

*Fundamentos de ecología
y ambiente*

*Fundamentos de ecología
y ambiente*

Leonardo Malacalza

Fernando R. Momo

Carlos E. Coviella



EdUNLu
Editorial Universidad Nacional de Luján

Malacalza, Leonardo,

Fundamentos de ecología y ambiente / Malacalza, Leonardo ;
Fernando R. Momo ; Carlos E. Coviella. - 1a ed. - Luján : EdUNLu, 2017.
168 p. ; 23 x 16 cm. - (Aulas universitarias)

ISBN 978-987-3941-21-4

1. Ecología. 2. Ambiente. I. Momo, Fernando R. II. Coviella, Carlos E.
III. Título
CDD 577



Libro
Universitario
Argentino

Hecho el depósito que marca la ley 11723

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopias u otros medios sin el permiso del autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
--------------------	----

PRIMERA PARTE.

FUNDAMENTOS DE TEORÍA ECOLÓGICA

I. LA VIDA Y LA ENERGÍA

¿QUÉ ES LA VIDA?	13
LA MATERIA, LA ENERGÍA Y EL ORDEN	13
LEYES DE LA TERMODINÁMICA	14
LA CÉLULA Y EL CONSUMO DE ENERGÍA	15
LA CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS	17
PREGUNTAS	18

II. LA BIOSFERA Y SU EVOLUCIÓN

LA BIOSFERA	20
LA ORGANIZACIÓN DE LA NATURALEZA	20
LA VIDA: ¿DÓNDE, CÓMO Y CUÁNDO COMENZÓ?	22
EVOLUCIÓN BIOLÓGICA: CARLOS DARWIN	23
PRUEBAS DIRECTAS E INDIRECTAS DE LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA	26
PREGUNTAS	27

III. LA ECOLOGÍA Y LOS ECOSISTEMAS

LA ECOLOGÍA	29
SISTEMAS Y ECOSISTEMAS	30
ESTRUCTURAS DEL ECOSISTEMA	32
DIVERSIDAD, RIQUEZA Y ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LAS ESPECIES	33
LAS FUNCIONES DEL ECOSISTEMA	36
LA PRODUCCIÓN EN LOS ECOSISTEMAS	36
EL NICHU ECOLÓGICO	37
ESTABILIDAD, CONECTIVIDAD, EFICIENCIA	38
PREGUNTAS	40

IV. LAS POBLACIONES

EL TAMAÑO Y LA DENSIDAD	41
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES.....	43
ESTRUCTURA DE EDADES DE UNA POBLACIÓN	44
CRECIMIENTO POBLACIONAL	45
REGULACIÓN POBLACIONAL	49
ESTRATEGIAS DEMOGRÁFICAS.....	51
UNA RELACIÓN ENTRE ESPECIES DE DISTINTO NIVEL TRÓFICO:	
LA DEPRDACIÓN.....	52
SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS.....	54
UNA RELACIÓN ENTRE ORGANISMOS DEL MISMO NIVEL TRÓFICO:	
LA COMPETENCIA.....	55
PREGUNTAS.....	57

V. LOS CAMBIOS EN LOS ECOSISTEMAS

LA SUCESIÓN ECOLÓGICA	58
LAS PERTURBACIONES EN LA SUCESIÓN	60
SUCESIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS.....	61
EXPLOTACIÓN ENTRE ECOSISTEMAS.....	62
PREGUNTAS	66

SEGUNDA PARTE.

EL HOMBRE EN LA BIOSFERA

VI. LAS POBLACIONES HUMANAS

DIFERENTES POBLACIONES Y CRECIMIENTOS.....	69
¿ESTÁ SUPERPOBLADO EL PLANETA?	70
PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y ALIMENTACIÓN	71
EL ORIGEN DEL HOMBRE.....	73
LOS GRANDES SALTOS EN EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN	74
TEORÍAS SOBRE LA POBLACIÓN.....	77
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y CONCENTRACIONES URBANAS.....	78
PREGUNTAS	80

VII. EL AMBIENTE, LA ECOLOGÍA Y LA SALUD

LA SALUD Y LOS CAMBIOS AMBIENTALES.....	81
ENDEMIAS, EPIDEMIAS Y PANDEMIAS.....	82
AGENTES PATÓGENOS.....	82
ZOONOSIS Y ANTROPOZOONOSIS	84
ESQUISTOSOMIASIS	86
ENFERMEDAD DE CHAGAS.....	87
PALUDISMO	89
DENGUE	90
LAS ENFERMEDADES AMBIENTALES Y LA POBREZA	91
PREGUNTAS.....	92

VIII. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN?.....	93
LA CONTAMINACIÓN COMO PROBLEMA SOCIAL.....	94
EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	96
PROTOCOLO DE KIOTO.....	99
ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFÉRICO.....	101
CONTAMINACIÓN DEL AGUA DULCE	102
CONTAMINACIÓN POR AGROTÓXICOS Y PRINCIPIO PRECAUTORIO	103
INSECTICIDAS	106
HERBICIDAS.....	108
CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS	111
CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS.....	112
ELEMENTOS RADIACTIVOS	114
PREGUNTAS.....	115

IX. LOS RECURSOS NATURALES

RECURSOS NATURALES	116
SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS	117
EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.....	117
EXTRACTIVISMO	120
UN MODELO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	121

LOS RECURSOS DE LA BIODIVERSIDAD.....	123
RESERVAS DE BIOSFERA	125
EL RECURSO SUELO, BASE DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.....	126
DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS	128
LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS	130
SOBRE LA EMPRESA AGROPECUARIA FAMILIAR Y LA AGROECOLOGÍA	133
LOS RECURSOS DE LOS BOSQUES NATIVOS Y DE LOS IMPLANTADOS	134
PLAGAS E INVASIONES BIOLÓGICAS.....	138
CONTROL DE PLAGAS EN LA AGRICULTURA	141
EL RECURSO AGUA DULCE.....	142
AGUAS SUPERFICIALES.....	143
AGUAS SUBTERRÁNEAS	144
PREGUNTAS	146
REFERENCIAS	149
GLOSARIO.....	157
AUTORES.....	167

INTRODUCCIÓN

Este libro fue escrito para quienes comienzan estudios terciarios y también para todos los que estén interesados en iniciarse en el conocimiento de temas de ecología y ambiente.

Los autores son docentes investigadores en la Universidad Nacional de Luján. En esa Casa de estudios superiores, desde su comienzo en 1973, la Ecología como ciencia se enseña en varias de las carreras que allí se cursan. En esa década del siglo XX, algunos temas del ambiente y la ecología comenzaron a ser de interés político y social en muchos países. En 1972, la Organización de la Naciones Unidas realizó en Estocolmo la primera reunión internacional sobre el Ambiente Humano. En ese mismo año, en nuestro país, se creó la Asociación Argentina de Ecología. En 1973, en el Gobierno Nacional, se creó la Secretaría de Medio Ambiente, y en 1974 se realizó en Buenos Aires la primera Conferencia sobre el Medio Ambiente en la que participó la UNLu con sus representantes docentes de Ecología.

Los contenidos del libro son los de la asignatura Ecología General que se puede cursar en esta Universidad y están divididos en dos partes; en la primera se presentan algunas bases de conocimientos biológicos y los fundamentos de la teoría ecológica; en la segunda se describen y analizan grandes temas directamente relacionados con el ambiente en que vivimos. Sobre estos temas muchos investigadores de esta y otras universidades han escrito breves ensayos que pueden encontrarse en una edición electrónica anterior gratuita de este libro y que aquí aparecen citados en el capítulo correspondiente.

Aspiramos a que este texto contribuya no solo a conocer cómo funcionan los ecosistemas, sino que también al leerlo se ejercite, recupere o adquiera la capacidad para observar la naturaleza con espíritu inquisitivo. Quizá logremos que se despierten vocaciones para seguir indagando en alguno de los muchos campos de la ecología y el medio ambiente.

También esperamos que, conociendo el enorme tiempo transcurrido desde el comienzo de la vida en nuestro planeta, y la

diversidad y complejidad de los organismos vivientes que la habitan, se incrementa nuestra comprensión y aceptación de las diferencias; son estas las que posibilitan y enriquecen la vida en el mundo que conocemos.

Cordialmente, los invitamos a comenzar.
Luján, octubre de 2015.

PRIMERA PARTE

FUNDAMENTOS DE TEORÍA ECOLÓGICA

I. LA VIDA Y LA ENERGÍA

¿QUÉ ES LA VIDA?

La ecología es la ciencia que estudia las relaciones existentes entre los organismos vivos y el ambiente en que viven. Por eso tendremos que comenzar a hacernos preguntas acerca de la vida y los seres vivos.

¿Qué es la vida? ¿Cómo se originó? ¿Se originó solo una vez? ¿Cómo se originó la enorme diversidad de plantas y animales existentes? ¿Siempre han sido los mismos desde que surgió la vida?

Para intentar responder a estas preguntas podemos comenzar diciendo que la vida es una propiedad emergente de una combinación de materia y energía que comenzó hace unos 3800 millones de años en el planeta Tierra. Y para aproximarnos a una definición de la vida deberemos referirnos a los procesos que caracterizan a ese estado de la materia, que son el automantenimiento, la autorreproducción y la autorregulación, es decir, la posibilidad de mantener la estructura viva recibiendo, incorporando y transformando materia y energía mediante la nutrición, la asimilación, la respiración y la fermentación; la posibilidad de propagarse mediante la reproducción; y la facultad de controlar su crecimiento y su relación con el ambiente.

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 recombinarse, persiste, en tanto que la energía –que posibilita esos cambios– fluye

y va perdiendo su capacidad de realizar trabajo, se va degradando en forma de calor.

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 y dejamos fluir el agua; una parte de esa energía cinética se transforma en trabajo al hacer girar las turbinas, y la energía cinética de las turbinas se transforma en energía eléctrica en la dinamo. 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.

LEYES DE LA TERMODINÁMICA

Esas propiedades de la energía están enunciadas y explicadas por las leyes de la *termodinámica*. La primera, la ley de la conservación de la energía, dice que la energía no puede crearse ni destruirse; puede transformarse y adoptar distintas formas —puede ser luz, calor, movimiento, estar en los enlaces entre átomos y moléculas, y otras—, pero siempre la energía de un sistema más su entorno se conserva, no aumenta ni disminuye.

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 de transformarse en trabajo y que tiende a desorganizar los sistemas. Esto se explica en la segunda ley de la termodinámica, que dice que en cada conversión de la energía, esta va perdiendo capacidad de realizar trabajo, disipándose parcialmente en su entorno en forma de calor. Y como el calor tiene poca capacidad de realizar trabajo, el desorden aumenta y decimos que aumenta la *entropía*. La entropía es, entonces, una medida del desorden de cualquier sistema y también es una medida de la “degradación” o desgaste de la energía.

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; lo que ha disminuido es la capacidad de realizar trabajo.

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 conjunto del sistema y 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 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.

La organización requiere energía; cuanto más organizado sea un sistema, mayor cantidad de energía requerirá para mantener su organización contra la tendencia natural al desorden. Contra esa tendencia al aumento de entropía y el desorden que representa la muerte, la célula requiere constantemente nueva energía del exterior. Por eso se dice que los sistemas vivos son sistemas disipativos, porque mantienen su organización a costa de un flujo de energía que los atraviesa. 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 solo para mantener sus estructuras organizadas sino también para realizar actividades como desplazarse, relacionarse, reaccionar ante estímulos, pensar, agredir, huir.

Los seres humanos somos sistemas constituidos por células: somos organismos inestables, ya que, aun durmiendo, necesitamos el aporte de energía; y somos poco probables, en el sentido de que según transcurre el tiempo, la probabilidad de desorganizarnos y morir aumenta.

La vida sobre la Tierra se mantiene con la energía proveniente del sol. Esta estrella continuamente emite radiación que se propaga

por el espacio en forma de 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 de la radiación, mayor es la cantidad de energía del fotón. La luz visible es la porción de radiación comprendida entre los 370 y 750 nanómetros (nm) de longitud de onda (1 nm es la millonésima parte de 1 milímetro).

Las plantas, mediante moléculas especializadas (clorofila y otros pigmentos), son capaces de absorber y transformar la energía de la luz visible o radiación fotosintéticamente activa (PAR, su acrónimo en inglés). Esta transformación se efectúa a través de una serie de reacciones químicas intermedias y, en conjunto, el proceso se denomina fotosíntesis. Con esa energía construyen nuevas moléculas y en estas, una parte queda almacenada en forma de energía química. Una de las moléculas que se construye es la glucosa: el primer combustible energético utilizado por los seres vivos.

La luz de onda menor a 300 nm posee energía suficiente para desordenar el material genético generando *mutaciones* en el ADN y provocando la muerte.

Los animales necesitan comer para incorporar las 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; esta es aportada por las estructuras verdes que realizan fotosíntesis, como las hojas.

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

Los organismos vegetales con clorofila son *autótrofos*, esto significa que son capaces de fabricar sus propios compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas y luz. En tanto que los organismos carentes de clorofila son *heterótrofos*, toman los alimentos del medio en que viven, como los animales y los hongos.

LA CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

Los seres se clasifican para ordenarlos, entenderlos y evitar el aprendizaje repetido. En biología, la tarea de clasificar y ordenar los organismos es una investigación importante; hace algunas décadas se estimaba la existencia de alrededor de cinco millones de *especies*; actualmente se considera que son muchas más y quizá lleguen a más de diez millones.

Cuando se trata de clasificar objetos no vivos, la tarea es más simple. Pero cuando nos referimos a plantas y animales debemos tener en cuenta que los seres vivos tienen una historia evolutiva, una historia a la que llamamos filogenia, en la que –a partir de ancestros– las especies fueron cambiando; y también tienen un porvenir con la posibilidad de cambiar en el futuro.

Las plantas y los animales tienen nombres vulgares vernáculos, como “algarrobo”, “churrinche”, “bagre”, “pino Paraná”, “perro”, 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 adjudique igual nombre a diferentes organismos. Para evitar la confusión, se hizo necesario adoptar una nomenclatura generalizada. A mediados del siglo XVIII, Linneo, un naturalista sueco, propuso la nomenclatura binomial para dar a cada especie un nombre, que debía ser escrito en latín, con un epíteto genérico y otro específico.

A partir de Linneo, la *especie* es la unidad básica de la clasificación jerárquica en taxonomía. Pero aún hoy no es fácil definir qué es una especie. En general, por ejemplo, si hablamos de animales como los mamíferos, podemos decir que una especie se compone de organismos capaces de aparearse entre sí y generar descendencia fértil, y también que está delimitada por similitudes en las características morfológicas de los individuos. Pero esta definición requiere otras descripciones para otros grupos de organismos con otras características, manteniendo –en todos los casos– el propósito de identificarlos con la misma denominación por todos aquellos que los observen.

El sistema de Linneo consta de siete agrupamientos básicos o *taxa*, en plural, y *taxón*, en singular; veamos el Cuadro 1:

Cuadro 1. Clasificación de las especies según el sistema de Linneo.

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 el ejemplo del cuadro, *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 un orden jerárquico entre los siete taxa, 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, y así sucesivamente.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las propiedades básicas que caracterizan a todos los seres vivos?
2. ¿Qué es materia y qué es energía?
3. ¿Qué ejemplos puede dar de distintas formas de energía?
4. ¿Puede interpretar el enunciado de las leyes de la termodinámica?
5. ¿Qué entiende por entropía? ¿Puede dar ejemplos de variaciones relativas a esta magnitud?

6. ¿Por qué se dice que los seres vivos se oponen al aumento de entropía?
7. ¿Por qué la célula viva requiere el aporte constante de energía?
8. ¿Cuál es la principal fuente de energía que hace posible la vida?
9. ¿Cómo obtiene la vida la energía y mediante qué procesos la transforma y la utiliza?
10. ¿Qué es un organismo autótrofo y qué es un organismo heterótrofo?
11. ¿En qué consisten básicamente la fotosíntesis y la respiración y en qué organelas se realizan?
12. ¿Qué es la luz y qué importancia tienen para la vida las distintas longitudes de onda?
13. ¿En qué consiste la nomenclatura binomial de las especies? Ejemplos.

II. LA BIOSFERA Y SU EVOLUCIÓN

LA BIOSFERA

Biosfera es el nombre que se da al conjunto de seres vivos de todo el planeta que existen en un tiempo dado. Su aparición y desarrollo, y la modificación de su entorno ha ocurrido en el curso de un largo proceso que comenzó hace unos 3.800 millones de años.

La biosfera no es una capa continua de materia viva sino que está cuantificada en individuos pertenecientes a una cantidad estimada de diez millones de especies. Tiene un espesor máximo de unos veinte kilómetros; diez hacia abajo en las fosas marinas y diez hacia arriba en las montañas. Se estima que la masa de todos los seres vivos distribuida homogéneamente sobre la superficie del planeta formaría una capa de solo un centímetro de espesor. No obstante los efectos que produce son muy grandes, tanto en la atmósfera como en las aguas y los suelos.

Las interfases entre los estados líquido, sólido y gaseoso constituyen quizá los lugares más propicios para el desarrollo de la vida. Piénsese en una planta arraigada en la orilla de una laguna, con sus raíces que pueden 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 sea una cantidad mínima— 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 vivos. 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 la energía lo que ha permitido la compleja organización de la materia. La materia del universo se organiza así en una larga escalera de complejidad creciente: partículas elementales, átomos, moléculas, células, organismos, poblaciones, comunidades. A veces se habla de niveles de organización para referirse a cada uno de los peldaños de esa imaginaria escalera.

