacterias (por ejemplo las mitocondrias). Las bacterias de la flora intestinal pueden ser identificadas, no así las que dieron origen a varios de los componentes de nuestras células eucariotas. La estructura interna similar que tienen casi todos los cilios y flagelos de los seres vivos nos hablan de un origen común, desde el flagelo de las euglenas (algas unicelulares) hasta los cilios de nuestro tracto respiratorio o el flagelo de los espermatozoides: en un remoto pasado —hace unos 2000 millones de años— bacterias ciliadas, como las espiroquetas, se asociaron a otras células aportándoles las ventajas del movimiento.

Pruebas directas e indirectas de la evolución de la vida

La presencia de fósiles vegetales y animales en las rocas sedimentadas de la corteza terrestre constituye la más importante y llamativa **evidencia directa** de los cambios experimentados por los seres vivientes a través del tiempo. La ciencia que estudia la vida del pasado a partir de los fósiles se llama **paleontología**. El registro fósil proporciona la prueba más llamativa de los cambios acaecidos en la biosfera con el transcurso del tiempo.

También ha sido posible observar a lo largo de los últimos años cambios significativos en poblaciones vegetales y animales. Entre muchos de estos cambios tenemos por ejemplo, los provocados por acción del DDT sobre ciertas poblaciones de insectos. Cuando este in-

secticida se utilizó por primera vez eliminó rápidamente poblaciones de insectos considerados plaga, entre otros las moscas domésticas, pero al transcurrir el tiempo su efecto sobre las poblaciones decreció cada vez más. Este hecho indica que no habiendo cambiado el DDT, quienes deben haber experimentado cambios son las moscas domésticas.

Numerosos ejemplos de cambios en microorganismos se podrían tomar a partir de 1945, fecha en que se comenzaron a utilizar en amplia escala los antibióticos.

Además de las pruebas directas de la evolución, hay otro tipo de evidencias que podemos denominar **indirectas**. Entre éstas tenemos las aportadas por la anatomía comparada, rama de la biología que establece semejanzas y diferencias en los rasgos anatómicos de diferentes seres vivos. Por ejemplo, al comparar los esqueletos de un mono y un hombre se pueden observar estructuras semejantes y además dispuestas de acuerdo a un modelo similar; estas estructuras se llaman homólogas.

El estudio comparado del desarrollo de los embriones también ha mostrado la presencia de modelos básicos que reafirman la idea de un origen común de animales que hoy son distintos entre sí.

También a nivel celular existen semejanzas muy grandes y mecanismos similares de funcionamiento, hecho que se hace aún más evidente si nos acercamos al nivel molecular.

La gama de evidencias directas e indirectas es tan grande y consistente, que hoy no existe hombre de ciencia alguno que niegue la existencia del proceso de evolución de los seres vivos.

Los principales avances de la evolución biológica han sido:

*La aparición de la vida sobre la tierra probablemente en un ambiente acuoso hace unos 3800 millones de años.

*La aparición de los organismos fotosintéticos hace 3700 millones de años.

*La aparición de los eucariontes hace 1500 millones de años.

*La aparición de los animales (esponjas, celenterados y artrópodos) hace 600 millones de años.

*La conquista de la tierra por los vegetales primitivos hace 450 millones de años.

*El pasaje de los animales de la vida acuática a la vida en la tierra hace 350 millones de años.

*La aparición de los ancestros humanos hace 4 millones de años.

Cuestionario

1. Suponga y describa un cambio ambiental extraordinario al que una especie animal podría estar expuesta. Utilice esta descripción como guía y aplique el concepto darwiniano de la «supervivencia de más apto».
2. Muchos zoológicos encuentran ventajoso criar ejemplares en cautiverio. Si esta práctica continúa, ¿considera usted que es posible que evolucionen «especies de zoológico»?
3. Distinga entre selección artificial y natural, teniendo en cuenta los factores selectivos que operan en cada caso. ¿Cómo actúan probablemente hoy en el hombre, en la especie *Homo sapiens*, la selección artificial (es decir, cultural) y la selección natural?
4. Explique el concepto de variabilidad y dé ejemplos. ¿Qué es una mutación?
5. ¿Por qué la recombinación genética es causa de variabilidad?
6. ¿Por qué a veces la especialización puede resultar perjudicial?
7. ¿Por qué en otros casos la especialización resulta beneficiosa?
8. Señale dos procesos fisiológicos comunes a todos los seres vivos.

Ecología General

9. ¿Por qué se selecciona la inteligencia? (¿O sólo debemos preguntarnos por qué se seleccionó?). ¿Será por la capacidad que da (o dio) de guiar la acción de acuerdo a la predicción de una situación futura de anticiparse a los acontecimientos?
10. A la luz del concepto de evolución biológica, ¿en cuáles de las siguientes alternativas hay organismos que no pueden evolucionar naturalmente?
 - a) Los ratones de París.
 - b) Las bacterias del lecho del río Paraná.
 - c) Las plantaciones de eucaliptos para madera del delta de ese río..
 - d) Las isocas y pulgones de los cultivos de cereales.
 - e) Los docentes de ecología.
11. Se sabe que nuevas especies de insectos pueden evolucionar en pocos cientos de años, mientras que se necesitarían muchos miles de años para que evolucionen nuevas especies de mamíferos. Explique algunas razones.

Capítulo III
LOS ECOSISTEMAS

Leonardo Malacalza y Fernando Momo

La materia en el universo se organiza en una cadena de complejidad creciente, cada eslabón constituye un nivel de organización donde sus componentes tienen propiedades heredadas de niveles anteriores más simples, y propiedades nuevas emergentes de ese grado de complejidad de la materia. A cada nivel le corresponden las leyes de los niveles anteriores más las leyes de sus propiedades emergentes. Así cada nivel es estudiado por una ciencia: el de los átomos por la física, el de las moléculas por la química, el de los organismos por la biología. La ecología enfoca los niveles de organización de poblaciones, comunidades y ecosistemas.

El nivel de *población* está formado por un conjunto de organismos de una especie que habitan en un lugar determinado; el de *comunidades* es el que surge de poblaciones superpuestas e interrelacionadas; el de *ecosistemas* es el nivel de mayor complejidad, formado por las comunidades (o biocenosis) y su ambiente físico-químico (el biotopo).

El vocablo ecología fue creado en 1866 por el biólogo alemán Ernest Haeckel, a partir del griego *oikos*, casa, y *logos*, ciencia. Entonces podemos definir la **ecología** como **la ciencia que estudia las relaciones existentes entre los seres vivos y el ambiente en que viven**. Es la biología de los ecosistemas, aunque esta última inter-

pretación parece limitada, ya que en las últimas décadas la ecología ha trascendido el ámbito de la biología, incurriendo en las ciencias sociales cuando se aplican algunos de sus principios teóricos para tratar temas relacionados con el crecimiento de la población humana, el uso de los recursos naturales y la contaminación ambiental. El **ambiente** —o medio ambiente— es el conjunto de factores externos que actúan sobre los organismos vivos.

Sistemas y ecosistemas

Un *sistema* es un conjunto de elementos que interactúan y están relacionados entre sí de manera tal que responde como un todo unificado. Así visto, un conjunto de organismos de diferentes especies que interactúan entre sí y con su medio físico-químico constituye un sistema ecológico, un ecosistema.

Pueden considerarse ecosistemas a un bosque, a un río, a una ciudad, a una bahía, al mar entero o a toda la biosfera. Pero delimitar un ecosistema no es simple, porque a veces la zona de transición con ecosistemas vecinos es muy difusa y el intercambio de materiales entre uno y otro puede ser grande.

Un frasco transparente que contiene un cultivo de algas, plantas acuáticas, caracoles y bacterias, que está tapado y donde los vegetales fotosintetizan y gastan parte de lo que producen, los caracoles y las bacterias consumen (respiran) el resto de la materia orgánica producida por los vegetales, y del exterior sólo recibe luz, es un ecosistema. Más difícil es ver los límites de un ecosistema urbano o de un ecosistema fluvial, pero siempre podemos establecer límites más o menos arbitrarios, según nuestro interés.

Ecología General

En todo ecosistema puede distinguirse una serie de *niveles tróficos* (niveles donde las poblaciones tienen igual forma de incorporar materia y energía), el primero es el de los *productores primarios*, formado por los organismos que contienen clorofila. Este nivel es la puerta de entrada de energía solar al ecosistema. Con esa energía y moléculas inorgánicas que se encuentran en el medio, se sintetiza materia orgánica dentro de las células autótrofas: es la *fotosíntesis*. La materia orgánica así producida se denomina *producción primaria*. Parte de esta producción es respirada por los mismos autótrofos. La que queda representa un aumento de la biomasa de los productores primarios y se la designa *producción neta*, para distinguirla de la *producción bruta* que incluye la que se gasta en la respiración.

Una parte de la producción neta, o toda ella, es ingerida por el nivel trófico siguiente: el de los herbívoros o fitófagos, dando origen a la *producción secundaria bruta*; restando la energía que se consume en ese nivel en respiración, queda la *producción secundaria neta* que, a su vez, es utilizada por el tercer nivel trófico, el de los carnívoros o zoófagos de primer grado. Así puede haber uno o dos niveles tróficos más.

Por último, cadáveres, excrementos y otros restos producidos por diversos organismos son descompuestos por la actividad de los descomponedores (bacterias principalmente) que, mediante la respiración, los transforman en compuestos simples muy oxidados de los que ya no puede obtenerse energía aprovechable por seres vivos. Pero estos compuestos simples sí pueden ser tomados nuevamente por los vegetales y con ellos, y nueva energía luminosa, construir moléculas complejas, reiniciando el ciclo de la materia.

Ecología General

La vida y la muerte son cosas correlativas... la vida no podría existir sobre la Tierra si no hubiera al mismo tiempo, no sólo la muerte sino también la disolución.

Luis Pasteur

Dentro de los ecosistemas la materia puede reciclarse. Pero no sucede lo mismo con la energía que procede del sol: sabemos, por la segunda ley de la termodinámica, que en cada transformación la energía inexorablemente pierde parte de su capacidad de realizar trabajo, se va degradando. El mantenimiento del orden de un ecosistema lleva consigo un aumento de la entropía del medio. La energía no se recicla, fluye en un solo sentido. El flujo de energía impulsa el movimiento de la materia, que circula por momentos ordenada y unida a ella (y por ella) formando los organismos, y conteniendo información. La estructura de los organismos se mantiene a costa de un intenso gasto de energía y producción de entropía, sobre todo, en los niveles tróficos más bajos.

Un ecosistema bien identificable lo constituye un lago como puede serlo un de los de la cordillera andina. El biotopo está formado por el agua, la cubeta rocosa que la contiene, la luz, la temperatura, el viento, el oleaje. La biocenosis la integran algas, invertebrados diversos, peces, algunas aves, bacterias, hongos. Las algas suspendidas en el agua (el fitoplancton) son los productores del primer nivel trófico; estas algas son el alimento del zooplancton herbívoro, segundo nivel trófico, que es comido por el zooplancton carnívoro, tercer nivel trófico, que a su vez es comido por el cuarto nivel trófico que puede ser un pez planctófago, y éste por un quinto nivel de peces ictiófagos (peces que comen peces), aves o algún mamífero. En tal orden cada nivel sería como un eslabón de una cadena: la *cadena trófica*, donde cada eslabón come al anterior y es comido por el siguiente.

Pero tales cadenas rara vez son lineales: por lo general vemos *redes tróficas*: cuando el pez grande se come al pez chico también come zooplancton, algún alevín de su mismo nivel, etc. Además no todos los organismos son comidos por otros: simplemente pueden morir y ser degradados por hongos y bacterias. Finalmente éstos degradan toda la materia orgánica liberando las moléculas inorgánicas que son nutrientes con los que se puede sintetizar nueva materia orgánica y reiniciar el ciclo. La difusión y el movimiento del agua llevan esas moléculas a las zonas iluminadas donde están las algas que fotosintetizan.

Una parte de la energía proveniente del sol, básicamente energía de onda larga (calor), si bien no es aprovechada por los organismos autótrofos para la fotosíntesis, es la que impulsa la redistribución de la materia ya que produce vientos, evaporación y lluvia, corrientes marinas, etc. Esta fracción de la energía, que también participa en los sistemas vivientes suele denominarse *energía exosomática* ya que no circula por dentro de los organismos sino por fuera.

Dos grupos de rasgos característicos permiten describir de manera muy general los ecosistemas que se observan en la naturaleza, los rasgos *estructurales* y los rasgos *funcionales*. Los primeros tratan de la disposición espacial de los componentes del sistema en un momento dado. Los segundos tratan de procesos, es decir, de fenómenos dependientes del tiempo. Una función es la secuencia temporal y ordenada de las estructuras que forman los componentes del sistema.

Forman estructuras del ecosistema sus límites, los individuos de cada especie, la cantidad de éstas y sus biomásas, las reservas de biomasa y energía, la red de comunicaciones internas que permite el intercambio de

energía, materia e información entre las partes (ejemplos de estas últimas estructuras son nervios, venas, caminos, túneles, líneas eléctricas, oleoductos, etc.). Las estructuras no necesariamente son grandes, fuertes y duraderas; pueden ser pequeñas, débiles y efímeras como las que se pueden observar en ambientes acuáticos y otras que aparecen en otros sustratos móviles como las dunas.

Los aspectos funcionales de un ecosistema están relacionados con el flujo de la energía, que se expresa en cantidad por unidad de tiempo. Por ejemplo, la fotosíntesis y la respiración son funciones, es decir, procesos ordenados que posibilitan la obtención, transformación, almacenamiento y uso de la energía.

Algunos aspectos que nos informan sobre la estructura son la *biomasa* (que designaremos B) y la *diversidad específica* que también nos informa sobre el funcionamiento del sistema. La biomasa es la cantidad de materia viva por unidad de espacio que hay en un lugar determinado ($B = masa \cdot espacio^{-1}$).

Para estimarla, lo más elemental es tomar muestras representativas del sistema y pesarlas. El peso puede estimarse en peso fresco, peso seco o en cenizas y los resultados se expresan en Ton/ha, kg/m², g/m³, etc. La biomasa de algunos organismos particulares puede calcularse a partir de medidas de longitud y diámetro, usando tablas de conversión a peso. Hay también técnicas indirectas para estimar la biomasa, por ejemplo en el fitoplancton, a partir de la cantidad de luz de diferentes longitudes de onda que absorbe. Otro caso sería calcular la biomasa de una población de peces en explotación conociendo la relación entre la cantidad que se pesca y el esfuerzo de pesca (por ejemplo el número de barcos empleados).

Por otro lado, para describir mejor la estructura del ecosistema y deducir algunas características de su fun-

cionamiento, suele ser interesante observar cómo se distribuyen los organismos. Un ecosistema puede ser más o menos rico en especies, y cada una de éstas puede estar representada por un número más o menos constante de individuos, número que puede ser muy alto en unas pocas y bajo en muchas. Si logramos cuantificar este aspecto conocemos la *diversidad*. Ésta expresa tanto la *riqueza de especies* (número de especies presentes) como sus *abundancias relativas*. Cuanto más parejas sean las abundancias relativas, más diverso es el sistema. La diversidad máxima teórica sería aquella en que cada uno de los individuos perteneciera a una especie diferente. Por el contrario sería mínima cuando todos los individuos pertenecieran a la misma especie. En general, en las comunidades naturales existen pocas especies representadas por muchos individuos y muchas especies representadas por pocos.

Ese fenómeno natural que aquí conocemos como diversidad, tiene similitudes en otros sistemas con otros elementos, que también presentan distribuciones determinadas por procesos de automultiplicación y selección.

Ha escrito **Margalef** (1974) "*No debe extrañar demasiado que distribuciones semejantes a la de individuos de especies aparezcan en la distribución de la renta, en el número de publicaciones escritas por una serie de autores, en la extensión superficial de los países, en la distribución de los apellidos en una guía telefónica, en el número de especies en un conjunto de géneros, en la población de las ciudades, en la frecuencia de las distintas letras del alfabeto, en la distribución de las empresas de un ramo. En términos generales, hay muchas especies raras, muchos países pequeños y mucha gente pobre, que contrasta con unas pocas especies dominantes, unos pocos grandes en la arena internacional o unos pocos supercapitalistas*".

Si ordenamos las especies en una lista desde la más abundante a la menos abundante y graficamos el valor de importancia de cada especie (en número de individuos, en biomasa o en producción) en función de la secuencia de especies, desde la de mayor a la de menor valor de importancia, obtendremos un gráfico similar al de la figura 1.

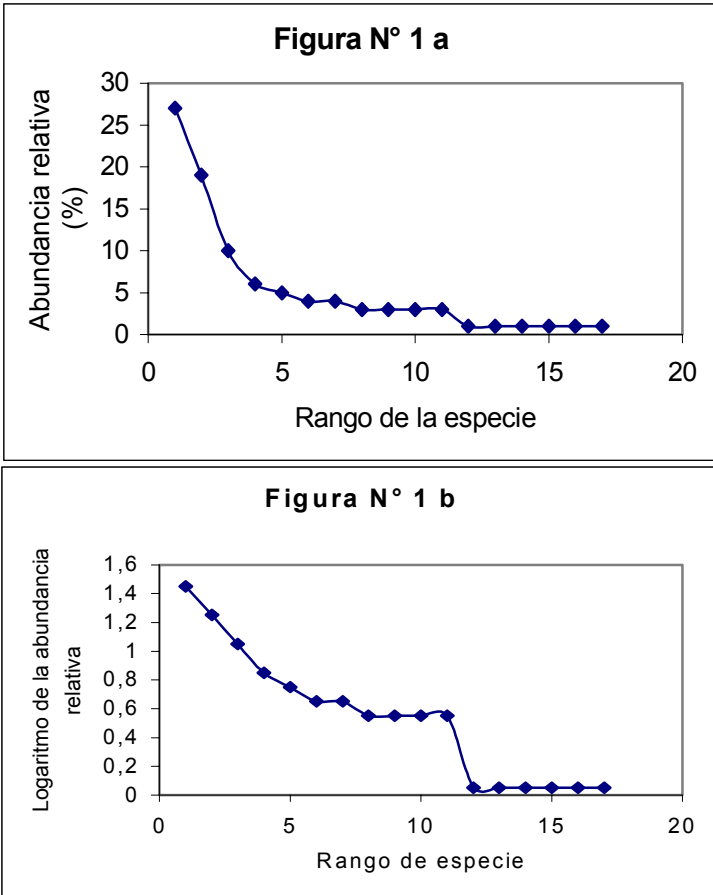


Figura 1: Dos maneras de representar las abundancias relativas de las especies en función de su rango de importancia. La representación del logaritmo de los datos numéricos es más cómoda cuando las abundancias son muy desparejas.

Ecología General

Algunos aspectos macroscópicos que nos informan principalmente sobre el funcionamiento del ecosistema son la *producción* (P , llamada *productividad* por algunos autores como Odum); la *tasa de renovación* (P/B , llamada a su vez *productividad* por otros autores como Margalef); el *tiempo de renovación* (B/P); el *cociente* P/R (donde R es la *respiración*); la *estructura de nichos* y la *eficiencia*.

La producción es una medida del flujo de energía por unidad de espacio y por unidad de tiempo. En otras palabras, es la *energía transformada por unidad de tiempo*; por ejemplo: gramos de carbono. m^2 . año⁻¹. Ya hemos visto que la *producción primaria bruta (PPB)* es toda la biomasa sintetizada en la unidad de tiempo por los organismos autótrofos, y que la *producción primaria neta (PPN)* es lo que queda disponible para el siguiente nivel trófico después que los autótrofos respiraron lo necesario para mantenerse; así podemos expresar:

$$PPN = PPB - R \text{ o en forma más general: } PN = PB - R$$

donde la producción puede ser primaria o secundaria (la de los heterótrofos).

Si dividimos la producción neta por la biomasa media de un período considerado, tendremos una idea de qué *cantidad de biomasa se renueva por unidad de tiempo*; esta renovación es la *tasa de renovación*. Así $P/B = 0,5$ indica que, en el lapso de medición (un año, un día, un mes) se renueva la mitad de la biomasa del sistema. Aquí la P es la producción neta. La función recíproca, B/P , nos da el *tiempo de renovación*, es decir, *cuánto tarda la biomasa en renovarse totalmente*, así un sistema con una tasa de renovación $P/B = 0,25 \text{ mes}^{-1}$, tarda $B/P = 4$ meses en renovar totalmente su biomasa. El tiempo de

renovación puede ser del orden de unos pocos días e incluso horas (por ejemplo en bacterias y algas) hasta decenas de años en un bosque.

El cociente P/R nos da una idea de qué *cantidad de la energía que entra se usa en mantener la estructura viva*. Si P/R es mayor que 1 tendremos un sistema que está creciendo, produce más biomasa de la que consume y con el excedente puede incrementar sus estructuras y funciones. Cuando el sistema se acerca a su máxima biomasa el cociente P/R tiende a hacerse igual a 1, es decir que toda la energía que entra se usa en el mantenimiento del sistema, no hay excedente de producción que permita hacer inversiones en nuevas estructuras. Esta tendencia general de los ecosistemas, de variar el valor P/R mayor que 1 a un valor P/R = 1, se ve acompañada por una disminución del cociente P/B, como veremos más adelante. Aquí la P es la producción bruta.

Se dice en general que el **nicho ecológico** de una especie es la función que cumple dentro del ecosistema. Una definición algo más exacta es decir que el nicho es la posición que ocupa la especie en la red trófica del ecosistema. Pero es necesario incluir en el concepto otras variables (por ejemplo: a qué horas come el organismo, dónde obtiene su alimento, dónde y cómo construye sus refugios, si lo hace, etc.) de ahí que Hutchinson describiera al nicho ecológico como un “hiperespacio de (n) dimensiones”. Cada una de las dimensiones sería una variable ambiental ante la cual el organismo tiene preferencia o un cierto espectro de respuestas; por ejemplo la temperatura ambiental, la cantidad de luz, la oferta de alimento, la distribución de depredadores, el espacio disponible para anidar o refugiarse, la salinidad, la humedad, etc. Cada especie tiene un “nicho ideal”, que es el espectro completo de todas las variables que podría

aprovechar y un “nicho real” que es el espectro que efectivamente aprovecha. El nicho real es siempre menor que el ideal, ya sea porque la oferta del ambiente no es tan amplia o porque otros organismos compiten con ventaja en ciertos valores de los parámetros y por lo tanto desplazan al organismo en cuestión.

La velocidad con que la energía fluye es menor en un sistema complejo que en uno simple. En los primeros existen muchas estructuras y funciones que retardan el momento en que la energía se gasta. Una comunidad con mayor diversidad específica tiene más **estabilidad** porque las interacciones amortiguan los cambios ambientales que puedan aparecer. La cantidad de esas interacciones o conexiones nos dan una idea de la **conectividad** del sistema. Muchas especies entre las que no hay conexiones o hay muy pocas, como en un jardín, no aseguran la estabilidad del sistema.

Un sistema, con muy pocas conexiones corre el riesgo de la fragmentación; por otra parte, un sistema con excesivas conexiones pierde flexibilidad por lo tanto tampoco es viable.

Las redes tróficas naturales se ubican dentro de ciertos límites en cuanto a las proporciones entre depredadores y presas, la conectividad y el número de niveles tróficos.

La eficiencia es un aspecto funcional cuantificable que nos ayuda a describir, comparar e interpretar distintos ecosistemas. En cualquier tipo de sistema **eficiencia** es el cociente entre dos variables: la variable dependiente o de salida y la variable independiente o de entrada, o una de éstas en caso de ser varias. Por ejemplo, en un automóvil la eficiencia en el uso del combustible será *kilómetros recorridos/litros consumidos*, y en los animales *crecimiento/alimento ingerido*.

Ecología General

En condiciones normales, la eficiencia del primer nivel trófico es muy baja: las plantas no aprovechan más del 1% de la luz utilizable que incide sobre ellas (*energía química / energía luminosa*).

En la tabla siguiente vemos datos de la eficiencia de organismos de otros niveles, según Margalef (1974).

Herbívoros (2do. nivel trófico)	crecimiento/alimento ingerido
Rumiante silvestre	1.1 %
Ganado vacuno	5 a 7 %
Zooplancton	8.7 a 13.3 %
Gallinas selección	14 %
Omnívoros	
Hombre	0.1 %
Cerdo	9 a 12%
Carnívoros (3er. nivel trófico)	
Arañas	10 a 25%
Insectos	12%
Peces	20 a 37%
Cigüeña	22 a 30%

Se ha calculado la eficiencia de distintos niveles tróficos y se ha visto que frecuentemente es mayor en los más altos, los más alejados de los productores primarios, y también que, en general, son más eficientes los organismos más especializados y de mayor tamaño.

Se ha calculado que, en general, de la energía disponible en determinado nivel trófico, en promedio, alrededor del 10% pasa al nivel siguiente. Esto es así porque en las comunidades en equilibrio cada nivel trófico extrae del anterior sólo la producción neta; si extrae más puede llegar a agotar la biomasa productora.

“La explotación ha de consistir, por tanto, en retirar del nivel trófico inferior una cantidad de materia (energía) por unidad de tiempo igual a la producida por dicho nivel cuya biomasa permanecerá constante.

Podemos poner un sencillo símil económico. La biomasa constituye el capital fijo que produce unos intereses. Éstos son retirados por el nivel trófico superior, el cual vive, pues, de renta, sin comerse el capital.

En consecuencia, la biomasa que puede mantenerse en un determinado nivel no depende de la biomasa del nivel anterior, sino de la producción de éste. La producción neta expresa la energía realmente disponible para el consumo. De ello resulta que, si representamos la producción de los distintos niveles tróficos de un ecosistema en forma de escalones superpuestos, tendremos necesariamente una pirámide, con la base (producción de autótrofos) mucho más ancha que el escalón superior (nivel de carnívoros).

En cambio, si cada escalón no representa la producción sino la biomasa del correspondiente nivel, la figura obtenida puede no ser una pirámide (un escalón intermedio puede ser mayor que otro más bajo), o incluso puede ser una pirámide invertida. Ello significa que un nivel trófico determinado puede estar explotando a otro cuya biomasa sea menor ya que el equilibrio no se establece con la biomasa del nivel inferior sino con su producción” (Terradas, 1982).

El perifiton: una comunidad desconocida

Si hiciéramos una encuesta sobre qué es el perifiton, probablemente la mayoría no sabría responder. Algunos, que tuvieran conocimiento de griego podrían acercarse a su significado a través de su origen etimológico; *peri*: alrededor y *phyton*: planta. En su origen el término designaba precisamente al conjunto de organismos vegetales y animales que se encontraban adheridos o envolviendo a las plantas acuáticas. Posteriormente este término sirvió para designar a la comunidad de organismos adherida o fuertemente relacionada con cualquier objeto sumergido.

De todos modos, luego de conocer su significado, lo más probable es que se siga desconociendo su interés tanto desde el punto de vista teórico como práctico, y de sus vínculos no sólo con la ecología sino con disciplinas como la piscicultura, la bioingeniería y la medicina y también con la vida cotidiana.

El perifiton, como toda comunidad, esta integrado por productores, consumidores y descomponedores. Los productores generalmente son algas microscópicas y otras de pequeño tamaño, los consumidores son pequeños moluscos, crustáceos y larvas de insectos, y los descomponedores, bacterias y hongos. El grado de desarrollo del perifiton tiene que ver con el tiempo que ha tenido para crecer. En los primeros momentos crecen bacterias, que en algunos casos extraen nutrientes del mismo sustrato sobre el que se fijan y en otros del agua circundante. Entre medio de ellas comúnmente comienzan a adherirse algas microscópicas denominadas diatomeas, que pueden fijar la energía proveniente del sol. Algunos tipos de estas algas tienen la capacidad de pegarse al sustrato directamente, y otros mediante estructuras mucilaginosas que les permiten tener una especie de pie, que las eleva por encima de las demás y acceden así a mayor cantidad de luz, que generalmente es bastante escasa dentro del agua. A su vez estos pies mucilaginosos, al morir las algas que portan, facilitan la fijación de algas de mayor tamaño como las algas verdes filamentosas. Algunas de estas últimas tienen un solo filamento sin ramificaciones, otras dos, y otras presentan muchas ramificaciones. Su mayor porte les permite una mejor captación de la luz a la vez que una mayor relación superficie/volumen que facilitan la absorción de nutrientes. Todo esto les ayuda a crecer más rápido. En ocasiones estas algas filamentosas crecen tanto que las bacterias y diatomeas que aparecían al comienzo las utilizan como sustrato y están así más cerca de la superficie de agua y por tanto de la luz. La presencia de filamentosas, genera en su entorno un ambiente más protegido con un cierto aislamiento del resto del cuerpo de agua. Es el lugar ideal para que habiten pequeños crustáceos y moluscos y para que muchos insectos coloquen sus huevos allí, donde sus larvas encontrarán comida abundante entre las al-

gas microscópicas que se pegan a las algas filamentosas. Todos estos organismos se encontrarán en un ambiente protegido de muchos depredadores, como pequeños peces, y de movimientos bruscos del agua, que serán atenuados por el conjunto de filamentos. Si uno pudiera hacerse muy pequeño e introducirse en esta comunidad vería que se parece a la estructura de un bosque. Tiene pequeñas algas fijas al sustrato inicial igual que la hierba que crece sobre la tierra; presenta algas pedunculadas que se asemejan a los arbustos del bosque y algas de mayor tamaño y numerosas ramificaciones que portan a otras pequeñas de las que se alimentan los herbívoros, como lo hacen aves y pequeños mamíferos que suelen desplazarse en las copas de los árboles. Cuando un alga o un animal se desprende o muere puede ser arrastrado fuera de la comunidad o caer sobre el sustrato original donde es degradado por bacterias y también por hongos, estos organismos poco a poco han creado una estructura muy eficiente de captación y descomposición de todas las partículas orgánicas que llegan allí, transformándolas en nutrientes que, si bien no son captados por una raíz, son absorbidos con mucha eficiencia por casi todas las algas y muy especialmente por las filamentosas.

El proceso que ha dado origen a la comunidad madura de perifiton de la que hablamos se llama sucesión, igual que la que se estudia en ecosistemas terrestres. Sin embargo, en el perifiton este proceso se produce con mucha mayor rapidez, alcanzando entre 30 y 60 días un estado comparable al que se alcanza en un bosque natural luego de 50 o 100 años. Esta característica le otorga al perifiton un importante interés teórico ya que, si podemos medir la diversidad, la equitabilidad, la producción y la respiración de la comunidad en distintas etapas podremos inferir algunas cosas sobre comunidades que necesitan mayor tiempo de desarrollo como por ejemplo el bosque que mencionábamos, o un pastizal.