Cada nivel de organización biológica posee propiedades heredadas del nivel anterior y propiedades nuevas, denominadas emergentes, a partir de las cuales se define o caracteriza 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 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 solo a leyes físicas y químicas. Esta fue la etapa que denominamos de la evolución prebiológica. Mucho se ha investigado y se continúa investigando sobre ese tiempo en el que se dieron las condiciones para que fuese posible algo tan improbable como la vida; se trata tanto de especulaciones teóricas y de explicaciones religiosas, como de observaciones de la naturaleza y de experimentos realizados en condiciones de laboratorio.

La vida como una expresión del movimiento de la materia aparece hace algo más de 3.800 millones de años, comenzando la evolución biológica. Es decir que la vida aparece como una propiedad emergente de un nivel donde solo actuaban las leyes físicas y químicas. Con la presencia de estructuras vivas surgen nuevas reglas de juego, las leyes biológicas, en un planeta Tierra muy distinto del actual, con una atmósfera que tenía una proporción mínima de oxígeno, altas

temperaturas y mucha radiación ultravioleta que haría imposible la vida tal cual la conocemos distribuida en toda la biosfera¹.

LA VIDA: ¿DÓNDE, CÓMO Y CUÁNDO COMENZÓ?

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

Fragmentos de historia antigua 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 otros sin dudar hasta hace tan solo 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 Siglos XVI y XVII cuando, desafiando los dogmas, se manifestaron pensamientos críticos basados en el método experimental. 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, y se decía que los seres vivos

¹ Para conocer más sobre las características de la Tierra en la que se originó la vida ver: <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy128/biosfera.html> (Fecha de acceso: 10 de julio e 2016).

provenían 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, al origen de la vida en el planeta Tierra: o era creación sobrenatural —y no se hablaba más del tema— o había que buscar una explicación científica.

La vida podría haber llegado del espacio (teoría llamada de la panspermia), pero las formas vivas que conocemos no hubieran resistido las condiciones extremas de la travesía: solo la radiación ultravioleta del sol sería suficiente para destruir 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.

Se conocen algunos lugares del planeta Tierra donde las condiciones ambientales son demasiado extremas e inhabitables para casi todas las especies vivientes, pero sí son toleradas por algunos microorganismos como las cianobacterias, que resisten y se desarrollan bien. Esos ambientes tienen características de la Tierra primitiva, con poco oxígeno y radiación solar ultravioleta, como las de la puna de los Andes de Argentina, Chile y Bolivia. Allí se han encontrado y se están estudiando esos microorganismos que viven en condiciones semejantes a las que imperaban cuando apareció la vida en la Tierra hace unos 3500 millones de años, y probablemente son esas especies los parientes más cercanos de los primeros seres vivientes².

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 el año 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

² Ver <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy126/Microorganismos.pdf> (Fecha de acceso: 10 de julio e 2016).

proceso fundamental según el cual esto ocurre en la naturaleza 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 lentamente aceptada por los biólogos, aunque no por la mayoría de los que no lo eran.

Darwin observó que los individuos pertenecientes a una misma especie presentan variaciones entre ellos; son todos diferentes, aunque sea por 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? Sobreviven los que, por esas diferencias individuales ya están, 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; para que opere la selección es importante que las diferencias desventajosas produzcan la eliminación de tales individuos antes de alcanzar la edad reproductiva. En otras palabras, los individuos no se adaptan al ambiente, sino que algunos ya nacen con características 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 intensa la lucha, más rápida será la evolución de las 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, que con el tiempo originaban nuevas especies. Lamarck daba como ejemplo de su teoría el caso de las jirafas, que por extender incesantemente el cuello para alcanzar ramas más altas se generarían estructuras heredables en los descendientes.

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 solo 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 aparecieran.

En el siglo XX, con el avance de la genética, se supo que las diferencias individuales observadas por Darwin se deben a mutaciones, cambios espontáneos o inducidos en el código genético. Por tanto, la evolución y aparición de nuevas especies es consecuencia de la acumulación de pequeñas mutaciones favorables conservadas por la selección natural. Con esas bases nació el neodarwinismo o teoría sintética de la evolución que fue desarrollada por científicos tales como Simpson, Mayr, Huxley, Dobzhansky y otros.

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*, solo 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 (Margulis y Sagan, 1995). Más aún, cada una de nuestras células proviene

filogenéticamente de asociaciones con bacterias (así parece que fue el origen de 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 habla de un origen común, desde el flagelo de las euglenas (protistas) 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 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.

También ha sido posible observar, a lo largo de los años, cambios significativos en poblaciones vegetales y animales. Entre estos cambios, existen los provocados por la acción del insecticida DDT sobre ciertas poblaciones de insectos; cuando se lo utilizó por primera vez, eliminó rápidamente poblaciones de insectos considerados plaga, entre otros las moscas domésticas, pero con el tiempo su efecto sobre las poblaciones decreció cada vez más. Esto indica que no habiendo variado el DDT, quienes cambiaron fueron las moscas. Ejemplos de cambios en microorganismos se podrían tomar a partir de 1945, fecha en que comenzaron a utilizarse, en amplia escala, los antibióticos.

Además de las pruebas directas de la evolución, hay evidencias 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 son denominadas 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 actualmente son distintos. Y 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 evidencia directa e indirecta es tan grande y consistente que hoy no se encuentra hombre de ciencia que niegue la existencia del proceso de evolución de los seres vivos.

Los momentos que consideramos importantes en la secuencia cronológica de la evolución biológica han sido:

- La aparición de la vida, probablemente en un ambiente acuoso, hace unos 3800 millones de años. Su expresión pudo haber sido la aparición de moléculas replicantes, con propiedades de multiplicación y diferenciación, parecidas al *ARN*, y agrupadas, con capacidad de aislarse con algún tipo de membrana externa.

- La aparición de organismos fotosintetizadores, cianobacterias y rodofitas, hace alrededor de 3700 millones de años.

- La aparición de células con núcleo, 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 animales acuáticos a la vida terrestre hace 350 millones de años.

- La aparición de los ancestros humanos hace cerca de cuatro millones de años.

- La aparición del *Homo sapiens* en África hace unos 180 mil años.

PREGUNTAS

1. ¿Puede usted describir un cambio ambiental extraordinario al que una especie animal podría estar expuesta? Utilice esa descripción como guía y aplique el concepto darwiniano de la “supervivencia del más apto”.

2. ¿Qué es una mutación? Explique el concepto de variabilidad y dé algunos ejemplos.

3. ¿Distingue la selección artificial de la selección natural? ¿Cuáles son los factores selectivos que operan en cada caso? ¿Actúan en la especie *Homo sapiens* la selección artificial (es decir, cultural) y la selección natural?

4. ¿Por qué en algunos ambientes la especialización puede resultar perjudicial?

5. ¿Por qué en otros casos la especialización resulta beneficiosa?

6. ¿Por qué cree usted que en la especie humana se selecciona la inteligencia? (¿O sería más correcto preguntarnos por qué se seleccionó?). ¿Qué será más importante actualmente en nuestra especie: la evolución biológica o la evolución cultural?

7. ¿Cuáles son algunas de las causas que posibilitan que 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?

III. LA ECOLOGÍA Y LOS ECOSISTEMAS

LA ECOLOGÍA

En el capítulo anterior dijimos que la materia en el universo se organiza en una escalera de complejidad creciente; cada escalón constituye un nivel de organización cuyos componentes tienen propiedades heredadas de niveles anteriores más simples y propiedades nuevas emergentes de ese grado de complejidad. A cada nivel le corresponden las leyes de los niveles anteriores más las leyes de sus propiedades emergentes.

Así, cada uno de esos niveles 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. Pero los organismos también son investigados por la ecología, ciencia que además estudia niveles de organización más complejos: poblaciones y comunidades. El nivel de población está formado por un conjunto de organismos de una especie que habitan en un lugar determinado; el de comunidad es el que surge de poblaciones superpuestas e interrelacionadas. Los ecólogos generalmente investigan las relaciones estructurales y funcionales que se forman entre los niveles de organismos, de poblaciones o de comunidades y el ambiente físico y químico. También estudian los ecosistemas en su conjunto, es decir, a las comunidades dentro de su ambiente, los flujos de materia y energía, los balances de los elementos químicos en ese sistema complejo. Y desde hace unos 50 años, muchos ecólogos están interesados en investigar qué sucede cuando cualquiera de los sistemas mencionados es modificado, perturbado o explotado por la actividad humana o por causas naturales. Así, temas de investigación como los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, el impacto de las especies invasoras en una comunidad, la dinámica de las poblaciones de especies consideradas plagas o la de aquellas que se encuentran en riesgo de extinción, se han constituido en ramas de la ciencia ecológica con marcos teóricos y metodologías propias y particulares.

El vocablo *ecología* fue creado en 1866 por el biólogo alemán Ernest Haeckel, a partir del griego *oikos*, casa, y *logos*, ciencia.

Entonces definimos la ecología como la ciencia que estudia las relaciones existentes entre los organismos vivos y el ambiente en que viven.

SISTEMAS Y ECOSISTEMAS

Un sistema es un conjunto de elementos que interaccionan y están relacionados entre sí de manera tal que responden como un todo unificado; cualquier variación o cambio en alguno de los elementos, de algún modo, influye sobre el conjunto. Así visto, un conjunto de organismos de diversas especies que interaccionan entre sí y con su entorno físico y químico intercambiando materia y energía, constituye un ecosistema.

Pueden ser considerados ecosistemas un bosque, un río, una ciudad, una bahía, toda la biosfera y también un recipiente como una pecera. Entonces, 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; la delimitación comúnmente es arbitraria y se hace según el propósito de quienes lo estudian o de quienes lo usan.

En un ecosistema constituido por una comunidad y su ambiente, la energía contenida en la materia es transferida entre los organismos, degradándose en ese camino. En tal camino pueden distinguirse una serie de *niveles tróficos*; 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 con moléculas inorgánicas que se encuentran en el medio, se sintetiza materia orgánica dentro de las células autótrofas: es la fotosíntesis. La materia orgánica así formada en un área se denomina *producción primaria*. Parte de esta producción es respirada por los mismos organismos autótrofos, los *productores primarios*, que son las plantas verdes, desde los formados por una sola célula, como las algas del *fitoplancton*, hasta los grandes árboles. La producción que queda representa un aumento de la biomasa de los productores primarios y se la designa producción primaria neta, para distinguirla de la producción primaria bruta que incluye a la producción neta más la que se consume en la respiración.

Una parte de la producción neta 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. De esta manera puede haber uno o dos niveles tróficos más. En tal orden cada nivel sería como un eslabón de una cadena: la *cadena trófica*, donde cada eslabón come del anterior y del cual come el siguiente.

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

En este punto es necesario destacar el papel esencial de las bacterias en el ciclo de la materia, tanto de los ambientes acuáticos como de los ambientes terrestres. Las bacterias son probablemente los principales consumidores en la columna de agua de los océanos y utilizan eficientemente tanto la materia orgánica disuelta como la particulada, incluyendo quitina y celulosa, compuestos de carbono bastante difíciles de digerir por los animales. Tengamos en cuenta que en los ecosistemas oceánicos la materia orgánica disuelta en el agua es mil veces mayor que la biomasa de fitoplancton, mientras que en sistemas terrestres la relación entre la cantidad de materia orgánica en el suelo y la contenida en las plantas es de dos a uno. En el agua, sobre todo en los océanos, las bacterias procesan gran parte de la materia orgánica disuelta y particulada y son aprovechadas como alimento por los protistas (organismos unicelulares heterótrofos); esta parte de la red trófica se conoce como el “bucle microbiano” (*microbial loop* en inglés). Gracias a las bacterias, los carbohidratos, aminoácidos y péptidos disueltos en el agua son incorporados y transformados en materia orgánica particulada disponible para los microconsumidores (protozoos y salpas principalmente) y para otros organismos del zooplancton.

El papel de las bacterias en los suelos es indirecto ya que estos organismos no solo descomponen materia orgánica liberando nutrientes que las plantas pueden aprovechar para la fotosíntesis, sino que producen un complejo conjunto de gomas microbianas (materia orgánica compleja) que da estructura a los suelos.

El científico Louis Pasteur ha dicho que la vida y la muerte son cosas correlativas; la vida no podría existir sobre la Tierra si no hubiera al mismo tiempo, no solo la muerte sino también la disolución.

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 organizada y unida a ella formando los organismos, y conteniendo información. La estructura de los organismos se mantiene a costa de un intenso consumo de energía y producción de entropía, sobre todo, en los niveles tróficos más bajos, como las plantas y los herbívoros.

Pero tales cadenas rara vez son lineales: por lo general, vemos *redes tróficas*: cuando un pez grande se come al pez chico también puede comer zooplancton, algún alevín de su mismo nivel, y otros. Además, no todos los organismos son comidos por otros: simplemente pueden morir y ser degradados por hongos y bacterias. Finalmente estos descomponen toda la materia orgánica liberando las moléculas inorgánicas que son nutrientes con los que se puede sintetizar nueva materia orgánica y reiniciar el ciclo.

ESTRUCTURAS DEL ECOSISTEMA

Dos grupos de rasgos característicos permiten describir de manera muy general los ecosistemas, los rasgos estructurales y los rasgos funcionales. Los estructurales refieren a la disposición espacial de los componentes del sistema en un momento dado, que a nivel de ecosistema puede ser el tamaño, la forma y la densidad de las plantas

o la distribución de los herbívoros. Forman estructuras del ecosistema los individuos de cada especie, la cantidad de las mismas y sus biomásas, las reservas de biomasa y energía, la red de comunicaciones internas que permite el intercambio (flujo) de energía, materia e información entre las partes (ejemplos de estas últimas estructuras son los nervios, venas, caminos, túneles, líneas eléctricas, oleoductos, etc.). Las estructuras a nivel de ecosistema le otorgan su fisonomía, por ejemplo los árboles en el bosque y las hierbas en las praderas, o el ecosistema formado por los organismos que habitan el fondo de las aguas o asociados a él y forman el bentos.

Las estructuras de los ecosistemas terrestres son más estables, tienen componentes poco móviles porque las plantas no se desplazan; en tanto en los sistemas acuáticos la estructura y el aspecto varían enormemente entre comunidades del fondo, *bentónicas*, y las de aguas abiertas, *pelágicas*. Entre estas últimas comunidades está la comunidad planctónica que posee estructuras, pero son muy poco estables porque dependen de los movimientos del agua.

Algunos aspectos de la estructura de un ecosistema son la *biomasa*, que designaremos B, y la *diversidad específica*, que también nos permite conocer el funcionamiento del sistema. La biomasa es la cantidad de materia viva por unidad de área horizontal o de volumen que hay en un lugar determinado. O sea, el peso de los individuos vivos que hay en un lugar del ecosistema en un momento dado.

Para estimarla, lo más simple es tomar muestras de la comunidad o de la población y pesarlas. El peso puede estimarse en peso fresco o en peso seco, y los resultados se expresan en mg/l, kg/m², etc. La estimación en peso seco se realiza para estandarizar los resultados, eliminando el agua que varía mucho según el grado de hidratación de diferentes tejidos de diferentes organismos.

DIVERSIDAD, RIQUEZA Y ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LAS ESPECIES

Por otro lado, para describir mejor la estructura del ecosistema y deducir algunas características de su funcionamiento, suele ser interesante observar cómo se distribuyen los organismos. Un ecosistema puede ser más o menos rico en especies, y cada una de

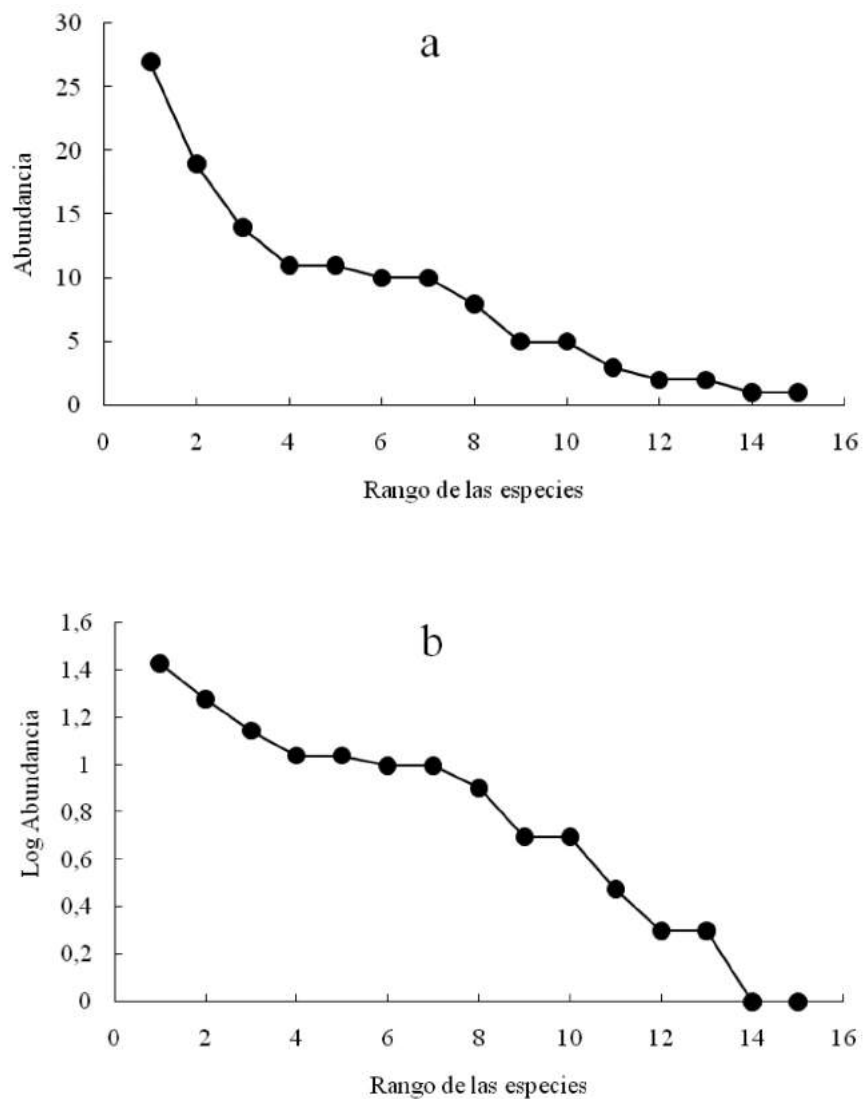
estas puede estar representada por un número más o menos constante de individuos, número que puede ser muy alto en unas pocas y bajo en muchas. Si logramos cuantificar este aspecto conocemos la *diversidad*. Esta expresa tanto la riqueza de especies (número de especies presentes) como sus abundancias relativas. Cuanto más similares sean las abundancias relativas, más diverso será el sistema. La diversidad máxima teórica sería aquella en que cada uno de los individuos pertenece 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 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; en la figura 1a se representan los datos numéricos obtenidos. En la figura 1b se representa el logaritmo de los datos numéricos que es más cómodo cuando las abundancias son muy desparejas.



LAS FUNCIONES DEL ECOSISTEMA

Las funciones que podemos observar y estudiar en un ecosistema son procesos, es decir, fenómenos dependientes del tiempo. Tales funciones de un ecosistema están relacionadas con el flujo de la energía, flujo 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 en los organismos, con la que incorporan y transforman materia. Y en los ecosistemas –a través de las cadenas y redes tróficas– esas funciones determinan el ciclo de materia, ciclo que es movido por la energía que se va consumiendo desde los productores primarios hasta los descomponedores, en tanto que la materia se mantiene, pasando por moléculas que contienen desde mucha a muy poca energía utilizable por los seres vivos, de acuerdo a las leyes de la termodinámica.

LA PRODUCCIÓN EN LOS ECOSISTEMAS

Algunos aspectos macroscópicos de las funciones o del funcionamiento del ecosistema son la producción (P); la tasa de renovación (P/B); 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: $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$. La producción primaria bruta (PPB) es toda la biomasa sintetizada en la unidad de tiempo por los organismos autótrofos, y 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:

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

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 de la biomasa. 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 de la biomasa, es decir, cuánto tarda la biomasa en reformarse totalmente, así un sistema con 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 cuál es la proporción de la energía que entra y que es usada para mantener el sistema. 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, almacenarla y también cederla a otros sistemas; por ejemplo un pastizal en primavera que puede ser explotado por los herbívoros. Cuando el sistema, si es cerrado a la materia, 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 cerrados autotróficos, de cambiar 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).

EL NICHOS ECOLÓGICO

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 este 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 (1981) describiera el 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.

ESTABILIDAD, CONECTIVIDAD, EFICIENCIA

La velocidad con que la energía fluye —el tiempo desde que entra hasta que se disipa— 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 y 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, la eficiencia de un proceso es el cociente entre dos variables: la variable dependiente o de salida y la variable independiente o de entrada, o una de estas en caso de ser varias. Por ejemplo, en un automóvil, la eficiencia en el uso del combustible serán los kilómetros recorridos/litros consumidos, y en los animales la eficiencia de crecimiento neto puede calcularse como el cociente entre el crecimiento/alimento ingerido.

En condiciones normales, la eficiencia de uso de la energía 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 el Cuadro 2 vemos datos de la eficiencia de crecimiento neto de organismos de otros niveles, según Margalef (1974).

Cuadro 2. Eficiencia neta (crecimiento/alimento ingerido) de diversos animales.

Nivel alimentario y organismo	Crecimiento/alimento ingerido (%)
<i>Herbívoros</i> (segundo nivel trófico)	
Rumiante silvestre	1.1
Ganado vacuno	5 a 7
Zooplankton	8.7 a 13.3
Gallinas seleccionadas	14
<i>Omnívoros</i>	
Hombre	0.1
Cerdo	9 a 12
<i>Carnívoros</i> (tercer nivel trófico)	
Arañas	10 a 25
Insectos	12
Peces	20 a 37
Cigüeña	22 a 30

Se ha calculado la eficiencia, en cuanto al crecimiento y la reproducción en función del alimento ingerido, en 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. A estos organismos es más probable encontrarlos en las comunidades en equilibrio relativo, donde cada nivel trófico extrae del anterior solo la producción neta; pero si extrajera más, podría llegar a agotar la biomasa productora.

PREGUNTAS

1. ¿Qué se entiende en Ecología por comunidad, nivel trófico, descomponedores, nicho ecológico, diversidad específica, biomasa, producción primaria, producción primaria neta, producción primaria bruta, estabilidad, eficiencia y energía exosomática? Defina y trate de dar ejemplos.

2. ¿Pueden nombrar tres organismos que ocupen el primer nivel trófico, dos que ocupen el segundo y uno que ocupe el tercero?

3. ¿A qué se debe que en un ecosistema complejo la energía que ingresa tenga un flujo más lento que en uno simple, con pocas especies? ¿Cuál es más eficiente respecto del aprovechamiento de la energía?

4. ¿Qué parte de la biomasa que se produce en un ecosistema es la que puede extraer de modo sostenido en el tiempo sin correr el riesgo de provocar cambios en la producción del mismo?

5. ¿Cuáles niveles de la cadena trófica son más eficientes en el aprovechamiento de la energía almacenada en su biomasa?

6. 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 de su dieta. 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 a su vez comen insectos que se alimentan de hojas?

7.Cuál de las siguientes alternativas responde correctamente a la pregunta: ¿Cuáles niveles tróficos les conviene explotar a las poblaciones humanas para obtener alimentos?

- a. los niveles tróficos más altos porque son más eficientes en el uso de energía.
- b. los niveles tróficos más altos porque tienen más tejidos de reserva.
- c. los primeros niveles tróficos porque tienen mayores reservas de energía en su biomasa.
- d. los primeros niveles tróficos porque tienen P/R aproximadamente igual a 1.
- e. los primeros niveles tróficos porque tienen mayor P/B y menor P/R.

IV. LAS POBLACIONES

La población es el nivel de organización 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 una definición clásica (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.

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 los mismos recursos.

Así, hablamos de la población jabalíes (*Sus scrofa*) del palmar de Entre Ríos, de la población de pejerreyes (*Basilichtys bonariensis*) de la laguna de Chascomús o de la población de cardos (*Carduus acanthoides*) 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”.

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 ella. Este es un tema importante: imaginemos que queremos saber si en nuestra ciudad hay muchos individuos del mosquito que transmite el dengue (*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. 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 población) 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 el mismo objetivo.

Las técnicas para estimar el tamaño de una población son variadas. 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.

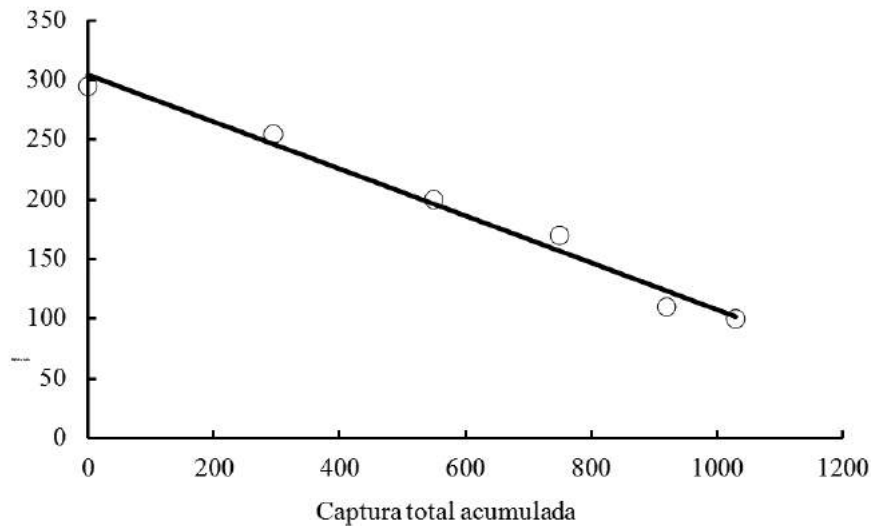
El método explicado no puede aplicarse a animales móviles, salvo que uno tenga un relevamiento fotográfico de los individuos; en tal caso se pueden usar trampas y calcular el tamaño poblacional conociendo el número de trampas, el número de organismos capturados y la eficiencia y área de influencia de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

También se puede capturar un cierto número de animales m , y marcarlos de alguna manera, soltarlos y dejarlos mezclarse con la población original. Luego se hace una nueva captura 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 observa en la Figura 2. 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.

Figura 2. Estimación del tamaño poblacional por agotamiento de stock.



Existen muchos métodos de mayor o menor campo de aplicación que pueden encontrarse en libros de textos de ecología (Margalef, 1974; Colinvaux, 1980), pero es poca la información que nos puede dar el conocimiento del tamaño poblacional. 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.

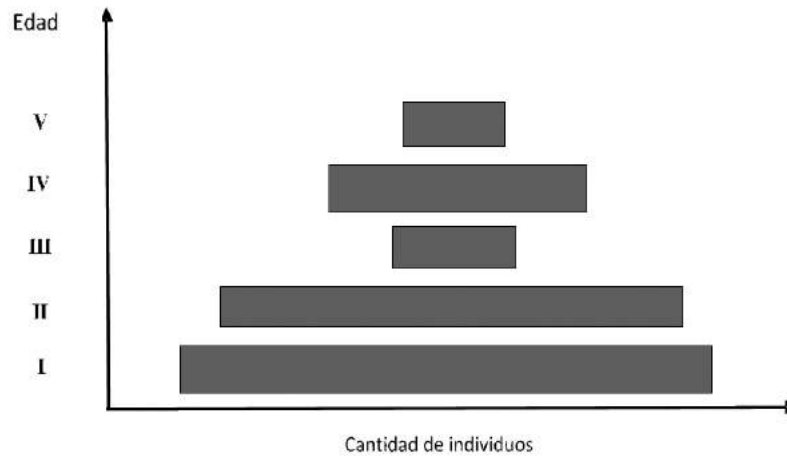
Estos ejemplos ilustran los tres tipos básicos de distribución espacial: agrupada, regular o uniforme y al azar. La distribución agrupada se caracteriza estadísticamente porque la variación de las distancias entre individuos es mucho mayor que el promedio de esas distancias; en la distribución regular 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 estudiar la estructura de la población es la edad. La estructura de edades de la población es la proporción entre diferentes clases de edad y puede visualizarse como una pirámide (Figura 3) donde la longitud de cada escalón representa el número o porcentaje de individuos de la clase de edad que ese escalón representa; por convención y cierta lógica, las edades menores se representan en los escalones inferiores.

Figura 3. Representación piramidal de las clases de edades y el número de individuos de cada una de ellas.



La estructura de una pirámide solo 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 de recursos; a veces varían en forma aparentemente errática, sin ninguna regularidad; otras, 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 una disminución repentina 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 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, 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, porque la probabilidad de encontrar pareja y reproducirse es mayor. Esto se expresa como:

$$dN / dt = r N$$

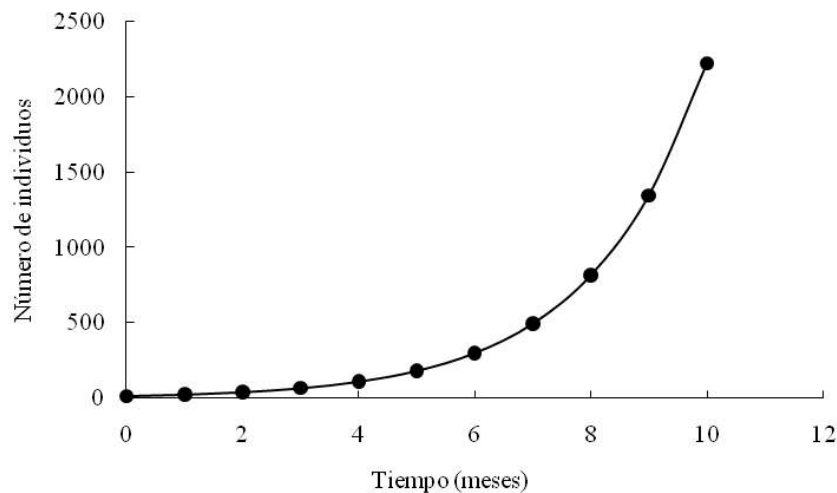
y esto se llama modelo exponencial de crecimiento de la población (Hutchinson, 1981) y fue expuesto por primera vez por Thomas R. Malthus en el siglo XVIII refiriéndose a la población humana (Malthus, 1846). El coeficiente de proporcionalidad r es la tasa de crecimiento de la población. En definitiva, lo que el modelo exponencial está diciendo es que la tasa de crecimiento de la población es constante.

El modelo se llama exponencial porque se puede deducir que:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

Donde N_t es el tamaño poblacional en el tiempo t , N_0 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 4.

Figura 4. Crecimiento exponencial de una población con $r = 0.5 \text{ mes}^{-1}$.



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 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 .

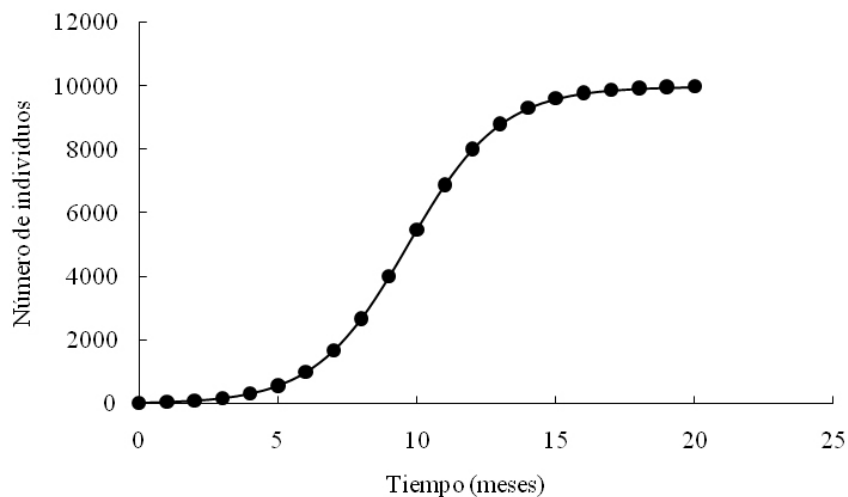
Expresando simbólicamente este tipo de crecimiento, se obtiene la siguiente fórmula:

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

que es lo que se conoce como *modelo logístico* de crecimiento poblacional o modelo de Verhulst (Hutchinson, 1981). La interpretación es que la velocidad de crecimiento de la población es proporcional a su tamaño y a “cuánto le falta” para llegar a su tamaño máximo K . La tasa de crecimiento de la población ya no es constante.

La curva de N en función de t es la que se muestra en la Figura 5. 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”.

Figura 5. Crecimiento logístico de una población³



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,

³ La fórmula del tamaño poblacional en función del tiempo para el modelo logístico es:

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

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

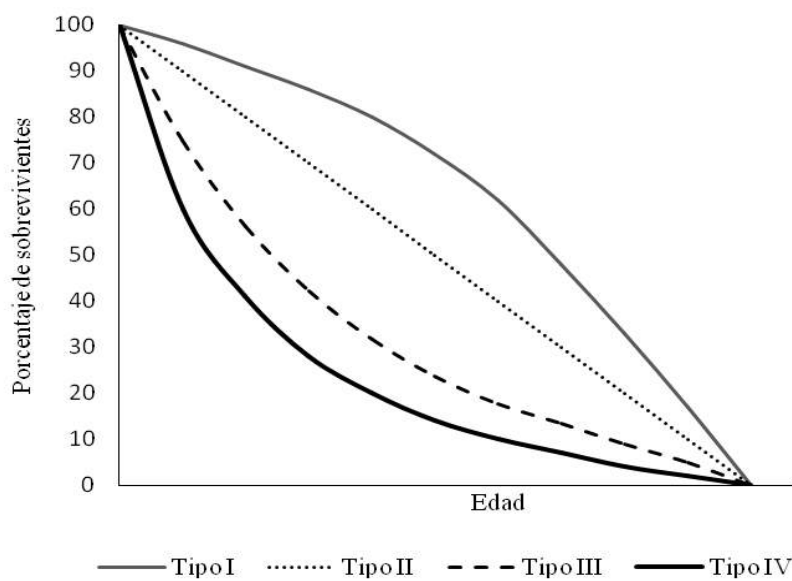
El tema de los factores de mortalidad es más interesante porque tiene efectos fundamentales en la regulación de la población, es decir, en los mecanismos por los cuales la población mantiene su número dentro de ciertos límites.