Esto nos permite experimentar o simular con el perifiton fenómenos que nos costarían años simular con otros sistemas. Así, podemos evaluar el efecto que tiene una sobreexplotación con moluscos herbívoros sobre el perifiton y compararla con el efecto del sobre pastoreo en

un pastizal. Podemos simular el efecto de la fertilización y compararlo con lo que ocurriría en un ambiente natural donde llegan demasiados nutrientes. Podemos simular perturbaciones y compararlas con las que se generan por un incendio o por tala indiscriminada en un bosque. Obviamente en todos los casos hay que tener en claro que sólo pueden compararse los efectos sobre algunos de los parámetros de dichas comunidades pero no de todos ellos.

El perifiton ha sido muy usado también para estudiar los cambios que se producen en esta comunidad en ambientes que están contaminados. Es decir se lo utiliza como una comunidad indicadora ya que, por ejemplo, una contaminación por materia orgánica generalmente provocará disminución de la diversidad, cambios en las especies integrantes de la misma, disminución del índice P/R. También se han estudiado los efectos que sobre esta comunidad tienen distintos metales pesados y biocidas, y esto permite suponer el efecto que se produce en la red trófica de una comunidad.

Las posibilidades de analogías y comparaciones con otras comunidades son muy grandes y han sido estudiadas por muchos investigadores. Pero el perifiton además, al tener la ventaja de que puede cultivarse en el laboratorio para utilizarlo en alimento de peces y aun en la alimentación de seres humanos.

El perifiton, al estar constituido por especies con una alta capacidad de absorción de nutrientes también puede utilizarse en plantas depuradoras de agua como tratamiento terciario para extraer fósforo y nitrógeno y evitar la eutrofización. El procedimiento que ha sido bastante estudiado a pequeña y mediana escala en países de Europa del este, consiste en colocar láminas de metacrilato en la última parte de plantas depuradoras de líquidos cloacales donde arriban aguas con bajo contenido de materia orgánica y altos contenidos de nutrientes. Con buenas condiciones de iluminación, se realiza una rápida colonización del sustrato aunque sea inerte. Como la comunidad necesita nutrientes para crecer, los extrae del agua y los transforma en biomasa de algas que debe ser extraída periódicamente limpiando el metacrilato. El mismo procedimiento se ha ensayado para reducir la car-

ga de metales pesados de los efluentes de algunas industrias con resultados muy alentadores.

Finalmente el perifiton es el "verdín" que aparece en las piletas de natación. Conocer algo de su ecología nos permitirá controlarlo de manera adecuada y evitar resbalones indeseables a la hora de tomar un baño.

Adonis Giorgi

Cuestionario

1. Nombre tres organismos que ocupen el primer nivel trófico, dos que ocupen el segundo y uno que ocupe el tercero.
2. Marque la respuesta correcta: se puede decir que los zorros y los pumas ocupan el mismo nivel trófico porque ambos...
 - a. son carnívoros.
 - b. utilizan su alimento con una eficiencia del 10%.
 - c. viven en tierra.
 - d. son animales de gran tamaño.
 - e. aprovechan gran variedad de alimentos.
3. Suponga que una planta convierte en materia vegetal el 10% de la energía luminosa que recibe del sol, y que un animal almacena en su cuerpo el 10% de la energía alimenticia que come. Empezando con 10.000 kilocalorías de energía luminosa, ¿de cuánta energía dispondrá un hombre si come maíz? ¿si come carne vacuna? ¿si come ranas, las que comen insectos que se alimentan de hojas?

Capítulo IV
LA SUCESIÓN ECOLÓGICA

Leonardo Malacalza

“Los senderos de la vida son intransitables a la inversa y, además, ningún segmento puede ser equivalente a otro ya recorrido, ni siquiera tomado en el mismo sentido”.

Ramón Margalef

“...la amistad del hombre y del agua. Más esencial, porque estamos hechos no de carne y hueso sino de tiempo, de fugacidad, cuya metáfora inmediata es el agua. Ya Heráclito lo dijo.”

J. L. Borges

En los ecosistemas el equilibrio es dinámico. Los componentes, aunque perduren en cantidad y calidad, están en continuo movimiento. En general, los organismos integrantes de las comunidades se adaptan continuamente a un ambiente físico que tampoco permanece inalterable. Aun en aquellos biotopos relativamente constantes, o que sólo cambian por efecto de las comunidades que los habitan, las comunidades están sometidas a incesantes procesos de reorganización.

Hasta ahora en las comunidades no hemos tenido mayormente en cuenta el tiempo. Sin embargo, es precisamente el tiempo lo que permite la aparición y selección de las estructuras y funciones en las comunidades de vida. Así, pues, diremos que la composición de la comunidad, refleja el **carácter histórico** de todo ecosistema.

Los cambios en los ecosistemas pueden conducir a situaciones que aparentemente se repiten a través de ciclos más o menos regulares, o bien ser irreversibles. Este último es el caso de la **sucesión ecológica**. La idea de

sucesión según transcurre el tiempo, podemos asociarla a una **tendencia** progresiva y direccional, ya que los cambios no son siempre al azar. Es decir que en todas las comunidades existen ciertas coincidencias en cuanto a los cambios estructurales y funcionales; cierta tendencia común a alcanzar determinados valores. Llegar a conocer cuáles son esas coincidencias o regularidades, cuáles son esos valores, cuáles en general las funciones que se tienden a maximizar o minimizar, no es tarea fácil. Pero vale el esfuerzo intentar conocer la tendencia pues así podríamos pronosticar el futuro del ecosistema con alguna probabilidad de acierto.

La sucesión que ocurre en un espacio estéril, como una duna o una colada volcánica, se denomina sucesión primaria. La roca desnuda de una colada volcánica es un área vacía de vida, colonizable por los organismos; y en ella podemos observar esa colonización. Veremos la invasión rápida de los primeros organismos, verdaderos pioneros de la ocupación de un terreno árido y poco propicio para formas evolucionadas y complejas. Estas últimas sólo podrán ingresar tras una serie de etapas en las que distintas especies van cambiando el ambiente, posibilitando que otras, tras la lucha por el espacio, terminan por desplazar (aunque no siempre eliminar) a las primeras.

En la etapa terminal de la sucesión, la comunidad alcanza el máximo equilibrio con el ambiente físico y químico, y no experimenta cambios notables si tal ambiente no tiene también grandes cambios. A esta etapa terminal se la denomina **clímax** y es la etapa de mayor madurez de la comunidad.

Tradicionalmente se diferencia a las sucesiones primarias de las secundarias. Estas últimas son en general microsucesiones que ocurren en lugares donde ya existió la comunidad y en la que se produjo alguna perturba-

ción o acción que causa la regresión o muerte de parte de la comunidad. Son ejemplos de sucesiones secundarias las que aparecen tras un incendio de parte de un bosque, después de arar un pastizal, las que se desarrollan sobre material muerto y las que se observan después de una contaminación. Frangi (1993) señala que a veces la sucesión lleva a la comunidad a estados donde la acumulación de biomasa la hace más sensible a la acción de factores ambientales, como el fuego o el viento, cuya acción retrotrae al ecosistema a etapas serales a partir de las que se reinicia cíclicamente la sucesión ecológica, se trataría en estos casos de sucesiones secundarias, como la que ha observado en los bosques de Tierra del Fuego.

Todos habremos podido observar la rápida aparición de vegetación invasora en un jardín, en una huerta o en un campo de cultivo que han sido abandonados. Más difícil es que hayamos podido observar los cambios que se dan años más adelante porque son más lentos.

Margalef ha señalado que *a lo largo de la sucesión se produce una acumulación de información que permite disminuir el impacto de las variaciones ambientales*; ha dicho que *el conservatismo, la pereza, son una meta de la naturaleza...*

Para ese mismo autor las coincidencias o regularidades más notables en la sucesión ecológica son:

- ⇒ **Aumento de la biomasa total, principalmente de las porciones menos activas (como madera, corteza, espinas en los vegetales, y pelo, grasa, huesos en los animales).**
- ⇒ **Disminución de la relación producción primaria / biomasa total, es decir, retardo en la tasa de renovación del conjunto del ecosistema.**
- ⇒ **Reducción del tiempo de permanencia de los elementos químicos fuera de los organismos.**

Ecología General

- ⇒ **Estructura más complicada de las comunidades (mayor diversidad) y mayor segregación entre las especies próximas.**
- ⇒ **Desarrollo de toda clase de mecanismos de homeostasis.**

Odum (1972) ha tabulado las características de los ecosistemas maduros e inmaduros de la siguiente forma:

Atributos del ecosistema	Etapas inmaduras	Etapas maduras
Cociente P/R	mayor o menor que 1	aproximadamente 1
Cociente P/B	alto	bajo
Cadenas tróficas	lineales	en red
Diversidad de especies	baja	alta
Diversidad bioquímica	baja	alta
Nicho ecológico	amplio	estrecho
Tamaño promedio de los organismos	pequeño	grande
Ciclos biogeoquímicos	breves, simples	largos, complejos
Intensidad del intercambio de elementos nutritivos entre organismos y medio	alta, rápida	baja, lenta
Curvas de crecimiento	exponenciales	sigmoideas
Selección natural	tipo r	tipo K
Interrelaciones	pocas	muchas

Cuestionario

1. ¿Qué sucede con el paso del tiempo en un jardín, huerto o explotación agrícola cuando son abandonados? ¿A qué se deben los cambios?
2. Grafique las distintas etapas serales de una sucesión ecológica ideal que podría observarse a partir de una roca madre en una región tropical de América del Sur.
3. ¿Por qué los climas de la llanura pampeana o de la Patagonia no pueden llegar a ser idénticos al de la selva misionera si la tendencia es la misma?

Capítulo V
LAS POBLACIONES

Fernando Momo y Leonardo Malacalza

La población es la unidad fundamental de la ecología. Si bien abundan los estudios de comunidades y de ecosistemas, los trabajos sobre poblaciones le han dado a la ecología experimental algunos de sus resultados más rigurosos. Incluso, algunos ecólogos sostienen que es posible explicar la estructura y el funcionamiento de las comunidades a partir de las dinámicas poblacionales individuales.

Comencemos por la definición clásica de los libros de texto (Odum, 1972): ***una población es un conjunto de individuos de la misma especie, que viven en un mismo lugar en un mismo tiempo.*** Como vemos, en esta definición se ponen tres «condiciones» para considerar población a un conjunto de individuos: que sean de la misma especie, que habiten en el mismo sitio y que compartan ese sitio en el mismo tiempo (normalmente, el tiempo durante el cual estudiamos la población).

La primera condición —que sean de la misma especie— implica que los individuos de la población pueden reproducirse entre sí (técnicamente diríamos que son interfértiles) o, por lo menos, que comparten una cierta cantidad de genes. Además, también quiere decir que son parecidos, que viven en los mismos hábitats, que se alimentan de las mismas cosas.

Así, hablamos de la población de cuises del campo de la Universidad Nacional de Luján, de la población de perreyes de la laguna de Chascomús o de la población de cardos de la isla Martín García.

Definir la población como objeto de estudio entraña problemas y complicaciones que examinaremos detalladamente más adelante. Por ahora supongamos que sabemos de qué hablamos al decir «población». ¿Cómo la estudiaremos?

El tamaño y la densidad

Cuando estudiamos una población desde el punto de vista científico y, en particular, desde el punto de vista de la ecología, nos interesa conocer ciertos atributos que la describan y que nos indiquen cómo funciona. La pregunta que nos estamos haciendo es ¿qué podemos decir de la población? y en especial ¿qué podemos medir?

Una de las primeras cosas que intentamos conocer es el **tamaño** de la población, es decir, cuántos individuos forman parte de la población. Este es un tema importante: imaginemos que queremos saber si en nuestra ciudad hay muchos individuos del mosquito que transmite el dengue (el mosquito *Aedes aegyptii*); de esta información depende la decisión de fumigar o no algunas zonas para disminuir el número de mosquitos y esa decisión tiene importancia sanitaria, política y económica (para fumigar hay que gastar dinero). Entonces tenemos que estimar de alguna manera el tamaño de la población de mosquitos en la ciudad, es decir, tenemos que tener algún método para «contar» los mosquitos. Por supuesto que la idea de «muchos» o «pocos» mosquitos depende del área sobre la que estén distribuidos, así que, en general, dividimos el número de individuos (tamaño de la pobla-

ción) por la superficie y obtenemos así la **densidad** de la población que permite comparar poblaciones de tamaños distintos en distintos sitios. En los sistemas acuáticos, el tamaño poblacional se divide por el volumen de agua para obtener la densidad poblacional.

Las técnicas para estimar el tamaño de una población son variadas. Pasemos revista a algunas.

En poblaciones de plantas o animales sésiles es muy común tomar un cierto número de muestras de igual superficie y contar el número de individuos (o medir la biomasa o la superficie cubierta) de la especie estudiada en cada muestra. Los valores obtenidos en las muestras se promedian para obtener la estimación de la densidad.

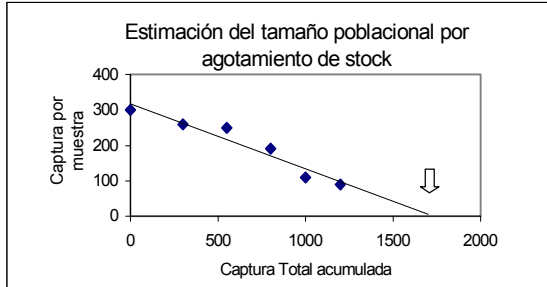
El método explicado no puede aplicarse a animales móviles, salvo que uno tenga un relevamiento fotográfico de los individuos; en tal caso se pueden usar trampas y calcular el tamaño poblacional conociendo el número de trampas, el número de organismos capturados y la eficiencia y área de influencia de cada trampa.

También se puede capturar un cierto número de animales **m**, y marcarlos de alguna manera, soltarlos y dejarlos mezclar con la población original. Luego se hace un nuevo trapeo y se cuenta el total de animales capturados, **N_c**, y el total de marcados **n** entre ellos; el tamaño poblacional **N** se calcula entonces como

$$N = m N_c / n$$

Cuando se estudia una población confinada (por ejemplo peces de una laguna cerrada), se puede hacer una serie de muestreos sucesivos con igual esfuerzo de captura. Si el intervalo entre los muestreos es pequeño comparado con la frecuencia reproductiva de la población, el

número de individuos capturados disminuirá en cada muestra como se representa en la figura. El lugar en que la curva corta al eje horizontal corresponderá a una muestra sin captura, por lo tanto, es una estimación del tamaño de la población al comienzo del muestreo.



Existen muchos métodos de mayor o menor campo de aplicación que pueden consultarse en libros de textos de ecología (Margalef, 1974; Colinvaux, 1980).

Es evidente, sin embargo, que la información sobre el tamaño poblacional es limitada. Por ejemplo, no nos dice nada acerca de cómo se distribuye la población en el espacio.

Distribución espacial de poblaciones

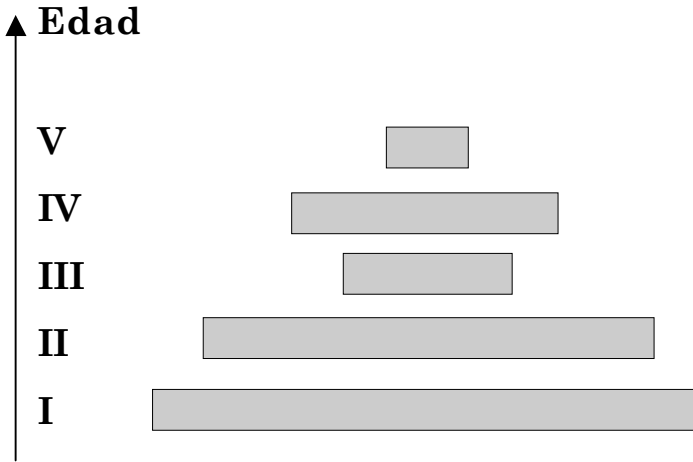
Para cualquiera que observe con detenimiento la naturaleza, resulta obvio que los organismos no se distribuyen siempre de la misma forma en el espacio que tienen disponible; así, algunos se agrupan en unidades de tamaño variable como cardúmenes, manadas de diversos mamíferos, «manchones» de plantas; otros parecen guardar entre sí distancias casi iguales como los abetos en un bosque; por último, hay otros que están ubicados al azar en el terreno, por ejemplo, los cardos en un campo o los ciempiés bajo el mantillo de un bosque.

Estos ejemplos ilustran los tres tipos básicos de distribución espacial: **agrupada**, **regular** o uniforme y **al azar**. La distribución agrupada se caracteriza estadísticamente porque la variación de las distancias entre individuos es mucho mayor que el promedio de esas distancias; en la distribución regular sucede lo contrario, mientras que en una distribución espacial al azar la variación (varianza) y el promedio de distancias es aproximadamente igual.

Estructura de edades de una población

Los individuos de una población no son todos iguales; tienen diferentes edades, pesos, tamaños, sexo. Las proporciones numéricas entre individuos de distinto tipo dan una idea de algunas características dinámicas de la población; por ejemplo, uno podría pensar que una población con gran número de organismos jóvenes es una población con más probabilidad de expansión en el futuro, con mayor capacidad de dispersión o con una mayor necesidad de recursos alimentarios.

El parámetro que más se usa para hablar de la estructura de la población es la edad. Se habla entonces de estructura de edades de la población estudiada, que no es más que la proporción entre diferentes clases de edad y puede visualizarse como una pirámide donde la longitud de cada escalón representa el número o porcentaje de individuos de la clase de edad que ese escalón representa (ver gráfico), por convención, y cierta lógica, las edades menores se representan en los escalones inferiores.



La estructura de una pirámide sólo nos informa acerca de las características que tiene la población en el instante en que fue observada. Para saber si la población está estable, en expansión o en decadencia, tenemos que observarla durante cierto tiempo.

Crecimiento poblacional

Las poblaciones no tienen un número constante de individuos; el tamaño poblacional varía mucho: a veces sube y baja periódicamente con épocas de abundancia y épocas de escasez que se alternan, a veces varían en forma aparentemente errática, sin ninguna regularidad, otras veces la población mantiene un tamaño más o menos constante y en un determinado momento sufre una «explosión» y aumenta de golpe (pudiendo constituir una plaga) o un «bajón» repentino que puede ponerla en riesgo de extinción.

En ecología, podemos contentarnos con describir estas variaciones, pero muchas veces nos interesa poder predecir qué le va a pasar a la población en el futuro; el

estudio del crecimiento de las poblaciones desde este punto de vista está irremediamente ligado al desarrollo teórico de *modelos matemáticos* que intentan explicar o describir tal crecimiento, es decir que podemos expresar el tamaño poblacional a lo largo del tiempo como una fórmula matemática en la que mostramos que el tamaño poblacional en un momento dado se puede calcular conociendo el valor de las variables que influyen en él.

Supongamos que se introduce una pequeña población en un sitio nuevo y adecuado para su crecimiento (por ejemplo, unas cuantas bacterias en un caldo de cultivo, o algunos gorgojos en un paquete de harina de maíz), el tamaño de la población aumentará a través del tiempo, ¿de qué manera? Podemos suponer que el tamaño de la población en cualquier instante variará a una determinada velocidad que dependerá del tamaño poblacional (es decir que la velocidad de crecimiento es *función* del tamaño de la población); podemos formalizar esto escribiendo:

$$dN / dt = f(N)$$

que significa que la “velocidad instantánea” de crecimiento (variación del tamaño respecto del tiempo) es función del tamaño de la población.

Como no conocemos esta función, podemos suponer, en una primera aproximación, que la velocidad de crecimiento es una **función lineal** del tamaño poblacional. Es decir: *es mayor cuanto más individuos tiene la población*. Por ejemplo, porque la probabilidad de encontrar pareja y reproducirse es mayor. Esto se expresa como:

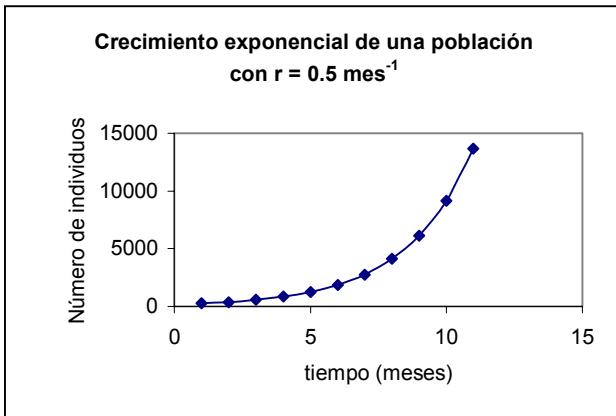
$$dN / dt = r N$$

y esto se llama **modelo exponencial** de crecimiento de la población (Hutchinson, 1981) y fue expuesto por primera vez por Thomas R. Malthus en el siglo XVIII refiriéndose a la población humana. El coeficiente de proporcionalidad r es *la tasa de crecimiento de la población*. En definitiva, lo que el modelo exponencial está diciendo es que la tasa de crecimiento de la población es constante. ¿Cree usted que esa tasa r puede ser menor que cero? ¿En qué casos?

El modelo se llama exponencial porque se puede deducir que:

$$N_t = N_o e^{rt}$$

donde N_t es el tamaño poblacional en el tiempo t , N_o es el tamaño inicial de la población y la curva de crecimiento obtenida al graficar N_t en función del tiempo es la que se representa en la figura.



Algunas poblaciones reales pueden crecer en forma aproximadamente exponencial durante períodos cortos, cuando invaden un hábitat adecuado y desocupado. Existen varios organismos que se alimentan de recursos que

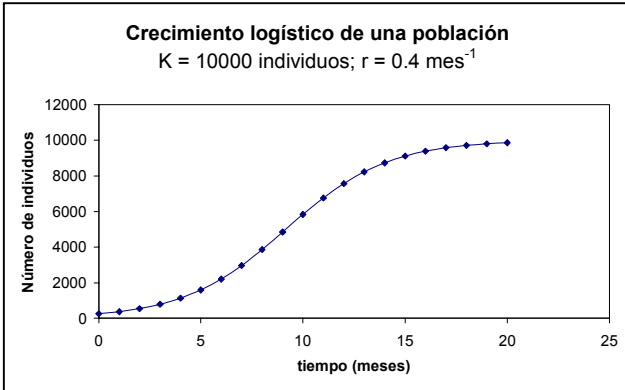
no están disponibles siempre en igual cantidad, estas especies suelen tener una gran capacidad de reproducción. Un ejemplo más o menos común son las moscas ¿Qué pasa cuando la oferta de alimento aumenta repentinamente (por ejemplo, por la instalación de un basurero de residuos domésticos)? La población aprovecha esta oferta rápidamente, sufre una «explosión demográfica», y crece en forma aproximadamente exponencial

Sin embargo, en la naturaleza es más común que las poblaciones crezcan más despacio a tamaños más grandes, como si sufrieran una especie de «frenado». Pareciera existir un tamaño máximo de la población en el cual la velocidad de crecimiento será igual a 0. Llamamos a ese tamaño máximo **capacidad de carga** del sistema y lo simbolizamos con la letra **K**. Expresando simbólicamente este tipo de crecimiento se obtiene la siguiente fórmula:

$$dN / dt = r N (K - N) / K$$

que es lo que se conoce como **modelo logístico** de crecimiento poblacional o modelo de Verhulst (Hutchinson, 1981; Kanti Bhattacharjee y Khodadad Khan, 1987). La interpretación es que la velocidad de crecimiento de la población es proporcional a su tamaño y a “cuanto le falta” para llegar a su tamaño máximo **K**. La tasa de crecimiento de la población ya no es constante, ¿podrías graficar la tasa de crecimiento en función del tamaño poblacional?

La curva de **N** en función de **t** es la que se muestra en la figura. Por la forma que tiene, esta curva es llamada a veces sigmoidea (en forma de sigma o letra «S»), mientras que la del modelo exponencial fue llamada curva «en J».



La fórmula del tamaño poblacional en función del tiempo para el modelo logístico es:

$$N_t = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - N_0}{N_0}\right) \times e^{-rt}}$$

En algunos casos, el crecimiento poblacional puede representarse muy bien con una curva logística, aunque los datos reales no se ajusten «exactamente» al modelo. Más frecuentemente, las poblaciones naturales oscilan y no parecen seguir un «modelo de crecimiento» muy definido, pero siempre se pueden hacer modelos que se aproximen razonablemente bien a los datos.

Regulación poblacional

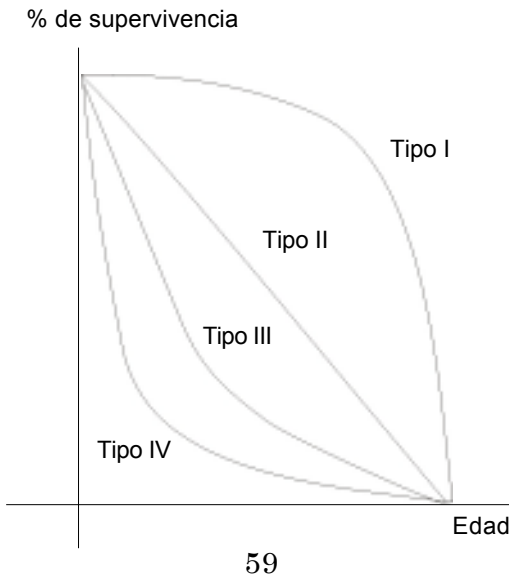
Una característica funcional que es importante tener en cuenta en los estudios poblacionales es su **mortalidad**. Importa aquí estudiar fundamentalmente dos cosas: la **curva de supervivencia** que indica el porcentaje de supervivientes de una cohorte a través del tiempo,

y **los factores de mortalidad** que nos pueden dar una indicación de cuál o cuáles son las causas principales de mortalidad en la población que estamos estudiando.

El tema de los **factores de mortalidad** es más interesante porque tiene efectos fundamentales en la regulación de la población, es decir en *los mecanismos por los cuales la población mantiene su número dentro de ciertos límites*.

Para estudiar el efecto de los factores de mortalidad se grafica la mortalidad total y se la descompone según diferentes causas. Entonces se tiene una idea de cuál es el **factor clave**, es decir, aquel que explica el porcentaje mayor de la mortalidad total.

Las **curvas de supervivencia** teóricas principales (según Slobodkin 1966) son de cuatro tipos básicos. La de tipo I se produce cuando la mortalidad se concentra en los organismos viejos, la II cuando hay un número constante de muertes por unidad de tiempo, la III cuando hay una tasa de mortalidad constante con la edad y la IV cuando la mortalidad se concentra en los estadios juveniles.



Pero esto no basta, ya que no todas las causas de mortalidad operan igual. Algunos, como una enfermedad infecciosa, *dependen en sus efectos del tamaño poblacional* y se dice que son **dependientes de la densidad**; esto significa que la proporción de individuos que mueren por causa de ese factor es diferente según la densidad de la población. Otros factores *operan con igual intensidad en cualquier tamaño poblacional*, por ejemplo la muerte de gramíneas por efecto de las heladas; a estos factores de mortalidad se los llama **independientes de la densidad**.

La cosa se complica cuando se observan las poblaciones reales. En algunas aves (gansos salvajes), la mortalidad de los pichones depende del número de huevos en el nido; demasiados huevos o muy pocos disminuyen la supervivencia de los pichones, esto es: hay un número óptimo de huevos que produce la máxima supervivencia. En salmones la mortalidad de adultos es mayor si la mortalidad de juveniles es menor (porque el alimento escasea) y se establece una especie de compensación entre las dos mortalidades que arroja un número aproximadamente constante de individuos cada año.

Estrategias demográficas

Los comentarios del párrafo anterior nos introducen a un tema muy importante en ecología, el de las estrategias demográficas. El estudio de las estrategias demográficas consiste en estudiar cómo las especies utilizan o distribuyen su energía entre las diferentes funciones vitales que tienen que cumplir: reproducción, crecimiento, defensa. Originalmente, estas ideas fueron planteadas por Mac Arthur y Wilson (1967) como un modelo ecológico de selección natural.

El concepto básico es la siguiente: si la mayoría de las especies siguen un crecimiento de tipo logístico como el ya expuesto, hay dos maneras principales a través de las cuales una población puede aumentar su número de descendientes; una es tener un mayor r , o sea, poner más energía en reproducirse; esto sería conveniente a densidades poblacionales bajas; otra posibilidad es tener un K alto, es decir, ocupar eficientemente el espacio y aprovechar los recursos para mantener más individuos; esto tiene mayor efecto a densidades poblacionales altas. Mac Arthur y Wilson lo expresaron diciendo que las especies que habitualmente tienen poblaciones pequeñas, están sometidas a una **selección r** , mientras que aquellas que, por vivir en medios con gran abundancia de recursos, tienen poblaciones habitualmente grandes, se ven sometidas a **selección K** .

Esto fue generalizado por Pianka (1982) quien habló de «estrategia de la r » para caracterizar a aquellas especies que sobreviven mejor en hábitats fluctuantes y que asignan una gran parte de la energía que reciben a la reproducción; y de «estrategia de la K » para referirse a las especies que viven en ambientes más estables y asignan la mayor parte de su energía al crecimiento individual y la defensa.

Recientemente se han realizado algunos avances teóricos en estos aspectos. Por ejemplo Rapoport (1979), ha hecho notar que en una misma población es posible encontrar individuos con diferentes «tácticas» según su ubicación en el área de dispersión de la población. Por ejemplo, en el centro del área de dispersión predominarán las condiciones ambientales más benignas y las densidades poblacionales serán mayores, por lo tanto habrá allí «tácticos K » que asignan poca energía a la reproducción y mucha al crecimiento individual; mientras que en

los bordes del área de distribución, donde las condiciones son más fluctuantes y las densidades poblacionales menores, predominarán los «tácticos r»; finalmente, habrá una tercera clase de individuos que aparecerán en zonas muy marginales, como testigos de momentos en los que el área de distribución fue mayor; estos organismos estarán sometidos a estrés y tendrán muy poca energía disponible, por lo tanto ni crecerán mucho ni se reproducirán mucho tampoco. Rapoport llama a estos organismos «tácticos SOS».

Siguiendo a Holm (1988) diremos que los efectos selectivos del ambiente estarán determinados por la abundancia de recursos, el grado de fluctuaciones de la oferta en tiempo o espacio, lo predecible o impredecible que sean esas fluctuaciones, la competencia que haya, y también por la presencia de depredadores en el ecosistema. Estas variables estarán asociadas a diferentes características biológicas y adaptaciones ecológicas en los organismos.

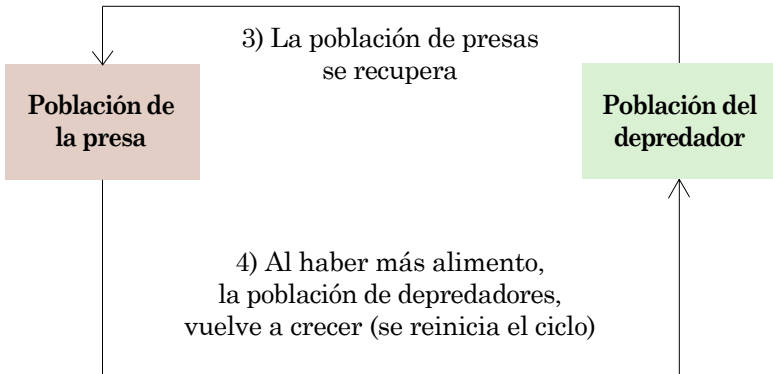
Una relación entre especies de distinto nivel trófico: la depredación

Las poblaciones no están aisladas en la naturaleza; interaccionan unas con otras formando sistemas más complejos y estableciendo mecanismos mutuos de control. El primer tipo de interacción que estudiaremos es el que se produce entre un depredador (organismo que come a otro) y su presa (organismo que es comido). Cuando esto sucede hay organismos que se benefician individualmente con la interacción (depredadores) y otros que se perjudican (presas). Sin embargo, considerando las respectivas poblaciones, pueden ser beneficiadas las dos partes: los depredadores mantienen una población de un determinado tamaño sobre la base de la energía que apor-

tan las presas y la población de presas tiene un regulador de tamaño (los depredadores) que mantienen el equilibrio entre la cantidad de individuos presa y los recursos (alimentos y espacio) que éstos explotan.

Podemos esquematisar a dos poblaciones en equilibrio (un depredador y una presa) con un circuito de retroalimentación negativa como el siguiente:

- 1) Si hay demasiados depredadores, la población de la presa disminuye



- 2) Al disminuir la población de presas, mueren más depredadores por falta de alimentos.

Se puede percibir que este circuito recurrente tiende a estabilizar el tamaño de las dos poblaciones: cuando hay muchas presas disponibles la población de depredadores crece porque tiene mayor oferta alimentaria, pero eso aumenta la presión sobre la población de presas, cuyo tamaño disminuye; así, la población de depredadores también decae y esto permite un nuevo incremento del número de presas y el ciclo recomienza.

Un circuito del tipo descrito da lugar a **oscilaciones periódicas** en ambas poblaciones, estando las del de-

predador desplazadas en el tiempo (desfasadas) respecto a las de las presas.

Esto no siempre sucede en la realidad. Si el depredador es muy eficiente y puede variar su esfuerzo de captura y, por lo tanto, comer una cantidad constante de presas independientemente de la densidad de éstas, puede conducir a que las oscilaciones se amplifiquen con el tiempo y termine por extinguirse la presa y, tal vez, también el depredador si no tiene otra cosa que comer.

Un caso como el descrito constituye un callejón evolutivo sin salida; un depredador de esas características no prosperará y, por lo tanto, la selección natural habrá favorecido otro tipo de relación entre depredadores y presas. Cuando entre dos especies existe una relación trófica, cada especie es un factor de selección que actúa sobre la evolución de la otra. Al respecto Margalef (1974) ha dicho que las relaciones de tipo trófico constituyen el motor fundamental de la evolución. Es sobre este postulado de base que analizaremos el origen de las estrategias de vida de las poblaciones comentadas antes.

Selección de estrategias

Comer y ser comido podría sintetizar lo que sucede en cadenas y redes tróficas normales (sin tener en cuenta la producción neta que pasa directamente al nivel de los descomponedores que la oxidan). Es totalmente teórico considerar a cada especie como presa de otra ubicada en un nivel trófico superior, porque el número de éstos no es infinito. No obstante, puede resultar útil imaginar a todas las especies como presas.

La **explotación continua** de una especie (animal o vegetal) por determinado animal, o la vida en un ambiente sometido a continuas grandes fluctuaciones, da ori-

gen a una selección de los más prolíficos; los que no pueden multiplicarse al ritmo de la presión de consumo que ejerce el depredador o al ritmo de destrucción que ejerce el ambiente, se extinguen; se seleccionan los genotipos que más se reproducen. Ejemplos de especies muy explotadas son las algas del fitoplancton o los pastizales naturales. La población de la especie explotada, al ceder a la presión de consumo, ha conseguido una biomasa superior a la que hubiera alcanzado en otras situaciones. Estas especies son las que se han considerado como sometidas a **selección r**, es decir, las que superan a sus competidoras por la tasa de multiplicación y son seleccionadas en densidades poblacionales bajas.

Por otro lado, es frecuente que los efectos de la acción del depredador o de un explotador (por ejemplo, un herbívoro), favorezca la selección de las especies o de los genotipos que son menos consumidos (los que «logran escapar»). En estos casos, en la competencia entre especies que son explotadas, triunfan las que se defienden o escapan más eficientemente aunque tengan una tasa de crecimiento igual o menor que sus competidoras. Se dice entonces que están sometidas a **selección K**, o sea, que tienden a la persistencia de la máxima biomasa. Tanto depredador como presa sufre una selección: el depredador comerá sólo lo suficiente para comer, podrá atrapar sólo los individuos viejos, enfermos, lentos o con comportamiento de huida menos eficiente. Por otra parte, en el depredador se seleccionaran los individuos con más eficiencia energética (mejor asimilación del alimento) o mayor capacidad de búsqueda. Según Slobodkin, la selección tiende a lograr un “depredador prudente” y una “presa eficiente” desde el punto de vista energético. Las presas tendrán vida promedio más larga, y el tiempo medio de permanencia de la energía en el nivel trófico pro-

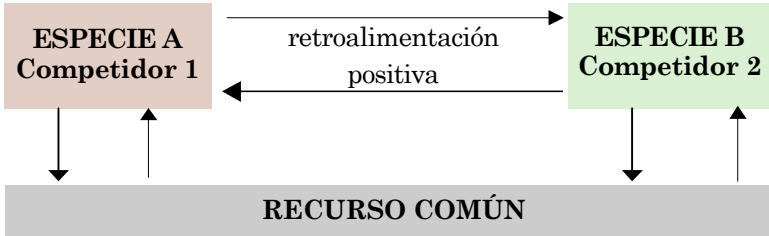
medio será mayor. En conclusión, la selección natural conducirá a un retardo en el flujo de energía y a una amortización de las oscilaciones en el tamaño de las poblaciones del depredador y de la presa.

Todos estos razonamientos giran en torno a modelos simples. Si consideramos la heterogeneidad de los ambientes reales veremos que las presas no están disponibles todo el tiempo ni en todas partes, los depredadores deben usar parte de su energía en buscar o acechar, puede haber cooperación en la caza o la defensa, un depredador puede comer diversas presas y una presa ser comida por más de un depredador.

Una relación entre organismos del mismo nivel trófico: la competencia

Decimos que existe competencia cuando diferentes organismos explotan un recurso común que es escaso. Si los organismos pertenecen a la misma especie hablamos de **competencia intraespecífica**; si son de especies diferentes, de **competencia interespecífica**. Examinaremos brevemente el segundo caso.

Un principio ampliamente difundido en ecología es el “principio de exclusión competitiva” de Gause (1934). Una manera de enunciarlo es: *“dos especies con idéntico nicho ecológico no pueden coexistir”* ¿Por qué?, porque a través de la competencia, la especie más eficiente en el uso de los recursos terminaría reemplazando o llevando a la extinción a la menos eficiente. Esto puede representarse mediante un circuito de retroalimentación positiva como el siguiente:



Si la especie **A** es más eficiente que la **B** en la explotación del recurso, su tamaño poblacional aumentará; esto hará que la cantidad de recurso explotado por **A** sea mayor y lo que queda para **B** sea menor. Por lo tanto, el número de individuos de la especie **B** disminuirá y quedará más recurso para **A** que crecerá más. Este ciclo lleva a la extinción de **B**. Hay una retroalimentación positiva entre los tamaños poblacionales de **A** y **B**, si bien hay un circuito de retroalimentación negativa entre la cantidad de recursos y el tamaño poblacional de cada especie.

En la naturaleza puede darse el caso de que dos especies que compiten, coexistan. Esto es posible si, alcanzado cierto tamaño poblacional, para cada especie se vuelve más importante la competencia intraespecífica que la interespecífica y su población frena su crecimiento antes de desplazar a la otra.

La inestabilidad ambiental también puede facilitar la coexistencia (Connell 1975). En este caso, los factores de mortalidad independientes de la densidad hacen disminuir el tamaño de las poblaciones relajando la competencia.

Con los mismos elementos de análisis que se usaron hasta aquí, se pueden estudiar otros tipos de interacciones entre poblaciones: mutualismo, parasitismo, comensalismo, antibiosis. Estos modelos simples nos permiten predecir aproximadamente el comportamiento de los sistemas reales.

EL BOSQUE CHILENO

... Bajo los volcanes, junto a los ventisqueros, entre los grandes lagos, el fragante, el silencioso, el enmascarado bosque chileno... Se hunden los pies en el follaje muerto, crepité una rama quebradiza, los gigantescos raulíes levantan su encrespada estatura, un pájaro de la selva fría cruza, aletea, se detiene entre los sombríos ramajes. Y luego desde su escondite suena como un oboe... Me entra por las narices hasta el alma el aroma salvaje del laurel, el aroma oscuro del boldo... El ciprés de las Guaitecas intercepta mi paso... Es un mundo vertical: una nación de pájaros, una muchedumbre de hojas... Tropiezo en una piedra, escarbo la cavidad descubierta, una inmensa araña de cabellera roja me mira con ojos fijos, inmóvil grande como un cangrejo... Un cábaro dorado me lanza su emanación mefítica, mientras desaparece como un relámpago su radiante arco iris... Al pasar cruzo un bosque de helechos mucho más alto que mi persona: se me dejan caer en la cara sesenta lágrimas desde sus verdes ojos fríos, y detrás de mí quedan por mucho tiempo temblando sus abanicos... Un tronco podrido: ¡iqué tesoro!... Hongos negros y azules le han dado orejas, rojas plantas parásitas lo han colmado de rubíes, otras plantas perezosas le han prestado sus barbas y brota, veloz, una culebra desde sus entrañas podridas, como una emanación, como que al tronco muerto se le escapara el alma... más lejos cada árbol se separó de sus semejantes... Se yerguen sobre la alfombra de la selva secreta, y cada uno de los follajes, lineal, encrespado, ramoso, lanceolado, tiene un estilo diferente, como cortado por una tijera de movimientos infinitos... Una barranca; bajo el agua transparente se desliza sobre el granito y el jaspe... Vuela una mariposa pura como un limón, danzando entre el agua y la luz... A mi lado me saludan con sus cabecitas amarillas las infinitas calceolarias... En la altura, como gotas arteriales de la selva mágica se cimbran los copihues rojos (Lapageria Rosea)... El copihue rojo es la flor de la sangre, el copihue blanco es la flor de la nieve... En un temblor de hojas atravesó el silencio la velocidad de un zorro, pero el silencio es la ley de estos follajes... Apenas el grito lejano de un animal confuso... La intersección penetrante de un pájaro escondido... El universo vegetal susurra apenas hasta que una tempestad ponga en acción toda la música terrestre.

Quien no conoce el bosque chileno, no conoce este planeta.

De aquellas tierras, de aquel barro, de aquel silencio, he salido yo a andar, a cantar por el mundo.

Pablo Neruda, 1973.

Capítulo VI
LAS POBLACIONES HUMANAS

Carlos Coviella, Leonardo Malacalza y María Andrea Casset

Un hombre que nace en un mundo ocupado, no halla cubierto en el gran banquete de la naturaleza.

T. Malthus
(1766-1834)

Un hombre que nace en un mundo ya ocupado, no halla cubierto en el gran banquete de la naturaleza porque hay otros que ocupan demasiado lugar.

J. B. Justo
(1865-1928)

Introducción

Más de 6.000 millones.

Y quizá el número 6.000 millones no nos impresione demasiado, aunque éste es el número de habitantes que actualmente tiene la tierra. Pero si tenemos en cuenta que llegar a los primeros 1.000 millones tomó toda la historia de la humanidad hasta el siglo XIX, que se duplicó en el siguiente siglo, que los últimos 1.000 millones se agregaron en sólo 12 años (de 1987 a 1999) y que se calcula que en el año 2050 la población mundial alcanzará los 12.000 millones, podremos empezar a entender una parte de la cuestión.

La mayoría de los habitantes de todo el mundo vive hoy en ciudades gozando, al menos algunos, de las comodidades de la moderna tecnología en medios de comunicación, transporte, servicios de salud, etc. Sin embargo, también es realidad que más de la mitad de la población mundial está hoy sub-alimentada, que más de 200

millones de personas enferman todos los años de paludismo y que en Argentina hay más de 3 millones y medio de enfermos del mal de Chagas.

En este capítulo estudiaremos las poblaciones humanas para conocer sus ritmos de crecimiento. Pero sobre todo, porque nos interesa tener elementos que nos permitan visualizar su actual relación con el ambiente, la magnitud de los efectos que puede ocasionar en él, los riesgos que corre cuando contamina, cuando forma parte de los ciclos de vida de otras especies y se enferma, cuando explota al resto de la naturaleza para satisfacer sus necesidades o su codicia.

El modelo de crecimiento de los países más desarrollados no garantiza un crecimiento como el actual en forma sostenida. A pesar de esto, con una tasa de crecimiento, promedio mundial, de 1,3, se agregan 78 millones de seres humanos cada año. Esto implica unos 214.000 por día, 8.900 cada hora, 148 por minuto... más de dos bocas nuevas por segundo. Hay quienes piensan que éste es el problema básico.

Por otro lado los países industrializados, con menos del 25% de la población mundial, consumen el 75% de la energía usada, el 79% de todos los combustibles, el 85% de los productos forestales y el 72 % del acero producido. Según cifras de Naciones Unidas (1999), el 20% más rico de la población mundial goza de un ingreso 82 veces más alto que el 20% más pobre, y consume el 82% de los recursos mundiales. Y hay quienes piensan que no es aquel sino éste el problema.

Es muy evidente también la desproporcionada distribución de la población humana en los hemisferios; el norte está mucho más poblado que el sur: con una superficie equivalente al 75% de la tierra emergida, encierra el 90% de la población mundial. En cambio, el hemisfe-

rio sur con el 25 % de superficie emergida sólo tiene el 10% de los habitantes. Además casi la totalidad de la población mundial se concentra en dos grandes sectores: la zona templada del Hemisferio Norte y la zona tropical comprendida entre los paralelos 25 al N y S del ecuador.

¿Está superpoblado el planeta?

Para poder decidir si con 6000 millones de seres humanos la tierra está superpoblada, debemos primero calcular la “capacidad de carga” de la biosfera respecto de la población humana. Si bien el concepto de capacidad de carga es relativamente fácil de comprender, el cálculo puede resultar complicado y especialmente respecto de la población humana es particularmente difícil. La razón, es que el número de habitantes no es importante en sí mismo, a menos que podamos calcular el **impacto ambiental** de una determinada población, el cual varía mucho en sociedades distintas. Así, siguiendo diferentes criterios, distintos autores llegan a cifras muy distintas (Cuadro 1).

Cuadro 1
**Estimaciones de Capacidad de Carga
para la población humana**

Autor	Año	Estimación (millones)
Leeuwenhoek ^(*)	1679	13.400
Knibs	1917	132.000
De Wit	1967	1.000.000 (máximo)
Ehrlich	1971	500 a 1.200
Wettenschapelijka	1994	11.000 a 44.000

^(*) el mismo que inventó el microscopio

Como vemos, distintos autores llegan a cifras muy distintas. Esto se debe principalmente a distintas estimaciones acerca de la producción potencial de alimentos de la biosfera, pero sobre todo, a distintos puntos de vista respecto del nivel de vida (consumo) considerado “deseable”.

¿Cuánto consume cada ser humano?

Wackernagel and Rees calcularon en 1996 que todo lo que un ser humano consume a nivel mundial promedio, puede ser producido por aproximadamente 1,8 hectáreas. A esta cifra promedio de 1,8 ha/persona, la llamaron la “huella” de un ser humano. Ahora bien, si éste es el promedio mundial, ¿cuáles son las diferencias en el impacto ambiental de un ser humano en distintos países? (Cuadro 2).

Cuadro 2
**Impacto ambiental de un ser humano
en distintos países**

Promedio mundial	1,80 ha / persona
Canadá	4,30 ha / persona
EE.UU.	5,10 ha / persona
Holanda	3,32 ha / persona
India	0,38 ha / persona

Visto de otra manera, un canadiense consume tanto como 11,31 hindúes, un norteamericano 13,42 veces, un holandés 8,73 y un habitante mundial promedio, unas 4,73 veces más. O sea que 88 millones de “canadienses”, o 75 millones de “norteamericanos”, o 114 millones de

“holandeses” consumen tanto como la población de India, con más de 1.000 millones de habitantes.

Intentemos ahora entonces, responder a la pregunta ¿está superpoblada la tierra? Con los recursos actuales, el planeta podría abastecer las necesidades de 28.000 millones de habitantes “estilo hindú”, pero sólo 2.100 millones “estilo norteamericano” o 2.500 millones “estilo canadiense”. Si la población mundial deseara un estándar de vida semejante al hindú, habría aún lugar para más de 20.000 millones de personas más. Si en cambio el estándar deseado por todos es semejante al norteamericano promedio, entonces estamos ya consumiendo los recursos de casi tres planetas tierra.

Cuadro 3
**Producción de alimentos. Cifras de ONU – FAO
para los años 1992-1994**

Promedio diario de producción por habitante

	Kcal.	Proteínas (g)
Promedio mundial	2.709	72
EE.UU.	3.609	110
Holanda	3.343	100
India	2.397	58
Argentina	3.076	98

Siendo que el promedio mundial de 2.709 Kcal. y 72 gramos de proteína diarias están por encima del consumo mínimo recomendado, la producción de alimentos mundial, alcanza para alimentar a toda la población actual.

Para estimar la capacidad de carga referida a los alimentos, han de tenerse en cuenta las tierras cultivables

y lo que pueda obtenerse de las aguas continentales y de las aguas marinas. Hace alrededor de cincuenta años se creía que los mares podrían proveer muchos más alimentos de lo que hoy sabemos que podemos obtener sin excesivos costos. Los mares y océanos contienen el 97% de las aguas del planeta y cubren el 70,6% de su superficie. Algunas zonas tienen una gran producción primaria, pero la mayor parte son muy pobres, comparables a los desiertos de los continentes. Los alimentos que provienen de mares y océanos no superan el 5% del total, pero la pesca aporta la mayor parte de las proteínas para unos mil millones de habitantes de tierras costeras.

El origen del hombre

El hombre entró sin ruido...

Cuanto más descubren los paleontólogos y paleoantropólogos acerca de nuestro lejano pasado, más se hace evidente que —al menos en el origen— la aparición del Hombre no causó ninguna profunda e inmediata conmoción en el medio biológico del cual surgió. Por el contrario, todo indica que apareció exactamente igual que cualquier otra especie.

Seguida hacia atrás en el tiempo, la línea evolutiva de los homínidos a la que pertenecemos se pierde entre innumerables otras líneas, más numerosas cuanto más nos extendemos. Y todas ellas salvo una, están hoy extintas. La tarea de distinguir cuál de entre todas ellas es la que conduce a nosotros —esto es, establecer nuestra filogenia— origina una de las discusiones más apasionantes de la antropología.

El hombre entró sin ruido, dijimos. Significa esto que —a pesar de su profunda originalidad—, no hubo ruptura ninguna en lo que algunos antropólogos han denomi-

nado el paso de la 'hominización'; en su origen, una rama más entre muchas otras emparentadas, en las que se dividió el grupo de los simios 'hominoideos'. Y desde allí, una serie continua de especies que forman una suerte de hilo conductor que llega hasta nosotros.

El tamaño de la población de nuestros antepasados, hace unos 4 millones de años, es estimado por algunos autores en 125.000 individuos mientras que, en la actualidad somos más de 6.000 millones. Esto significa, razonablemente, que en este lapso, por un lado eliminamos especies competidoras y por el otro explotamos los recursos naturales en forma mucho más intensa, pudiéndose decir que produjimos un impacto ambiental³. Si antes hicimos poco ruido, sin duda hoy estamos haciendo mucho.

Hace unos 20 millones de años, cuando África aún era una isla y el mundo era considerablemente más cálido que hoy día —hasta 12 °C más en los trópicos— poblaban la selva africana un grupo de simios antropoideos muy extendidos: los driopitecinos.

En algún momento, hace entre 16 y 18 millones de años, África quedó unida a Asia. Muchas especies se extendieron en ambas direcciones, con el consiguiente aumento de la competencia. Es este un período muy rico en cambios evolutivos, como se aprecia en el registro fósil. Además, hay evidencias de que el clima empezó a enfriarse por aquellas fechas: «...Así pues los Driopitecinos se vieron presionados desde varios frentes. El cambio resultaba, por tanto, inevitable y surgió un nuevo grupo: los Ramapitecinos...» (Pilbeam, D., 1997).

El grupo de los Ramapitecinos, se divide en tres subgrupos principales: Gigantopithecus, Sivapithecus, Ramapithecus del cual el grupo toma el nombre. Los Ra-

³ Denominamos **impacto ambiental** al efecto de cierta magnitud o complejidad que produce cualquier actividad humana en el medio ambiente, o en alguno de los componentes.

mapitecinos florecieron entre los 14 y los 8 millones de años atrás, y es en el Ramapithecus donde buscamos actualmente a nuestros ancestros. Sin embargo, debemos ir con cuidado tal como nos cuenta David Pilbeam (1997) «...lo mejor por ahora, es no tener ideas preconcebidas. Ramapithecus, o algo derivado de él, podría ser el primer homínido y Sivapithecus es un modelo razonable para que de él derivara el Orangután, pero sencillamente, no podemos estar seguros...»

En lo que sí parece haber consenso es que nuestra filogenia continúa con los Australopithecinos que, hace 4 millones de años estaban —como grupo— completamente extendidos por África. Por lo menos una de sus características, los coloca indudablemente en la línea humana: hace ya 3,75 millones de años, caminaban erguidos, tal como surge de unas huellas de pies de homínidos encontradas en Laetoli en la actual Tanzania. También en este caso, encontramos un grupo con varias especies. De ellos y probablemente hace unos 2,5 millones de años, apareció el género Homo, al parecer la especie Homo ergaster, que es la especie más antigua del género. Del grupo de especies de los Australopithecinos —aunque esto es materia de discusión— nuestro antecesor más probable es *Australopithecus habilis* (ex *Homo habilis*).

Australopithecus habilis es, y de allí su nombre, la primera especie asociada claramente en el registro fósil a instrumentos líticos. Aparentemente es la que comenzó a desarrollar el conjunto de información no genética transmisible que llamamos «cultura». Luego, aparecen *Homo erectus* (ex *Pitcanthropus erectus*) y *Homo antecessor* del cual deriva *H. heidelbergensis* hace unos 500.000 años y presumiblemente de él, hace unos 250.000 años, derivan *Homo neanderthalensis* y hace 50.000 años *Homo sapiens*, es decir nuestra propia especie.

No hemos encontrado hasta ahora —aunque es probable— evidencia alguna de que *Australopithecus habilis* haya coexistido antes de desaparecer con *Homo ergaster*, o que *Homo antecessor*, lo haya hecho con *Homo neanderthalensis*. De lo que sí parece haber evidencia, es de que el hombre de Neandertal habría coexistido con *Homo sapiens*, es decir con nosotros mismos, desde hace

unos 40 o 50.000 años, que es la edad estimada de nuestra especie en su forma actual, hasta hace menos de 30.000 años, tal como sugiere un esqueleto fósil encontrado en Portugal en 1998 y que parece ser el resultado del cruzamiento entre ambas especies.

El crecimiento de la población humana

La persistencia de una especie en el tiempo indicaría que está bien adaptada a las condiciones del medio ambiente que ocupa. Si aumentara su tamaño en varios órdenes de magnitud podríamos, incluso, decir que es exitosa. De acuerdo con este criterio, la especie humana, está teniendo un éxito formidable.

Veamos la siguiente tabla.

Fecha	Población mundial	Tiempo estimado de duplicación
8000 a.C.	5 millones	1.500 años
1650 d.C.	500 millones	200 años
1850 d.C.	1.000 millones	80 años
1930 d.C.	2.000 millones	45 años
1974 d.C.	4.000 millones	35 años
1987 d.C.	5.000 millones	41 años
1999 d.C.	6.000 millones	50 años
2050 d.C.	12.000 millones	¿?

El tiempo de duplicación es el tiempo que tarda una población en duplicar su tamaño y se calcula a partir del modelo exponencial de crecimiento colocando:

$$N_t = 2 \cdot N_o ;$$

esto es:

$$N_t = N_o e^{rt}$$

y por lo tanto

$$2. N_o = N_o e^{rt}$$

y

$$t = (\ln 2) / r$$

Podemos ver que, mientras se mantuvo estable durante cientos de miles de años, el tiempo de duplicación se redujo 30 veces en los últimos 10.000. Esto habla sin duda, del éxito de nuestra especie en los últimos años, sobre todo en los últimos cien. Sin embargo y a pesar de ello ¿puede seguir creciendo así la población?

Los grandes saltos en el crecimiento de la población

Sabemos que la aparición del hombre fue igual a la de otras especies. No obstante, ninguna especie anterior a *Homo sapiens* tuvo el poder de modificar la biosfera como lo está haciendo el hombre actual. Cuando un homínido talló por primera vez una piedra con la intención de convertirla en un instrumento útil, tal vez hace dos millones de años, daba el primer paso que llevaría a que algún día una especie de algún género de la misma familia de los homínidos modificase profundamente la biosfera. El *Homo sapiens* alcanzó en nuestros días ese dominio.

En el Paleolítico inferior, hace alrededor de un millón de años, la difusión de nuevas técnicas era lenta, nuestros antecesores eran meros recolectores de los frutos de la tierra y necesitaban una amplia zona para obtener su sustento. Fue durante este largo período que se produjeron tres grandes cambios culturales, aparte de la técnica de tallado de piedras: el arco, la domesticación del perro (que entonces deja de ser su competidor) y la pintura y el modelado de imágenes.

Entre esos cambios, el más importante avance, considerado la primera gran revolución económica, fue la

domesticación de especies animales y el cultivo de varios vegetales. Esto ocurrió alrededor del año 8.000 a. C., en Asia, en la zona de tierras fértiles que abarcaba una parte de Asia menor meridional, del Irán, del Turkmenistán occidental, además de la Mesopotamia, Siria y Palestina: la llamada **medialuna o creciente fértil**.

La posibilidad de domesticar animales y cultivar la tierra significó la aparición de la **selección artificial** para especies en las que hasta entonces sólo actuaba la selección natural.

Esa etapa de la prehistoria, que denominamos «**revolución agrícola**» fue probablemente uno de los más importantes factores —sino el más importante— que dieron origen al pasaje de la vida nómada a sedentaria, porque a los cultivos hay que cuidarlos y esperar la cosecha: es necesario quedarse en el lugar, y así comienza lentamente el proceso de urbanización. Precisamente uno de los asentamientos permanentes más antiguos que se conocen, es Jericó —en la actual Palestina— que data de hace unos 10.000 años y está íntimamente relacionado con la domesticación de plantas y animales. Naturales de esa región crecían diversas especies de cereales, que producían muchas semillas, antes de que el hombre llegase a comerlas y después a cultivarlas (Campbell, 1985).

En general, tales actividades agrícolas comenzaron en ecosistemas que ya sufrían algún tipo de perturbación antes de la llegada del hombre. Es el caso de las praderas que están sometidas a una fuerte presión por parte de herbívoros, a fuegos periódicos o a un clima fluctuante, con comunidades herbáceas capaces de resistir los cambios impuestos por el medio. Estos ecosistemas estaban, en cierta forma, preadaptados a la explotación humana (Margalef, 1980).

Con la mejor provisión de alimentos, la formación de aldeas permanentes y la urbanización, comenzaron a diferenciarse las funciones, aparecieron los oficios y la estructura de clases sociales. La obtención del alimento por una vía más efectiva que la recolección y la caza tuvo como consecuencia el primer gran incremento en el tamaño poblacional. Las aldeas incluían artesanos y desarrollaron un comercio incipiente, con el avance de las técnicas, este comercio entre aldeas se intensificó. Algunas ubicadas en puntos estratégicos para el intercambio de recursos aumentaron su tamaño y densidad hasta alcanzar la estructura de ciudades.

En el siglo XVIII se produjo la Revolución Industrial. Esto permitió al hombre controlar fuentes de energía inanimada, comienzan a utilizarse los combustibles fósiles y los logros tecnológicos fueron desde la máquina a vapor hasta los sistemas de producción en serie, que aplicados al campo agrícola lograron importantes aumentos en el rendimiento. También comenzó un proceso de explotación de los recursos naturales sin precedentes en toda la historia de la humanidad, tanto por su extensión como por su intensidad.

El veloz crecimiento actual de la población humana está producido directa o indirectamente por esa revolución. La disminución de la tasa de mortalidad por los avances de la medicina, unida al mantenimiento de la tasa de fecundidad, condujo a un incremento en la tasa de crecimiento de la población mundial, principalmente en los últimos 50 años.

Es indudable que la actual velocidad de crecimiento no puede mantenerse por tiempo indefinido. Pero un reciente informe de ONU indica que la tasa de crecimiento de la población humana alcanzó un máximo de 2,04 alrededor de 1970 y desde entonces ha ido bajando has-

ta su valor actual de 1,30. De seguir esa tendencia, el crecimiento de la población se detendría dentro de unos 100 años, estabilizándose entre los 7.500 y los 12.500 millones de habitantes.

Teorías sobre población

Las teorías sobre población siempre han estado más o menos influenciadas por el entorno político-social en que se desarrollaron, y siempre han provocando en las distintas sociedades reacciones a favor o en contra.

Es particularmente relevante la figura de Thomas Malthus, sacerdote y economista inglés de fines de siglo XVIII. Su teoría sobre la población parte de dos hipótesis principales; en la primera sostiene que la población aumenta en progresión geométrica siguiendo una ley biológica, y en la segunda que los medios de producción crecen en progresión aritmética, suponiendo además el rendimiento decreciente de la tierra.

Malthus sostenía que la capacidad del hombre de aumentar sus recursos es menor que su capacidad de reproducción; que las sociedades deben poner frenos a su multiplicación; que deben existir fuerzas internas que mantengan a las poblaciones dentro de los límites de la producción de alimentos. Estos frenos podrían ser preventivos, que son aquellos que disminuyen los nacimientos, o positivos, que actúan aumentando la mortalidad. Malthus propone las restricciones morales como medio para evitar el crecimiento de la población. Considera en su obra «Ensayo sobre el principio de población» (1798) a las instituciones sociales de su tiempo como naturales e inevitables, y a la pobreza como una consecuencia del tamaño de la población. Las reacciones que suscitó entre sus contemporáneos no se debieron tanto a su «prin-

«... principio de población», como a su visión estática de la sociedad y a su condena de las políticas que atenuaban los efectos de la miseria (particularmente las «leyes de pobres» imperantes en ese momento en Inglaterra).

El pensamiento actual en materia demográfica puede, básicamente, separarse en dos corrientes. Los antinatalistas reivindican de la teoría de Malthus y alertan sobre el peligro de la superpoblación. Por ejemplo Ehrlich (1975) sostiene que ya ha sido alcanzada la capacidad de carga del sistema, y estamos asistiendo al agotamiento de los recursos naturales; el hambre y la desnutrición que azotan a una importante porción del mundo serían consecuencia de la superpoblación, la alternativa para evitarlos consiste en frenar el crecimiento. Los que se oponen a esta tesis coinciden en sostener que la actual situación en el mundo subdesarrollado no es causada por el exceso de población, sino que es el resultado de la desigual distribución de los recursos, y que, por otra parte, nos encontramos alejados de la capacidad de carga de la biosfera.