Las curvas de supervivencia teóricas principales (según Slobodkin, 1966) son de cuatro tipos básicos, como se muestra en la Figura 6.

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. 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.

Figura 6. Cuatro tipos básicos de curvas de supervivencia teóricas principales (según Slobodkin, 1966). La de tipo I se produce cuando la mortalidad se concentra en los organismos viejos; la de tipo II, cuando hay un número constante de muertes por unidad de tiempo; la de tipo III, cuando hay una tasa de mortalidad constante con la edad; y la de tipo IV cuando la mortalidad se concentra en los estadios juveniles.



El modelo se complica cuando se observan las poblaciones reales. En algunas aves, como los 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 entonces 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 en 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 el 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 expresaron esto 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 investigadores como Margalef (1974) y Pianka (1982) quienes hablaron 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.

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 organismos⁴.

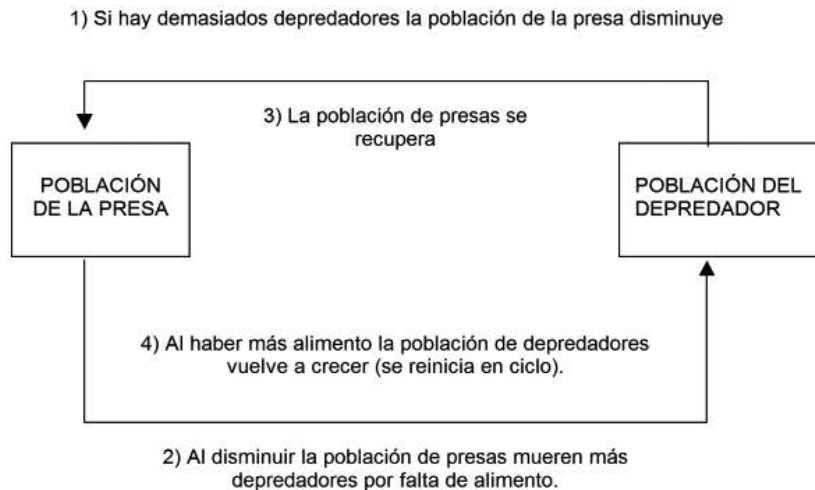
UNA RELACIÓN ENTRE ESPECIES DE DISTINTO NIVEL TRÓFICO: LA DEPREDACIÓN

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, decimos que 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 aportan 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 esquematizar dos poblaciones en equilibrio (depredador y una presa) con un circuito de retroalimentación negativa como el de la Figura 7:

⁴ 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*".

Figura 7. Esquema de poblaciones de depredador y de presa con un circuito de retroalimentación negativa.



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 alimenticia, 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 depredador 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 estas, 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. Es totalmente teórico considerar a cada especie como presa de otra ubicada en un nivel trófico superior, porque el número de estos 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 origen 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 sufren una selección: el depredador comerá solo lo suficiente para comer, podrá atrapar solo a los individuos viejos, enfermos, lentos o con comportamiento de huida menos eficiente. Por otra parte, en el depredador se seleccionarán 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 promedio 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 todo sitio, 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” desarrollado en 1934 por el investigador inglés J.F. Gause. 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 simbolizado en la Figura 8.

Figura 8. Esquema de dos poblaciones que compiten por un recurso común originando un circuito recurrente de desestabilización o competencia.



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 ocurrir 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.

PREGUNTAS

1. ¿Puede distinguir, explicar y representar en coordenadas los modelos más sencillos de crecimiento poblacional y graficar la tasa de crecimiento en función del tamaño poblacional?

2. ¿En qué casos la tasa r puede ser menor que cero?

3. ¿Puede dar algunos ejemplos de factores dependientes de la densidad y otros independientes de la densidad que sean causas de mortandad en poblaciones que usted conozca?

4. ¿Puede definir competencia y explicar el principio de exclusión competitiva?

5. ¿Qué relación existe entre el tipo de selección a que se hallan expuestas las especies con el tipo de explotación a que están sometidas?

6. ¿Puede dar por lo menos cinco ejemplos de especies r -seleccionadas (“ r -estrategas”)?

7. ¿Por qué causas, según pasa el tiempo, las fluctuaciones numéricas en las poblaciones del depredador y de la presa deberían ser cada vez menores?

8. ¿Puede describir algún método para conocer el tamaño de una población?

V. LOS CAMBIOS EN LOS ECOSISTEMAS

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 Margalef⁵

...yo quiero referirme a otra amistad más esencial y más misteriosa, a 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.

Jorge Luis Borges⁶

LA SUCESIÓN ECOLÓGICA

En los ecosistemas el equilibrio es dinámico. Los componentes, aunque perduren algún tiempo en cantidad y calidad, están en continuo movimiento, tanto los que forman los *biotopos* como las comunidades. En general, los organismos de las poblaciones que las integran son continuamente seleccionados por un ambiente físico-químico que tampoco permanece inalterable. Aun en aquellos ambientes relativamente constantes, o que solo cambian por efecto de las comunidades que los habitan, las comunidades están sometidas a incesantes procesos de reorganización, relativamente rápidos al comienzo y más lentos según pasan los años. Y es el tiempo lo que permite la aparición y selección de nuevas estructuras y funciones en las comunidades, el proceso que conduce a la aparición y desaparición de especies no se detiene. Entonces diremos que la composición de la comunidad de un cierto lugar, en un momento dado, refleja el carácter histórico y evolutivo de todo el ecosistema.

⁵ Margalef, R., *El Progreso*, 1998. Recuperado de <http://www.alfdurancorner.com/lecturas/contenido.html?ID=563> (Fecha de acceso: 1 de agosto de 2016).

⁶ Borges, J.L. *Las Fuentes*, 1984, Obras Completas: 436. Recuperado de <https://libraryofbabel.info/Borges/BorgesObrasCompletasII> (Fecha de acceso: 1 de agosto de 2016).

Los cambios en los ecosistemas pueden obedecer a situaciones que aparentemente se repiten a través de ciclos más o menos regulares; o bien que no se repiten y, en ambientes sin grandes perturbaciones, presenten una secuencia gradual y direccional de etapas que vayan condicionando las etapas siguientes. Entre los primeros están los cambios periódicos asociados a las estaciones del año, a la secuencia de los días y las noches, o bien de las temporadas secas y lluviosas. Entre los segundos, está el caso de la *sucesión ecológica*, de los cambios que observamos en muchas comunidades debido a la sustitución de unas especies por otras según transcurre el tiempo. A esos cambios podemos asociarlos con cierta tendencia gradual y direccional, ya que no son siempre al azar. Es decir que existen coincidencias en cuanto a los cambios estructurales y funcionales, cierta tendencia común por la que pueden llegar a alcanzar determinados valores. Llegar a conocer cuáles son esas coincidencias o regularidades, cuáles son esos valores, cuáles las funciones que tienden a maximizarse o minimizarse, podría permitirnos pronosticar algo del futuro de las comunidades y de los ecosistemas con alguna probabilidad de acierto. Esto puede llegar a tener un valor práctico por la aplicación de tales conocimientos en la protección, la restauración o la explotación de ecosistemas. Muchas prácticas agrícolas y de explotación de recursos naturales vegetales o animales, se basan en la aplicación de conocimientos acerca de los cambios que naturalmente se producen después de que los manipulamos. No obstante, la sucesión no es determinista; es decir, no podemos esperar que siempre se produzca el mismo efecto después de la misma causa.

La sucesión que ocurre en un sitio donde no hay evidencias o legados de vida previa, como en una duna o en los mantos de lava que fue emitida por un volcán, se denomina sucesión primaria. La roca desnuda de una colada volcánica es un área vacía de vida, colonizable por los organismos; y en ella podríamos observar esa colonización. Veríamos la invasión de los primeros organismos, de tamaño pequeño, bacterias capaces de fotosintetizar, líquenes y otros verdaderos pioneros de la ocupación de un terreno poco propicio para formas especializadas, complejas y de mayor tamaño. Estas últimas

solo podrían ingresar tras una serie de etapas en las que distintas especies fueran cambiando el ambiente, de modo tal que otras, tras la lucha por el espacio, terminan por desplazar, aunque no siempre eliminar, a las primeras.

Cuando una comunidad alcanza un desarrollo e integración tal con el ambiente físico y químico que ya no hay cambios notables, estamos ante una etapa que se conoce como etapa *clímax*, correspondiente a la etapa de mayor madurez de esa comunidad. Así y todo, la etapa *clímax* no es una etapa en que ya nada cambia, porque se trata de comunidades formadas por seres vivos, que son sistemas abiertos y alejados del equilibrio termodinámico, donde permanecen aquellas poblaciones que consiguen maximizar el uso de la materia y de la energía o, dicho de otro modo, mantener una biomasa mayor con igual o menor gasto energético, y donde el balance o estabilidad aparente es dinámico, con ingresos y egresos de materia, energía e información. En esta etapa las especies que resultan seleccionadas son *k* estrategias y las *r* estrategias van perdiendo terreno en la ocupación del espacio y la captación y retención de los nutrientes.

LAS PERTURBACIONES EN LA SUCESIÓN

Hasta aquí hemos puesto el foco en cómo el ecosistema se autoorganiza y mantiene; sin embargo, se ha visto que muchos ecosistemas, tanto silvestres como intervenidos por el hombre, están sujetos a perturbaciones ambientales de distinto origen y magnitud, las que impiden que las poblaciones alcancen un equilibrio que sea determinado por la cantidad de recursos o por los depredadores. Llamamos perturbación a cualquier cambio externo, asociado a una cierta entrada de energía, que destruya una parte de la biomasa del sistema. Eventuales perturbaciones de gran magnitud e irregulares, tales como incendios, inundaciones, o sequías prolongadas, afectan de modo diferente a distintas poblaciones, y los cambios que se observan en ellas no son regulados por las relaciones interespecíficas. En estas condiciones, las comunidades resultantes de las perturbaciones pueden tener características distintas a la de los estados maduros antes mencionados, con rasgos de etapas más tempranas. Caracterizamos

a las perturbaciones según su intensidad, extensión, periodicidad y frecuencia; cuando describimos esas cualidades estamos definiendo un régimen de perturbaciones determinado. Habitualmente, un régimen de perturbaciones está asociado a un tipo particular de patrón espacial de distribución de especies y etapas de la sucesión.

Las perturbaciones en los ecosistemas se oponen a la sucesión pero están indisolublemente ligadas a ella, de tal modo que las perturbaciones de mayor frecuencia y menor intensidad se han incorporado a la dinámica de los sistemas, como los de día-noche, invierno-verano; en tanto que las perturbaciones de menor frecuencia y/o mayor intensidad producen cambios impredecibles y pueden llevar a los sistemas a estados totalmente distintos, como en los casos de grandes y prolongadas inundaciones o incendios.

SUCESIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Tradicionalmente se diferencia a las sucesiones primarias de las secundarias. Estas últimas son en general las que ocurren en lugares donde ya existió la comunidad y en la que se produjo alguna perturbación que causa la regresión o muerte de parte de la comunidad. Son ejemplos de sucesiones secundarias las que aparecen después de arar un pastizal; después del incendio o la extracción de parte de un bosque; las que se desarrollan sobre material muerto y también 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 a partir de las que se reinicia una sucesión ecológica; se trataría en estos casos de sucesiones secundarias, como la que ha encontrado en los bosques de Tierra del Fuego; y en algunos bosques de la provincia de Misiones, el mismo autor ha observado la recuperación de propiedades físicas y químicas de los suelos y la disminución de la erosión con la sucesión secundaria.

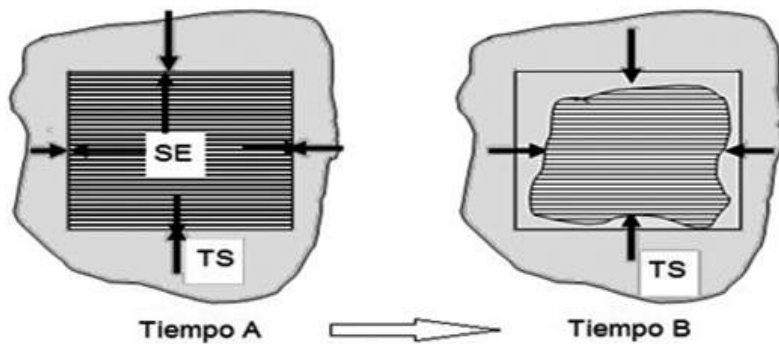
Todos habremos podido observar la rápida aparición de vegetación invasora en un jardín, en una huerta, o en un campo de cultivo que han sido abandonados. Más difícil es que hayamos podido observar los cambios que se han producido después de muchos años desde el

momento en que fueron abandonados, salvo que tengamos la posibilidad de acceder a algún tipo de registro temporal. Pero ¿quién no ha advertido desde pequeñas a grandes plantas en las partes altas y cornisas de viejas casas construidas con ladrillos? Se pueden encontrar en esos lugares desde bonitas plantas anuales que florecen en primavera, originadas en semillas que desde algún jardín cercano llevaron el viento o los pájaros, hasta plantas de gran porte que con sus raíces han introducido y agrietado profundamente las paredes. La fecha del comienzo de esta sucesión podríamos averiguarla preguntando por el año de construcción de la casa. Por ese camino, el de la sucesión ecológica, desde caseríos hasta monumentos, abandonados por la población humana (como las ciudades de los Mayas) son cubiertos por la vegetación, y con ella –siempre asociada– va la fauna.

EXPLOTACIÓN ENTRE ECOSISTEMAS

Cuando entre dos comunidades hay intercambio de materia y de energía, las comunidades en etapas avanzadas de la sucesión –con mayor madurez, menos productivas, con mayor número de especies, algunas con organismos de mayor porte y complejidad– “explotan” a las menos maduras que tienen una alta tasa de renovación y son más productivas (alto valor de P/B); ejemplos: desde las comunidades de los pastizales naturales van los insectos y los roedores a alimentarse en los campos cultivados, como en el ejemplo de la Figura 9; las comunidades de las laderas de las montañas suelen ser más estables y explotar a las de los valles, que suelen ser más productivas pero más inestables; los cursos aguas abajo de los ríos reciben materia orgánica de las nacientes que son más productivas y son el lugar donde van a desovar los peces que, ya adultos, viven en las proximidades de la desembocadura al mar o en el mar mismo, como es el caso de muchos salmones; y las poblaciones urbanas —no solo las poblaciones humanas sino todas las que las acompañan, desde mascotas hasta sus plagas— reciben alimentos de las zonas rurales.

Figura 9. Representación de un área de pastizal donde se mantiene un cultivo con subsidio de energía (SE) en un tiempo A, y el mismo cultivo sin subsidio de energía en un tiempo B en el que el pastizal invade el área por la tendencia de la sucesión ecológica (TS).



En la Figura 9 se ha representado un área de un pastizal natural donde actúa la tendencia de la sucesión ecológica en cuyo centro se ha cultivado una sola especie con subsidio de energía proveniente de combustible fósil. Cuando se suspende el aporte de energía, el cultivo es invadido por las especies del pastizal natural y el área ocupada por la especie cultivada se reduce, comúnmente hasta desaparecer.

Si las comunidades de poca o mediana madurez, que tienen producción neta —es decir que producen más de lo que consumen— no fuesen explotadas, podrían invertir el excedente de producción en la incorporación de nuevas estructuras y funciones —como tallos leñosos, tejidos de aislamiento y reserva, mimetismo— en general aumentarían las especies *k*-estrategas y pasarían a un estado de mayor madurez y estabilidad. Esto es lo que sucede en la sucesión ecológica. Los ecosistemas más explotados por el hombre, como los suelos de la pampa argentina, ya eran explotados por otros animales antes que él llegase y ahora son sus competidores, como las hormigas, las langostas o tucuras, las liebres, las cotorras, las palomas. Por eso también puede decirse que esos sistemas estaban preadaptados a la explotación humana: tenían diversidad relativamente baja, alta tasa de renovación, estaban expuestos a cambios bruscos, como incendios, sequías,

inundaciones. Y ahora el hombre cultiva vegetales seleccionados muy parecidos a los que había en el ecosistema primitivo: herbáceas anuales: soja, trigo, maíz. Lo opuesto a esta explotación es la que se realiza en regiones donde se elimina la vegetación boscosa —con alta diversidad— con el fin de usar el suelo para cultivos anuales de una o pocas especies; esos ecosistemas no están preadaptados a esa explotación y cuando se la abandona el ecosistema original ya no se recuperará, la sucesión llevará probablemente a comunidades diferentes, como las que ocurrieron en el Chaco donde se instaló el vinal, un árbol nativo de esa región que se ha convertido en una maleza leñosa.

Frecuentemente se habla del equilibrio de los ecosistemas; sin embargo hoy se sabe que los ecosistemas son, al igual que los seres vivos, sistemas alejados del equilibrio, donde sobreviven más tiempo aquellos que tienen poblaciones que consiguen minimizar la entropía del sistema, y las condiciones del ambiente circundante establecerán qué tipos de estrategias poblacionales serán seleccionadas. En un ambiente con grandes perturbaciones pueden seleccionarse especies muy resistentes u otras que tengan alta tasa de reproducción; en ambientes con perturbaciones intermedias, la gama de poblaciones seleccionadas puede ser mucho mayor. Se seleccionarán las que se reproduzcan rápido pero también las que sean eficientes en la absorción y retención de nutrientes, o las que tengan ciclos de vidas ajustados a las perturbaciones, etc., adaptaciones que aumentarán las posibilidades de que las especies puedan sobrevivir.

La teoría de la sucesión sirve como un cuerpo teórico de referencia contra el cual comparar lo hallado en cada ecosistema, y tiene particular importancia cuando queremos intervenirlos, ya para explotarlos o para intentar restaurarlos. Importa saber si los cambios que observamos tienden a hacerlos más simples o más complejos, con cadenas tróficas cortas o largas y en red; si aumenta el número de especies; si hay capitalización del excedente de producción, por ejemplo con sistemas de sostén; o de circulación; o de defensa como cueros y cortezas, o de acumulación de reservas como los tejidos grasos.

Es indudable que cuando los seres humanos intervenimos sobre los ecosistemas los simplificamos, buscamos una mayor producción neta y el crecimiento de solo una o unas pocas poblaciones que nos interesan. Por ello eliminamos a sus posibles competidores mediante el uso de biocidas y otras labores agrícolas. La simplificación es la que se observa también en casos de contaminación. Por esta razón es que en ambos casos se habla de rejuvenecimiento, retroceso o regresión de la sucesión ecológica.

Margalef (1991) 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 el ecólogo catalán, 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.
- Incremento en la longitud de las cadenas tróficas.
- Aumento en el número de especies y, a menudo, también de la diversidad, y mayor segregación entre las especies próximas.
- Más efectividad en los mecanismos de homeostasis, en parte gracias a una mayor longevidad de los organismos.
- Incremento de la biomasa de heterótrofos con relación a la biomasa total.

Odum (1972) ha sintetizado las características de los ecosistemas maduros e inmaduros de la siguiente forma (Tabla 3):

Tabla 3. Características del ecosistema según la etapa del desarrollo de la sucesión.

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

PREGUNTAS

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. ¿Por qué será que las etapas muy avanzadas de las sucesiones de la llanura pampeana y de la Patagonia no podrían llegar a ser idénticas a las de la selva misionera si la tendencia de la sucesión ecológica en esas comunidades fuese la misma?

3. ¿Qué sentido práctico, que aplicación, tiene conocer la tendencia de los cambios en las distintas comunidades?

4. Si usted quiere explotar una comunidad, ¿en qué etapas de la sucesión ecológica tendría que estar la comunidad para que la explotación resulte más productiva?

5. ¿Cuál ecosistema es más estable sin aporte de energía exosomática: un ecosistema agrícola o una selva tropical? Fundamente su respuesta.

6. ¿Cuál de las siguientes series de características corresponde a un ecosistema maduro, en su etapa clímax? (sólo una es correcta):

a.- Baja diversidad específica; gran velocidad en el flujo de energía; pocas interrelaciones; poca productividad (P/B).

b.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; poca productividad; pocas interrelaciones.

c.- Poca diversidad específica; alta velocidad en el flujo de energía; gran productividad; muchas interrelaciones.

d.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; baja tasa de renovación; muchas interrelaciones.

e.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; gran productividad; pocas interrelaciones.

SEGUNDA PARTE

EL HOMBRE EN LA BIOSFERA

VI. LAS POBLACIONES HUMANAS

DIFERENTES POBLACIONES Y CRECIMIENTOS

A finales del año 2014, la población mundial alcanzó los 7.300 millones de seres humanos. Pero llegar a los primeros 1.000 millones en el siglo XIX, tomó toda la historia de la humanidad. En el siglo XX esa población se duplicó. Y en solo doce años, de 1999 a 2011, se agregaron 1.000 millones. Se calcula que en el año 2050, la población mundial podría alcanzar los 12.000 millones⁷.

El tamaño de la población es resultado del balance entre los nacimientos y las muertes; con muchos más nacimientos que muertes, la población tendrá un crecimiento alto, mientras que si el número de nacimientos es igual al de las muertes, no habrá crecimiento y si hay más muertes que nacimientos, la población va a decrecer. Así es que diferentes poblaciones tienen diferentes crecimientos y tamaños según factores económicos, culturales y religiosos que influyen por un lado en su fecundidad y por otro en su salud⁸.

La mayoría de los habitantes de todo el mundo vive hoy en ciudades gozando, por lo menos algunos, de las comodidades de la moderna tecnología en medios de comunicación, transporte, servicios de salud y otros. Sin embargo, también es realidad que una de cada nueve personas, alrededor de 800 millones, son muy pobres, pasan hambre y están desnutridas⁹.

⁷ Recuperado de <http://www.livescience.com/16493-people-planet-earth-support.html> . (Fecha de acceso: 8 de septiembre de 2016).

⁸ Recuperado de <http://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-1004-2004-11-20.html>. (Fecha de acceso: 8 de septiembre de 2016).

⁹ Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4646s/i4646s04.pdf> . (Fecha de acceso: 20 de diciembre de 2014).

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 poblacional promedio mundial de 1.15 % se agregan 58 millones de seres humanos cada año, unos 125.000 por día, o sea aproximadamente 1.45 bocas nuevas por segundo¹⁰. Por otro lado, los países industrializados –con menos del 25 % de la población mundial– consumen el 75 % de la energía que es usada, el 79 % de todos los combustibles, el 85 % de los productos forestales y el 72 % del acero producido. Según cifras de las Naciones Unidas, 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. Es muy evidente también la desproporcionada distribución de la población humana en los hemisferios, con el norte 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 hemisferio sur con el 25 % de superficie emergida, solo 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 de 25° al N y S del ecuador.

¿ESTÁ SUPERPOBLADO EL PLANETA?

Para poder decidir que con 7.300 millones de seres humanos la tierra está superpoblada¹¹, 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, respecto de la población humana el cálculo puede resultar difícil. Esto es así porque importan tanto el número de habitantes de una determinada población como el impacto ambiental que puede producir, impacto que varía mucho en sociedades y tiempos distintos¹².

¹⁰ Recuperado de http://www.prb.org/pdf15/2015-world-population-data-sheet_eng.pdf (Fecha de acceso: 20 de diciembre de 2014).

¹¹ Recuperado de <https://www.amazon.com/How-Many-People-Earth-Support/dp/0393314952> (Fecha de acceso: 20 de septiembre de 2016).

¹² Si hacemos una proyección al año 2050, los habitantes serían alrededor de 9000 millones, pero ya en el año 1697 Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), el inventor del microscopio, estimó que el planeta podría llegar a tener 13.400 millones de habitantes. Ver en https://es.wikipedia.org/wiki/Anton_van_Leeuwenhoek#Otras_observaciones (Fecha de acceso: 10 de septiembre de 2016).

El impacto ambiental que los seres humanos ejercemos sobre la naturaleza por el consumo de bienes y servicios es lo que se conoce como huella ecológica, huella que es muy distinta según los países. El concepto de huella ecológica fue creado en los años 90 por los científicos canadienses Wackernagel y Rees (1996), que calcularon que para el ser humano promedio del planeta esos bienes y servicios podían ser producidos por 1.8 ha. Pero para los habitantes de distintos países esa superficie es muy distinta. Así por ejemplo, en esos años, para cada habitante de Estados Unidos se necesitaban 5.10 hectáreas, para uno de Canadá 4,3 hectáreas, para uno de Holanda 3,3 hectáreas y para uno de India la superficie era 0.38 hectárea. Entonces ¿está superpoblada la Tierra?, la respuesta es que el planeta podría abastecer las necesidades de 28.000 millones de habitantes con consumo de “estilo hindú”, pero solo 2.100 millones “estilo norteamericano” o 2.500 millones “estilo canadiense”. Si la población mundial tuviese un estándar de vida semejante al hindú, habría aún lugar para 20.000 millones de personas más. Si, en cambio, el estándar deseado por todos es semejante al norteamericano promedio, entonces ya estamos consumiendo los recursos de casi tres planetas Tierra. Según esos mismos autores (Wackernagel et al., 2002), en el año 2002 la población humana ya estaba consumiendo (a niveles de consumo promedio) el equivalente a 1,2 planetas, rebasando así la capacidad de carga; y en el año 2015, la huella ecológica de la humanidad ya correspondía al consumo de recursos equivalentes a 1.6 planetas Tierra¹³.

PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y ALIMENTACIÓN

La producción mundial de alimentos alcanza para alimentar a toda la población actual, no obstante aún hay alrededor de 800 millones de seres humanos subalimentados¹⁴. El promedio mundial de alimentos que suministran calorías disponibles es aproximadamente el 121%

¹³ Recuperado de <http://www.natura-medioambiental.com/el-estado-del-medio-ambiente-cual-es-la-huella-ecologica-de-la-humanidad/> (Fecha de acceso: 10 de agosto de 2016).

¹⁴ Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4646s.pdf> (Fecha de acceso: 20 de diciembre de 2014).

sobre el promedio diario recomendado en Kcal; en tanto que 78 gramos disponibles por persona de proteínas diarias están por encima del consumo mínimo recomendado, como podemos observar en la Tabla 4. En el año 2011, la Argentina produjo 98 millones de toneladas de cereales y oleaginosas (Calzada, 2012) y 3,15 millones de toneladas solamente de carne vacuna (Alvarado, 2011). Esto significa una producción anual de 6,7 Kg de cereales y oleaginosas y 215 gramos diarios de carne por día por persona. Así, aun sin tener en cuenta la producción de otras de carnes (aves, cerdos, ovejas, cabras, etc.), la Argentina produce suficiente alimento como para alimentar bien a toda su población.

Tabla 4. Producción de alimentos por habitante.
Cifras de ONU – FAO para los años 2010-2012.
<http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/fs-data/ess-fadata/en/>.
(Fecha de acceso: 20 de diciembre de 2014).

	Kcal	Proteínas
	(% del recomendado)	(g/día)
EEUU	143	115
Holanda	27	106
India	105	57
Argentina	119	95
Promedio mundial	121	78

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 marinas¹⁵. Los mares y océanos contienen el 97% de las aguas del planeta y cubren el 70.6% de su superficie. Algunas zonas, menos del 10% de la superficie oceánica, tienen una gran producción primaria, pero la mayor parte son muy

¹⁵ Recuperado de www.fao.org/3/a-i5692s.pdf

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. Sin embargo las posibilidades de obtener alimentos, tanto animales como vegetales, mediante la acuicultura son muy grandes. Como industria, la acuicultura marina tiene alrededor de cuarenta años y ya produce el 50% de los alimentos de origen marino¹⁶.

De las tierras cultivables se obtiene el arroz, el trigo, el maíz, la papa, la mandioca, la caña de azúcar, y en los últimos años la soja -que son los cultivos que más volumen aportan a la alimentación humana- pero existen otras especies de vegetales que han permitido en el pasado alimentar a grandes poblaciones en lo que ahora es América Latina. Tanto, que permitieron el desarrollo de importantes poblaciones y culturas sedentarias: los aztecas, los mayas, los incas y otras. Tales especies vegetales siguen creciendo hoy y algunas son consideradas yuyos y malezas. Nos referimos a especies como la quínoa, el amaranto, la chía, el diente de león, la verdolaga y otras. Tienen composición nutricional muy completa y de alta calidad por sus contenidos de vitaminas, fitoquímicos, antioxidantes y minerales. Están ecológicamente adaptados a las zonas donde crecen espontáneamente, y para que crezcan, recoger sus hojas, sus frutos o sus semillas, prácticamente no es necesario remover los suelos, ni fertilizarlos, ni regarlos (Rapoport, 2003) . Además, muchas de estas plantas crecen y se cultivan en zonas áridas y semiáridas donde no compiten con los cultivos industriales.

EL ORIGEN DEL HOMBRE

Cuanto más descubren los paleontólogos y paleoantropólogos acerca de nuestro lejano pasado, se hace más 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

¹⁶ Sobre la pesca marina en Argentina podemos leer el ensayo que está en la página 200 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

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, el *Homo sapiens*, 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.

Podemos decir que en su origen el hombre entró sin ruido. Significa esto que –a pesar de su profunda originalidad– no hubo ninguna ruptura en lo que algunos antropólogos han denominado el paso a la hominización. Fue solo una rama más entre muchas otras emparentadas en las que se dividió el grupo de los simios hominoides. Y desde allí, una serie continuada de especies que llega hasta nosotros.

El tamaño de la población de nuestros antepasados, hace unos 200.000 años, fue estimado en 125.000 individuos por algunos autores, y en el año 2015 ya éramos alrededor de 7.300 millones. Esto significa 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 gran impacto ambiental. Si antes hicimos poco ruido, sin duda hoy estamos haciendo mucho.

LOS GRANDES SALTOS EN EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

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, hace alrededor de 2 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 1 millón de años, la difusión de nuevas técnicas era lenta, nuestros antecesores eran recolectores de los frutos de la tierra y necesitaban una amplia zona para obtener su sustento. Fue al final de este largo período que se

produjeron tres grandes cambios culturales, aparte de la técnica de tallado de piedras: el arco, la domesticación de animales y la pintura y el modelado de imágenes. Últimamente en el sur de Francia se han encontrado cuevas que fueron habitadas por hombres hace 32 a 40.000 años en las que hay pinturas que corresponden a un avanzado grado cultural¹⁷. En esos tiempos aún estaban con nosotros los hombres de Neanderthal.

Entre esos cambios, el avance más importante, 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 solo actuaba la selección natural.

Esa etapa de la prehistoria, que denominamos “revolución agrícola”, fue probablemente uno de los más importantes factores 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, antes de la llegada del hombre, ya sufrían algún tipo de explotación más o menos intensa sobre la producción primaria. 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

¹⁷ Cuevas de Chauvet y de Abri Castanet, recuperado de <http://www.insu.cnrs.fr/terre-solide/terre-et-vie/la-grotte-chauvet-fermee-par-des-eboulements-depuis-21-500-ans>. (Fecha de acceso: 12 de diciembre de 2012).

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 produjeron muy importantes cambios en la producción de bienes, lo que en la historia conocemos como la “revolución industrial”. Esto permitió al hombre controlar otras fuentes de energía, comenzaron 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 crecimiento actual de la población humana está producido directa o indirectamente por esa revolución. La disminución de la tasa de mortalidad es producto de los avances de la medicina, y 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 cincuenta años.

Es indudable que la actual velocidad de crecimiento no puede mantenerse por tiempo indefinido. La tasa de crecimiento de la población humana alcanzó un máximo de 2.04 alrededor del año 1970 y desde entonces ha ido bajando hasta 1.1 en el año 2015. De seguir esa tendencia, el crecimiento de la población se detendría dentro de unos cien años¹⁸.

¹⁸ Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Poblaci3n_mundial

Según el censo del año 2010, la población argentina tenía una tasa de crecimiento r de 1.12. Esta tasa es casi exactamente la tasa de reemplazo, con lo que desde el punto de vista demográfico la población argentina crece muy lentamente y a una tasa similar a la de los países desarrollados.

TEORÍAS SOBRE LA POBLACIÓN

Las teorías sobre población siempre han estado 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 (en la que para igual intervalo de tiempo la tasa en un intervalo es el doble de la anterior, ej. 2 – 4 – 8 – 16...) siguiendo una ley biológica; y en la segunda que los medios de producción crecen en progresión aritmética, (en la que las tasas de cada intervalo sucesivo van sumando una cantidad igual a la inicial, ej. 2 – 4 – 6 – 8...), 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. En su obra *“Ensayo sobre el principio de población”* (1798) considera 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 “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 (Malthus, 1846).

El pensamiento actual en materia demográfica puede, básicamente, separarse en dos corrientes. Los neomalthusianos, antinatalistas que reivindican 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 que él calculó en aproximadamente 1.200 millones, y que en consecuencia, estamos asistiendo al agotamiento de los recursos naturales. El hambre y la desnutrición que azotan a una importante porción del mundo serían entonces consecuencia de la superpoblación; la alternativa para evitarlos consiste en frenar el crecimiento. Los que se oponen a esa idea 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.

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 el año 1800 solo 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 en urbes o ciudades, tiene una mejor provisión de servicios, posee menos vínculos directos con la naturaleza y una mayor esperanza de vida. Según datos de Naciones Unidas, en el año 1950, de una población mundial de 2.520 millones, solo 750 millones (el 30%) era urbana y 1.770 millones era rural. En el año 2000, de 6.000 millones, 2.850 millones –o sea casi la mitad (47%)– vivían en áreas urbanas y 3.210 millones en áreas rurales. Para el año 2010, el 50% de la población es urbana y se estima que para el año 2050, esta proporción llegará al 70%. El término “rural” –referido a los espacios cubiertos por ecosistemas naturales y áreas de uso agropecuario y forestal, con baja densidad de población humana–

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. Con la finalidad de hacer comparaciones y buscar correlaciones 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, al afectar diferencialmente el uso de los recursos, la producción de residuos, los efectos de la contaminación y la dependencia de subsidios energéticos.

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 desarrollados ni en los subdesarrollados; es la población urbana la que crece a expensas de la rural.

Como se dijo más arriba, la creciente concentración de la población humana traerá aparejado un mayor impacto ambiental que puede resultar negativo, localizado en las zonas urbanas de mayor densidad poblacional. Según el censo realizado en el año 2010, en la ciudad de Buenos Aires y el resto del área metropolitana, viven algo más de 14 millones de personas. Esta concentración de gente, por ejemplo, produce 1,1 kg de residuos sólidos urbanos (RSU) diarios por persona, o sea aproximadamente 15.400 toneladas de RSU diariamente. El uso de agua y los efluentes cloacales e industriales de este conglomerado urbano se suman al impacto ambiental negativo de la población del Gran Buenos Aires¹⁹.