Por último podemos señalar, siguiendo a Olivier, algunos aspectos sobresalientes tratados en la Conferencia Mundial sobre Población reunida en Bucarest en 1974: «Reconocer como un derecho soberano de cada nación la aplicación de su política demográfica; la libertad de cada pareja a tener el número de hijos que desee; y principalmente, reconocer a las políticas demográficas como parte de un programa de desarrollo social, económico y cultural. Nunca las políticas demográficas deben sustituir a las políticas de desarrollo».

La población latinoamericana

Según un informe de la CELADE (Centro Latinoamericano de Demografía, integrado al sistema CEPAL) de fines de 1987, se están produciendo cambios importantes en la estructura por edades de la población de los países de la región, y entre ellos el envejecimiento de la población. Según estimaciones realizadas por las Naciones Unidas en 1999, esta tendencia se ha acentuado debido a la disminución de la tasa de natalidad unida al aumento de la expectativa de vida en la región.

El concepto de «envejecimiento» de la población se define como un proceso de cambio de la estructura por edades caracterizado por el aumento del peso relativo del número de personas de edades más avanzadas, en este caso, de 60 y más años.

El envejecimiento se visualiza como una disminución de la proporción de la población en edades jóvenes (menores de 20 años) y el aumento de proporción de personas de edad avanzada (de 60 más años). Se prevé que hacia el año 2025 el grupo de edad avanzada dentro de la población total, alcanzará un 10%.

Esta situación es principalmente producto de la caída de la fecundidad y también está influenciada por el descenso de la mortalidad en las edades avanzadas; proviene del aumento de la tasa de crecimiento del grupo de los más viejos, con tasas que en las primeras décadas del próximo siglo, superarán, en dos o tres veces a las de la población total. En términos absolutos, la población mayor de 60 años pasará de 8,5 millones a más de 93 millones en 2025 que es el período considerado en el informe de la CELADE.

Distribución de la población y concentraciones urbanas

Según se sabe, las primeras poblaciones urbanas se formaron hace unos 10.000 años, con la revolución agrícola. Sin embargo la urbanización en el sentido moderno comenzó con la revolución industrial. En 1800 sólo el 3% de la población residía en ciudades, esa proporción se acrecienta en el siglo XIX, y en el siglo XX surgen «naciones urbanizadas». Según el grado de concentración, se acostumbra a dividir a la población en urbana y rural. La primera, concentrada, más eficiente en servicios, con menos vínculos directos con la naturaleza y mayor esperanza de vida. El término «rural», se asocia con aislamiento, pocos servicios y actividades ligadas a su mayor contacto con la naturaleza.

Esa clasificación indudablemente no es estricta, ya que en zonas de contacto los rasgos se confunden, y en el caso de los «oasis agrícolas» el modo de vida y la prestación de servicios no coinciden con el concepto de «rural».

Con la finalidad de hacer comparaciones y correlacionar a través de los años, actualmente se considera que la población es urbana cuando tiene más de 2.000 habitantes y trazado de calles; y rural cuando tiene menos de ese valor. La densidad en áreas urbanas alcanza los 20.000 habitantes/km² en tanto que en las áreas rurales no sobrepasa los 10 habitantes/km², excepto en las zonas de riego, donde es mayor. Es indudable que la densidad poblacional incidirá de diferente manera sobre el territorio.

El crecimiento vegetativo es mayor en las áreas rurales, como resultado de una mayor natalidad, pero también en ellas se alcanza una mayor mortalidad, siendo menor la esperanza de vida. Sin embargo, la población rural no es la que más crece ni en los países desarrolla-

Ecología General

dos ni en los subdesarrollados, es la población urbana la que crece a expensas de la rural. En 1950, de una población mundial de 2.520 millones, sólo 750 millones (el 30%) era urbana y 1.770 millones era rural. En el 2000, de 6.000 millones 2.850, casi la mitad (el 47%) vivían en áreas urbanas y 3.210 millones en áreas rurales (ONU, 2000).

Capítulo VII
LA ECOLOGIA Y LA SALUD

Leonardo Malacalza y Fernando Momo

La **salud**, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el estado completo de bienestar, tanto físico como psíquico y social. Es decir que la salud de un ser humano depende no sólo de las relaciones armónicas de sus órganos, sino también de su adaptación a los cambios del medio ambiente, y en la medida en que los mecanismos de respuesta sean armónicos y adecuados a la naturaleza de los estímulos, podemos considerar al individuo como sano. Al definirla de este modo, la salud es algo más que la ausencia de enfermedad.

Con 3.800 millones de años de evolución adaptándose al ambiente, la vida ha transmitido al ser humano una selección de adaptaciones muy ajustadas a determinadas condiciones ambientales. En sólo unos pocos miles de años, como producto de su cultura, el hombre se expandió a ambientes nuevos para él, en los que se enfrentó con nuevas patologías. Y en los últimos 200 años está produciendo cambios tan grandes en el medio ambiente, ya por su presencia numerosa, ya por su cultura tecnológica, que el ambiente es cada vez más agresivo y generador de patologías. Ha aparecido una asimetría: la especie *Homo sapiens* fue muy lentamente evolucionando en un ambiente más o menos estable, pero actualmente ese medio ambiente está cambiando rápidamente por acción de la cultura humana y el *H. sapiens* no puede cam-

biar a ese ritmo. Surgen agresiones ambientales cada vez más extendidas, como la contaminación, que puede estar localizada, ser puntual, en un alimento, en una fábrica, en una ciudad, o puede estar generalizada en todo el planeta, como en el aumento de los gases responsables del cambio climático mundial.

Si bien casi todas las patologías se desarrollan a partir de una predisposición genética y un desencadenante ambiental, hay enfermedades que, mucho más claramente que otras, para evitarlas se requieren conocimientos ecológicos. Entre éstas nos ocuparemos aquí de aquellas que afectan a más seres humanos y de otras para las que existe alto riesgo de llegar a expandirse.

Endemias, epidemias y pandemias

Diversas son las circunstancias que concurren con la existencia de ciertas enfermedades. Desde la antigüedad se conocen enfermedades que afectan al hombre en determinadas regiones. Tales regiones tienen comunidades de seres vivos, y hábitats geológicos, climáticos y topográficos con características particulares, a tal punto que para el experto observador, por los aspectos generales del área o región, le es fácil predecir si una determinada enfermedad puede estar presente o ausente. Es esto lo que se conoce como *epidemiología del paisaje*, siendo común referirse a enfermedades propias de sabanas, de montañas, de desiertos, de regiones tropicales, etc. Estas enfermedades son conocidas como **endémicas** y pueden, bajo determinadas circunstancias, aumentar en exceso su número de casos constituyendo una **epidemia**. En ciertos casos algunas enfermedades infecciosas pueden extenderse por uno o más continentes,

y entonces estamos en presencia de una **pandemia**, como fue la peste bubónica en el siglo XIV.

Podemos considerar tres grandes grupos de agentes patógenos: físicos, químicos y biológicos.

Entre los **agentes físicos**, tenemos las radiaciones y, en estos tiempos particularmente, el calor. Las radiaciones cósmicas y solares existen en la naturaleza, llegan a la superficie terrestre y generan elementos radioactivos como el carbono 14, que se incorpora a la materia orgánica. Los elementos radiactivos que existen en la corteza terrestre son peligrosos particularmente para los mineros que los extraen, como es el caso del uranio. Pero en los últimos 60 años, como consecuencia de su uso con fines bélicos y para la obtención de energía eléctrica y para usos medicinales, la radiación generada tecnológicamente que se puede encontrar en los lugares que habitan los hombres, es mucho mayor que la de origen natural. La radiación nuclear puede matar directamente o indirectamente por daño en los ácidos nucleicos provocando mutaciones, y éstas no sólo pueden provocar cambios imprevisibles en los ecosistemas, sino que algunas son también responsables de la aparición de cáncer.

La radiación UV proveniente del sol que no es absorbida por la capa de ozono llega a la tierra y puede destruir las células superficiales de los seres vivos expuestos, y en los humanos blancos es causa muy importante del cáncer de piel.

El calor es causa directa de la patología conocida como golpe de calor. Pero es mucho más importante como causa de cambios en el clima de grandes regiones pobladas, a las que llegan patologías que antes sólo estaban en zonas tropicales.

Los **agentes químicos**, ya como elementos químicos o como moléculas complejas, constituyen parte impres-

cindible de nuestro entorno, pero algunos son de importancia como generadores de patologías, tanto por su presencia como por su ausencia.

Particularmente importantes como patógenos químicos ambientales, hay que considerar a aquellos metales y metaloides que provienen de industrias alrededor de las cuales se asientan las poblaciones de quienes trabajan en ellas. El riesgo no sólo existe dentro de las fábricas, sino también en sus vecindades, por los efluentes que muchas veces no se tratan adecuadamente. Elementos como cromo, plomo, arsénico, cadmio, mercurio, pueden encontrarse como componentes del agua que bebe la población circundante. Si bien muchos de ellos en bajas concentraciones no producen ningún daño, sí pueden hacerlo en altas concentraciones o por incorporación crónica al organismo. Otros productos químicos que generan patologías son los plaguicidas, tanto los usados para combatir plantas como para combatir insectos. Los organismos no destinatarios, como el hombre, pueden sufrir patologías, ya por incorporarlos accidentalmente o ya por ingerirlos alimentándose con productos agropecuarios que los contienen (ver capítulo VIII).

Una epidemia importante en el noroeste de Argentina es el bocio producido por la ausencia de yodo en el agua y los alimentos. La ausencia de este metaloide produce hipotiroidismo en los adultos, que se manifiesta como lentitud física y psíquica; y en los niños retraso mental. El déficit de yodo en las zonas endémicas se puede solucionar incorporándolo en algún alimento. En Argentina toda la sal para consumo humano está enriquecida con yodo.

Agentes biológicos:

Zoonosis y antropozoonosis

Las enfermedades que ocurren en los animales, se agrupan bajo la denominación general de **zoonosis**. Algunas en determinadas circunstancias son transmitidas de los animales al hombre, ya sea en forma directa o por intermedio de un vector. Se dice que es un vector el organismo que introduce en el hospedador el patógeno que requiere más de un hospedador para completar su ciclo de vida. Los vectores son generalmente artrópodos, en su mayoría insectos hematófagos, que pican tanto a los hombres como a los animales, ya estén sanos o enfermos. Estas enfermedades, causadas por agentes en cuyos ciclos de vida quedan al mismo tiempo involucrados los hombres y otros animales, se denominan **antropozoonosis**.

En general la distribución de los agentes patógenos en los ambientes naturales es independiente del hombre. Muchas especies de animales silvestres constituyen reservorios naturales de agentes patógenos de antropozoonosis y la epidemiología de esas enfermedades puede comprenderse sólo cuando se conocen bien las condiciones de existencia de tales reservorios. Reservorio se considera al organismo animal o vegetal dentro del cual el agente patógeno completa su ciclo de vida y no necesariamente pasa directamente al hospedador, sino que puede ser liberado al medio y de esa forma producirse el contagio.

Desde el punto de vista de los intereses del hombre, se tiende a centrar los efectos perjudiciales de las enfermedades sobre la población humana o sobre los animales domésticos. Sin embargo es importante tener en cuenta, en un enfoque más general, que las enfermedades producidas por un agente patógeno biológico, no se pueden

restringir sólo a este aspecto. ¿Pueden las enfermedades considerarse como importantes factores en la evolución biológica? Si bien la regulación de las poblaciones en la naturaleza es un tema controvertido en ecología, en general se acepta que, sobre las poblaciones de animales silvestres, las enfermedades ejercen efectos reguladores que pueden considerarse similares a los producidos por los depredadores. Eliminar esa regulación podría ocasionar cambios imprevisibles a largo plazo. Se puede demostrar que la eliminación de los depredadores y parásitos de determinadas poblaciones de animales silvestres produce un incremento rápido en su densidad poblacional. En algunos casos la enfermedad producida por un agente parásito podría salvar la situación. El incremento en la densidad de potenciales hospedadores podría aumentar la tasa de transmisión del agente patógeno, y morirían más individuos por la enfermedad.

En ese contexto, las medidas de control de determinadas antropozoonosis, no deben necesariamente estar dirigidas a la erradicación de reservorios o de las poblaciones de parásitos, que en la mayor parte de los casos es muy difícil de llevar a cabo, sino más bien enfocar el problema hacia la creación de condiciones ambientales e implantación de medidas profilácticas que minimicen el contacto del hombre con los agentes patógenos.

Actualmente se conocen más de 150 antropozoonosis, de las cuales más de la mitad causan problemas importantes para la salud de la población humana, particularmente en países cercanos al Ecuador.

Esquitosomiasis

Se trata de una enfermedad causada por un gusano plano, un platelminto. Durante las últimas décadas y pa-

ralelamente al aumento de los embalses de las aguas continentales, para obtener energía eléctrica o para regar, la cantidad de enfermos de esquistosomiasis también ha aumentado. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que actualmente hay 250 millones de seres humanos que la padecen.

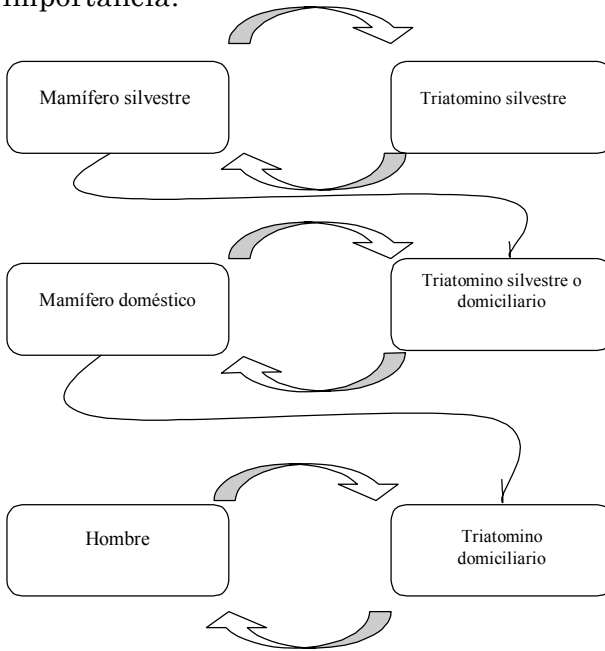
El ciclo de vida de este parásito tiene una etapa de reproducción sexual en un hospedador vertebrado terrestre, que puede ser el hombre, y una etapa de reproducción asexual en un caracol. Este molusco libera larvas acuáticas que infectan al hombre a través de la piel en contacto con el agua. Las larvas migran por los vasos sanguíneos hasta el hígado, donde maduran y se aparean, luego llegan al intestino donde durante años puede vivir, produciendo huevos que salen al exterior con las heces. Síntomas de la enfermedad son: fiebre, anemia, debilidad, confusión mental, espasmos en las extremidades, y están vinculados con la acumulación de huevos en el hígado, la pared intestinal y los pulmones. La capacidad laboral del portador disminuye y, por tanto, sus posibilidades de comprar los medicamentos con los que podría curarse. Si además hay desnutrición, puede provocar la muerte.

Causada por el gusano *Schistosoma mansoni*, la enfermedad tiene un área de distribución que abarca, África, Japón, China, Filipinas, Egipto, en especial a lo largo del valle del río Nilo, y América del Sur. En el sur de Brasil hay unos 6.000.000 de casos. En Argentina, en el NE, se encuentran dos de las tres especies de caracoles que pueden infectarse y ser los vectores; no existen datos de casos de humanos enfermos que la hayan contraído en el territorio argentino, pero existe alto riesgo de que la endemia se extienda desde Brasil. Por ahora, la mejor

medida de prevención es controlar la proliferación del caracol que la trasmite (Mirkin, G., et. al., 2000).

Enfermedad de Chagas

Actualmente se reconoce a esta enfermedad como la forma americana de la tripanosomiasis, cuyo agente causante es el protozoo flagelado *Trypanosoma cruzi*. Es un parásito intracelular (especialmente de células cardíacas, músculo estriado, sistema nervioso central y glandular) que es mantenido en la naturaleza por más de 100 especies y subespecies de triatomos (insectos hematófagos). Originalmente una zoonosis propia de la fauna silvestre (roedores, gatos, murciélagos, peludos, armadillos, marsupiales, etc.) la infección del hombre con *T. cruzi* se ha transformado en una enfermedad humana de gran importancia.



Ecología General

En la naturaleza existen tres ciclos, uno silvestre, uno intermedio y uno doméstico. El ciclo silvestre, que se desarrolla entre los insectos triatominos y los mamíferos silvestres. El ciclo intermedio o antropozoótico se produce entre triatominos silvestres y mamíferos domésticos (entre los cuales el perro juega un importante papel) en áreas peridomiciliarias, gallineros y corrales. El ciclo doméstico, que involucra al hombre, triatominos domiciliarios y mamíferos domésticos es una antropozoonosis, ya que afecta a los animales y al hombre.

Las condiciones ecológicas del continente americano permiten una amplia distribución de esta enfermedad, que se extiende desde el sur de los EE.UU. hasta el tercio austral de la Argentina y Chile. Pero la endemia tripanosómica está limitada a áreas rurales o urbanas poco desarrolladas, y en este caso el número de reservorios animales se reduce, al igual que el número de vectores. Por ejemplo, para nuestro país, de todas las especies de triatominos sólo *Triatoma infestans* (vinchuca) tiene real importancia desde el punto de vista sanitario epidemiológico, especialmente por poseer hábitats domésticos o peridomésticos. Cuando la vinchuca pica deja en sus deposiciones al agente infectante (*Trypanosoma cruzi*) que penetra al organismo cuando el hombre se rasca.

Se estima que en la Argentina existen alrededor de 3.500.000 de infectados. Las áreas chagásicas abarcan 19 provincias, ocupando una superficie que representa el 70% del país. Investigaciones entomológicas realizadas por el Programa Nacional de Lucha Antichagas ha permitido comprobar que en algunas localidades de zonas endémicas el 100% de las viviendas rurales estaban infectadas, y se encontró *T. cruzi* en más del 50% de los ejemplares de vinchuca estudiados.

El índice de infestación de las viviendas rurales, suburbanas y urbanas de bajo nivel socio-económico, difiere según las regiones; correspondiendo los valores más elevados de infestación domiciliarias a las provincias de Santiago de Estero, Formosa, norte de Córdoba, Chaco, La Rioja y Catamarca, comprendidas dentro de las provincias fitogeográficas Chaqueña, Espinal y Monte Xerófilo. Son regiones de clima cálido, en general seco y con estación lluviosa de corta duración, con oscilaciones térmicas estacionales amplias, al igual que diurnas y nocturnas. Estas condiciones climáticas son importantes para la vinchuca y la vivienda humana ofrece condiciones óptimas de refugio, con pocas variaciones y fuente alimenticia asegurada.

Las causas de la endemia deben buscarse en factores socio-económico-culturales, ya que para que exista transmisión deben coexistir el vector, los reservorios y el hombre, lo que ocurre sólo en viviendas de gente muy pobre, con paredes agrietadas, techos de paja, etc.

Paludismo

El paludismo, o malaria, es una enfermedad producida por cuatro especies del género *Plasmodium*, un protozooario parásito que es transmitido por mosquitos del género *Anopheles* quienes lo inyectan directamente en la sangre cuando pican al hombre. El parásito se multiplica en el hígado, luego pasa a los glóbulos rojos de la sangre de la que es otra vez ingerido por los mosquitos y el ciclo se completa.

Anualmente, según la OMS, se producen más de 100 millones de nuevos casos en todo el mundo. Pero para otras fuentes la cantidad podría llegar a 400 millones. Y sumando los casos nuevos a los ya existentes, la cifra as-

ciende a 600 millones, por lo menos. De ellos mueren por año cerca de 2 millones. Aproximadamente la mitad de los casos pertenecen a África. En América Latina se estima que hay unos 15 millones. En Argentina la zona endémica se encuentra en el noroeste, habiéndose registrado unos 2000 casos en 1986.

Los síntomas de esta enfermedad se presentan como episodios febriles recurrentes y debilidad progresiva. Existen tratamientos para atenuar los síntomas de esta patología, pero normalmente se hace crónica. Tanto las poblaciones del parásito como las del vector se han hecho resistentes, a los medicamentos unas y a los plaguicidas las otras. Así la enfermedad persiste por la persistencia del mosquito infectado. De ahí que la prevención se basa fundamentalmente en el control de los mosquitos, para los que habrá que perfeccionar métodos de control biológico, ya que, como hemos dicho, en muchos casos se han seleccionado los individuos resistentes a los insecticidas.

Dengue

Fue descrito por primera vez en el siglo XVIII. Se caracteriza por ciclos de infección en los que intervienen el hombre, los mosquitos y otros animales. Se extendió particularmente durante la Segunda Guerra Mundial, en el área del Pacífico y Asia. La información actual nos habla de unos 80 millones de personas por año que se infectan en áreas tropicales, y que unos 2000 millones corren el riesgo de infectarse. El agente causal es un virus con cepas de diferente virulencia; y los vectores son mosquitos del género *Aedes*, insectos que crecen en zonas tropicales y subtropicales, y que actualmente, con el aumento de la temperatura media, se han expandido a

otras zonas propicias para su desarrollo, que antes no lo eran. La primera infección provoca una forma benigna de la enfermedad, pero la segunda produce el llamado dengue hemorrágico, de mayor tasa de mortalidad.

Esta enfermedad viral, como la fiebre amarilla y otras, en sus comienzos era sólo una zoonosis. En la mayoría de las enfermedades humanas más recientemente difundidas, los respectivos virus parecen haber existido por mucho tiempo antes en la naturaleza, en sus hospedadores. El aumento de la población humana que obligó a desarrollar actividades rurales en zonas antes deshabitadas, hizo más probable el contacto entre hombres y animales infectados, y así se facilitó el contagio viral.

En Argentina el mosquito ya ha llegado hasta el centro del país pero sólo se han desarrollado casos de la enfermedad en la provincias de Salta y de Misiones.

Enfermedades transmitidas por roedores

Los roedores están involucrados en la transmisión de una serie de enfermedades al hombre o a sus animales domésticos. Entre ellas, la peste bubónica, distintos tipos de fiebres hemorrágicas, salmonelosis, triquinosis, leptospirosis, coriomeningitis linfocitaria, fiebre por mordedura de rata. Algunas de estas enfermedades son transmitidas por las ratas o la laucha doméstica, que por sus hábitos comensales (es decir, que viven en estrecho contacto con el hombre) revisten gran interés desde el punto de vista de la salud pública. Entre las enfermedades transmitidas por los roedores comensales, la peste bubónica fue una de las que causó mayor número de muertes, tanto en el viejo como nuevo mundo. En Argentina, hubo epidemias de peste en Rosario y Buenos Aires asociadas a la gran proliferación de ratas en los puertos (Uriarte, 1934). Actualmente, se producen algunos casos de peste en el mundo (Coto, 1997). El agente etio-

lógico de esta enfermedad es la bacteria *Yersinia pestis*, que es transmitida por las pulgas a los roedores. La peste bubónica (que, sin tratar, presenta un 50% de letalidad) puede avanzar hacia la peste septicémica y neumónica (que causan entre un 95-100% de muertes).

Otra enfermedad asociada a estos roedores es la Leptospirosis, cuyo agente etiológico es la bacteria *Leptospira interrogans*. El hombre se contagia por contacto de la piel con agua, suelo húmedo o vegetación contaminadas con materia fecal u orina de roedores infectados. También son importantes los perros en su transmisión. Los principales síntomas son decaimiento, fiebre, dolor de cabeza, dolor de músculos, pudiendo llegar a causar la muerte (Caminoa, 1999).

La triquinosis es una enfermedad de origen parasitario, causado por *Trichinella spiralis*, un gusano nematodo de 1 a 3 mm de diámetro que forma quistes en los músculos de numerosos mamíferos. El hombre se contagia por ingesta de carne mal cocida, frecuentemente de cerdo. Se cree que también las ratas cumplen un papel en el mantenimiento de la enfermedad en la naturaleza (Caminoa, 1999).

La Salmonelosis es una enfermedad producida por las bacterias *Salmonella spp*, en la cual también actúan los roedores como reservorios naturales. Esta bacteria afecta las aves de criadero y también produce enfermedad en el hombre. Los principales síntomas en el hombre son la gastroenteritis aguda, dolores abdominales, náuseas y vómitos. La muerte es poco frecuente. El contagio se produce por ingestión de alimentos contaminados (Coto, 1997).

Por último, otra enfermedad asociada a los roedores comensales es la Coriomeningitis Linfocitaria (LCM), cuyo agente etiológico es un arenavirus. Sus síntomas son semejantes a los de la gripe o influenza, con síntomas meníngeos o meningoencefalomielíticos. Rara vez resulta mortal. El contagio se produce por contacto con material contaminado con heces de roedores infectados (Coto, 1999).

Otro grupo de enfermedades está asociado a roedores de hábitos silvestres, cuyo contacto con el hombre es más accidental, pero que bajo determinadas condi-

ciones ambientales pueden sufrir cambios en su abundancia o en los usos de los hábitats que determinen un mayor riesgo de transmisión al hombre. Esto da lugar a la aparición o al incremento de la incidencia de enfermedades nuevas, denominadas "emergentes". En nuestro país, una enfermedad de estas características es la Fiebre Hemorrágica Argentina, endémica en la región pampeana, cuyo agente etiológico (el causante de la enfermedad) es el virus Junín, cuyos reservorios naturales son los roedores *Calomys musculinus* y *Calomys laucha*, especies comunes en los agroecosistemas de esta zona (Kravetz et al., 1986). Esta enfermedad fue identificada en 1958, por casos ocurridos en Junín, Provincia de Buenos Aires. Luego el área se expandió cubriendo gran parte de la provincia de Buenos Aires, sur de Córdoba y Santa Fe (Maiztegui, 1975). Su alta incidencia fue asociada al aumento del área sembrada respecto a los pastizales naturales, que llevó a un cambio en las comunidades de roedores con un aumento en la densidad de las especies de *Calomys*. Los números de enfermos producidos anualmente mostraron una estrecha relación con las variaciones en las densidades de roedores (Mills et al., 1992).

Otra enfermedad transmitida por roedores, que cobró importancia en nuestro país a partir de 1996, es el síndrome pulmonar por hantavirus. Existe una diversidad de hantavirus asociados a distintas especies de roedores, de los cuales sólo algunos han sido identificados como causantes de enfermedad en humanos. Los hantavirus del Viejo Mundo, Hantaan, Pumala y Seúl, son agentes causales de fiebres hemorrágicas con síndrome renal, cuya mortalidad oscila entre el 3-7% para Hantaan y 0,1-0,2 para Pumala. Los roedores reservorios del virus de Hantaan son las ratas domésticas (*Rattus* sp), de distribución universal, lo que ha posibilitado la llegada de la enfermedad a América del Norte. En Argentina se ha identificado la presencia del virus en ratas de los puertos de Buenos Aires, no habiéndose registrado hasta el momento casos humanos de Síndrome Renal por Hantavirus (HFRS) (Weissenbacher et al., 1990).

En 1993, en América del Norte, la infección por hantavirus fue asociada a otro tipo de enfermedad: el Sí-

drome Pulmonar por Hantavirus (SPH), caracterizada por un cuadro febril, mialgias, cefalea, tos y vómitos que puede evolucionar en pocos días hacia dificultad respiratoria grave y muerte en el 50% de los casos. Esta enfermedad es causada por distintos tipos de hantavirus: el virus Sin Nombre, el virus Black Creek Canal, el virus Bayou y el virus New York (Martínez et al., 2001). A diferencia del virus que produce HFRS, el mantenimiento del virus del SPH en la naturaleza se produce por la infección crónica de poblaciones de roedores silvestres de la familia muridae, subfamilia Sigmodontinae. Los roedores no son aparentemente afectados por el virus, y la infección de humanos se produce a través del contacto con la saliva, heces u orina de los roedores infectados, o por contacto directo con estos (mordeduras). El virus puede penetrar por pequeñas heridas en la piel o por aspiración de aerosoles con heces u orina. No permanece vivo durante mucho tiempo alejado de las células vivas, es sensible a la mayoría de los desinfectantes (lavandina, detergente) y a la radiación ultravioleta (Enría et al., 1995).

En América del Sur existen evidencias de infección humana con hantavirus en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. En Argentina, los casos ocurridos en el sur, en la primavera de 1996, con un alto porcentaje de mortalidad, llamaron la atención del público y de las autoridades hacia esta enfermedad. Posteriormente se identificaron otras dos regiones: la del Norte (especialmente en Orán, Salta) y la Central, correspondiente a las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba (Secretaría de Salud y Acción Social, Ministerio de Salud y Acción Social, 1999).

Existen evidencias, a partir de los casos de SPH ocurridos en Bariloche, de que el SPH puede transmitirse de persona a persona (Enría et al., 1996).

Los primeros hantavirus caracterizados en Argentina y Chile correspondieron a un nuevo tipo llamado Andes, emparentado con los hantavirus causantes de SPH en Estados Unidos de América, aunque claramente distinto. Su reservorio es el roedor sigmodontino *Oligoryzomys longicaudatus*. Esta especie de roedor también ha sido identificada como reservorio del hantavirus causante de los casos de SPH ocurridos en el norte (Andes North),

mientras que en la zona central se ha identificado el tipo Andes Cent Lec, cuyo reservorio es *Oligoryzomys flavescens*, agente causal de SPH en Entre Ríos y Lechiguanas (Martínez et al., 2001). Hasta el 31/12/99 se habían notificado 283 casos de SPH en la Argentina, incluyendo 32 casos retrospectivos de 1989 a 1994. Las provincias más afectadas fueron: Salta (91), Buenos Aires (74), Jujuy (27), Río Negro (25), Santa Fe (13), Chubut (8), Neuquén (6) y Entre Ríos (3), registrándose casos en 10 provincias (Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social, 1999).

El mayor riesgo de adquirir la enfermedad está relacionado con el trabajo o la recreación en zonas rurales, en especial áreas de desmonte. Su mayor incidencia se da en hombres (70-80%) y adultos (promedio de edad de alrededor de 30 años) (Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social, 1998).

La distribución de casos es agregada, tanto espacial como temporalmente. En las provincias del norte y centro del país, la mayoría de los casos ocurre entre octubre y febrero-marzo, mientras que en el sur la mayoría de los casos se produce entre septiembre-noviembre, con un pico menor en abril- mayo. No existe una asociación estrecha entre densidad de roedores y casos humanos de SPH, ya que, para la zona centro, las densidades máximas de roedores se producen en junio-julio, cuando hay muy pocos casos (Busch et al., 2001).