¹⁹ Sobre la vulnerabilidad de la vida y la segregación urbana en esa población de Argentina se puede leer un ensayo en la página 69 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>

PREGUNTAS

1. Usted es un mamífero omnívoro social (no se sienta mal pero es así) y todos los integrantes de su familia y sus vecinos también lo son. Cada uno, para mantenerse y mantener funcionando la organización social a la que pertenece, consume energía que le llega en los alimentos (denominada energía endosomática), y en los servicios de electricidad, de agua, de salud, de transporte, de educación, de esparcimiento y otros (energía exosomática). ¿Cuál de estas dos energías cree que usted consume más a lo largo de su vida? ¿Por qué? ¿Existen algunas edades a lo largo de la vida en que haya mayor consumo de una que de la otra? ¿Es igual en todas las sociedades? ¿Es igual en todos los individuos? Fundamente sus repuestas.

2. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de huella del ser humano? Dé ejemplos de las distintas “huellas” de los hombres según el grado de desarrollo económico del país y la cultura a que pertenecen.

3. ¿Cuáles son las causas culturales que, hasta donde sabemos, han sido impulsoras de grandes cambios en la tasa del crecimiento de la población a lo largo de la historia del ser humano? ¿Particularmente cuáles han sido las del crecimiento que acompañó a la Revolución Industrial?

4. ¿Cuál es actualmente el promedio mundial de la tasa de crecimiento de la población humana? ¿En qué regiones es más baja? ¿Cuáles cree usted que son las causas más probables de esas diferencias? ¿Cree usted que es posible que en algún tiempo (en este siglo o en otro) se igualen esos distintos valores?

5. ¿Cuáles son los impactos ambientales más evidentes que producen las poblaciones desarrolladas, ricas, y las poblaciones subdesarrolladas, pobres?

6. ¿Quién era y qué sostenía Malthus respecto de la población? ¿Qué sostienen los que se oponen a él?

VII. EL AMBIENTE, LA ECOLOGÍA Y LA SALUD

LA SALUD Y LOS CAMBIOS AMBIENTALES

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 solo de las relaciones armónicas de sus órganos, sino también de su respuesta a los cambios en el ambiente; y en la medida en que los mecanismos de respuesta sean armónicos y adecuados a la naturaleza de los estímulos (físicos, químicos, biológicos, psicológicos, sociales), podemos considerar sano al individuo. 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 solo 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 doscientos años está produciendo cambios tan grandes en el 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 evolucionando muy lentamente en un ambiente más o menos estable, pero actualmente ese ambiente está cambiando rápidamente por acción de la cultura y el *H. sapiens* no puede evolucionar biológicamente a ese ritmo. Surgen agresiones ambientales cada vez más extendidas, como la contaminación, que puede estar localizada, ser puntual, como 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. Entonces debe recurrir a los medicamentos producidos por la industria farmacéutica, con la que una parte muy grande de la población humana desarrolló una nueva dependencia.

Relacionada con la ocupación de nuevos ambientes está la agricultura, que aunque comenzó diez mil años atrás, particularmente en los últimos cincuenta tiene un avance muy pronunciado. Se

eliminan bosques y pastizales naturales para hacer agricultura y ganadería, y allí el hombre se encuentra con organismos que los habitan y se resisten a ser desplazados. Entre esos organismos, algunos animales pueden ser reservorios de enfermedades que en muchos casos afectan a los seres humanos quienes también se enfrentan con los efectos perjudiciales de los agrotóxicos que usan para combatirlos.

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 ser humano 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, 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; una *endemia* es una enfermedad que se la encuentra siempre en una región determinada en un número de casos más o menos constante y que puede, bajo determinadas circunstancias, aumentar rápidamente su incidencia (número de casos) constituyendo entonces una *epidemia*. 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 XIV²⁰ y en estos tiempos el SIDA o la hepatitis B.

AGENTES PATÓGENOS

Consideraremos tres grandes grupos de agentes patógenos: físicos, químicos y biológicos. Entre los agentes físicos, se encuentran las radiaciones producidas por los elementos radiactivos. Los elementos radiactivos que existen en la corteza terrestre son peligrosos

²⁰ Enfermedades que son transmitidas por roedores están descritas en el ensayo de la página 92 de este libro en su edición electrónica <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

particularmente para los mineros que los extraen, como es el caso del uranio. Pero en los últimos 70 años, como consecuencia de su uso con fines bélicos y para la obtención de energía eléctrica y usos medicinales, la radiación generada tecnológicamente que se puede encontrar en 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 estas no solo pueden inducir cambios imprevisibles en los ecosistemas, sino que algunas son también responsables de la aparición de enfermedades como el cáncer.

La radiación ultravioleta (RUV) proveniente del sol que no es absorbida por la capa de ozono llega a la tierra y puede destruir o alterar las funciones de las células de los seres vivos expuestos; particularmente en los humanos, puede ser causa de cáncer de piel. Pero estas radiaciones afectan a todas las especies causando patologías, cambios en la fertilidad de los huevos y semillas, y variaciones en las tasas fotosintéticas y respiratorias. También puede afectar procesos a nivel de ecosistema, como es el caso de la alteración en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y su consecuente efecto sobre los ciclos de los nutrientes.

El calor es causa directa de la patología conocida como golpe de calor. En el año 2003, según informó la OMS²¹, en Europa el calor fue causa de 70.000 muertes, de las cuales 15.000 ocurrieron en Francia; casi todos personas mayores de 65 años. Pero es mucho más importante como causa de cambios en el clima de grandes regiones pobladas, a las que llegan patologías que antes solo estaban en zonas tropicales, como la malaria o el dengue. El cambio climático puede agravar estas enfermedades donde ya son endémicas y también provocar su aparición en zonas donde aún no están presentes.

Los agentes químicos, ya como elementos químicos o como moléculas complejas, constituyen parte imprescindible de nuestro entorno, pero algunos son de importancia como generadores de patologías, tanto por su presencia como por su ausencia.

Son importantes como sustancias químicas ambientales patogénicas aquellos metales que provienen de industrias alrededor

²¹ Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/> (Fecha de acceso 20 de abril de 2016).

de las cuales se asientan las poblaciones de quienes trabajan en ellas. El riesgo no solo existe dentro de las fábricas, sino también en sus vecindades, por los efluentes que muchas veces no se tratan adecuadamente. Elementos como el cromo, plomo, arsénico, cadmio y mercurio, pueden encontrarse como componentes del agua que bebe la población circundante. Si bien muchos de ellos en bajas concentraciones no producen daño, sí pueden hacerlo en altas concentraciones o por incorporación crónica a los organismos. Otros productos químicos que pueden generar patologías son los herbicidas, insecticidas y fungicidas usados en la agricultura para combatir plantas, insectos, hongos u otros organismos que perjudiquen los cultivos. Los organismos no destinatarios, como el hombre, pueden sufrir patologías por incorporarlos accidentalmente o por ingerirlos alimentándose con productos agropecuarios que los contienen (ver Capítulo 8 de este libro).

Una patología endémica del noroeste de Argentina es el bocio, enfermedad producida por la ausencia de yodo en el agua y en los alimentos de esa zona. La ausencia de este elemento produce hipotiroidismo en los adultos, que se manifiesta con muchas alteraciones clínicas; en los niños produce retraso mental. El déficit de yodo se puede solucionar incorporándolo en algún alimento. En Argentina, toda la sal para consumo humano está enriquecida con yodo.

ZOONOSIS Y ANTROPOZOONOSIS

Las enfermedades que ocurren en los animales se agrupan bajo la denominación general de *zoonosis*. Algunas, en determinadas circunstancias, son transmitidas al hombre, ya sea en forma directa o por intermedio de agentes biológicos a los que denominamos vectores. Se denomina vector al organismo que transmite un agente patógeno desde un organismo enfermo a uno sano. Los vectores son generalmente artrópodos, en su mayoría insectos hematófagos, que pican tanto a los humanos 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 los 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 de antropozoonosis y la epidemiología de esas enfermedades puede comprenderse solo 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, aunque los animales o vegetales reservorios de enfermedades no siempre las sufren.

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, en un enfoque más general, es importante tener en cuenta que las enfermedades producidas por un agente patógeno biológico no se pueden restringir solo a este aspecto; las enfermedades también pueden considerarse como factores de la evolución biológica²². Si bien la regulación de las poblaciones en la naturaleza es un tema en continua investigación, en general se sabe que las enfermedades ejercen efectos reguladores sobre las poblaciones de animales silvestres, efectos que pueden considerarse similares a los producidos por los depredadores. La eliminación de los depredadores y parásitos produce de algunas poblaciones un incremento rápido en su densidad poblacional y podría ocasionar cambios imprevisibles a largo plazo. En algunos casos, la enfermedad producida por un agente parásito podría salvar la situación. Pero 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 solamente 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 y de lograr- sino más bien enfocar el problema hacia la creación de condiciones ambientales y el

²² Recuperado de <http://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-265398-2015-02-04.html>. (Fecha de acceso: 10 de agosto de 2016).

establecimiento de medidas profilácticas que minimicen el contacto del hombre con los agentes patógenos.

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

ESQUISTOSOMIASIS

Se trata de una enfermedad causada por un gusano plano del género *Schistosoma*, *S. mansoni* en Argentina y Brasil y otras cuatro especies en países de otros continentes. Durante las últimas décadas y paralelamente 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) estimó que en el año 2016 había alrededor de 258 millones de seres humanos que la padecían²³.

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.

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. Según la Organización Panamericana

²³ Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/es/> (Fecha de acceso: 8 de agosto de 2016).

de la Salud, en el sur de Brasil hay alrededor de tres millones de enfermos²⁴. 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 puede haber alto riesgo de que la epidemia se extienda desde Brasil. Por ahora, la mejor medida de prevención es controlar la proliferación del caracol que la trasmite (Mirkin et al., 2000).

ENFERMEDAD DE CHAGAS

Esta enfermedad es 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 en la naturaleza es albergado y transmitido por más de cien especies y subespecies de triatomíneos (insectos hematófagos). Esta zoonosis de la fauna de mamíferos silvestres (roedores, gatos, murciélagos, peludos, armadillos, marsupiales, etc.), se ha transformado en una enfermedad humana de gran importancia. En la naturaleza existen tres ciclos: uno silvestre, uno intermedio y uno doméstico. El silvestre se desarrolla entre los insectos triatomíneos (vulgarmente conocidos como vinchucas y chipos) y mamíferos silvestres. El ciclo intermedio o antroponóico se produce entre triatomíneos 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, triatomíneos domiciliarios y mamíferos domésticos, es una antroponosis, 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 Estados Unidos de América, en las proximidades de México, hasta el tercio austral de la Argentina y Chile. En esta extensa región hay unos 10 millones de infectados con Chagas, de los que mueren alrededor de cincuenta mil cada año. Pero

²⁴ Recuperado de http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_esquistossoma_mansonii_diretrizes_tecnicas.pdf (Fecha de acceso: 8 de agosto de 2016).

la endemia tripanosómica está limitada a áreas rurales o urbanas poco desarrolladas, y en estas últimas 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 solo *Triatoma infestans* (vinchuca) tiene real importancia desde el punto de vista sanitario epidemiológico, especialmente por ocupar hábitat domésticos o peridomésticos. Cuando la vinchuca pica, deja en sus deposiciones al agente infectante (*Trypanosoma cruzi*) que penetra al organismo cuando el hombre se frota las picaduras.

En Argentina, el Programa Nacional de Chagas del Ministerio de Salud²⁵ estima que en el año 2006 existían alrededor de 1.600.000 infectados en este país. También informa que en algunas localidades de zonas endémicas el 100 % de las viviendas rurales estaban infectadas, y que se encontró *T. cruzi* en más del 50 % de los ejemplares de vinchuca estudiados. Las áreas chagásicas abarcan diecinueve provincias, ocupando una superficie que representa el 70% del país²⁶.

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, del Espinal y del Monte Xerófilo. Son regiones de clima cálido, en general seco y con estación lluviosa de corta duración, con amplias oscilaciones térmicas estacionales y 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. La práctica sanitaria preventiva común es el uso de insecticidas en las viviendas para matar las vinchucas, pero el uso permanente de insecticidas trae aparejada la resistencia en numerosas especies de

²⁵ Recuperado de http://www.msal.gob.ar/images/stories/cofesa/2007/acta-07-07/anexo_5_dossier_informativo_programa_federal_chagas.pdf. (Fecha de acceso: 30 de julio de 2015).

²⁶ Recuperado de <http://www.mdm.org.ar/prensa/articulo/141/Mdicos-del-Mundo-genera-una-estrategia-intercultural-para-combatir-la-endemia-del-Chagas-en-el-impenetrable-Chaqueo>. (Fecha de acceso: 10 de agosto de 2016).

insectos, como moscas o mosquitos; en el Chaco ya se han encontrado vinchucas resistentes²⁷.

Las causas de la epidemia 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 en viviendas precarias, con paredes agrietadas, techos de paja, etc.

Charles Darwin habría muerto por las insuficiencias cardíacas que son secuelas de haber contraído la enfermedad en su viaje por Sudamérica. Fue él quien describió los efectos de la picadura de vinchuca en su propio cuerpo.

PALUDISMO

El paludismo, o malaria, es una enfermedad causada por especies del género *Plasmodium*, un protozoo 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. De los cuatro especies de *Plasmodium*, *P. falciparum* es la que produce la forma más grave de la enfermedad y puede causar la muerte en una semana.

El 40% de la población mundial vive en zonas donde puede contraer la enfermedad. Según la Organización Mundial de la Salud (año 2014) causa unos 200 millones de casos cada año y unas 600 mil muertes, principalmente niños y más de la mitad de los casos pertenecen a África sub-sahariana, donde el porcentaje de enfermos llega a casi el 40 % en varios países²⁸.

En América Latina, según la Organización Panamericana de la Salud se registraron en el año 2009, en zonas selváticas, medio millón de casos la mayoría en Brasil, Colombia, Venezuela y Perú. En Argentina, la zona endémica se encuentra en el noroeste, habiéndose chequeado alrededor de dos mil casos en los años 1.986 y 1996 en

²⁷ Recuperado de <http://www.conicet.gov.ar/vinchucas-describen-dos-mutaciones-que-generan-resistencia-a-insecticidas/> (Fecha de acceso: 12 de agosto de 2016).

²⁸ Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/161914/1/WHO_HTM_GMP_2015.2_spa.pdf. (Fecha de acceso: 12 de agosto de 2016).

las provincias de Salta y Jujuy, pero desde el año 2010 no se han registrado casos autóctonos.

Investigaciones recientes han informado que el agente causal del paludismo que se encuentra en América, la especie *Plasmodium falciparum*, llegó con los barcos que trajeron esclavos africanos desde el siglo XVI al XIX.

Los síntomas de esta enfermedad se presentan como episodios febriles recurrentes y debilidad progresiva, y si no es tratada en las primeras semanas, 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.

La religiosa Teresa de Calcuta padeció esta enfermedad hasta su muerte.

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. El agente causal es un virus con cepas de diferente virulencia; 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 solo 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 humanos y animales infectados, y así se facilitó el contagio viral. Se puede prevenir combatiendo al vector, que es el *Aedes aegyptii*, ya que aún no hay vacunas ni drogas para curarla. Para combatirlo hay que eliminar tachos, baldes, neumáticos, floreros y todos los recipientes domiciliarios y peridomiciliarios que contengan agua estancada, puesto que esos sitios son sus criaderos.

La información actual nos indica que, en el mundo, afecta a unas 290 millones de personas por año que se infectan en áreas tropicales²⁹. Según la Organización Panamericana de la Salud, en el año 2014, en América Latina provocó la muerte de 1.194 personas sobre un total de 1.600.000 casos detectados en esa región³⁰. En Argentina, el mosquito ingreso en 1986 y en el 2009, por primera vez, se produjeron múltiples brotes de dengue sobre casi la mitad del territorio nacional. La actividad de este vector es mayor durante los meses de abril y mayo³¹. Este mismo vector transmite también el zika y la chikungunya, otras enfermedades producidas por virus.

LAS ENFERMEDADES AMBIENTALES Y LA POBREZA

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, ca. 1950.

Las patologías de origen ambiental en las poblaciones pobres tienen como una de las causas más importantes la ingesta de aguas contaminadas. Según la Organización Mundial de la Salud³², el

²⁹ Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/161914/1/WHO_HTM_GMP_2015.2_spa.pdf. (Fecha de acceso: 12 de agosto de 2016).

³⁰ http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/2011/dengue_cases_2010_May_20.pdf. (Fecha de acceso 12 de agosto de 2016).

³¹ Recuperado de <http://exactas.uba.ar/download.php?id=899>. (Fecha de acceso: 10 de abril de 2015).

³² Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/. (Fecha de acceso: 12 de agosto de 2016).

10% de la población del planeta no tiene agua potable segura, el 30% no tiene servicios cloacales y la diarrea causa la muerte de unos 1,6 millones de niños por año. En los países subdesarrollados, las muertes por enfermedades parasitarias e infecciosas representan el 41% del total, mientras que solo llegan al 5% en los desarrollados. Tanta mortalidad y morbilidad infantiles son consecuencias de las modalidades insostenibles del desarrollo económico y social y de la consecuente degradación del ambiente urbano o rural.

PREGUNTAS

1. ¿Qué es salud según la Organización Mundial de la Salud?
2. ¿Por qué es perjudicial para la salud el adelgazamiento de la capa de ozono?
3. ¿Cuál es el agente causal y cuál es el vector de la enfermedad de Chagas? ¿Cuáles son algunas de las formas de prevención de esta enfermedad?
4. ¿Cuáles son los organismos animales o vegetales a los que denominamos reservorios? ¿Qué importancia tiene en epidemiología saber cuáles son para cada enfermedad? ¿Qué es más importante: lograr su exterminio o evitar su contacto con el hombre? Fundamente su respuesta.
5. ¿Qué enfermedades están relacionadas con la falta de agua potable y de cloacas en los asentamientos de las poblaciones humanas?
6. ¿Qué relación existe entre el cambio climático y la expansión de las enfermedades transmitidas por mosquitos?
7. ¿Cuál es el vector y cuál el agente causal del Dengue? ¿Cómo puede prevenir el contagio y propagación de esta enfermedad?
8. ¿Conoce alguna enfermedad o perjuicio para la salud producido por el uso de agrotóxicos en la agricultura?

VIII. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN?

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 relativo porque en muchos casos aquello que resulta contaminante para algunas culturas puede no serlo para otras. Pero en general en estos tiempos, en todas las sociedades existen problemas ambientales causados por contaminantes, y la ecología como ciencia 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.

Por lo común, los contaminantes actúan simplificando los ecosistemas, retornando a las comunidades a etapas más inestables, con organismos característicos de alta tasa de crecimiento. Pero, en otras ocasiones, puede cambiar tanto las condiciones del ambiente que la comunidad original desaparece.

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 energía que la organización social transporta desde lugares más o menos distantes hasta otros sitios donde son requeridos. Aquellos materiales 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 ser humano 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: la contaminación del agua que bebemos, de los alimentos, del suelo o del aire que nos rodea. Se trata de contaminaciones localizadas, generalmente circunscritas a un lugar o región, cuya importancia depende del agente contaminante y del tiempo de duración. 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.

LA CONTAMINACIÓN COMO PROBLEMA SOCIAL

En la primera etapa del *Homo sapiens*, que duró unos 150.000 años, las poblaciones humanas cazadoras-recolectoras y nómades tienen que haber tenido una relación con el medio ambiente muy parecida a la de otras poblaciones de primates: explotar un área y migrar a otra cuando los recursos escaseaban. 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, y por estos se transportan alimentos y otros materiales que demanda el cambio cultural. La tercera etapa, de la revolución científico-tecnológica, se inició hace unos doscientos cincuenta años con la industria subsidiada con mucha energía de alto costo y bajo precio: los hidrocarburos. Es la civilización a la que pertenecemos que se caracteriza por la gran generación de bienes y servicios. Pero no solo ha producido bienes en cantidad, también ha introducido disturbios a toda la biosfera. Estos son disturbios cuyos costos no son incorporados 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 solo no acceden a los beneficios sino que pagan parte de los perjuicios. Se habla entonces de un pasivo ambiental, de deuda ambiental que paga el conjunto de la sociedad y especialmente los más pobres, quienes no pueden migrar o pagar para protegerse.

En el sistema descrito aún no han actuado globalmente los mecanismos de retroalimentación que regulen o eviten los perjuicios

señalados. Cuando el costo de estos superase a los beneficios obtenidos del producto industrial, dentro del mismo sistema se irían produciendo las correcciones. Así sería si todos los beneficios y los perjuicios se distribuyeran más o menos equitativamente en la población. 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 pueden 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.

Puede ser interesante reflexionar y pensar que las poblaciones humanas, particularmente las industrializadas, no han innovado mucho como seres vivientes produciendo sustancias que, liberadas al ambiente, introducen cambios a los cuales deberían adaptarse: ya lo han hecho diversas formas de vida primitiva tras la aparición de las bacterias fotosintetizadoras, en las que fueron seleccionándose funciones metabólicas que –por ejemplo extremo– les posibilitaron –en largos períodos de tiempo– poder vivir en una atmósfera con abundante oxígeno, como la actual, cuando antes lo hacían en otra que tenía muy poco oxígeno libre.

En el primer párrafo de este capítulo decimos que el agente causal de la contaminación puede ser de origen químico, físico o biológico; debemos agregar ahora la pobreza. Es la pobreza otra causa de contaminación y degradación ambiental, porque cuando las poblaciones humanas en busca de trabajo, techo o libertad no tienen otra posibilidad que hacinarse en terrenos de bajo precio, inundables o escarpados, sin agua potable ni cloacas, ellas son las que sufren su propia contaminación por agentes biológicos -virus, bacterias, parásitos- y sustancias químicas que son los residuos del consumo de productos tecnológicos. Entonces, la contaminación –más que un problema ecológico, técnico o económico– es un problema social y, como tal, la solución requiere el aporte de la educación, la ética y la solidaridad. En América Latina, las contaminaciones más comunes se originan por el mal uso de productos y tecnologías importadas de los países desarrollados.

EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

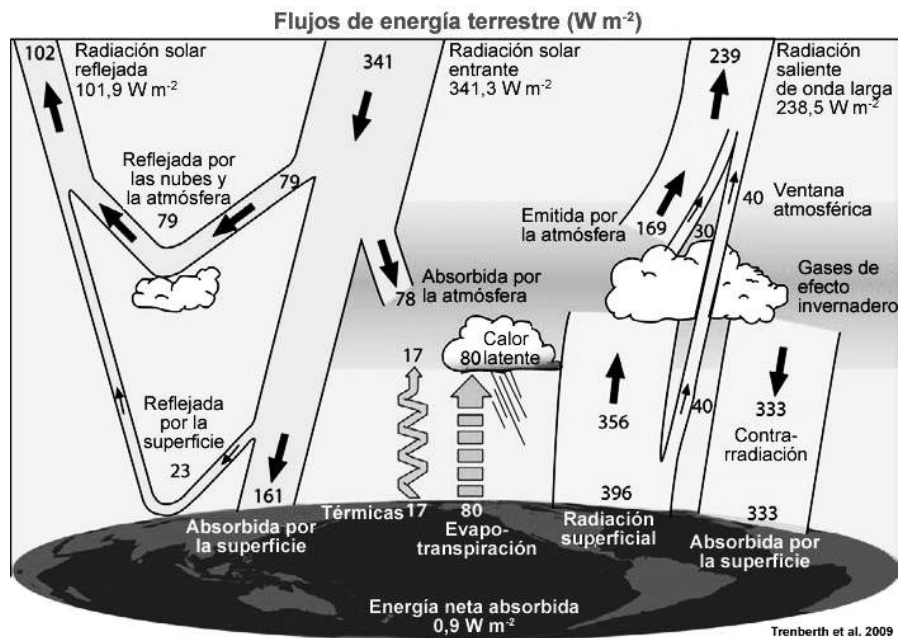
Sabemos que los ecosistemas tienden a mantenerse en equilibrio dinámico, en el que las perturbaciones menores son naturalmente compensadas. Se observa tal estado-estable en la presencia y tamaño de las poblaciones, y también en el entorno físico y químico que las contiene. Pero puede suceder que las 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. En efecto, el ser humano puede provocar involuntariamente esos cambios por usar combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para obtener energía para la industria, el transporte, la calefacción y refrigeración; también para la agricultura y la explotación forestal. Con esas actividades la población humana puede beneficiarse, pero también puede obtener perjuicios de los que no podrá escapar fácilmente, como de aquellos originados por el calentamiento global del planeta.

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 al espacio. En ausencia de atmósfera, la temperatura promedio de la tierra debería ser de aproximadamente -16°C (225 Kelvin). Pero la temperatura promedio real es de $+15^{\circ}\text{C}$ (288 Kelvin), debido a que distintos gases de la atmósfera absorben la radiación emitida por la tierra. Entre estos gases, los más importantes son el vapor de agua, el CO_2 , el metano, los CFC (clorofluorocarbonos) y los óxidos de nitrógeno, los que por esa razón son llamados “gases de *efecto invernadero*”, los GEI. Todos estos gases son liberados a la atmósfera por procesos naturales, pero las actividades humanas de los últimos cien años están aumentando mucho la velocidad de esa liberación.

Así es que el CO_2 se incrementa muy rápidamente y es el gas que más impacto está teniendo en el cambio climático (Figura 10). De acuerdo con muestras de aire atrapado en hielos de la Antártida y de Groenlandia, el nivel actual de CO_2 atmosférico de 400 ppm (partes por millón) es el más alto de, al menos, los últimos seiscientos mil años y posiblemente el más alto de los últimos veinte millones. La tasa de aumento de CO_2 en la atmósfera fue de 0,87 ppm entre 1960

y 1969 y s actualmente de 2,08 ppm por año, que es la tasa más alta de los últimos 20.000 años por lo menos³³.

Figura 10. Balance anual promedio de la energía recibida del sol entre la tierra y la atmósfera en Watts por metro cuadrado.
 Recuperado de <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2008BAMS2634.1>
 (Fecha de acceso: 30 de noviembre de 2014).



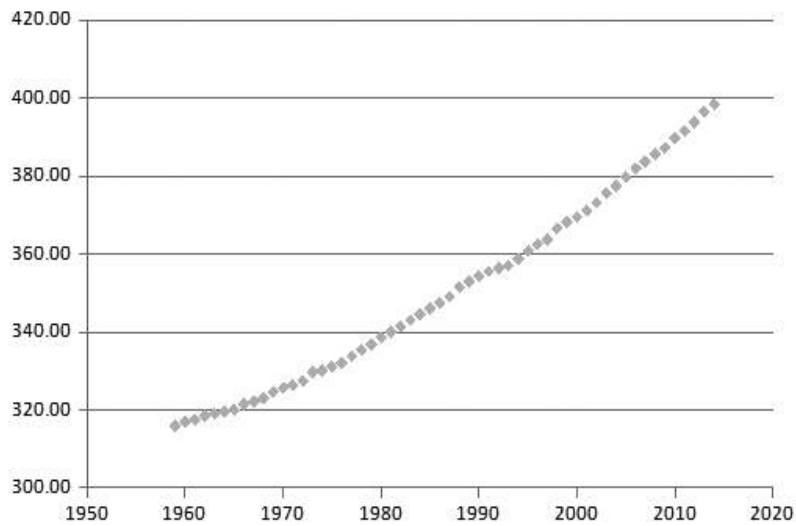
Según proyecciones también realizadas por la NASA, la temperatura en la tierra aumentó aproximadamente 0.68 °C desde 1880. Este aumento de más de medio grado es el cambio más rápido en al menos los últimos 1000 años. Según información del Mauna Loa Observatory³⁴, los diez años más calurosos en los registros

³³ Recuperado de <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>. (Fecha de acceso: 10 de agosto de 2015).

³⁴ Recuperado de <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html> (Fecha de acceso: 10 de diciembre de 2014).

instrumentales de la temperatura global en superficie (desde 1850) han ocurrido desde el año 2000, y el 2014 es el más cálido del que se tiene registro. Con datos de esa misma fuente podemos construir la Figura 11:

Figura 11. Evolución de la concentración de dióxido de carbono atmosférico medido en el Mauna Loa Observatory (Hawaii) desde 1959 a 2014.



Las consecuencias de ese aumento por el efecto invernadero debido a las actividades humanas son considerables. 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 el año 2100. De hecho, el nivel promedio ya ha aumentado al menos unos 17 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 inundada una gran parte de las regiones costeras. Ciertas 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 cien años. Aun deteniendo el aumento del CO₂

atmosférico, la expansión térmica de los océanos es un proceso lento que continuaría por unos quinientos años³⁵.

En la historia del planeta las bacterias fotosintetizadoras fueron las que cambiaron el clima, y ahora una sola especie –la especie humana– tiene un impacto suficientemente grande como para cambiar otra vez el clima en forma importante.

En Argentina, según estudios realizados por expertos, en el período 1960-2010 la temperatura promedio aumentó entre 0,5 y 1 grado centígrado en la mayor parte del país, con variaciones regionales, como en el caso de la Patagonia, donde el aumento de la temperatura fue superior³⁶. Además ya hay un aumento de las olas de calor y de las precipitaciones en casi todo el país y una disminución de las heladas³⁷.

La Península Antártica es una de las áreas más afectadas por el cambio climático y su temperatura se incrementó casi seis veces más que la media del planeta. Resultado de ese cambio fue que los glaciares costeros comenzaron a derretirse con una gran intensidad y, por investigaciones de largo plazo realizadas por equipos internacionales en los que participa la Argentina, ya se sabe que hay grandes cambios en las comunidades del fondo marino, con una notable disminución de la biodiversidad (Sahade et al., 2015)³⁸.

PROTOCOLO DE KIOTO

Tomando conciencia de las serias consecuencias del cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático creada en Río de Janeiro en 1992, concertó una

³⁵ Sobre otros cambios que están ocurriendo en los océanos puede leerse el ensayo sobre la acidificación en los océanos que está en la página 115 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

³⁶ Sobre futuros cambios que habrían de producirse en Argentina ver: www.ambiente.gov.ar/?idseccion=356 (Fecha de acceso: 20 de febrero de 2015)

³⁷ Más sobre las tendencias del clima en Argentina en: <http://cienciahoy.org.ar/2016/06/tendencias-del-clima-en-la-argentina/> (Fecha de acceso: 27 de septiembre de 2016).

³⁸ Recuperado de <http://advances.sciencemag.org/content/1/10/e1500050> (Fecha de acceso: 20 de mayo de 2016).

serie de reuniones internacionales que culminaron en la adopción del Protocolo de Kioto (Japón) en 1997 pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. Este 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 fuera ratificado por los gobiernos respectivos, a través del cual los países más desarrollados se comprometerían a reducir para el año 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. En el año 2012, eran casi doscientos estados los que ratificaron el protocolo, pero Estados Unidos de Norte América, Japón, Rusia, Canadá y Nueva Zelanda –que son los mayores emisores de gases de invernadero mundial– aún no lo habían ratificado. En ese año no se habían cumplido prácticamente ninguno de los compromisos del Protocolo de Kioto. Por esa razón y con la esperanza de llegar a un acuerdo mundial, se convocó a la XXI conferencia sobre cambio climático que se celebró en París en diciembre de 2015³⁹.

En el año 2012 Argentina ocupaba el lugar 19 entre los países que más dióxido de carbono emitían a la atmósfera. Esas emisiones representaban el 0,9% del total mundial, en tanto los Estados Unidos emitían el 16%, pero teniendo en cuenta la cantidad de habitantes, los datos son otros: los argentinos emitían diez toneladas de CO₂ por cápita, por encima del promedio mundial de alrededor de siete toneladas⁴⁰.

³⁹ “La conferencia alcanzó su objetivo, lograr por primera vez en la historia un acuerdo universal sobre los métodos para reducir el cambio climático en el Acuerdo de París, que fue aprobado por aclamación por casi todos los estados³ y que se convertirá en jurídicamente vinculante si por lo menos 55 países que representen al menos el 55 por ciento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero^{4 5} se adhieren a ella a través de la firma seguida de su ratificación, aceptación, aprobación o adhesión.

El acuerdo será aplicado a partir de 2020.⁶ De acuerdo con el comité organizador, ⁷ el resultado esperado era clave para limitar el calentamiento global por debajo de 2 grados centígrados en 2100, en comparación con anterioridad a la era industrial.” Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/XXI_Conferencia_sobre_Cambio_Clim%C3%A1tico (Fecha de acceso: 13 de agosto de 2016).

⁴⁰ Recuperado de <http://cienciahoy.org.ar/2015/12/acuerdo-internacional-sobre-cambio-climatico/>

ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFÉRICO

Otro cambio que afecta a toda la humanidad es el adelgazamiento de la capa de *ozono* de la atmósfera, porque está contribuyendo al cambio climático, particularmente en el hemisferio sur. Ese cambio está relacionado esencialmente con un aumento de la radiación UV que llega a la superficie de la tierra, y también con mayores temperaturas y precipitaciones en Argentina y sequías en regiones de Chile, Australia y Nueva Zelanda. En la región pampeana, los efectos de la disminución del ozono se suman a los de los gases que producen el efecto invernadero, y serían los principales responsables del incremento de las precipitaciones que vienen produciéndose desde hace varias décadas.

La capa de ozono está entre unos 15 a 30 km de altura, en la parte baja de la estratósfera. 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. Así fue que de una atmósfera casi sin oxígeno se fue pasando a otra donde una quinta parte la constituye ese gas. Entonces ese oxígeno, cuya molécula tiene dos átomos (O_2), por acción de la radiación ultravioleta (RUV) se transforma en ozono, una molécula que tiene tres átomos de oxígeno (O_3) y queda concentrado mayoritariamente en la “capa de ozono”. Esta capa absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta de onda más corta que, sin ella, llegaría desde el sol a la Tierra.

En 1985, se observó que en la Antártida, durante la primavera, la capa de ozono se adelgazaba quedando lo que se llamó el “agujero de ozono”, hecho que se siguió observando desde entonces y que es atribuido a los clorofluocarbonos (CFC) (Molina, 1996). Estos son hidrocarburos no tóxicos que se encuentran en la naturaleza en estado líquido y que se evaporan fácilmente. Estos compuestos son usados desde hace unos setenta años por la industria, en equipos de refrigeración como heladeras, acondicionadores de aire y en algunos rociadores (*spray*). Desde mediados de los años 90 estos se han ido paulatinamente reemplazando por compuestos similares, pero que dañan menos la capa de ozono.