María Busch

mbusch@bg.fcen.uba.ar

Las patologías de origen ambiental en las poblaciones pobres tienen como una de las causas más importantes la ingesta de aguas contaminadas. Según informes del Banco Mundial el 20% de la población del planeta no tiene agua potable, y el 30% no tiene servicios cloacales. Está claro que se trata de las poblaciones más pobres, como puede verse en otros informes del mismo origen, que nos dicen que las muertes por enfermedades parasitarias e infecciosas en los países subdesarrollados representan el 41% del total, mientras que sólo llegan al 5% en los desarrollados.

“Frente a las enfermedades que genera la miseria, frente a la tristeza, la angustia y el infortunio social de los pueblos, los microbios como causas de enfermedades son unas pobres causas”.

Ramón Carrillo, ministro de Salud Pública argentino, circa 1950.

Capítulo VIII

LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y EL CAMBIO GLOBAL

Leonardo Malacalza y Carlos Coviella

Consideramos **contaminación** a toda perturbación del medio ambiente que resulte perjudicial para los seres humanos u otros organismos vivos. El agente causal puede ser de origen químico, físico o biológico y afectar al aire, al agua o a los suelos.

El concepto de contaminación, o polución, es subjetivo porque en muchos casos, aquello que resulta contaminante para algunas culturas puede no serlo para otras.

En sentido estricto para la ecología, como ciencia, la contaminación no es un problema. Éstos aparecen cuando hay perturbaciones que afectan negativamente a la «calidad de vida» de los humanos. Y sabemos que mucho de lo que hace a esa calidad es cultural. Pero la ecología se encuentra involucrada e interesada porque la contaminación tiene que ver con el flujo de energía y la circulación de la materia en los ecosistemas, y puede tanto aportar algún conocimiento como desarrollar alguno nuevo referido a problemas de contaminación. En general los contaminantes actúan simplificando los ecosistemas, retornando a las comunidades a etapas más inestables.

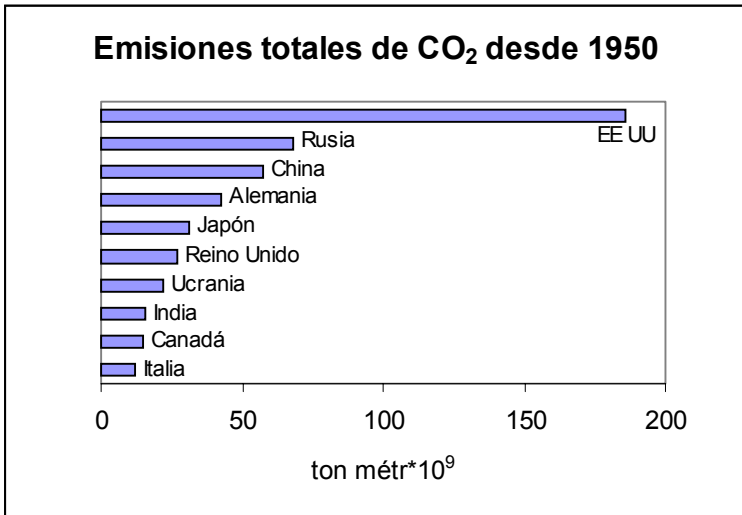
Desde el punto de vista de la teoría ecológica la contaminación es una circulación defectuosa, o interrumpida, de algún material de los ecosistemas. Para Margalef (1981) la contaminación es una «*enfermedad*» del transporte, es una utilización incompleta de alimentos, otros

materiales y también energía que la organización social transporta desde lugares más o menos distantes hasta otros sitios donde son requeridos. Aquellos materiales que sobran, que no son utilizados o que fueron transformados y ya no sirven, no son devueltos al lugar de procedencia, no se paga el costo del transporte. Aunque muchas veces el retorno resulte prácticamente imposible porque el hombre es capaz de fabricar sustancias sintéticas que no existían en la naturaleza, como el caso de muchos biocidas y también otros derivados de la industria petroquímica.

La contaminación que más ha molestado o preocupado a la mayoría de los humanos es la que nos afecta directamente, desde cerca, la contaminación del agua que bebemos, de los alimentos, o del aire que nos rodea. Se trata de contaminaciones localizadas, generalmente circunscritas a un lugar o región. Pero hay otra contaminación que por dispersa y global ha tardado en llegar a ser evidente: la contaminación de la atmósfera por los gases causantes del efecto invernadero.

Sabemos que los ecosistemas tienden a mantenerse en equilibrio dinámico en el que las perturbaciones menores son automáticamente compensadas. Se observa tal estado-estable en la presencia y tamaño de las poblaciones, y también en el entorno físico y químico que las contiene. Pero puede suceder que las actividades de la población humana originen cambios en ese estado-estable y lleven al sistema a un punto de gran inestabilidad y aumento de la velocidad del flujo de energía. El hombre puede provocar intencionalmente esos cambios, como en el caso de la agricultura y la explotación forestal, y obtener beneficios a corto plazo. Pero también puede obtener perjuicios de los que no podrá escapar fácilmente. Tal es el caso del calentamiento global del planeta por el

efecto invernadero que ya mencionamos. Veamos, en el aire las proporciones de oxígeno (21% de volumen) y de dióxido de carbono (0,037%) se mantienen constantes por efectos de la fotosíntesis y la respiración, y también por la regulación que ejercen los océanos en la cantidad de dióxido de carbono que puede contener el aire. En las últimas décadas la concentración de dióxido de carbono en el aire ha ido incrementándose como consecuencia del uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) para la industria, el transporte y la calefacción. Éste es uno de los motivos del aumento de la temperatura media del planeta (ver gráfico).



Fuente: ONU y Banco Mundial (2000)

Dicho efecto invernadero, que estaría provocando un cambio climático a nivel planetario, así como el adelgazamiento de la capa de ozono y la lluvia ácida, tiene sus causas más importantes en los sistemas dominantes para el crecimiento económico y la explotación de los recursos, particularmente durante el último siglo en las na-

ciones más poderosas. Veamos cómo llegamos aquí. En la primera etapa —que duró unos 2 millones de años— las poblaciones humanas cazadoras-recolectoras y nómadas, tienen que haber tenido una relación con el medio muy parecida a la de otras poblaciones de primates: explotar un área y migrar a otra cuando los recursos escasean. En la segunda etapa, que se inicia cuando el hombre comienza a cultivar la tierra y se hace sedentario, la densidad de las poblaciones aumenta, aparecen las ciudades y caminos por los que pueden transportarse alimentos y otros materiales que vaya demandando el cambio cultural. La tercera etapa, de la revolución científico-tecnológica, se inició hace unos 200 años con la industria auxiliada con mucha energía de alto costo y bajo precio: los hidrocarburos ya mencionados. Es la civilización a la que pertenecemos (aunque algunos pertenecen mucho más que otros) que se caracteriza por la gran generación de bienes y servicios. Pero no sólo ha producido bienes en cantidad; también se han producido «males» a toda la humanidad —por no hablar de la biosfera—. Males cuyo costo no es incorporado al precio del bien producido. Los costos ambientales derivados de la producción industrial no se transfieren al consumidor del producto, mediante el precio, sino que son cargados a toda la población, sea o no consumidora. Los no consumidores no sólo no acceden a los beneficios sino que pagan parte de los perjuicios.

En el sistema descrito aún no han actuado globalmente los mecanismos de retroalimentación que regulen o eviten los perjuicios señalados. Cuando el costo de éstos superase a los beneficios, dentro del mismo sistema se irían produciendo las correcciones. Así sería si tanto todos los beneficios como los perjuicios se distribuyeran más o menos equitativamente en la población humana.

Pero no siempre es así ya que la contaminación pasó a ser un perjuicio severo, crónico o agudo para los sectores humanos más pobres o con pocas defensas. Mientras que los sectores con mayor poder económico buscan alejarse de la contaminación viviendo en zonas residenciales muy reguladas, los sectores más pobres quedan en zonas contaminadas. A la propiedad privada de la tierra se suman ahora la propiedad privada del agua potable, del aire y el clima en general. El caso del efecto invernadero es un ejemplo.

En el primer párrafo de este capítulo dijimos que el agente causal de la contaminación puede ser de origen químico, físico o biológico, debemos agregar ahora la pobreza. Es la pobreza otra clara causa de la contaminación y degradación ambiental.

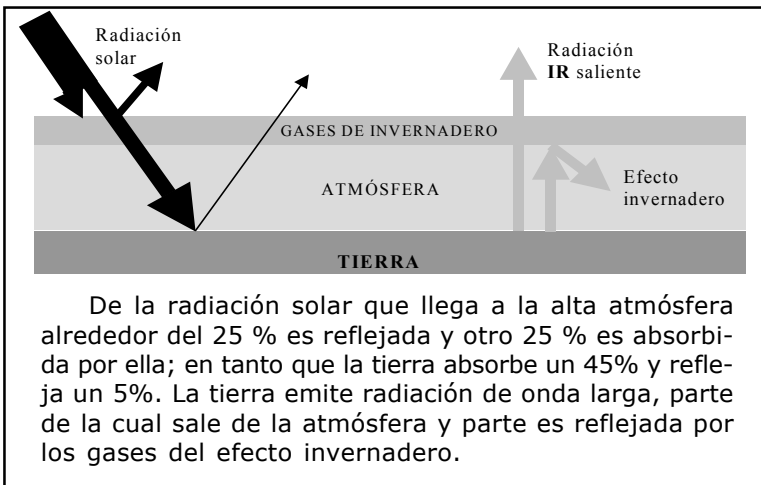
Efecto invernadero y cambio climático

El sistema climático del planeta depende de una serie de factores íntimamente entrelazados. Uno de los elementos más importantes, es el balance energético entre la energía recibida del sol y la irradiada de vuelta al espacio. En ausencia de atmósfera, la temperatura promedio de la tierra debería ser de aproximadamente -16°C (255° Kelvin). La temperatura promedio real de $+15^{\circ}\text{C}$ (288° Kelvin), es porque distintos gases en la atmósfera absorben la radiación emitida por la tierra. Entre estos gases, los más importantes son el vapor de agua, CO_2 y el metano, los cuales por esa razón, son llamados «gases de efecto invernadero». De éstos, el CO_2 está aumentando muy rápidamente debido a diversas actividades humanas y es el gas que más impacto está teniendo en el cambio climático.

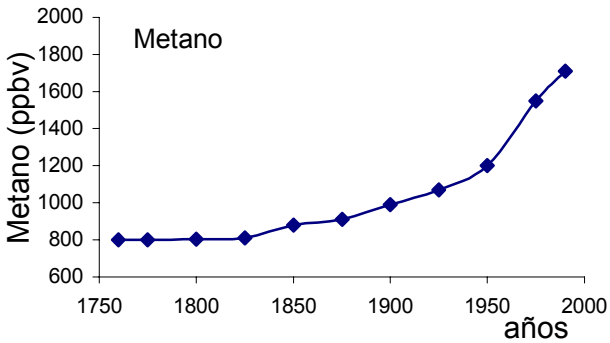
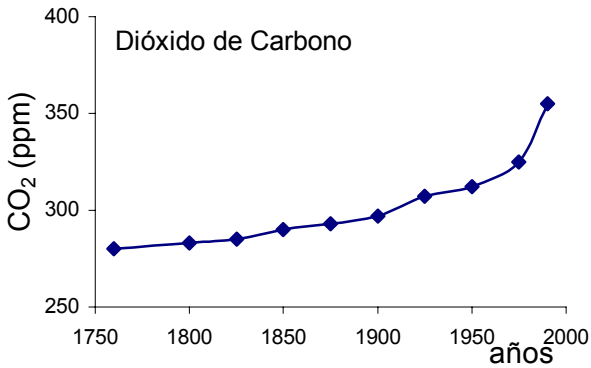
Ecología General

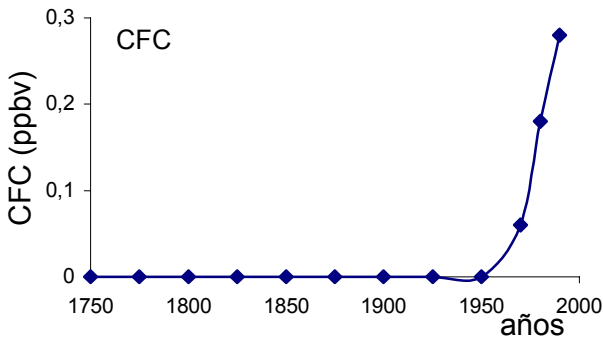
La razón de este aumento tan rápido del CO_2 atmosférico, es el aumento en el uso de combustibles fósiles, y en menor medida la deforestación y cambios en el uso de la tierra. Por primera vez en la historia del planeta, una sola especie —la especie humana— tiene un impacto suficientemente grande como para cambiar el clima de la tierra en forma importante.

De acuerdo con muestras de aire atrapado en hielos de la Antártida y de Groenlandia, el nivel actual de CO_2 atmosférico de 370 ppm (partes por millón) de aire es el más alto de, al menos, los últimos 420.000 años y muy posiblemente el más alto de los últimos 20 millones. La tasa actual de aumento de CO_2 en la atmósfera desde 1900 es de aproximadamente de 1.7 % anual, que es la tasa más alta de los últimos 20.000 años por lo menos. Si esta tendencia histórica continúa sin cambios, las emisiones globales de CO_2 se duplicarán durante las próximas tres o cuatro décadas y serían seis veces más altas para el 2100 según la conclusiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), Naciones Unidas, de enero de 2001.



Según proyecciones también realizadas por las Naciones Unidas (IPCC), de continuar las actividades humanas sin cambios en el aumento del uso de combustibles fósiles y otras actividades, el nivel de CO_2 en la atmósfera podría llegar a fines del siglo XXI a más de 1.100 ppm, o sea un nivel casi cuatro veces más alto que el nivel previo al inicio de la Revolución Industrial.





El aumento en el CO_2 atmosférico que comenzó alrededor de 1750 con la Revolución Industrial, está aumentando el efecto invernadero, provocando un desbalance climático a nivel mundial. De acuerdo con la misma fuente, la temperatura en la tierra aumentó aproximadamente $0,6^\circ\text{C}$ en el último siglo. Este aumento de más de medio grado por siglo es el cambio más rápido en al menos los últimos 1000 años. La década de 1990 fue la más cálida de que se tiene registro, y 1998 es muy probablemente el año más cálido desde que se tiene registro en todo el mundo (140 años).

Las consecuencias de ese aumento en el efecto invernadero debido a las actividades humanas son considerables. De no tomarse medidas para frenar el aumento del CO_2 , la temperatura promedio podría aumentar entre $1,5$ y $4,5^\circ\text{C}$ para el 2100. El deshielo en las regiones polares y el aumento del volumen de los océanos debido a la expansión térmica, tendrían el efecto combinado de elevar el nivel promedio de los océanos entre 20 y 110 cm para la misma fecha. De hecho, el nivel promedio ya ha aumentado al menos unos 10 cm en el último siglo. Aproximadamente un 10% de las zonas más pobladas del planeta están por debajo de 110 cm, con lo cual quedaría inun-

dada una gran parte de las regiones costeras. Algunas islas del Pacífico —países enteros algunas de ellas— no tienen parte alguna por encima de ese nivel y quedarían completamente bajo las aguas en menos de 100 años. Aun deteniendo el aumento del CO₂ atmosférico, la expansión térmica de los océanos es un proceso lento que continuaría por unos 500 años.

Otros cambios importantes serían el cambio en el régimen de lluvias en muchas partes del planeta, como ya se está registrando en la llanura pampeana de Argentina. El clima de regiones como la llanura pampeana cambiaría como si migrara entre 500 y 1000 km hacia el sur en el lapso de dos generaciones. Las regiones climáticas del planeta cambiarán de posición. Muchas especies de plantas y animales se extinguirán.. También han de producirse cambios en el tiempo de reciclado de la materia orgánica, lo cual tiene importantes consecuencias para muchos ecosistemas, lo mismo que cambios en la humedad de los suelos, de la que dependen miles de especies de artrópodos y microorganismos importantes en el proceso de descomposición. El aumento de las olas de calor, sumado a mayor humedad relativa y a la contaminación atmosférica, aumentaría la gravedad de las enfermedades cardíacas, particularmente en las ciudades.

El Protocolo de Kyoto

Tomando conciencia de las serias consecuencias del cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático creada en Río de Janeiro en 1992, concertó una serie de reuniones internacionales que culminaron en la adopción del Protocolo de Kyoto (Japón) en 1997. El Protocolo sigue los pasos del Protocolo de Montreal relativo a los Clorofluorocarbonos que afectan la capa de ozono y es un pacto internacional que

podría entrar en vigencia en cuanto sea ratificado por los gobiernos respectivos, a través del cual los países más desarrollados se comprometerían a reducir para el 2012 sus niveles de producción de CO₂ en algo más de un 5% con respecto a los niveles de producción que cada país tenía en 1990. Una de las reuniones más importantes tuvo lugar en 1999 en Buenos Aires, en la que se adoptó el Plan de Acción de Buenos Aires, acerca de cómo implementar el Protocolo de Kyoto. Las discusiones se encuentran detenidas porque Estados Unidos no acepta ratificarlo.

Otro cambio que, en mayor o menor grado, afecta a toda la humanidad es el adelgazamiento de la capa de ozono. Esta capa se formó cuando en los organismos vivos se seleccionó —hace unos 3700 millones de años— un proceso metabólico muy eficaz de transformación de energía luminosa en energía química: la fotosíntesis, reacción que tiene como productos químicos finales agua y oxígeno, los que son liberados al ambiente. De una atmósfera casi sin oxígeno se fue pasando a otra donde una quinta parte la constituye ese gas. El oxígeno por acción de la radiación ultravioleta (RUV) se transforma en ozono y queda concentrado mayoritariamente a una altura de 15 a 30 km s.n.m. formando la “capa de ozono”. Esta capa absorbe la mayor parte de la RUV de honda más corta. Desde la aparición de la fotosíntesis la vida —protegida por la capa de ozono— ha evolucionado adaptándose a la escasa RUV que llega a la superficie terrestre. Pero la que la atraviesa puede provocar graves daños en los seres vivos en los que el ARN absorbe la RUV, y en los humanos produce quemaduras y cáncer de piel. En los mares de Antártida uno de los perjuicios ya observados es una disminución en la producción del fitoplancton.

Desde hace algunas décadas se ha observado una disminución del ozono estratosférico, fenómeno que es atri-

buido a los clorofluocarbonos (CFC). Éstos son hidrocarburos no tóxicos que se encuentran en la naturaleza y son líquidos que se evaporan fácilmente. Estos compuestos son usados desde hace unos 70 años por la industria, en acondicionadores de aire, en los rociadores (*spray*) y en muchos otros productos. Por acción de la radiación proveniente del sol los CFC se descomponen, y el cloro liberado reacciona a gran velocidad con las moléculas de ozono que pasan a moléculas de oxígeno, las que también por la radiación ultravioleta forman moléculas de ozono, pero a una velocidad menor.

A medida que ascendemos en la atmósfera la temperatura disminuye, pero alrededor de los 20 km, en la estratosfera, donde casi no hay nubes, comienza a subir. Este aumento es producido por la absorción por el ozono de la luz UV. Los CFC que son liberados en la superficie terrestre tardan unos dos años en viajar de un hemisferio al otro, pero tardan alrededor de 10 años en llegar a la estratosfera. Allí son destruidos por la radiación UV: el cloro se libera y un solo átomo de cloro puede destruir cientos de miles de moléculas de ozono.

En 1985 se descubrió que en la Antártida durante la primavera la capa de ozono desaparecía, hecho que se siguió observando todos estos años. El fenómeno se debe a que, después del invierno polar el sol llega y su radiación destruye las moléculas de cloro provenientes de los CFC liberando átomos de cloro altamente reactivo con el ozono. Con el tiempo el ozono se regenera cuando el aire polar se mezcla con aire de otras latitudes. La capa de ozono se deteriora más sobre la Antártida que sobre el Ártico debido a que en Antártida la atmósfera es varios grados más fría, por lo que se forman nubes en las que partículas de hielo catalizan reacciones que dan como resultado cloro molecular, que luego, por la RUV es transformado en el cloro activo que destruye el ozono. Las mediciones muestran que en los últimos años la concentración media del ozono atmosférico en todo el planeta ha disminuido significativamente (Molina, M. 1996).

Otras contaminaciones están más localizadas en un lugar o en una región. Están entre otras, la contaminación del agua por agentes patógenos, principalmente bacterias y virus, las producidas por plaguicidas en los ambientes agrícolas; por metales pesados usados en las áreas industriales; por hidrocarburos, en las regiones de su extracción y las de su transporte; y las causadas por elementos radiactivos.

Contaminación del agua dulce

Las ciudades y también otras poblaciones menores, generalmente se desarrollan próximas a lagos, lagunas o ríos, de los que toman agua para sus necesidades y también a los que arrojan sus residuos. Estos residuos se descomponen, consumen oxígeno y liberan elementos nutritivos al agua. Con ellos el fitoplancton prolifera excesivamente y las aguas se ponen verdes y turbias, fenómeno que se conoce como **eutrofización**. La eutrofización de los ambientes acuáticos se produce por el enriquecimiento con elementos nutritivos, provenientes de la degradación y mineralización de residuos orgánicos domésticos, de granjas y de suelos agrícolas que son fertilizados y que las lluvias lavan y arrastran. La intensa producción de materia orgánica por el fitoplancton se incorpora al ciclo del ambiente acuático, se decanta y descompone consumiendo oxígeno. Si los movimientos del agua no difunden hacia la profundidad suficiente cantidad de oxígeno, éste se agota; parte de la materia orgánica se va acumulando en el fondo, y parte se oxida con azufre liberando sulfhídrico de muy mal olor.

El agua que abastece a las poblaciones humanas también puede contaminarse con bacterias, virus, protozoos y gusanos que en los países subdesarrollados son la prin-

principal causa de enfermedades humanas. La fiebre tifoidea, el cólera, la enteritis, la hepatitis infecciosa, la amebiasis, la esquistosomiasis, entre otras, son las enfermedades con mayor número de afectados en las regiones donde no hay agua potable y tampoco servicios cloacales.

Contaminación por plaguicidas

Son los insecticidas y herbicidas, compuestos químicos para matar insectos y plantas respectivamente. Su uso está generalizado en los sistemas agrícolas. Son contaminantes porque pueden afectar a los productos agropecuarios (en su mayor parte alimentos), a los trabajadores rurales que los aplican y también a otros animales y vegetales que no son los destinatarios que se desea controlar.

Son moléculas que una vez que se incorporan al ambiente pueden transformarse o combinarse con otras; en algunos casos pierden su poder residual rápidamente y en otros puede potenciarse; conociéndose muy poco, hasta ahora, los caminos que pueden seguir en el ecosistema y los daños que sucesivamente pueden causar. Su uso debe ser muy controlado. Así sucede generalmente en los países desarrollados (que casi en todos los casos son quienes los crean y patentan) pero no en los subdesarrollados entre los cuales estamos.

Las familias de plaguicidas más importantes que se han fabricado son, por orden cronológico, los organoclorados, los fosforados, los carbamatos y tiocarbamatos, y últimamente los piretroides sintéticos.

Organoclorados: además de ser los primeros, fueron los que más se popularizaron por el uso del DDT (dicloro-difenil-triclorohexano) durante la Segunda Guerra Mundial para proteger a los soldados de las fuerzas

aliadas de insectos parásitos y transmisores de otras enfermedades. Su uso para proteger de insectos a los cultivos y cereales cosechados se propagó por su gran eficacia, su bajo costo y su gran persistencia en el ambiente, lo que hace innecesaria la aplicación repetida al poco tiempo. Las conocidas pastillas de Gammexane para combatir la vinchuca están compuestas por un organoclorado (hexaclorociclohexano).

Aspectos negativos son su gran persistencia en el ambiente y su poca selectividad: matan tanto a las plagas como a sus controles naturales. Son solubles en aceites y grasas: quedan retenidos en aceites de los vegetales y de allí pasan a la grasa de los herbívoros y de éstos a la de los carnívoros y al hombre, que puede comer desde vegetales hasta carne y lácteos. En los humanos pueden causar alteraciones hepáticas, esterilidad, cáncer, etc.

Se habla de **bioacumulación** cuando una sustancia tóxica se encuentra más concentrada en el cuerpo de los organismos que en el ambiente en que viven. Y de **biomagnificación** cuando a través de las relaciones tróficas esa sustancia tóxica va aumentando su concentración hacia los niveles tróficos más altos.

La legislación nacional y de los países más ricos es muy severa en cuanto a los límites de tolerancia de insecticidas en alimentos. Aunque en el mercado interno el control bromatológico es poco riguroso, sí debe serlo para los alimentos que se exporten.

Organofosforados: en parte reemplazaron a los clorados por ser tanto o más tóxicos y tener menor poder residual. El Parathion y el Malathion son muy usados. Son muy tóxicos para el hombre ya sea por inhalación o por contacto con la piel.

Carbamatos y tiocarbamatos: los primeros en su mayoría son insecticidas y los segundos herbicidas. Tienen menor persistencia que los clorados y menor toxicidad que los fosforados. Se los puede usar hasta poco tiempo antes de cosechar los vegetales tratados porque en pocos días se degradan y descomponen por acción de la luz y la humedad.

Piretroides: son los insecticidas más modernos y potentes que se conocen. Tienen poca persistencia en el ambiente pero en la descomposición producen moléculas de acción poco conocida, y éste es uno de los peligros como contaminantes. Son muy usados en la vida doméstica: en cosméticos para combatir los piojos, en aerosoles y pastillas antimosquitos, etc.

Contaminación por metales pesados

En la naturaleza numerosos metales se encuentran en baja concentración (menos de 1000 ppm). A estos metales se los denomina metales traza. Debido a que los organismos han evolucionado con pequeñas concentraciones de estos metales, la presencia en altas concentraciones de metales traza pueden causarles graves trastornos. Los metales pesados son metales traza y entre los más peligrosos están el mercurio, el plomo, el cromo, el cinc, el talio, el níquel, el cadmio, el talio.

Mercurio: se lo puede encontrar formando compuestos orgánicos o inorgánicos. Los compuestos orgánicos son de gran toxicidad dado que se absorben fácilmente y una vez incorporados son transformados a compuestos inorgánicos que tienen gran afinidad por el tejido nervioso, donde se acumulan y causan grandes daños; además producen roturas de cromosomas y afectan la división celular en tejidos en desarrollo. Si bien a causa de

la actividad industrial se libera mercurio en forma de compuestos inorgánicos, en el medio ambiente existen microorganismos que lo transforman en derivados orgánicos de alta toxicidad. La bioacumulación de mercurio contribuye también a aumentar el efecto tóxico; los peces pueden acumular hasta 5000 veces la concentración presente en el agua, lo cual constituye un grave riesgo para sus depredadores. En la década de 1950, en Minamata (Japón) alrededor de 120 personas murieron por envenenamiento con mercurio y muchas quedaron con graves daños neurológicos. La causa fue la descarga, por una fábrica de productos químicos, de mercurio inorgánico que se fue transformado en mercurio orgánico (metil mercurio) en los sedimentos de la bahía de Minamata y se acumuló en moluscos y peces, principales integrantes de la dieta de la población de esa región

Plomo: es liberado al ambiente durante la fabricación de pinturas, vidrios y baterías; también por las fundiciones de plomo y el uso de combustibles que tienen aditivos de plomo. En los ecosistemas, la descarga de plomo produce una acumulación de materia orgánica debido a que afecta el metabolismo de microorganismos heterótrofos. La presencia de plomo proveniente de la combustión de nafta en el aire de ciudades como Buenos Aires supera los límites de riesgo (Caridi, A. et. al., 1988). La intoxicación crónica con plomo produce la enfermedad conocida como *saturnismo* que puede afectar no sólo a los operarios que trabajan en establecimientos que tienen entre sus insumos al plomo, sino también a su entorno familiar, porque la ropa es un vehículo del metal. Esta enfermedad produce disfunciones renales y de los sistemas nervioso y hematopoyético.

Cromo: metal utilizado principalmente en curtientes. En estado de mayor oxidación es cancerígeno. Su

gran movilidad y capacidad de asociación con otras moléculas lo tornan más peligroso aún porque puede ingresar a las tramas tróficas con gran facilidad.

Cobre: como metal traza constituye un micronutriente esencial para los organismos. Su exceso produce diversas alteraciones porque afecta reacciones metabólicas que mantienen los procesos homeostáticos. En nuestro país la descarga excesiva proviene de la industria del cuero y del uso de fungicidas.

Cadmio: es liberado al ambiente como consecuencia de la fabricación de baterías y semiconductores para la industria electrónica y el galvanizado de piezas metálicas. Una vez absorbido por los organismos se asocia con proteínas y se acumula en el hígado, riñones y órganos reproductores, produciendo graves trastornos. En dosis agudas causa hipertensión, disfunción renal y muerte prematura. En dosis pequeñas causa vómitos, diarrea y puede originar tumores cancerosos. Debido a la facilidad con que se acumula en los tejidos, resulta muy peligroso para depredadores de tercero y cuarto orden.

Contaminación por hidrocarburos

La industrialización del petróleo genera muchos residuos de muy difícil o costosa eliminación. Se trata en general de sustancias que contienen mezclas de hidrocarburos con elementos como el cloro o con metales pesados. Son muy estables en el medio ambiente y para su tratamiento se requieren grandes inversiones de dinero, espacio y tiempo. Las técnicas van desde la incineración a altas temperaturas, hasta la biodegradación aeróbica en piletas convenientemente aisladas del suelo o, incluso, mezclando directamente los residuos con el suelo, arrojándolos en terrenos que después dejarán de ser

aptos para producir alimentos. Práctica esta última conocida como de “land- farming”, denominación para una técnica con la se suele enmascarar algo que es un verdadero delito ambiental cuando es usada para dispersar esos residuos industriales.

Los derramamientos de petróleo durante su extracción y tráfico son frecuentes y en gran escala, y afectan tanto a los ecosistemas terrestres como a los acuáticos, especialmente el mar y ríos navegables. Generalmente, el petróleo, una vez derramado en el mar, forma una emulsión denominada «mousse» que con el tiempo tiende a desaparecer porque, por un lado el petróleo se hunde y por otro sus componentes aromáticos se solubilizan. Los compuestos aromáticos como el benceno o el tolueno, que se disuelven en el agua, provocan graves trastornos. Los primeros afectados son los organismos planctónicos.

Un párrafo especial merecen los **bifenilos policlorados**, los **PCB**, que son hidrocarburos clorados producidos industrialmente desde la década de 1930 para su uso como aislantes en los transformadores eléctricos de alta tensión; en aditivos de pinturas; en el papel carbónico. Son muy estables y poco biodegradables, se acumulan en los tejidos grasos. Son los compuestos más cancerígenos que se conocen, originan cáncer de piel, escroto y pulmón (Koch y otros, 1993). Su uso está prohibido en los países desarrollados pero no en muchos otros. Se estima que de los dos millones de toneladas que se habían producido hasta hace una década, más de la mitad se continuaron usando (Pointing, C., 1992). Para su eliminación son necesarios incineradores que alcancen los 1200°C, pero aun así pueden dejar residuos tóxicos en el aire.

Los principales contaminantes del aire de las ciudades que provienen de los hidrocarburos son el **monóxi-**

do de carbono, generado principalmente por la combustión de los automóviles y algunas industrias (también por la oxidación atmosférica del metano por descomposición de residuos orgánicos). El efecto tóxico se debe a su alta tendencia a asociarse a la hemoglobina, compitiendo con el oxígeno y, por lo tanto, reduciendo la capacidad de la sangre para transportar ese elemento; los **óxidos de azufre y de nitrógeno**, que son liberados a la atmósfera por la combustión de naftas, de carbón y de fuel-oil. En la atmósfera los óxidos de azufre son transformados principalmente en ácido sulfúrico, que se disuelve en el agua de las precipitaciones produciendo la lluvia ácida. Esta lluvia afecta a los microorganismos del suelo y a los organismos de ecosistemas acuáticos por disminuir los valores del pH; también es nociva para las estatuas y edificios debido a que afecta el mármol (en varias ciudades europeas se debió cubrir monumentos o trasladar a museos estatuas que estaban en plazas). Por otra parte, los óxidos de azufre afectan a los organismos de respiración pulmonar produciendo taponamientos alveolares y alterando el epitelio respiratorio. La lluvia ácida también contiene ácido nítrico. Los **aerosoles**, que forman el “smog” —gotitas líquidas en suspensión con partículas de hollín— son tóxicos en las vías respiratorias. Cuando las pequeñas partículas de hollín entran en los alvéolos pueden permanecer varios años allí; esto puede causar trastornos en el intercambio gaseoso, y en la eliminación de sustancias dañinas debido a que dichas partículas pueden alterar el movimiento de los cilios que tapizan el tracto respiratorio. Algunas enfermedades respiratorias y alérgicas en las ciudades se deben al «smog» (Aramendía, P., et. al. 1995). El **hollín**, que es un hidrocarburo aromático policíclico, el benzopireno, es cancerígeno; lavanderas que lavaban la ropa sucia de los

obreros del polo petroquímico de La Plata enfermaban de cáncer (Catoggio, J., comunicación personal).

Elementos radiactivos

Los elementos radiactivos se encuentran de forma natural en el medio ambiente, pero con las centrales nucleares ha aumentado su proporción; en Europa se ha incrementado la radiación a causa de la nube radiactiva producida por el desastre de la central de Chernobyl. El aumento de la radiactividad en el medio ambiente también puede ser causado por fugas en el procesamiento industrial de material radiactivo natural para uso comercial en la tecnología nuclear y por las explosiones atómicas para armas de guerra. El efecto tóxico de los elementos radiactivos se debe a que las radiaciones de alta energía provocan alteraciones cromosómicas. También actúan reduciendo el metabolismo y deprimiendo el sistema inmunológico.

La gestión de los residuos sólidos urbanos domiciliarios en Buenos Aires

La capacidad del hombre para fabricar utensilios, la conformación de aglomeraciones humanas, el creciente uso de recursos naturales y bienes materiales, han generado un tipo de desperdicio que tradicionalmente llamamos basura. La cantidad y calidad de estos Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios (R.S.U.D.) alcanzado por la civilización occidental ha ido variando a través del tiempo, principalmente restos de la elaboración de alimentos que se dispersaban en la calle fuera de las casas, hasta una compleja mezcla de materiales biodegradables y no biodegradables, naturales y sintéticos, inocuos y tóxicos que se emban en bolsas, a razón de 0,5 a 2 kg/

persona.día según los casos, y se depositan regularmente en las aceras, a fin de que “alguien” se haga cargo de ellos.

La primera reacción de la sociedad frente al aumento de la cantidad de residuos dispersos en las ciudades, y al reconocimiento de los riesgos sanitarios que traía aparejado, fue la de buscar un sitio de disposición, esto es un lugar apartado de las casas en donde concentrar los desperdicios provenientes de la zona más poblada. En estos sitios sencillamente se depositaban los residuos sobre el terreno, y por lo general, a medida que pasó el tiempo se fue instaurando la recuperación regular de materiales por parte de personas, los cirujas —muchas veces niños, como en la Buenos Aires de la primera mitad del siglo pasado— que hacen de ello su modo de subsistencia, paralelamente a la quema de los restos, con el doble fin de reducir la acumulación y facilitar la selección de lo útil. Es decir, el tratamiento final consistía en el mejor de los casos en la combustión parcial e incontrolada de los restos, la descomposición espontánea de lo biodegradable y la acumulación de lo que escapaba a estos procesos. Lógicamente estos sitios daban el ambiente adecuado para el establecimiento de densas poblaciones de organismos potencialmente reservorios de antroponosis; los gases y humos provenientes de la combustión de restos químicamente cada vez más complejos se hacían más molestos y nocivos; y las aguas superficiales y subterráneas que tomaban contacto con los residuos o sus lixiviados se cargaban de sustancias contaminantes.

A partir del final de la Segunda Guerra Mundial, se avanzó en varias vías alternativas para la disposición final de los R.S.U.D., que han ido evolucionando y perduran en la actualidad. Una es el relleno sanitario, consistente en el enterramiento planificado de los residuos en áreas con aislamiento entre el piso y las napas de agua subterránea, la compactación en capas sucesivas que se cubren regularmente con tierra para dejar al aire libre sólo un “frente” de descarga, la captación y conducción a superficie de los gases emitidos por la masa de residuos en descomposición, la captación y tratamiento de los líquidos lixiviados. Fue la modalidad implantada a

finis de la década de los '70 para la disposición de los R.S.U.D. de Buenos Aires, mediante la constitución del ente llamado C.E.A.M.S.E. (conocido como "Cinturón Ecológico", actualmente Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado). Evidentemente, un relleno sanitario bien construido y operado consistió en un adelanto con respecto a la disposición incontrolada a cielo abierto, pero tiene como desventajas que necesita el control de roedores, y que también se produce una concentración de aves (palomas, gaviotas y chimangos en nuestra región) difícilmente controlable y peligrosa en la cercanía de aeropuertos; que la descomposición de la materia orgánica biodegradable es anaeróbica, lenta e ineficiente que emite gases malolientes y que contribuye al efecto invernadero durante años. Otro aspecto es que se produce una ocupación no sostenible del territorio (pues el terreno usado para relleno sólo permite pocos usos luego de su cierre como sitio de disposición) y que existe un riesgo latente de contaminación a partir del material enterrado. Actualmente, se tiende a evitar el venteo directo de sustancias gaseosas, y conducir la mayor parte de los gases para su combustión, convirtiéndolos en CO_2 y H_2O , e incluso aprovechar esa energía.

Una primera etapa en la búsqueda de un tratamiento industrial que sacara provecho de los residuos, consistió en el desarrollo de plantas con mecanismos automatizados para la separación de las distintas fracciones de aquellos, con el objetivo de recuperar y posteriormente reutilizar y reciclar materiales no biodegradables. La complejidad de estas instalaciones, y la falta de confiabilidad asociada, hicieron que este intento no prosperara, ya que los volúmenes que se recolectan a diario exigen que la operación sea continua, con escaso margen para la detención por averías. Si bien se instalaron varias plantas de este tipo en la década de los '60, en Europa por ejemplo (e incluso se llegó a importar alguna al gran Buenos Aires) se abandonaron gradualmente.

Resurgió entonces la idea de la incineración, consistente ya en la combustión a alta temperatura, controlada y por etapas, en hornos específicamente diseñados, con dispositivos de lavado de humos e incluso de trata-

miento ulterior de las cenizas, para ser llevadas a disposición final —por ejemplo relleno— pero con reducción del 95% en el volumen e inactivadas. Adicionalmente, el calor producido por la combustión se puede utilizar para calefacción por vapor o para la generación de energía eléctrica. A pesar del gran desarrollo de esta tecnología, la incineración tiene aún el inconveniente de eliminar a la atmósfera los llamados últimos residuos, partículas muy finas que no son retenidas en los sistemas de lavado de gases y concentradas en contaminantes, y además constituye en cierto sentido un desperdicio de materiales, que podrían ser reprocesados con otros fines. Por el momento, es la tecnología de elección para los residuos que pueden causar enfermedades infecciosas, entre otros ciertos restos hospitalarios.

La gestión integral de los R.S.U.D.

Desde la década de los '90 se ha ido estableciendo internacionalmente el concepto de gestión integral de los residuos, que se basa en la inclusión en la gestión de todas las etapas relacionadas con el residuo: su producción; su recolección y transporte; su separación, recuperación, reutilización y reciclado su tratamiento y su disposición final. La visión actual tiende a utilizar selectiva y complementariamente varios de los sistemas de tratamiento y disposición de residuos comentados anteriormente.

La vida del residuo comienza en los hogares, en donde se debe proceder a la disposición en bolsas separadas y distintivas de los restos en dos o más categorías: por ejemplo orgánicos/húmedos e inorgánicos/secos. A esta acción se la denomina preclasificación en origen. Idealmente debe estar complementada con la provisión de contenedores para distintos tipos de materiales (por ejemplo vidrios) repartidos por todas las áreas urbanas y suburbanas, y de lugares de recepción de residuos de tipo peligroso (medicamentos, envases con restos de pesticidas, pinturas, etc.) y de residuos de gran tamaño, como electrodomésticos y similares. Después la recolección debe ser diferencial, de tal modo que a la planta de tratamiento lleguen por separado los distintos tipos de bolsas, y los otros tipos de residuos que se concen-

tran en contenedores o se retiran con menor frecuencia (por ejemplo podas). Estos primeros dos pasos posibilitan la separación y/o recuperación eficientes de papeles y cartones, vidrios, metales, plásticos, demás materiales y materia orgánica putrescible. Los materiales inertes podrán ser reutilizados o reciclados, y en la ecuación económica de estos procesos la cuestión de escala juega un rol preponderante. Pero, ¿qué hacer con la fracción orgánica? Ésta constituye habitualmente entre el 40 y el 60% en peso de los residuos hogareños, y la tendencia es a su procesado por medio del compostaje, esto es la descomposición aeróbica y controlada de la materia orgánica, en un proceso que puede llevar desde algunas semanas a varios meses de acuerdo a las condiciones y tecnología con que se realice, y cuyo producto es un material estabilizado y libre de microorganismos patógenos, con excelentes características, entre otros posibles usos, como mejorador de suelos. Es primordial que los residuos que contengan materiales tóxicos, por ejemplo pilas con metales pesados, no entren nunca en contacto con los restos a compostar, para asegurar la inocuidad del compost al aplicarlo en suelos agrícolas. El compostaje también tiene algunas desventajas, entre las que están la emisión de gases de efecto invernadero, las posibles molestias a la población cercana por la potencial generación de olores (si no se realiza en ambientes cerrados), el costo creciente en función de la sofisticación del método a utilizar, y también, ya dependiendo en gran medida de una cuestión cultural, la dificultad de comercialización del compost. Por otro lado, siempre existe una parte de los residuos que no es aprovechable, y para la cual hay que utilizar algún sistema de tratamiento y disposición como la incineración y/o el relleno (ya sea estándar o de seguridad).

En todo esto ha faltado, sin embargo, un ingrediente fundamental de una gestión integral, a la cuestión de los residuos: la idea de reducir su generación. Éste pasa por ser el punto esencial para un uso sostenible del espacio, de los recursos naturales y de la energía. Mientras persista la lógica capitalista actual del aumento perpetuo del consumo, resultarán insuficientes los esfuerzos por optimizar el resto de las etapas de la gestión.

Las costumbres impuestas por el marketing, la proliferación de embalajes cada vez más suntuosos, la rápida tasa de renovación de los bienes materiales, que se descartan y reemplazan cada vez en períodos más cortos, la utilización injustificada de compuestos persistentes y ambientalmente tóxicos en forma irrestricta, conducen a una degradación progresiva de los ecosistemas naturales y antrópicos, que será muy difícil de revertir en el futuro cercano.

Además de la concientización ciudadana con respecto a la gestión de los residuos, en la que cada uno tiene una cuota de responsabilidad insoslayable en su quehacer cotidiano, deben ser los estados y la comunidad internacional quienes se comprometan y avancen hacia un sistema de estímulos (por desgravaciones impositivas, facilidades crediticias, regulaciones sobre producción y uso de embalajes y envases, compensaciones, etc.) para alentar todos y cada uno de los pasos de una gestión integral de los residuos sólidos urbanos domiciliarios, en el marco de un desarrollo sostenible, basado en conocimientos que provee la ciencia ecológica.

Aníbal Sánchez Caro

Las lombrices de tierra y el reciclado de materia orgánica

La materia orgánica muerta contiene moléculas complejas que por acción de organismos descomponedores y detritívoros son repuestas al medio ambiente, a sus ciclos naturales, como moléculas más simples. Esta descomposición comienza con la colonización por hongos y bacterias que utilizan principalmente aminoácidos y azúcares y, si el oxígeno es abundante (**descomposición aeróbica**), los productos finales son dióxido de carbono y agua. En cambio, si es escaso el oxígeno (**descomposición anaeróbica**) el desdoblamiento de los azúcares

es incompleto, y da por resultado alcohol y ácidos grasos. Acompañando a la acción de los descomponedores se encuentran los detritívoros, que permiten aumentar la acción de los hongos y bacterias al triturar y fragmentar los tejidos. Dentro de este grupo se ubican organismos de diferentes tamaños como bacterias, protozoos, colémbolos, milpiés, lombrices de tierra y caracoles.

La importancia de las lombrices de tierra es conocida desde hace muchos años, tanto que Darwin (1888) observó que mejoraban $\frac{1}{2}$ cm de suelo por año, aproximadamente 50 ton/ha/año.

Las lombrices de tierra son organismos de cuerpo blando, de longitud variable (desde 2 centímetros hasta más de un metro de largo). Su cuerpo se divide en segmentos, no poseen ojos, ni cabeza diferenciada. Sin embargo en los primeros anillos poseen una gran cantidad de células sensoriales que le permiten reconocer sustancias azucaradas e intervienen en el mecanismo de penetración del suelo. Son hermafroditas, producen capullos (cocones), muy resistentes a condiciones climáticas desfavorables. La aparición del clitelo (que indica la madurez sexual) varía con la especie, la temperatura, la humedad y disponibilidad de alimento.

Las lombrices, incorporan materia orgánica al suelo, mejorando su estructura, aumentando la velocidad de infiltración (disminuyendo el riesgo de erosión hídrica), aumentando la capacidad de retención de agua. El paso del alimento por el tracto digestivo aumenta la actividad bacteriana, además elimina un grupo de hongos y bacterias características del mal de los almácigos. Sus terrículos (heces) se depositan sobre la superficie del suelo y son más estables a la lluvia que el suelo circundante. Las formas químicas en que quedan los nutrientes son fácilmente incorporadas por las plantas.

En el sur de Australia se siembran dos especies exóticas de lombrices endógeas, *Aporrectodea longa* y *A. Caliginosa*, con el fin de recuperar suelos, y no sólo se ha observado el beneficio en la mejora de la estructura, sino que han incrementado el rendimiento de las pasturas (Baker, 1998). Otro uso de las lombrices es en el tratamiento de residuos urbanos, en La Voulte (Francia) tratan 35 toneladas de residuos diarios. El residuo ingresa

en un autoselector donde se recuperan plásticos y metales, la materia orgánica se acumula e inicia el proceso de fermentación, y se remueve regularmente para ventilarla. La pérdida de agua que sufre el material por la alta temperatura es restituida con el agua proveniente del lavado del material inorgánico, evitando el vertido de aguas residuales al medio ambiente. Finalizada la fermentación se incorpora una lombriz de tierra epigea, *Eisenia andrei*, que al pasar por su intestino la materia orgánica da un abono sin olor y de color oscuro, que puede separarse fácilmente de pequeños elementos inorgánicos que hayan quedado mezclados.

Existen experiencias de tratamiento de lodos cloacales con lombrices con muy buenos resultados, al igual que el tratamiento de residuos industriales, en donde las lombrices acumulan en sus tejidos metales pesados como el plomo y el cadmio, derivando de esto un problema no resuelto: ¿Qué hacer con las lombrices que han bioacumulado metales pesados? ¿Cómo evitar la biomagnificación?

Reciclemos nuestros residuos: la **lombricultura** es la obtención de humus de lombriz a partir de materia orgánica. La especie más utilizada es *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana. Esta lombriz de tamaño pequeño, color rojo, se reproduce una vez cada siete días. Llega a la madurez sexual a las cinco semanas de nacida, con un peso entre los 0.8 y 1 gramo. Ingiere diariamente una cantidad equivalente a su propio peso. El 60% de lo consumido es eliminado como abono, el resto lo usa para su propio mantenimiento.

La técnica tiene dos etapas: a) preparación del sustrato, y b) siembra. La materia orgánica es sometida a fermentación aeróbica durante un mes aproximadamente. Durante este período, la materia puede removerse para asegurar una buena aireación y evitar la formación de compuestos químicos tóxicos para la lombriz. La fermentación de material rico en nitrógeno pero con bajo contenido de oxígeno produce amoníaco. Este proceso provoca un aumento de temperatura (puede llegar hasta los 80°C), permitiendo la eliminación de larvas de insectos y semillas de malezas. Pasado ese período la temperatura desciende a los 25–30°C, entonces ya puede-

mos "sembrar" las lombrices, que consumirán la materia orgánica y formarán un abono de color oscuro. Se puede trabajar con cajones, o formado pilas. Si se utiliza algún tipo de contenedor es recomendable realizarle perforaciones para asegurar una buena aireación y permitir el escurrimiento del agua

Los que tenemos casas con algún terreno, podemos cada día separar los restos de comidas, sobre todo los vegetales, juntar hojas y pastos cortados, y enterrar todo superficialmente. Ya llegarán lombrices que reciclarán esos materiales y mejorarán el suelo.

Liliana Falco

Para pensar y proponer

1. ¿Cuáles son los tipos de contaminación que usted percibe en su ambiente? Escriba una lista, ordénelos según las molestias que le ocasionan. Señale las causas que podrían tener y proponga soluciones o posibles soluciones a su alcance.
2. ¿Sabe usted a dónde va a parar el aceite usado cuando se le cambia el aceite a los motores de los vehículos con los cuales se traslada?

Capítulo IX
LOS RECURSOS NATURALES

L. Malacalza, C. Feijóo, A. Giorgi, C. Coviella y F. Momo

Recursos naturales son aquellos elementos que el hombre encuentra en la naturaleza y que aprovecha o podría aprovechar tanto para sus necesidades básicas como para satisfacer deseos de otro tipo, como la recreación. Entonces son recursos naturales el agua, el aire, el sol, el suelo, la flora, la fauna, los minerales, el petróleo, los paisajes, la energía del viento y otros.

Para aprovecharlos eficientemente y que no se agoten, es conveniente saber si los recursos naturales pueden ser considerados **renovables** o **no renovables**. En muchos casos, que pertenezcan a una o otra categoría depende de cómo los explotemos. Desde la perspectiva humana, la energía solar y el calor y los vientos que genera, son recursos renovables por más que los usemos. También la energía que proviene del movimiento del agua de ríos y mareas. Y, en general, son recursos renovables los seres vivos que tienen una alta tasa de renovación.

En otros casos la distinción no es tan clara: el agua para beber que sacamos del subsuelo o de los ríos, no sólo puede faltar por uso excesivo, sino que puede contaminarse. Los árboles de los bosques que nos proveen madera pueden agotarse si los explotamos a un ritmo mayor que el de su crecimiento. Los suelos en que realizamos cultivos pueden degradarse hasta desaparecer. Éstos son tres ejemplos de recursos renovables que pue-

den dejar de serlo por uso inadecuado. Podemos decir que un recurso de la flora o de la fauna es renovable, siempre que la tasa de explotación sea menor o igual a la tasa de reposición natural del mismo. El agua y los suelos degradados dejan de ser recursos renovables cuando los costos para poder reutilizarlos superan las expectativas o posibilidades humanas.

Son recursos no renovables los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y los minerales de los que extraemos los metales, porque si bien después de usados los metales quedan dispersos en el planeta, el costo energético para reutilizarlos es mucho más alto que el costo de extraerlos de las minas.

Toda vez que sea nuestra intención explotar un recurso natural, muy especialmente si el recurso proviene de la flora o de la fauna, tendremos que tener en cuenta que mientras nosotros buscamos productividad, la tendencia natural de la sucesión selecciona la eficiencia; que nuestra explotación acelera la velocidad con la que la materia y la energía entran y salen de los sistemas vivientes, en tanto que la naturaleza la retarda. Nosotros simplificamos las comunidades disminuyendo la diversidad específica, la naturaleza tiende a aumentarla. Y los sistemas naturales son más estables que los sistemas que el hombre explota. Existe, entonces, una oposición entre nuestras explotaciones y la tendencia de la sucesión ecológica. Así es si nosotros nos consideramos extraños al ecosistema. Pero no si nos consideramos parte del mismo, como una especie más, aunque dominante. Conociendo la trama de las relaciones ambientales, y su funcionamiento, podríamos salvar tal oposición, ya que cuando fuese necesario mantendríamos la estabilidad con subsidios de materia y de energía (fertilizantes, petróleo, control de especies competidoras, etc.). Actualmen-

te, en general, usamos mucha más energía de la que efectivamente necesitaríamos si conociésemos mejor las estructuras y dinámicas de los ecosistemas que explotamos. La explotación de los recursos ha de hacerse tratando de conciliar nuestros intereses con la persistencia de la mayor cantidad de estructuras y funciones de los sistemas naturales.

Desde hace algunos años se habla mucho de que es necesario preservar la **biodiversidad**. Pero la biodiversidad no es algo material, es sólo un dato estadístico, que refiere a la variedad y variabilidad contenida en los seres vivos, desde las sustancias químicas, hasta los genes, los individuos, las especies, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas. Esto es lo que *habría* que preservar.

Las especies hasta ahora identificadas se aproximan al millón y medio. Pero son muchas más: se calcula que existirían actualmente unos 80 millones. Las especies actuales sólo representarían el 0.001% de las especies que han existido. Así es, tarde o temprano, todas las especies se extinguen (Margalef, 1974). Pero la extinción actual de las especies es acelerada por los cambios introducidos en el ambiente por la especie *Homo sapiens*. La última gran extinción en masa se produjo hace 65 millones de años cuando les tocó el turno, entre otras especies, a las de los dinosaurios.

“Cada especie contiene en su memoria genética el sonido de los truenos que acunaron la vida y comparte esa memoria con el resto de la diversidad biológica. Al mismo tiempo, cada especie es un ensayo único e irrepetible de la naturaleza, donde se cruzan los fenómenos del universo, sólo una vez y de ese modo, y nunca más. Y así cada especie, en su universalidad y su singularidad es un espejo secreto del inconcebible universo”. (Crisci y Morrone, 1994).

La población humana para mantener su biomasa elimina, de manera voluntaria o involuntaria, la biomasa de otras especies que compiten con ella, ya por los alimentos, ya por el espacio. Cuando hace unos 11.000 años se hizo sedentaria, transformó ambientes naturales en áreas de cultivos y comenzó a crecer más rápidamente. Actualmente la humanidad consume directamente alrededor del 3% de la producción primaria neta del planeta. Es decir que queda el 97% para el millón de especies que son también consumidoras de producción primaria neta: las de los insectos (que son unos 750.000), las de los vertebrados y otras. Indirectamente consume mucho más, alrededor del 30%, cuando cría ganado, que es consumidor de producción primaria; además, las plagas consumen aproximadamente un tercio de los cultivos. Por otra parte, los monocultivos tienen una producción en promedio 13% menor que la vegetación que fue eliminada para implantarlos (Crisci y otros, 1993).

Al eliminar directamente algunas especies y acelerar involuntariamente la extinción de otras, el hombre está cerrando posibilidades para el presente y el futuro. La diversidad biológica puede ser valorada desde un punto de vista utilitario: muchas especies que no llegamos a conocer podrían ser fuente de recursos medicinales o alimenticios; en la actualidad más del 40% de los medicamentos humanos provienen de los vegetales (Marder et al., 2001). También porque sabemos que, como recursos naturales, los ecosistemas con alta diversidad bien manejados son energéticamente más eficientes; y, más aún, pueden tener valor estético: una selva tropical o un bosque templado o frío, pueden ser mucho más atractivos y placenteros para el hombre que un bosque artificial monoespecífico de plantas alineadas y equidistantes. Hay otra visión no utilitaria que nos habla del respeto por la

naturaleza de la que somos indisolublemente una parte. Y éste es un serio problema ético. La biodiversidad está amenazada por el despilfarro de la minoría rica de la humanidad y por las necesidades de la mayoría pobre. Frecuentemente los pobres, para sobrevivir, se ven forzados a explotar los recursos naturales hasta puntos de no retorno (Halffter y otros, 1999).

Recursos naturales en América Latina

La percepción que el hombre tiene de la naturaleza siempre ha influido en su relación con ella. Al respecto, dice I. G. Simmons (1982): *«El hombre contempla el mundo que le rodea a través de las gafas de la cultura y, de esta forma, la naturaleza queda transformada en recursos. Los elementos de valores, conducta y tecnología que se funden para dar lugar a la cultura son enormemente variados y la mezcla resultante es distinta para cada tiempo y lugar. (...) Asimismo, en torno al conocimiento y explotación de los recursos naturales gira la historia de muchas (sino todas) las civilizaciones, incluida la actual»*.

Antes de la llegada del español a América, las poblaciones indígenas habían desarrollado buenas técnicas para la explotación de los recursos. El imperio inca tenía conocimientos que le permitían predecir el clima; tratar semillas para evitar su infección o para obtener una mayor cosecha, usar fertilizantes, regar, etc. El sistema de chinampa desarrollado en la región que ahora es México es muy eficiente. Consiste en una serie de canales separados entre sí por terraplenes de tierra en los que se implantan una serie de cultivos. De los canales se obtienen agua, vegetación acuática y pescado; de los terraplenes se obtienen maíz, frijol y madera (Gligo y Morello, 1980).

Cuando los europeos invadieron América se encontraron con ecosistemas que les eran desconocidos y que ofrecían una gran variedad de recursos. Este desconocimiento, unido al desprecio por la cultura indígena y a la creencia de que esos recursos eran prácticamente ilimitados, condujo a la eliminación o al sometimiento del indio y a la sobreexplotación de los recursos naturales. A los españoles les interesaba especialmente la minería; en ella concentraron sus esfuerzos y en algunos casos otros recursos fueron degradados para permitir la explotación minera. Así, grandes superficies forestales cercanas a las minas fueron taladas para alimentar a las calderas de fundición (Gligo y Morello, 1980). También muchas poblaciones fueron obligadas a arrasar sus ecosistemas para implantar monocultivos como caña de azúcar, algodón, café. Nos dice Eduardo Galeano (1979): «...*los cronistas de otros tiempos decían que podía recorrerse Cuba, a todo lo largo, a la sombra de las palmas gigantescas y los bosques frondosos, en los que abundaban la caoba y el cedro, el ébano y los dagames. Se puede todavía admirar las maderas preciosas de Cuba en las mesas y en las ventanas del Escorial o en las puertas del palacio real de Madrid, pero la invasión cañera hizo arder, en Cuba, con varios fuegos sucesivos, los mejores bosques vírgenes de cuantos antes cubrían su suelo. En los mismos años en que arrasaba su propia floresta, Cuba se convertía en la principal compradora de madera de los Estados Unidos. El cultivo extensivo de caña, cultivo de rapiña, no sólo implicó la muerte del bosque sino también, a largo plazo, la muerte de la fabulosa fertilidad de la isla. Los bosques eran entregados a las llamas y la erosión no demoraba en morder los suelos indefensos; miles de arroyos se secaron. Actualmente, el rendimiento por hectárea de las plantaciones azucareras de Cuba es inferior en más*

de tres veces al de Perú y cuatro veces y media que el de Hawai».

Al producirse la independencia, las nuevas naciones ingresaron en el mercado internacional ofreciendo sus materias primas. Pero las fluctuaciones del mercado se tradujeron en una mayor inestabilidad en la explotación de los recursos naturales. En América Latina el poder se estructuró en torno a la agricultura, y la tenencia de la tierra se consolidó bajo la forma de latifundios. Argentina no fue una excepción, y basó su economía en la ganadería y el cultivo del trigo y del maíz. El pastoreo excesivo y la introducción de especies exóticas produjo una transformación en las comunidades vegetales de la pampa. El ganado introducido desplazó las especies autóctonas como el guanaco, el ñandú y el ciervo (Gligo y Morello, 1980).

Suelos

El suelo es el recurso natural más ligado a la cultura y la historia de la humanidad desde que el sedentarismo fue seleccionado por las poblaciones humanas. Del suelo se obtiene la mayor parte de los alimentos y es el suelo el substrato de las viviendas. Por la degradación de los suelos han desaparecido grandes imperios. Y por la tenencia de los suelos se han hecho y se hacen casi todas las guerras...

El **suelo** es una formación natural, superficial de la corteza terrestre, que se desarrolla en la zona de contacto de la litosfera con la atmósfera por la acción del agua, el aire y los organismos vivos y muertos. El resultado es un medio estable, con propiedades físicas y químicas dadas principalmente por la naturaleza de la roca madre.

La profundidad del suelo depende de las características de la roca, del clima y del tiempo en que se inició el proceso. Puede haber suelos de más de 7 metros de profundidad y otros de unos pocos centímetros.

El tiempo de formación del suelo depende básicamente del clima, pero siempre se trata de tiempos extremadamente largos si lo comparamos con el tiempo en que puede destruirse por la acción humana. Un suelo que tardó 100.000 años en formarse puede desaparecer en pocos días por la erosión eólica o hídrica cuando se hace un uso inadecuado de este recurso natural.

Los suelos pueden ser considerados ecosistemas con sus comunidades y biotopos propios, a los que ingresa energía, que proviene mayoritariamente de las comunidades epigeas, y donde la materia se recicla.

Los usos de los suelos como recursos naturales, varían en el tiempo y el espacio. Algunos, los más convenientes para su sostenimiento en el tiempo, son los que se basan en aprovechar las funciones que cumplen en la naturaleza. A saber: *función biológica*: son el soporte de una biodiversidad muy grande de microorganismos, responsables, entre otras funciones, de reciclar la materia orgánica, intervenir en la nutrición de las plantas superiores y mantener la agregación de partículas; *función alimentaria*: es el substrato de la vegetación terrestre, natural o cultivada, que provee la mayor parte de los alimentos para el hombre y los otros animales; *función de filtro*: su porosidad permite la circulación de agua y gases, aptitud que aprovecha el hombre para depurar aguas sucias; *función soporte*: sobre los suelos se construyen las viviendas y caminos del hombre. Esta función debe tener muy en cuenta que como soporte deja de ser un recurso para obtener alimentos (Hurtado, 1993; Morello y otros, 2000).

Sólo un 11% de la superficie del planeta tiene suelos cultivables; si agregamos los suelos de zonas áridas o anegables y que podrían ser utilizados, alcanzaríamos sólo un 22% de tierras cultivables, o sea unos 3000 millones de hectáreas. De esa tierra el 76% ya es explotada en los países desarrollados y el 36% en los países subdesarrollados.

Degradación de suelos

Los suelos se encuentran amenazados principalmente por la pérdida de su fertilidad y por la erosión. El primer caso es consecuencia de la explotación intensiva de cultivos, que con la extracción de su biomasa y sus frutos se llevan minerales del suelo que no son devueltos a la tierra del cultivo.

La **erosión** es causada por el viento o por el agua. Un suelo de zonas áridas puede ser destruido fácilmente por erosión eólica si este suelo está reseco y sin cobertura vegetal. Por otro lado un suelo de zonas húmedas que tenga poco drenaje probablemente se verá afectado por anegamiento y posterior salinización. La erosión hídrica, en general, afecta tierras de pendientes abruptas, con mala cobertura vegetal y también a las llanuras de inundación de los grandes ríos.

El 20% de la superficie de Argentina, es decir unos 50 millones de hectáreas se hallan afectadas por erosión. Hay provincias más afectadas como San Juan (47% de su superficie), La Rioja (45 %) y Formosa (44 %). Sin embargo, es muy grave también la situación en Buenos Aires donde casi un 30 % de su superficie, unos 8.5 millones de hectáreas, se ha visto afectado por la erosión (PROSA, 1988).

En muchas zonas selváticas o boscosas de Argentina se extrae la madera y, en lugar de reforestar, se rea-

lizan actividades agrícolas, por lo general monocultivos, como algodón en Chaco, caña de azúcar en Tucumán, yerba mate en Misiones. En otros lugares las especies nativas son reemplazadas por árboles de crecimiento rápido. En Argentina se pueden ver ejemplos como éstos en las plantaciones de pinos en Misiones y en la zona de los bosques subantárticos. Si bien esto no favorece tanto la erosión como el caso anterior, crea problemas de reducción de la diversidad biológica y de acidificación de los suelos. Un caso que produjo la degradación del suelo y generó la emigración de las poblaciones humanas fue la explotación durante 50 años del quebracho colorado en la región chaqueña de Argentina por la empresa La Forestal.

Hay suelos que son muy frágiles como los suelos de montaña o de los trópicos; si se los utiliza para agricultura o para un pastoreo intensivo es probable que esos suelos sean «volados» por el viento en zonas montañosas, semidesérticas o desérticas, o lavados por lluvias y escorrentía en zonas tropicales de abundantes precipitaciones.

La erosión puede evitarse dejando el suelo siempre con cobertura vegetal, la que impide que el agua escurra rápidamente arrastrando la capa superficial. No arando nunca en el sentido de la pendiente para lograr una mayor retención del agua en los surcos. Poniendo cortinas de árboles en zonas muy ventosas. Y en suelos arenosos realizando un laboreo mínimo para que no pierdan su estructura, es decir, que los terrones no se disgreguen en partículas pequeñas fácilmente transportables por el viento.

Esas medidas de control no implican generalmente grandes costos. Existen otras medidas de tipo físico como la construcción de terrazas o la construcción de presas para evitar inundaciones, que son muy costosas y exigen una serie de acuerdos y una amplia participación por parte de todas las personas afectadas

Aguas subterráneas

Aunque en muchos lugares del mundo el agua para consumo humano se obtiene de ríos o lagos (como se hace, por ejemplo, en la ciudad de Buenos Aires) hay muchos otros sitios donde se saca de sedimentos subterráneos. Estos sedimentos, que reciben el nombre de **acuíferos** están formados por arenas o limos embebidos en agua y habitualmente tienen por encima y por debajo capas de arcilla relativamente impermeable.

El acuífero más superficial, es llamado habitualmente *freática* y tiene una estrecha relación con las aguas superficiales. Si bien suele encontrarse esta capa entre los 3 y los 10 metros de profundidad, puede, a veces, por efecto de la erosión y en zonas bajas, aflorar a la superficie. Suele estar conectado con los ríos y arroyos e intercambiar nutrientes y agua con ellos. También suele recibir muy directamente el impacto de las actividades humanas: se contamina por el uso excesivo de fertilizantes o pesticidas y también por el aporte de los pozos negros o “pozos ciegos” que le aportan contaminación fecal. No obstante, en muchas zonas rurales, todavía se lo usa como fuente de agua para diversos usos tales como riego o bebida y es el acuífero del que se nutren las bombas de mano, en otros tiempos muy comunes en las casas de campo.

Más abajo del acuífero freático, hay otros acuíferos que pueden tener diferentes características en cuanto a volumen y calidad. En la pampa húmeda de la Argentina, por ejemplo, existen tres grandes acuíferos debajo de la napa freática. Entre los 15 y los 35 metros aproximadamente se sitúa el acuífero *Pampeano*; más abajo, entre los 40 y los 70 metros más o menos, el acuífero *Puelchense* o *Puelche*, el de mayor caudal y mejor calidad para la provisión de agua potable. Más abajo, a más de 100 metros de profundidad, el acuífero *Hipopuelche*.

Si se quiere extraer agua de un acuífero, es necesario perforar la tierra hasta llegar a él; si esta tarea no se hace adecuadamente y la perforación no tiene el aislamiento suficiente, es posible que se contamine el agua que se extrae por mezcla con la que está en capas más superficiales; esto puede ser muy grave porque los acuíferos tienen tiempos de renovación muy largos (a veces del orden de centenas de años) y una vez contaminados es muy difícil recuperarlos. En este sentido, también es importante que la extracción de agua sea moderada para reducir el peligro de deterioro. Aquí se hacen esenciales prácticas industriales que reduzcan el desperdicio de agua y, si es posible, tiendan a reciclarla en aquellas actividades en que el agua no forma parte del producto final (por ejemplo, cuando el agua se usa para refrigeración). Otra causa de deterioro de los acuíferos por exceso de consumo es la extracción de agua potable para grandes núcleos urbanos

Ecología de restauración

La teoría ecológica ha avanzado hasta un punto en el cual es posible comenzar a recuperar o restaurar ecosistemas que han cambiando tanto que prácticamente han desaparecido, y casi no hay nada que podamos conservar. A esto se le llama «ecología de restauración», aunque algunos utilizan el nombre de «ingeniería ecológica».

La restauración del ecosistema original en la práctica se enfrenta con varios problemas. En primer lugar, se debe pensar exactamente «qué» es lo que pretendemos recuperar. Y no siempre podemos asumir que conocemos perfectamente aquello que queremos restaurar. Por una parte, el proceso de disturbio puede haber empezado tanto tiempo atrás, que no queden vestigios que nos permitan reconocer el ecosistema original. Por otro

lado, los lugares no disturbados que a veces se utilizan como referencia pueden ser distintos al ecosistema original. Podemos no tener idea clara de cuáles son exactamente las especies a ser reintroducidas o carecer de la suficiente información como para establecer las densidades relativas de las distintas especies

De todas formas, hay importantes razones para llevar a cabo esfuerzos de restauración allí donde sea posible. Éstas pueden ser la protección de especies en peligro de extinción, o la conservación de la biodiversidad. Además, muchos ecosistemas naturales proveen de «servicios» que pasan normalmente desapercibidos pero cuya desaparición con el ecosistema natural entraña costos económicos y sociales difíciles de reemplazar o extremadamente caros. Entre estos servicios, pueden destacarse: regulación del clima, regulación de disturbios, regulación y provisión de agua y purificación de agua, control de la erosión y formación de suelos, reciclado de nutrientes, polinización, control biológico, producción de alimentos y de bienes (caucho, fibras, madera, antibióticos y otras medicinas) y recreación. Un estudio reciente (Constanza y otros, 1997) estima que los costos de reemplazar los servicios provistos por los ecosistemas a nivel mundial son de alrededor de 33 billones de dólares anuales. La restauración de los Everglades en Florida, USA, tiene un costo de 7.800 millones de dólares en los próximos veinte años..

La restauración puede ser vista como necesaria para la protección de una especie en peligro, en cuyo caso la solución se centra en esa especie en particular en posible detrimento de otras. Quizás el objetivo sea la recuperación paisajística, en cuyo caso la composición de la flora y la fauna por su propio valor no son vistas como aquello «a restablecer». O la recuperación puede centrarse en restablecer los servicios prestados por el ecosistema perdido (tales como los expresados arriba), en cuyo caso las especies a introducir o proteger pueden ni siquiera ser las originales, en tanto se restablezcan los procesos del ecosistema que dieron origen a la conveniencia de restauración. Estos objetivos son a veces difíciles de conciliar entre sí y el resultado final es el compromiso entre varias posiciones opuestas.

¿Restauración o rehabilitación? A veces el restaurar el ecosistema original es absolutamente imposible. Esto sucede cuando por ejemplo, los factores abióticos han sido afectados profunda o irreversiblemente. Cuando por ejemplo es el resultado de procesos de minería al aire libre con completa remoción del suelo o aún peor, donde la contaminación del suelo, el agua o ambos es tan grande que las especies originales no podrían subsistir en las nuevas condiciones. En este caso, es más adecuado hablar de «rehabilitación», esto es, el establecimiento de una comunidad similar pero no igual a la original. Esta rehabilitación, permitiría por ejemplo, no sólo el restablecimiento de servicios como los apuntados pero también de servicios, tales como proveer de hábitat temporario a especies de pájaros migratorios, cuyas poblaciones a veces distantes miles de kilómetros, pueden verse afectadas por la falta de hábitats temporarios en las rutas migratorias, pero donde la exacta composición del ecosistema original puede no ser el objetivo central.

Plagas y recursos naturales

Comúnmente se considera plaga a toda especie vegetal o animal que por su abundancia excesiva en un determinado lugar, provoca daños o perjuicios considerables para la salud o la economía del hombre. Desde el comienzo de las civilizaciones numerosas plagas se han sucedido afectando cultivos y perjudicando a diferentes poblaciones humanas. Referencias de ello pueden encontrarse en crónicas sumerias y egipcias, en la Biblia, en la historia de Arabia, de China y de otros pueblos de la antigüedad y de la Edad Media.

Las condiciones para que se desarrolle una plaga pueden darse cuando las poblaciones humanas se expanden ocupando nuevas áreas en busca de recursos alimenticios o de otros recursos naturales. Cuando el hombre explota los ecosistemas tiende a simplificarlos para eliminar competidores y tener así mayor producción neta a

su disposición. En el sistema habrá una mayor disponibilidad de recursos que intentarán aprovechar, no sólo el hombre, sino también algunos de los antiguos pobladores naturales de ese sistema desplazados por la intervención humana. Entre ellos, los que tengan una alta tasa de reproducción —selección de tipo «r»— serán los más difíciles de controlar y podrán ser considerados plagas. En la naturaleza no existen las plagas, sólo existen las especies que pueden llegar a serlo como resultado de algún cambio ambiental, ya sea producido por el hombre o por fenómenos naturales en zonas que el hombre habita. Así, una especie a la que se le han eliminado sus controles naturales puede constituirse en plaga, como sucedió a principios de siglo con la población de vizcachas en la llanura pampeana, que era controlada por pumas y zorros, y que, al ser éstos perseguidos, incrementó su número.

Desde siempre el hombre en sus desplazamientos, voluntaria o involuntariamente, lleva consigo otras especies animales o vegetales que en los nuevos ambientes pueden encontrar condiciones adecuadas para su desarrollo. Puede suceder que la especie exótica establezca una relación de equilibrio con la comunidad preexistente, pero también es posible que, si la especie introducida tiene una alta tasa de crecimiento y carece de enemigos naturales, se convierta en invasora. Se habla en estos casos de **invasión biológica o contaminación por especies**. Son muchas las plagas que conocemos: la liebre europea en las pampas de América del Sur, el conejo europeo y el castor norteamericano en Tierra del Fuego (Lizarralde, M. et al., 2000), etc. En el Río de la Plata, en 1991 se observó la presencia de un molusco, el mejillón dorado, *Limnoperma fortunei*, originario de China y el sureste asiático, y ya invadió amplias zonas de la

Cuenca del Plata, hasta Paraguay y Brasil. Es una especie que compite con las nativas desplazándolas, llegan a encontrarse 150.000 individuos por metro cuadrado (Darrigran, G. et al., 2001). Un caso inverso al anterior es el de *Pomacea caniculata*, conocida como 'ampularia', un caracol común en ambientes acuáticos de Argentina, que fue llevado hacia 1979 al sudeste asiático con el fin de criarlo para comer y hoy ha invadido esa región, donde ya constituye una plaga de los cultivos de arroz, principal fuente de alimento de la población de esos países (Damborenea, M. et. al., 2002).

Después de la Segunda Guerra Mundial, en los países subdesarrollados fueron introducidas semillas de nuevas variedades muy productivas de cereales, como el trigo y el arroz. Especialmente en la década de 1960. Se pretendía lograr altos rendimientos con esas variedades que requerían usar grandes cantidades de fertilizantes y de pesticidas. Esas nuevas variedades al tiempo que muy productivas eran muy sensibles a las plagas de insectos y de hongos. A esa etapa de la agricultura mundial se la denominó "Revolución Verde" (nombre irónicamente muy apropiado porque en los países destinatarios se creó una nueva dependencia para producir alimentos, no sólo de las empresas transnacionales productoras de las semillas sino también de las productoras de los fertilizantes y pesticidas). Actualmente, pese al uso de pesticidas, los insectos destruyen un tercio de los cultivos del mundo.

El control de una plaga consiste en limitar su abundancia para que no alcance a producir daños económicos. Con ese objetivo se utilizan métodos mecánicos, químicos y biológicos. Los **métodos de tipo mecánico** son los más primitivos y no siempre eficaces, como usar espantapájaros, arrancar malas hierbas con las manos, producir ruidos, cazar, etc. Los **métodos químicos** son los

más usados en la actualidad, con el empleo de herbicidas e insecticidas. Estos métodos, si bien pueden ser muy efectivos, causan diversos problemas; por un lado su incorrecta o excesiva utilización puede producir intoxicaciones y contaminación; por otro lado habitualmente matan además de las especies consideradas plagas a otras que son beneficiosas para el hombre, inclusive en ciertos casos a los mismos controles naturales de la plaga. En los últimos años estos biocidas han sido muy perfeccionados logrando mayor efectividad y selectividad, aunque no han sido eliminados sus efectos residuales ni de los de los piretroides es poco conocido el efecto que éstos y sus productos de degradación causan sobre los organismos no destinatarios. Los **métodos biológicos** son diversos: 1.- *Introducción o reintroducción en el ecosistema de los controles naturales de la especie plaga*; hay que asegurarse que el depredador de la plaga sea consumidor exclusivo de ésta pues de lo contrario el organismo que controla podría después transformarse en plaga. Esto ocurrió en Jamaica donde se introdujo la mangosta (un mamífero carnívoro) para controlar poblaciones de ratones, cuando el número de éstos se redujo comenzaron a comer todo lo que encontraban a su paso, aves de corral, huevos, etc. 2.- *Esterilización de individuos de la especie plaga*, mediante radiaciones a machos y hembras criados en laboratorio y liberarlos en la zona donde se encuentra la plaga; esto, en especies cuyas hembras se aparean sólo una vez y los machos varias, no se produce progenie, la población se reduce y puede llegar a eliminarse. 3.- *Rociar la zona con hormonas juveniles* propias de la especie plaga que impedirán que sus individuos lleguen a la edad reproductiva. 4.- *Emplear feromonas*: estas son hormonas sexuales que atraen a los machos y permiten cazarlos con trampas o evitar el apareamiento. 5.-

Utilización de organismos resistentes a la plaga: se emplean híbridos y transgénicos inmunes al ataque de las plagas o de los depredadores más comunes. 6.- *Realización de policultivos,* con lo que se logra aumentar la diversidad de las plantaciones y se reduce el efecto de la plaga (Lugo y Morris, 1982).

Actualmente todos los esfuerzos empleados en el control de plagas se dirigen hacia el **control integrado** que implica utilizar todos los métodos conocidos de control en los momentos más adecuados.

Control biológico de plagas por conservación de enemigos naturales

El control biológico de artrópodos plaga mediante enemigos naturales (EN), tales como parasitoides, predadores y patógenos (hongos, virus, bacterias, protozoos, nematodos) se basa en el uso de estos organismos, comúnmente llamados "benéficos", para reducir las poblaciones de una plaga a densidades por debajo del nivel de daño económico (NDE).

Teniendo en cuenta que cuando el hombre utiliza el control biológico está manejando la interacción entre componentes de una trama trófica, es de fundamental importancia conocer los aspectos clave de la interacción plaga-enemigo natural. Por lo tanto, los programas de control biológico de cualquier plaga deben basarse en sólidos conocimientos ecológicos del sistema en cuestión.

Varias características han sido tradicionalmente consideradas importantes para que los EN, principalmente los predadores y parasitoides, resulten efectivos. Entre éstas, se pueden mencionar el comportamiento de búsqueda del parasitoide o del predador, el espectro de hospedadores o la amplitud de la dieta, la sincronía espacial y temporal con el hospedador o la presa, y las interacciones entre planta-plaga-enemigo natural, entre otros. En relación con este último aspecto, las características físicas y químicas de las plantas hospederas de las plagas,

así como su distribución espacio-temporal pueden tener un rol relevante, en particular para los parasitoides, influyendo en su supervivencia, en la interacción con su hospedador, y por lo tanto en su efectividad como agente de control (Barbosa y Benrey, 1998).

Asimismo, la persistencia de la interacción entre la plaga y sus EN es otra característica importante. Los sistemas predador-presa suelen presentar ciclos en los cuales la densidad del predador va creciendo a medida que crece la densidad de su presa, pero su acción hace que la presa disminuya y por ende, al haber menos presa, la densidad del predador comienza a decrecer. Algunos predadores eliminan totalmente la población de su presa y luego se extinguen, siendo la interacción entre ambos muy poco persistente. La persistencia implica que el enemigo no agote totalmente su recurso y permanezca interactuando con la plaga aun cuando ésta ha sido controlada y se encuentra en niveles bajos de densidad. Por ejemplo, si una pequeña fracción de la población de la plaga escapa a la acción del enemigo, o si éste se alimenta de recursos alternativos cuando la plaga es muy escasa, la interacción continuará ya que la densidad de la plaga comenzará a crecer nuevamente y se originará otro ciclo. De esta manera la persistencia contribuye a que los EN no representen un insumo que deba ser incorporado frecuentemente al sistema.

Tipos de control biológico

El control biológico por conservación es uno de los tres tipos de control biológico que pueden identificarse según la forma en que se utilizan los enemigos naturales:

- Importación de especies exóticas y su establecimiento en el nuevo hábitat: para controlar plagas exóticas se introduce un enemigo que proviene de la misma área geográfica que éstas, en cuyo caso se denomina control biológico clásico. Cuando el enemigo se introduce para controlar plagas nativas, se llama control biológico neoclásico (Hokkanen & Pimentel 1984, 1989). La importación de EN es la forma de control biológico más desarrollada y más respaldada científicamente y existen numerosos ejemplos de su utili-

zación exitosa y también de sus fracasos. Este tipo de control biológico, es utilizado en diversos países de América Latina aunque su participación en la agricultura comercial es baja con relación a países desarrollados. Recientemente, han comenzado a analizarse y cuestionarse las consecuencias negativas indirectas de los programas de control biológico por importación de EN (Cory & Myers, 2000; Howarth, 1991; Lockwood, 1993; Louda et al., 1997). En tal sentido, uno de los ejemplos clásicos más exitosos de control biológico, la mariposa *Cactoblastis cactorum* (Bergroth), nativa de Sudamérica e introducida en Australia a principios del siglo pasado para el control del cactus *Opuntia*, está mostrando efectos negativos indirectos al haberse introducido accidentalmente en el sudeste de Estados Unidos y comenzar a atacar especies nativas de cactus, incluyendo algunas especies extremadamente raras. Si su dispersión continúa hacia el sudoeste de este país y México, la producción comercial de cactus nativos se vería en peligro (Cory & Myers, 2000).

- Aumento del número de individuos de especies ya establecidas: consiste en liberaciones periódicas de individuos criados en el laboratorio, a fin de incrementar la población **presente y por ende la mortalidad producida sobre la plaga. En muchos cultivos si bien** el EN se instala espontáneamente, lo hace con un cierto retraso que le permite a la plaga incrementar sus poblaciones y escapar a su acción. En estos casos una liberación de individuos, previa a su aparición espontánea, permite aumentar su efectividad.
- Conservación de especies establecidas: implica el manejo del hábitat para favorecer la supervivencia, la fecundidad, la longevidad y el comportamiento de los EN, y así incrementar su efectividad (Landis et al., 2000). La manipulación del ambiente tiende a mejorar la disponibilidad de fuentes alternativas de alimento para los EN (tales como néctar y polen), proveer un microclima favorable para su desarrollo, propiciar la presencia de presas u hospedadores alternativos y brindar refugios para condiciones ambientales extremas o pesticidas.

El manejo del hábitat para conservar a los EN puede realizarse a diferentes escalas espaciales: a nivel de un cultivo o agroecosistema específico o en un contexto de "paisaje ecológico" (Letourneau, 1998; MacVean, 1992). Este último enfoque resulta más adecuado ya que el paisaje está compuesto por una diversidad de hábitats que van a proveer un mosaico de condiciones favorables y desfavorables para las plagas y sus enemigos naturales. La extensión y número de hábitats propicios para los enemigos puede determinar el grado de control ejercido y su duración (Barbosa y Benrey, 1998). Esto significa tener en cuenta los distintos subsistemas y sus interrelaciones. Por ejemplo, en el manejo de una plaga de ciclo anual, resultará importante conocer qué rol cumplen en su dinámica y en la de sus enemigos naturales, la fragmentación de los hábitats tal como la presencia de otros subsistemas que rodean al campo de cultivo, como ser campos enmalezados, otros cultivos, o la presencia de bosques aledaños.

La agricultura moderna, basada principalmente en monocultivos anuales, ocasiona un intenso disturbio y limita en gran medida la efectividad de los EN por la falta de alimento para los adultos y la falta de hospedadores alternativos. La principal manipulación del ambiente tiende a mitigar dicho disturbio es el aumento de la diversidad vegetal y la presencia de plantas específicas. Sin embargo, hay que tener en cuenta cómo el aumento de la estructura de la vegetación y de la diversidad de especies influye en la dinámica poblacional de las plagas que se quieren combatir. Es preciso identificar cuáles son las características de la diversidad que serán útiles en cada sistema en particular, teniendo en cuenta la biología y el comportamiento de las plagas y sus EN. Además, es necesario entender cómo el aumento de la diversidad impactará sobre otros componentes de la trama trófica, tales como los hiperparásitos (parasitoides de parasitoides) y los predadores, de manera tal que el mismo no incremente los factores de mortalidad de los enemigos naturales de las plagas. En definitiva se deberían identificar qué elementos de la diversidad van a favorecer a los EN más que aumentar la diversidad per se (Barbosa, 1998).

En este sentido, los cinco aspectos relevantes en la manipulación del hábitat son (Landis et al. 2000):

- Selección de las especies vegetales más apropiadas.
- Aspectos del comportamiento de los EN que son afectados por la manipulación.
- Escala espacial sobre la que debe operar la manipulación.
- Aspectos negativos asociados al agregar nuevas plantas al sistema agrícola.
- El grado de aceptación de los productores a los cambios propuestos.

Por otra parte, el uso intensivo de plaguicidas es una práctica de la agricultura convencional que limita la presencia y la efectividad de los EN. En numerosos casos los plaguicidas poseen un efecto negativo directo sobre el EN, pero en otros casos su efecto negativo es a través de la disminución drástica de la plaga que constituye su recurso alimentario único o principal. En algunos casos, la presencia de un EN en el cultivo puede ser utilizada para mantener a la plaga en densidades inferiores al NDE si se disminuye la frecuencia de disturbios por plaguicidas.

Ejemplos de control biológico por conservación

Numerosos estudios indican las ventajas de incorporar otras plantas al sistema de cultivo (Landis et al., 2000) para favorecer la acción de los EN. Por ejemplo, la implementación de bordes de una planta anual que produce grandes cantidades de polen y néctar, en cultivos de *Brassica oleracea* L., incrementa la densidad de insectos predadores y como consecuencia las poblaciones de pulgones disminuyen.

Otros estudios han focalizado el manejo del hábitat en el uso de plantas existentes en el sistema, como es el caso de plantaciones de naranjos donde el establecimiento y floración de la maleza *Chloris gayana* Kunth (Smith & Papacek, 1991) favoreció la conservación del ácaro predador *Amblyseius victoriensis* (Womersley), un EN de otro ácaro que es plaga de naranjos.

El uso de corredores de elevada diversidad vegetal (perteneciente a un bosque cercano) en viñedos del nor-

te de California, y la utilización de cultivos de cobertura, favorecen el control biológico de cicadélidos y trips (Nicholls, 2001).

En el cinturón hortícola del Gran La Plata, el ácaro predador *Neoseiulus californicus* (Fig. 1) es el principal enemigo natural de la arañuela *Tetranychus urticae* (Fig. 2), una plaga muy importante en el cultivo de frutilla. El control de la arañuela se realiza en la actualidad mediante la aplicación frecuente de acaricidas, siguiendo un calendario base. Esta práctica, además de ser indeseable por los problemas que ocasiona el uso excesivo de plaguicidas químicos, muchas veces no resulta efectiva para el control de la plaga e interfiere en la acción de este EN. Los estudios realizados sobre *N. californicus* demuestran que el mismo posee una gran potencialidad para mantener a la plaga en densidades menores al NDE (Greco, et al. 1999). El monitoreo frecuente, mediante un método sencillo de presencia-ausencia, permite estimar la densidad de ambas poblaciones y recurrir al uso de acaricidas exclusivamente en las situaciones en las que la densidad de la plaga es cercana al NDE o la densidad de predadores está por debajo de ciertos límites. Esta práctica, que aún no ha sido implementada por su desarrollo reciente, conducirá a reducir la frecuencia de las aplicaciones químicas, y por ende favorecerá la acción de este EN y su persistencia en el sistema. Por otra parte, la misma podrá ser integrada a otras estrategias de manejo del hábitat, como podría ser el incremento de la diversidad vegetal, a fin de incrementar la conservación de este predador.

Conclusiones

- La agricultura de las últimas décadas, basada en la disminución drástica de la biodiversidad (grandes extensiones de monocultivo) y en el uso de grandes cantidades de agroquímicos, crean condiciones desfavorables para el control biológico ejercido por los enemigos naturales.
- La manipulación del ambiente a través del manejo de la vegetación y la disminución del uso de plaguicidas para aumentar la presencia y efectividad de los ene-

migos naturales, es esencial para que el control biológico por conservación sea exitoso.

- La ciencia ecológica debe acompañar a la tecnología aplicada. Los estudios ecológicos necesarios para el uso exitoso y a largo plazo del control biológico son muy escasos en Argentina. Esto lleva, muchas veces, a que el mismo sea implementado como una táctica de «prueba y error», con el consecuente gasto de tiempo y dinero, y la pérdida de credibilidad del productor.
- La manipulación del hábitat para conservar los enemigos naturales y aumentar su efectividad no siempre requiere de cambios profundos en las prácticas agrícolas. Medidas tan simples como la presencia de vegetación adyacente a los campos de cultivo, pueden ser efectivas en algunas circunstancias.

Norma E. Sánchez y Nancy Greco

Centro de Estudios Parasitológicos
y de Vectores (CEPAVE) (UNLP-CONICET).
Calle 22 N° 584 (1900) La Plata.
E-mail: normasanchez@infovia.com.ar

Interacción huésped-parasitoide y un caso en estudio en Argentina

Los estudios de dinámica poblacional e interacción entre un herbívoro y su enemigo natural han concentrado la atención de los ecólogos desde las primeras décadas del siglo pasado, y una de las áreas más fecundas ha sido la relacionada con el control biológico de artrópodos plaga (Hassell, 1978; 2000). En este marco, la necesidad de explicar la persistencia de poblaciones de la plaga y el enemigo natural a bajas densidades relativas, condujo a desarrollos teóricos que identificaron distintos mecanismos estabilizadores. Entre ellos pueden mencionarse una asincronía entre la plaga y el enemigo natural, la inaccesibilidad de cierta proporción de plagas debido a refugios físicos, la invulnerabilidad de ciertos

individuos plaga debido a una selectividad negativa hacia ellos exhibida por el enemigo natural, y la distribución agregada de ataques entre los individuos de la plaga, así como el ataque concentrado en el huésped adulto combinado con cierta capacidad de reproducción del huésped parasitado (Nicholson & Bailey, 1935; Bailey et al., 1962; Hassell & May, 1973, 1974; Hassell, 1978, 2000; May, 1978; Murdoch, et al., 1987; Spataro y Bernstein, 2000).

Un elemento clave común a todos estos mecanismos es la heterogeneidad en el riesgo a ser atacado que tienen los individuos de la plaga (Chesson y Murdoch, 1986; Chesson y Rosenzweig, 1991) y en casos en que los enemigos naturales son parasitoides, el riesgo puede caracterizarse fácilmente en términos del número de larvas o huevos depositados en cada individuo de la población plaga. En un modelo fenomenológico, May (1978) representó la heterogeneidad de riesgo por medio de una distribución binomial negativa, y demostró que un sistema huésped-parasitoide era estable si la distribución era suficientemente sesgada, en particular si el coeficiente de agregación k era menor que 1.

Si bien el desarrollo teórico ha sido importante, existe todavía un relativo «divorcio» entre la teoría y la práctica del control biológico.

El caso de la interacción *Nezara viridula* - *Trichopoda giacomellii*

En la Argentina el gran desarrollo que tuvo el cultivo de soja hacia principios de los '70, en particular en la Pampa ondulada, actuó como disparador de cambios a diferentes niveles de organización, como en la comunidad de artrópodos asociada al cultivo (Ghersa y Ghersa, 1991). Ciertas especies que habían tenido escasa o casi nula importancia económica, se convirtieron en importantes plagas como por ejemplo la chinche verde *Nezara viridula* (L) (Hemiptera: Pentatomidae) (Gamundi, 1985). Esto motivó el inicio de programas y proyectos orientados al estudio de los enemigos naturales establecidos así como de los posibles candidatos a ser importados y liberados con el fin de controlar la plaga (La Porta & Crouzel, 1985). Uno de los enemigos naturales tal vez

mejor estudiados es el parasitoide *Trichopoda giacomellii* (Blanchard) (Diptera: Tachinidae), una especie autóctona que ataca ninfas 4, ninfas 5 y adultos adhiriéndoles huevos en el cuerpo.

En el NE de la provincia de Buenos Aires, el sistema huésped-parasitoide persiste desde principios de los '80 con baja densidad. A partir de 1981 fue muestreado intensamente durante 9 generaciones, y en base al análisis del factor clave se identificó al parasitismo por *T. giacomellii* como capaz de regular la interacción (Liljeström & Bernstein, 1990). Se comprobó además que el efecto del parasitismo consistía en una reducción de la longevidad del huésped que era densodependiente (Liljeström, 1993).

Estos resultados motivaron a realizar estudios orientados a identificar qué mecanismos previstos por la teoría estaban presentes en esta interacción. Se identificaron tres de ellos: la distinta preferencia del parasitoide hacia huéspedes que se diferencian por el estado de desarrollo y el sexo; la distribución agregada de ataques entre los huéspedes de un mismo tipo, y cierta capacidad de reproducción del huésped parasitado combinado con la no discriminación entre huéspedes sanos y parasitados.

La cuantificación de la preferencia del parasitoide por medio de índices de preferencia, permitió la construcción de una escala, que de menor a mayor fue: ninfas 4 y 5 —hembras adultas— machos adultos (independientemente del patrón de coloración y la edad del huésped). La preferencia hacia los huéspedes adultos es tan marcada, que un modelo de regresión permitió estimar que aun cuando los adultos representasen 20% de los huéspedes, recibían algo más del 50% de los ataques (Liljeström, 1992).

Los ataques se realizaron sobre huéspedes sanos y parasitados indiscriminadamente, y la distribución de los mismos entre los huéspedes fue agregada y adecuadamente ajustada por una distribución binomial negativa. Además, la distribución fue muy sesgada y el coeficiente de agregación k fue significativamente menor que 1 (Liljeström, 1992).

El efecto del parasitismo reduce sólo la longevidad potencial del huésped permitiendo cierta reproducción. Sólo los huéspedes atacados en la etapa ninfal (pre-reproductiva) mueren antes de alcanzar la capacidad reproductiva.

Como conclusión debe destacarse que tres mecanismos potencialmente estabilizadores previstos por la teoría fueron identificados en el sistema *N. viridula*-*T. giacomellii*. Además, resultados preliminares de un modelo de simulación empírico, mostraron que la distribución agregada de ataques es capaz por sí sola de estabilizar el sistema, y que al interactuar con los otros dos mecanismos la estabilidad se alcanza aun con valores de k cercanos a 1,75, significativamente mayor al valor límite ($k=1$) previsto teóricamente.

Se espera que estos estudios contribuirán a comprender más profundamente la dinámica de la interacción huésped-parasitoide y mejorar nuestra capacidad para el manejo de plagas agrícolas

G.G. Liljeström

Centro de Estudios Parasitológicos
y de Vectores (CEPAVE).
Calle 2 N° 584. 1900 La Plata.
E-mail: cepave@cepave.com.ar;
plagas@cepave.com.ar

Las plantas acuáticas como recursos y malezas

Los productores primarios en el medio acuático comprenden a las algas, que son organismos generalmente unicelulares, microscópicos, y a las plantas vasculares: las macrófitas.

Entre las formas biológicas características de las macrófitas, hallamos especies que flotan libremente en el agua, como el camalote, otras totalmente sumergidas, como la elodea y también especies como los juncos, que tienen una parte aérea y otra que vive en el agua o en terrenos que pasan gran parte del tiempo inundados. Estos vegetales son descendientes de las plantas te-

restres y, dado que los factores que limitan la supervivencia en el agua son bien diferentes, presentan numerosas adaptaciones. En el medio acuático son limitantes la luz y los gases (dióxido de carbono y oxígeno), pero el agua está siempre. De modo que las especies que viven totalmente sumergidas carecen o tienen poco desarrolladas estructuras que eviten la pérdida de agua, así como los tejidos especializados en su transporte, pero por otro lado, presentan características que aumentan la eficiencia en la captación de luz, como cloroplastos en las células epidérmicas, tallos fotosintéticos, una alta relación superficie/volumen en sus hojas y tejidos especializados en la acumulación de gases.

Algunos sistemas con alta productividad en el mundo, como los humedales, tienen a macrófitas como productores dominantes. En el ecosistema, desde el punto de vista trófico, participan en la vía detrítica con cerca del 90% de su producción. Pero además actúan aumentando la heterogeneidad del hábitat, de modo que los ambientes con macrófitas facilitan el establecimiento de poblaciones de invertebrados y de peces.

Como ya se ha comentado en otro capítulo, uno de las formas más comunes de contaminación de los cuerpos de agua continentales es la eutrofización, es decir el enriquecimiento con nutrientes. ¿Qué consecuencias tiene este fenómeno sobre las macrófitas? Si bien son vegetales que con la captación de nutrientes pueden aumentar su crecimiento, ante un aumento de fósforo o nitrógeno reaccionan más lentamente que el fitoplancton. En consecuencia ante un evento de eutrofización, las algas del fitoplancton se hacen dominantes, y como el fitoplancton disminuye la penetración de la luz en el agua, se produce un decrecimiento de las macrófitas. Se ha propuesto un modelo, corroborado con datos de campo, en el que un sistema acuático tiene dos dominios de atracción, uno de aguas más transparentes, con bajas concentraciones de nutrientes, macrófitas como principales productores primarios y poco fitoplancton; y otro, al que se llega después de aumentar la carga de nutrientes, donde la transparencia es baja, las macrófitas son poco abundantes y domina el fitoplancton. Una vez alcanzado este segundo dominio de atracción resulta difícil que el sistema retorne al anterior.

Desde la perspectiva aplicada, muchas especies se consideran malezas. Por ejemplo, las plantas flotantes son muy productivas en ambientes con alta disponibilidad de nutrientes, llegan a impedir el intercambio de gases con la atmósfera y el paso de luz, de modo que las condiciones dentro del cuerpo de agua resultan severamente alteradas. El problema se presenta en los embalses de zonas tropicales, cuando las plantas tapizan la superficie del agua falta oxígeno, hay oxidación incompleta de la materia orgánica y malos olores.

También son recursos naturales: el arroz y el papiro son plantas acuáticas, y algunas especies se usan como forraje en distintos lugares del mundo. Tienen altos valores de proteínas, entre 25 y 35% del peso seco en camalotes y otras plantas flotantes. El pez carpa china (*Ctenopharingodon idella*) se alimenta de diversas macrófitas y es utilizado para controlarlas, un individuo consume diariamente entre una y varias veces su peso, y a la vez las carpas pueden ser consumidas por el hombre. También se alimentan de macrófitas patos, otras aves, búfalos, vacunos, etc. Plantas similares al junco (*Phragmites communis*), de gran productividad, se utilizan para la obtención de pulpa de celulosa para la fabricación de papel.

Particularmente útiles resultan como organismos "depuradores", y esto último en diversos aspectos. Cuando un efluente cargado de materia orgánica atraviesa un stand de macrófitas ocurren varias cosas, por un lado, hay un efecto físico de sedimentación, pues las plantas reducen la velocidad de corriente y los sólidos en suspensión son retenidos en el manchón de vegetación. Por otra parte, las plantas acuáticas emergentes, como los juncos, están adaptadas a vivir en un sedimento prácticamente anóxico, por lo que presentan mecanismos que aseguran la llegada de oxígeno a las raíces; así la presencia de vegetación oxigena el sedimento y mejora la actividad de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica. También, como depuradoras, son usadas en las plantas de tratamiento de efluentes líquidos de las ciudades que eliminan la materia orgánica mediante lechos bacterianos. Esta materia orgánica al descomponerse origina nutrientes inorgánicos que causan

eutrofización, y las macrófitas se emplean entonces como “filtros verdes”, pues toman esos nutrientes y los incorporan a su biomasa, luego las plantas son colectadas y el efluente sale con bajas concentraciones de nutrientes.

Patricia Gantes

BIBLIOGRAFIA

- ARAMENDIA, P.; FERNÁNDEZ PRINI, R. y GORDILLO, G. 1995. ¿Buenos aires en Buenos Aires? *Ciencia Hoy* 6 (31): 55-64.
- BAILEY, V.A.; A.J. NICHOLSON y E.J. WILLIAMS. 1962. Interactions between hosts and parasites when some host individuals are more difficult to find than others. *J. Theoret. Biol.* 3: 1-18.
- BARBOSA P. (ed.) 1998. *Conservation Biological Control*. San Diego, CA. Academic. 396 pp.
- BARBOSA, P. y B. BENREY. 1998. The influence of plants on insect parasitoids: implications for conservation biological control. In : P. Barbosa (Ed.). *Conservation Biological Control*. San Diego, CA. Academic. 396 pp.
- BEGON, M; J. HARPER y C. TOWNSEND. 1997. *Ecología, Individuos, Poblaciones y Comunidades*. Ed. Omega, Barcelona.
- . 1996. *Ecology*, 3ra. edición.. Blackwell Science, Oxford. Reino Unido.
- BERGQUIST, A.; CARPENTER, S. y J. LATINO. 1985. Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages. *Limnology and Oceanography*, 30: 1037-1045.
- BERRYMAN, A.A. 1991. Can economic forces cause ecological chaos? The case of the northern California Dungeness crab fishery. *Oikos*. 62(1): 106-109.
- BIBLIOTECA DE LOS GRANDES TEMAS. 1973. N° 80, *La Ecología*, Ed. Salvat, Barcelona.

Ecología General

- BILENCA, D.N. y GRACIELA K. de KECHICHIAN. 1999. *Ecología Urbana y Rural*. Ediciones Santillana. Buenos Aires
- BRAILOVSKY, A.E. (Comp.). 1987. *Introducción al estudio de los recursos naturales*. Buenos Aires: EUDEBA.
- BRAILOVSKY, A.E. 1988. *El negocio de envenenar*. Ed. Fraternal. Bs. As.
- 1992. *La ecología y el futuro de la Argentina*. Ed. Planeta Tierra. Bs. As.
- BRAILOVSKY, A.E. y DINA FOGUELMAN. 1991. *Memoria verde. Historia ecológica de la Argentina*. Ed. Sudamericana, Bs. As.
- BUSCH, M., R. CAVIA; C. BELLOMO; B. SUZUKI, P. PADULA. 2001. Análisis de la distribución espacial y temporal de casos de Síndrome Pulmonar por Hantavirus en la Provincia de Buenos Aires. Resúmenes III Congreso Argentino de Zoonosis. II Congreso latinoamericano de zoonosis. Buenos Aires, Argentina.
- CAMINOVA, R. 1999. Roedores como transmisores de leptospirosis y triquinosis. Simposio sobre control epidemiológico de vectores. Agrevo Salud Ambiental.
- CAMPBELL, B. 1985. *Ecología humana*. Salvat Editores S.A. Barcelona.
- CARIDI, A. y A.J. KREINER. 1988. Plomo en la Atmósfera. *Ciencia Hoy* 1(1): 8.
- CARLOMAGNO, M.; CURA, E.; PEREZ, A. y E. SEGURA. 1989. Informe sobre chagas. *Ciencia Hoy*, 1 (2): 36-44.
- CASTRO, J.A. 1982. Efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos del arsénico. *Acta bioquím. clín. latinoam.*, 16 (1):3-17.
- CATALANO, E.F. 1977. *Teoría general de los recursos naturales*. Buenos Aires: Victor P. de Zavallia Editor.
- CATOGGIO, J.A. 1993. Impacto Ambiental y sus Consecuencias: Patología del Ambiente. En *Elementos de Política Ambiental*, F. Goin y R. Goñi, editores. H. Cámara de Diputados de la Prov. de Bs. As.: 287-304.
- CHESSON, P. y M. ROSENZWEIG. 1991. Behaviour, heterogeneity, and the dynamics of interacting species. *Ecology* 72: 1187-1195.
- CHESSON, P.L. y W.W. MURDOCH. 1986. Aggregaition of risk: relationships among host-parasitoid models. *Am. Nat.* 127: 696-715.

Ecología General

- CLARK, C. 1976. *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable natural resources*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- CLEWELL, A.E. 2000. *Restoration of natural capital*. Ed. Restoration Ecology (8) N°.1:1.
- COLINVAUX, P.A. 1980. *Introducción a la Ecología*. Ed. Limusa, México,
- CONNELL, J.M. 1975. Some mechanisms producing structure in natural communities: a model and evidence from field experiments. En M. L. Cody y J. Diamond, editores. *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Massachussets.
- CORY, J.S. & J.H. MYERS. 2000. Direct and indirect ecological effects of biological control. TREE 15: 137-139.
- COTO, H. 1997. *Biología y control de ratas sinantrópicas*. Editorial Abierta, Buenos Aires, Argentina. 207 pp.
- CRISCI, J. y J. MORRONE. 1994. La sistemática y la crisis de la biodiversidad. *Revista Museo* 1(4): 17-21. La Plata.
- CRISCI, J.; J. MORRONE y A. LANTERI. 1993. El valor de la diversidad biológica: un enfoque holístico. En *Elementos de Política Ambiental*. F. Goin y R. Goñi, editores. H. Cámara de Diputados de la Prov. de Bs. As.: 353-360.
- DAMBORENEA M.C. y G. DARRIGRAN. 2002. Un sudamericano invade Asia. *Ciencia Hoy*, 11 (66):24-30
- DARRIGRAN, G. y J. DARRIGRAN. 2001. El mejillón dorado: una obstinada especie invasora. *Ciencia Hoy*, 11 (61):20-23.
- DAVIS, K. 1976. Las primeras ciudades: ¿Cómo y por qué surgieron? En: *La ciudad: su origen, crecimiento e impacto en el hombre*. Selecciones de *Scientific American*. Madrid: H. Blume.
- De ROSNAY, J. 1970. *Orígenes de la vida*. Ed. Martínez Roca. Barcelona,
- 1977. *El macroscopio*. Editorial A. C., Madrid,
- DENBOER, P.J. 1985. Exclusión, competición or coexistence? A question of testing right hypotheses. *Sonderdruck aus Z. f. zool. Systematik u. Evolutionforschung*, 23: 259-274.
- DUFFUS, J.H. 1983. *Toxicología ambiental*. Ediciones Omega. Barcelona 173 pp.
- DUVIGNEAUD, P. 1978. *La síntesis ecológica*. Ed. Alhambra, Madrid,

- EHRENFELD, J.G. 2000 Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, Vol. 8, N° 1, pp. 2-9.
- EHRlich, P. y A. EHRlich. 1975. *Población, recursos y medio ambiente*. Ed. Omega.
- ENRÍA, D.; PADULA, P.J.; SEGURA, E.L.; PINI, N.C.; EDELS-TEIN, A.; RIVA POSSE, C.; WEISSENBACHER, M.C. 1996. Hantavirus Pulmonary Syndrome possibility of person-to person transmission. *Medicina* 56: 709-711.
- ENRÍA, D.A.; LEVIS, S. y A.M. BRIGGILER. 1995. Hantavirus, Información para profesionales. Publicación del Instituto Nacional de enfermedades virales humanas. Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación.
- EQUIHUA ZAMORA, M. y G. BENITEZ BADILLO. 1983. *Dinámica de las comunidades ecológicas*. Ed. Trillas, México.
- FRANGI, J. 1993. Ecología y ambiente. En *Elementos de Política Ambiental*. F. Goin y R. Goñi, Editores. H. Cámara de Diputados de la Prov. de Bs. As.: 225-260.
- GALEANO, E. 1979. *Las venas abiertas de América Latina*. México, Siglo XXI Editores.
- GAMUNDI, J.C. 1985. Manejo integrado de plagas en soja. En: Actas Primeras Jornadas sobre Manejo integrado de plagas. Santa Fe, 1985, 12 pp.
- GAUSE, G.F. 1934. *The struggle for coexistence*. Baltimore, Williams & Williams Co, New York,
- GAZÍA, N.M.; DAMASCOS, M.A. y GALLOPIN, G.C. 1985. *Aprovechamiento de ecosistemas y recursos naturales renovables en América Latina: estudios de caso*. Textos para la discusión. Bariloche, Fundación Bariloche/02.
- GHERSA, C.M. y M.A. GHERSA. 1990. Cambios ecológicos en los agroecosistemas de la Pampa Ondulada. Efectos de la introducción de la soja. *Ciencia e Investigación* 5:182-188.
- GLIGO, N. y MORELLO, J. 1980. Notas sobre la historia ecológica de la América Latina. En: *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. (O. Sunkel, comp.). México: Fondo de Cultura Económica.
- GRECO, N; G. LILJESTHRÖM y N. SÁNCHEZ. 1999. Spatial distribution and coincidence of *Neoseiulus californicus* and *Tetranychus urticae* (Acari : Phytoseiidae, Tetranychidae) on strawberry. *Exp.Appl. Acarol.* 23: 567-580.

Ecología General

- HAECKEN, H. 1985. *El secreto de los éxitos de la naturaleza*. Salvat Editores, Barcelona.
- HALFFTER, G.; J. MORELLO; S. MATEUCCI y O. SOLBRIG. 1999. La biodiversidad y el uso de la tierra. En *Biodiversidad y uso de la tierra, conceptos y ejemplos de Latinoamérica*, Eudeba: 17-29.
- HARDESTY, D.L. 1979. *Antropología Ecológica*. Ediciones Bellaterra, S.A., Barcelona.
- HASELL, M.P. y R. MAY. 1973. Stability in insect host-parasitoid models. *J.Anim.Ecol.* 42: 693-726.
- 1974. Aggregation of predators and insect parasites and its effect on stability. *J.Anim.Ecol.* 43: 567-594.
- HASELL, M.P. 2000. The spatial and temporal dynamics of host-parasitoid interactions. Oxford Series in Ecology and Evolution. R. May & P.H. Harvey edits., Oxford University Press, 200 pp.
- 1978. Arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, N. Jersey, 237 pp.
- HOKKANEN HMT & D. PIMENTEL. 1989. New associations in biological control: Theory and practice. *Ca. Ent.* 121: 829-840.
- HOLM, E. 1988. Environmental restraints and life strategies. An habitat template matrix. *Oecologia*, 75: 141-145.
- HOWARTH F.G. 1991. Environmental impacts of classical biological control. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 485-509.
- HURTADO, M. 1993. El recurso suelo: su degradación. En *Elementos de Política Ambiental*. F. Goin y R Goñi. Editores, H. Cámara de Diputados de la Prov. de Bs. As.: 133-141.
- HUTCHINSON, E. 1975. *El teatro ecológico y el drama evolutivo*. Editorial Blume, Barcelona.
- 1981. *Introducción a la ecología de poblaciones*. Ed. Blume, Barcelona.
- KAISER, J. 2001. NRC panel pokes holes in Everglades scheme. *Science*, Vol. 291 N° 5506: 959-60.
- KANTI BHATTACHARJEE, P. y A.F.M. KHODADAD KHAN, 1987. On logistic model of population growth. *Chittagonig University Studies, Part II: Science*, II (1 & 2): 119- 130.
- KEOSIAN, J. 1968. *El origen de la vida*. Ed. Alhambra S. A., Madrid.
- KOCH, O.R., A.A.M. CRAVERO de KOCH y S.M. FARR, 1993. Patología Humana y Medio Ambiente. En *Elementos de Po-*

Ecología General

- lítica Ambiental*, F. Goin y S. Goñi, Editores, H. Cámara de Diputados, Prov. de Bs. As.: 673-691.
- KORMONDY, E.J. 1973. *Conceptos de ecología*. Alianza Editorial, Madrid.
- KRAVETZ, F.O.; PERCICH, R.E.; ZULETA, G.A.; CALELLO, M.A. and WEISSENBACHER, M.C. 1986. Distribution of Junín virus and its reservoirs. A tool for Argentine Hemorrhagic Fever risk evaluation in non endemic areas. *Inter ciencia* 11 (4): 185-188.
- LA PORTA, N.C. y I.S. DE CROUZEL. 1985. Estudios básicos para el control biológico de *Nezara viridula* (L, 1758) (Hemiptera: Pentatomidae) en la Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 43: 119-143.
- LANDIS D.A.; S.D. WRATTEN & G.M. GURR. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu Rev Entomol* 45: 175-201.
- LETOURNEAU, D.K. 1998. Conservation biology: lessons from conserving natural enemies. In P. Barbosa (Ed.). *Conservation Biological Control*. San Diego, CA. Academic. 396 pp.
- LILJESTHRÖM, G. & C. BERNSTEIN, 1990. Density dependence and regulation in the system *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae), host and *Trichopoda giacomellii* (Blanchard) (Diptera: Tachinidae), parasitoid. *Oecologia* 84: 45-52.
- LILJESTHRÖM, G. 1992. Distribución de los ataques del parasitoid *Trichopoda giacomellii* (Diptera: Tachinidae) sobre una población de *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ecología Austral*, 2: 29-37.
- 1993. Efectos del parasitismo de *Trichopoda giacomellii* (Blanchard) (Diptera: Tachinidae) sobre una población de *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). *Rev.Soc.Entomol. Argent.* 52: 21-28.
- LIZARRALDE, M.S. y J.M. ESCOBAR, 2000. Mamíferos exóticos en la Tierra del fuego. *Ciencia Hoy*, 10 (56): 52-63
- LOCKWOOD J.A. 1993. Environmental issues involved in biological control of rangeland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) with exotic agents. *Environ. Entomol.* 22: 503-518.
- LOUDA SM. 1997. Ecological effects of an insect introduced for the biological control of weeds. *Science* 277: 1988-1990.
- LUGO, A. E. y MORRIS, G. L. 1982. *Los sistemas ecológicos y la humanidad*. Monografía N° 23, Serie Biología, OEA, Washington.

Ecología General

- MAB. 1981. Un enfoque ecológico integral para el estudio de los asentamientos humanos. *Notas técnicas del MAB*, 12, UNESCO.
- MAC ARTHUR, R.H. y E.O. WILSON. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press.
- MACVEAN, C.1992. Control Biológico: Ciencia y Conciencia. En: Memoria del IV Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas CEIBA. Vol. 33 N° 3 Parte A. Honduras.
- MAIZTEGUI, J.I. 1975. Clinical and epidemiological patterns of Argentine Hemorrhagic Fever. *Bulletin of the World Health Organization* 52: 567- 575.
- MARDER, M.; C. WASOWSKI y A.C. PALADINI, 2001. Las plantas productoras de drogas farmacéuticas. *Ciencia Hoy*, 11 (5):12-19
- MARGALEF, R. 1974. *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona.
- 1967. El ecosistema. En *.Ecología marina*. Fundación La Salle, Caracas.
- 1980. *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Ed. Omega, Barcelona.
- 1981. *Ecología*. Editorial Planeta S.A., Barcelona,
- 1984. *Energía*. C.E.C.S.A. México.
- 1992. *Planeta Azul, Planeta Verde*. Biblioteca *Scientific American*. Prensa Científica S.A., Barcelona.
- MARGULIS, L. y D. Sagan. 1995. *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores, Barcelona.
- MARTÍNEZ, V.P.; S. COLAVECCHIA; M. GARCÍA ALAY; B. SUZUKI; A. TRINCHERI; S. BUSTO; R. RABINOVICH; P.J. PADULA. 2001. Síndrome Pulmonar por hantavirus en la provincia de Buenos Aires. *Medicina* 61: 147-156.
- MAY, R.M. 1976. Patterns in Multi-Species Communities. En: *Theoretical Ecology: Principles and applications*. Filadelfia y Toronto: G.B. Saunders, segunda edición.
- 1978. Host-parasitoid systems in patchy environments: a phenomenological model. *J.Anim.Ecol.* 47: 833-843.
- MAYR, E. 1978. La evolución. *Investigación y ciencia*, N° 26: 6.
- Mc NAUGHTON, S.J. y WOLF, 1984. L. *Ecología General*. Ed. Omega, Barcelona,
- MILLS, N.J.; ELLIS, B.A.; MC KEE, K.T.; CALDERÓN, G.; MAIZTEGUI, J.I.; NELSON, G.O.; KSIAZEK, T.G.; PETERS, C.J. and CHILDS, J.E. 1992. A longitudinal study of Junín

Ecología General

- virus activity in the rodent reservoir of Argentine Hemorrhagic Fever. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 47: 749- 763.
- MIRKIN, G. A.; SPATZ, L.; GONZÁLEZ CAPPÀ, S. M. y QUINTANA, M. 2000. La esquistosomiasis: una de las enfermedades parásitas más difundidas en el mundo. *Ciencia Hoy* 10 (56): 30-41.
- MOLINA, M. 1996. Los clorofluorocarbonos y el ozono estratosférico: un problema global. *Ciencia Hoy.* 6 (36): 51-61.
- MORELLO, J.; G. BUZAI; C. BAXENDALE; A.F. RODRÍGUEZ; S. MATEUCCI; R. GODAGNONE y R. CASAS. 2000. Urbanismo y consumo de tierra fértil. *Ciencia Hoy* 10 (55):50-62.
- MURDOCH, W.W. & C.J. BRIGGS (1996). Theory for biological control: recent developments. *Ecology* 77: 2001-2013.
- MURDOCH, W.W.; R.M. NISBET; S.P. BLYTHE; W.S.C. GURNEY y J.D. REEVE (1987). An invulnerable age class and stability in delay-differential parasitoid-host models. *Am.Nat.* 129: 263-282.
- NERUDA, P. 1974. *Confieso que he vivido; Memorias*. Editorial Losada S.A. Buenos Aires.
- ODUM, E.P. 1981. *Ecología*. C.E.C.S.A., México.
- 1972. *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana, D. F. México, tercera edición.
- ODUM, H.T. 1980. *Ambiente, energía y sociedad*. Editorial Blume, Barcelona..
- ODUM, H.T. y ODUM, E.G. 1981. *Hombre y naturaleza. Bases energéticas*. Ed. Omega, Barcelona.
- OLIVIER, S.R. y P.E. PENCHASZDEH. 1968. Evaluación de los efectivos de la almeja amarilla (*Mesodesma mactroides* Des. 1854) en las costas de la Provincia de Buenos Aires. *Proyecto de desarrollo pesquero Ser. Inf. Téc.*, Mar del Plata, Publ. N° 8. 20 pp..
- OLIVIER, S. R. 1981. *Ecología y subdesarrollo en América latina*. Siglo XXI Editores S.A., México, segunda edición.
- ONU, Population Division, 2000. The urban environment: facts and figures. *UNEP Industry and Environment* 23 (1-2).
- ONU, Programas de Desarrollo y Ambiente y Banco Mundial, 2000. *World Resources 2000-2001, People and Ecosystems*. Elsevier, Oxford, UK.
- OPARÍN, S.1968. *El origen y evolución de la vida*. Ed. Curie, Bs. As.

Ecología General

- PACE, N.R. 2001. The Universal Nature of Biochemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, Vol. 9, N° 3:805-808.
- PEREZ-COLL, C.S; HERKOVITS, V. y SALIBIAN, A. 1985. Efectos del cadmio sobre el desarrollo de un anfibio. *Arch. Biol. Med. Exper.* 18:33-39.
- PHILLIPSON, J. 1975. *Ecología energética*. Ed. Omega, Barcelona.
- PIANKA, E. 1982. *Ecología Evolutiva*. Ed. Omega, Barcelona.
- PILBEAM, D. 1997. Research on Miocene Hominoids and Hominid origins: The last three decades. En: Gegun, D.R.; Carol V. Ward y M.D. Rose (Editores) *Function, Phylogeny, and fossils. Advances in Primatology Series*. Plenum Press. New York.
- PIMM, S.L. 1984. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*. 307: 320-326.
- POINTING, CLIVE. 1992, *Historia verde del mundo*. Ed. Paidós, Barcelona.
- PROSA. 1988. *El deterioro del ambiente en la Argentina*. Buenos Aires: FECIC.
- QUEVEDO, C.V. 1946. *Conservación del suelo: cultivos en contorno - terrazas*. Buenos Aires ;Editorial Suelo Argentino.
- RABINOVICH, J. 1981. Modelos y catástrofes: Enlace entre la teoría ecológica y el manejo de los recursos naturales renovables. *Interciencia*. 6 (1): 12-21.
- RAPOPORT, E.H. 1975. *Areografía. Estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, México.
- 1979. Tácticos y estrategias r, K y “S.O.S.”. En J. Rabinovich y G. Halfter compiladores. *Tópicos de ecología contemporánea*. Fondo de Cultura Económica, México.
- RATRAY TAYLOR, C. 1984. *El gran misterio de la evolución*. Ed. Sudamericana Planeta, Bs. As.
- RICKLEFS, R.E. 1998. *Invitación a la ecología*. Ed. Médica Panamericana, Madrid.
- SAIZ GUTIERREZ, F. 1978. *Ecología y humanidad*. Ed. Universitarias de Valparaiso,.
- SECRETARÍA DE SALUD. Ministerio de Salud y Acción Social. 1998. Boletín Epidemiológico Nacional. pág. 30.
- 1999. Boletín Epidemiológico Nacional. Tabla de notificaciones, pág. 25.

Ecología General

- SELECCIÓN DE SCIENTIFIC AMERICAN. 1972. *La Biosfera*. Alianza Editorial, Madrid.
- SIMMONS, I.G. 1982. *Ecología de los recursos naturales*. Ed. Omega, Barcelona.
- SLOBODKIN, L.B. 1966. *Crecimiento y regulación de las poblaciones animales*. Eudeba, Buenos Aires.
- SMITH D. & D.F. PAPACEK. 1991. Studies of the predatory mite *Amblyseius victoriensis* (Acarina: Phytoseiidae) in citrus orchards in south-east Queensland: control of *Tegolophus australis* and *Phyllocoptruta oleivora* (Acarina: Eriophyidae), effects of pesticides, alternative host plants and augmentative release. *Exp Appl Acarol.* 12: 195-217.
- SPATARO, T. & C. BERNSTEIN. 2001. Influence of parasitized adult reproduction on host-parasitoid dynamics: an age structured model. *Theoretical Population Biology*,
- SUTOON, B. y HARMON, P. 1976. *Fundamentos de Ecología*. Ed. Limusa, México.
- TEILHARD DE CHARDIN, P. 1965. *El fenómeno humano*. Ed. Taurus. Madrid.
- TERRADAS, J. 1982. *Ecología hoy*. Ed. Teide, Barcelona.
- THIENEMANN, A. 1973. *Vida y mundo circulante*. EUDEBA, Bs.As.
- TURK, A.; TURK, J.; WITTES, J. y WITTES, R. 1985. *Tratado de ecología*. México, Ed. Interamericana.
- TYLER MILLER, G. Jr. 1994. *Ecología y Medio Ambiente*. Grupo Editorial Iberoamérica. Mexico.
- URIARTE, L. 1934. Pulgas y peste. *Revista del Instituto Bacteriológico* vol. 6 (2): 57- 98.
- VAJDA, S. 1972. *Introducción a la programación lineal y a la teoría de los juegos*. Buenos Aires: EUDEBA, tercera edición.
- WATT, T. 1978. *La ciencia del medio ambiente*. Salvat Ed., Barcelona.
- YESNER, D.R. 1983. Cazadores - recolectores marítimos: Ecología y prehistoria. En: *Cultura y ecología en las sociedades primitivas*. Barcelona: Ed. Mitre, págs. 36-68.
- WEISSENBACHER, M.C.; M.S. MERANI; V.L HODARA; G. de VILLAFÑE, D.C. GAJDUSEK; Y.K. CHU; H.W. LEE. 1990. Hantavirus infection in laboratory and wild rodents in Argentina. *Medicina* 50: 43-46.