El fenómeno se explica porque, después del invierno polar, la radiación ultravioleta destruye las moléculas de cloro de los clorofluocarbonos, liberando átomos de cloro que reaccionan a gran velocidad con las moléculas del ozono que pasan a moléculas de oxígeno, las que también por la radiación ultravioleta vuelven a pasar a moléculas de ozono pero a una velocidad mucho menor.

En el año 2013, las mediciones de la NASA⁴¹ y de la National Oceanic and Atmospheric Administration⁴² indicaban que el agujero de ozono se está reduciendo en los últimos años debido al uso generalizado de compuestos menos dañinos.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA DULCE

En todas las culturas se ha usado al agua no solo para riego y bebida, sino también para eliminar los contaminantes, transportarlos, degradarlos o esparcirlos. Las ciudades y también otras poblaciones menores, se desarrollan generalmente próximas a lagos, lagunas o ríos, de los que toman agua para sus necesidades y también a los que arrojan sus residuos orgánicos (Rigacci, 2013; Castañé, 2015). Estos residuos se descomponen y mineralizan, consumen oxígeno y liberan elementos que son nutrientes de las plantas. Con estos elementos el fitoplancton se desarrolla y a veces prolifera excesivamente, fenómeno que se conoce como *eutrofización*. La eutrofización de los ambientes acuáticos también se produce por el enriquecimiento con nutrientes provenientes 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, este se agota; parte de la materia orgánica se va acumulando en el fondo, y parte se descompone liberándose ácido sulfhídrico de mal olor (Giorgi, 2002).

⁴¹ La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como NASA por su sigla en inglés, es la agencia del gobierno de los Estados Unidos responsable de su programa espacial civil y la investigación aeronáutica y espacial. Recuperado de <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/ozone-hole-2012.html>. (Fecha de acceso 10 de marzo de 2015).

⁴² Recuperado de <http://www.noaa.gov/> (Fecha de acceso 10 de marzo de 2015).

El agua que abastece a las poblaciones humanas también puede contaminarse con bacterias, virus, protozoos y gusanos que en los países subdesarrollados son la 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. A esas contaminaciones hay que agregar en estos tiempos nuevas sustancias y moléculas complejas producidas industrialmente con distintos fines, particularmente con fines medicinales –que como residuos– se incorporan a los ambientes acuáticos⁴³. Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor del 40% de la población mundial en el año 2012, aún carecía de servicios de agua potable y de servicios cloacales. Por tanto, mantener ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas libres de contaminantes es de vital importancia para la población, tanto en los países industrializados como en los subdesarrollados.

CONTAMINACIÓN POR AGROTÓXICOS Y PRINCIPIO PRECAUTORIO

En la agricultura moderna las sustancias tóxicas más usadas son los plaguicidas, en particular los insecticidas y los herbicidas; son compuestos químicos que se utilizan para controlar las poblaciones de animales y plantas que pueden llegar a causar daño en los cultivos. Grandes cantidades de estos productos, mayoritariamente de amplio espectro, son frecuentemente aplicados en los diferentes cultivos para evitar llegar al *nivel de daño económico*.

Los *agrotóxicos* no solo afectan negativamente a las plantas y animales que el hombre considera perjudiciales a sus intereses. También lo hacen, en forma directa o indirecta, con otros organismos

⁴³ En la edición electrónica de este libro (<http://hdl.handle.net/10915/38507>) podemos encontrar ensayos y estudios de casos aplicados al tema de la contaminación y protección y saneamiento de ambientes acuáticos. Uno sobre los contaminantes de la industria farmacéutica, en la página 124; otro sobre la contaminación de la cuenca del río Reconquista en la provincia de Buenos Aires, en la página 130; otro donde se describen algunos sistemas de tratamiento de residuos cloacales, en la página 142; y un quinto en la página 145 en el que nos muestran una estimación teórica del ahorro de dinero que significa el trabajo del río Luján al reducir la contaminación orgánica.

vegetales y animales, llamados “no blanco”, disminuyendo la biodiversidad y alterando la trama trófica de las comunidades terrestres y acuáticas. Muchos de estos organismos pueden cumplir roles funcionales importantes dentro de los agroecosistemas, como por ejemplo los polinizadores, los enemigos naturales de plagas y malezas, las plantas que aportan nutrientes y protección al suelo, y refugio y sitios de nidificación para la fauna.

La toxicidad y la especificidad de los plaguicidas depende del modo de acción de los ingredientes activos, mientras que los efectos dependen de la dosis a que están expuestos los organismos (Sánchez-Bayo, 2011). La contaminación por agrotóxicos para la mayoría de los animales es por la exposición directa a las fumigaciones o por la inhalación de los mismos, en cuyo caso, los ingredientes activos pasan directamente a los pulmones y al torrente sanguíneo de los vertebrados terrestres. Sin embargo, es muy difícil saber cuál fue la causa, cuando se encuentra un animal paralizado o muerto en el campo. La mayoría de las veces la causa de las muertes observadas resulta de la combinación de varias rutas de exposición. Los agrotóxicos más persistentes pueden, además, acumularse en el suelo y concentrarse a lo largo de la trama trófica. Sus efectos perjudiciales trascienden al medio terrestre, ya que debido a procesos de escorrentía, pueden contaminar arroyos, ríos, lagos y el agua subterránea. Las moléculas que los componen, 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 relativamente poco, hasta ahora, acerca de los caminos que pueden seguir en el ecosistema y los daños que sucesivamente pueden causar.

El efecto nocivo sobre la salud humana de varios de estos compuestos es muy grande, y una vez afectadas, las víctimas en muchos casos deben enfrentar su enfermedad y al mismo tiempo, demandar judicialmente a los diversos responsables que se la provocaron en busca de lograr una reparación por el daño, y también evitar que otros puedan también sufrir esa contaminación. Como ejemplo de lo anterior se sabe que el 7 de junio de 2010, el tribunal de la República de la India juzgó a los responsables del desastre por

contaminación producido el 2 de diciembre del año 1984 por una industria de agrotóxicos que produjo varios miles de muertes en la ciudad de Bophal, y condenó a ocho directivos de la industria a dos años de prisión y a abonar 500.000 rupias (10.600 dólares) a la delegación de la empresa. En recuerdo de esta tragedia, se celebra en todo el mundo cada 3 de diciembre el Día Mundial del No Uso de Plaguicidas.

En la Argentina, en el año 2010, en el barrio Ituzaingó de la provincia de Córdoba, lindero a cultivos de soja habitualmente fumigados en forma aérea con agrotóxicos, el 80 % de los 142 niños analizados tenía rastros de entre dos y seis agroquímicos en la sangre, pero también la mitad de los niños de otro grupo que vivía fuera del barrio tenían rastros de hasta dos agroquímicos en la sangre, hechos que dieron origen a un juicio que duró diez años y que concluyó en el año 2012 condenando a dos responsables por contaminación reiterada, al productor agropecuario y al piloto que realizó la fumigación aérea. La condena fue por delito de contaminación ambiental penado por la Ley de Residuos Peligrosos.

Por otro lado, en la provincia de Santa Fe en el 2011 tras tres años de juicio iniciado por modestos pobladores, invocando el *principio precautorio*, y en base a un informe de especialistas de la Universidad Nacional del Litoral, la justicia prohibió las fumigaciones por tierra a menos de 500 metros de la urbanización y a menos de 1500 en caso de que sean por aire. El principio precautorio es el que obliga a suspender o cancelar actividades que amenacen al ambiente pese a que no existan pruebas científicas suficientes que vinculen tales actividades con el deterioro de aquel. Este principio es uno de los resultados de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo del año 1992 de las Naciones Unidas en la que participó Argentina, y la Ley General del Ambiente de este país (ley 25.675) establece que: “Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”.

INSECTICIDAS

Los grupos más importantes de insecticidas que se han fabricado son, por orden cronológico, los organoclorados, los organofosforados, los carbamatos, los piretroides y últimamente los incluidos en el grupo de los plaguicidas botánicos. Todos ellos son neurotóxicos, generando una alteración de la transmisión del impulso nervioso.

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 de insectos parásitos y transmisores de otras enfermedades a los soldados de las fuerzas aliadas. Su implementación para el control de plagas de cultivos y granos cosechados se propagó por su gran eficacia, su bajo costo, y su alta persistencia en el ambiente, lo que hace innecesaria la aplicación repetida en poco tiempo. Las conocidas pastillas de gamexane usadas hasta hace no mucho tiempo para combatir plagas de insectos como hormigas, cucarachas o la vinchuca estaban compuestas por un organoclorado (el isómero gamma del hexaclorociclohexano) utilizado incluso en versiones ya no vigentes de piojicidas. Son muy poco selectivos, por lo cual matan tanto a las plagas como a otros organismos “no blanco”. Debido a que son solubles en aceites y grasas quedan retenidos y se acumulan en aceites vegetales y de allí pasan a la grasa de los herbívoros y de estos a la de los carnívoros y al hombre, al comer desde vegetales hasta carne y lácteos. Gran cantidad de especies plaga han creado resistencia en forma bastante rápida a estos productos. Un insecticida organoclorado que ha sido clasificado por la Organización Mundial de la Salud como “altamente tóxico” para el hombre es el *endosulfán* y ya fue prohibido en muchos países de la Unión Europea, África y Asia, pero en la Argentina es el insecticida más utilizado para controlar los insectos en los cultivos de algodón, maíz y soja, entre otros. El SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Vegetal y Calidad Agroalimentaria de Argentina) publicó en el mes de junio 2011 una Resolución anunciando que a partir de julio de 2012 se prohibiría la importación del principio activo endosulfán y sus productos formulados, y a partir de julio 2013 se prohibiría la elaboración, formulación, comercialización y uso de productos

que lo contengan. Como estaba previsto, a partir de julio de 2011 fue prohibido importarlo, pero lo que ya había sido importado se pudo vender y usar hasta julio del 2013 (Resolución 511/2011 de SENASA).

Entre otros daños, el endosulfán –según el grado y tiempo de exposición– puede llegar a producir deformidades congénitas, desórdenes hormonales, parálisis cerebral, epilepsia y cáncer.

Organofosforados: En parte remplazaron a los organoclorados luego de que estos fueran en su mayoría prohibidos. Su mecanismo de acción es la inhibición irreversible de la enzima colinesterasa. Los más conocidos son el paratión, el malatión, el metamidofós y el clorpirifós. Tienen amplio espectro y son tóxicos para el hombre y otros mamíferos; son persistentes y bioacumulables en organismos y sedimentos del medio acuático.

Los organofosforados comenzaron a ser usados en la segunda mitad del siglo XX después de haber sido fabricados y usados con fines bélicos militares (gases neurotóxicos) en la Segunda Guerra Mundial. En Argentina algunos han sido prohibidos a comienzos del siglo XXI o son de uso muy limitado⁴⁴.

Carbamatos: Su mecanismo de acción es la inhibición reversible de la enzima acetilcolinesterasa, produciendo síntomas similares a los de los organofosforados. Tienen menor persistencia que los organoclorados y más baja toxicidad que los organofosforados. Se los puede usar hasta poco tiempo antes de la cosecha ya que se degradan y descomponen por acción de la luz y de la humedad, en pocos días. Son de amplio espectro y algunos, además de insectos, controlan hongos, ácaros y nematodos. Su producción puede ser muy peligrosa, como en el caso del accidente del que hablamos más arriba, ocurrido en Bhopal, India, que provocó la muerte de muchos miles de personas por una falla en el proceso de producción de un carbamato, dejando más de medio millón de afectados; uno de los más conocidos es el Carbaryl.

Plaguicidas botánicos: Integran este grupo las piretrinas que son compuestos naturales provenientes del extracto de piretro

⁴⁴ <http://www.inti.gob.ar/quimica/pdf/ProhibidosyRestringidos2012.pdf>. (Fecha de acceso: 21 de noviembre de 2014).

presente en las flores del crisantemo. El uso de las piretrinas se remonta al siglo XIX; las mismas provocan una rápida parálisis de los insectos (poder de volteo) y baja toxicidad para los mamíferos. No obstante, su utilización en las actividades agrícolas ha sido limitada por ser rápidamente degradadas por el calor y la luz solar.

Los piretroides son los insecticidas más modernos y potentes que se conocen. Derivan, en forma sintética, de los extractos de piretro, pero con modificaciones en su estructura química que les confieren una elevada actividad insecticida y una notable fotoestabilidad. Son lipofílicos e insolubles en agua, de allí que su aplicación se ha difundido en el control de plagas que afectan tanto la actividad agrícola como la salud humana (por ejemplo control de la vinchuca, *Triatoma infestans*) y en medicina veterinaria. Además, son muy usados en la vida doméstica, ya que se emplean en lociones para combatir los piojos, en aerosoles y pastillas antimosquitos, etc. Los más conocidos son la cipermetrina y la permetrina. Son muy tóxicos en el medio acuático donde producen mortandad de peces, por ejemplo, cuando las aguas son contaminadas tras el uso agrícola de esas sustancias en los terrenos aledaños.

Los plaguicidas botánicos incluyen, además, la nicotina y la rotenona. La nicotina es un alcaloide derivado del tabaco. Es básicamente un insecticida de contacto no persistente. En la actualidad, se producen los plaguicidas neonicotinoides, derivados de la nicotina, que parecen ser, por su modo de acción, bastante selectivos para insectos, fundamentalmente para áfidos, lepidópteros y coleópteros. El de uso más extendido es el imidacloprid. Por su parte, la rotenona es aislada de las raíces de algunas especies de leguminosas tropicales y resultan tóxicas para los animales de sangre fría e inofensivas para mamíferos. Es biodegradable y se descompone fácilmente en presencia de luz y aire.

HERBICIDAS

Según su modo de uso, los herbicidas pueden ser selectivos y no selectivos, y según su composición química se denominan orgánicos (Diuron, Atrazina) e inorgánicos (sales de diversos metales). Los herbicidas son tóxicos para las plantas, ya que alteran procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis. No obstante, también pueden interferir con procesos metabólicos y reproductivos de los animales que

no necesariamente están relacionados con su modo de acción en las plantas (Sánchez-Bayo, 2011).

Algunos son muy tóxicos, como la mezcla de dos herbicidas sistémicos para especies de hoja ancha (el 2,4-D y 2,4,5-T) que aplicaron los norteamericanos en la guerra contra Vietnam como defoliante de los bosques y, entre otros males, produjo cáncer y malformaciones en los embriones humanos; es conocido como Agente Naranja. Los herbicidas sistémicos son aquellos que se aplican sobre las hojas y tallos, son absorbidos, la savia los traslada hasta la raíz y la totalidad de la planta muere.

Glifosato (N- fosfometil glicina): merece una referencia particular ya que es el herbicida más utilizado en el mundo y en el año 2015, la OMS lo incluyó en una lista de sustancias posibles carcinógenas, es decir, que pueden producir cáncer en la población afectada. En Argentina, solo en el cultivo de soja en la campaña 2010/2011 se utilizaron 200 millones de litros de este herbicida, provisto por unas pocas compañías multinacionales. Pero, además, el glifosato se utiliza en otros cultivos como maíz, algodón, canola y frutales de pepita, entre otros. Es un herbicida fosforado, sistémico, y de amplio espectro que se usa para eliminar gramíneas anuales y perennes, hierbas de hoja ancha y hasta plantas leñosas, pero el uso reiterado durante más de veinte años ya ha generado la aparición de alrededor de quince especies que comenzaron a evidenciar diversos niveles de resistencia al mismo.

El modo de acción del glifosato es a través de la inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos en la planta mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintetasa (EPSPS). Esta enzima participa dentro del cloroplasto en la ruta metabólica del ácido shikímico, lo cual reduce la síntesis de aminoácidos esenciales para la vida de las plantas, causándoles la muerte. Debido a que la ruta metabólica se encuentra solo en bacterias, hongos y plantas, la toxicidad aguda del glifosato puro para los animales es baja, y si bien puede interferir con algunas funciones enzimáticas, los síntomas de envenenamiento solo ocurren con dosis muy altas (Villalba, 2009; Carriquiriborde, 2010⁴⁵).

⁴⁵ Recuperado de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-aspectos_ambientales_del_uso_de_glifosato__version_pa.pdf

El glifosato puro es degradable en el suelo y de baja persistencia biológica, sin embargo, no ocurre lo mismo con las formulaciones comerciales de este producto; en la Argentina se han registrado muchas formulaciones comerciales con glifosato como principio activo. El Roundup –una de las formulaciones de glifosato más conocida, comercializada por la empresa Monsanto– posee un surfactante llamado POEA (polioxietilamina), producto químico que facilita la absorción del glifosato por parte de la planta. El POEA le confiere una toxicidad mucho mayor que el glifosato puro, a lo cual se suma el efecto altamente contaminante del AMPA (ácido aminometilfosfónico), principal metabolito de la degradación microbiana del glifosato en ambientes terrestres.

Existen numerosas evidencias de los efectos letales y subletales de este herbicida en insectos y arácnidos (Schneider et al., 2009; Benamú et al., 2010), en lombrices de tierra (Santadino et al., 2014), en anfibios (Lajmanovich et al., 2003; Cauble, 2005), en peces (Menéndez-Helman et al., 2012 y 2015; Gluszcak et al., 2006). También se han observado efectos letales en células de embriones, placenta y cordón umbilical humanos (Richard et al., 2005; Benachour, 2009); y desde el año 1990 se comenzaron a detectar niños con malformaciones, mortalidad fetal y abortos espontáneos, entre otros efectos nocivos, en localidades donde se hacía un uso masivo de agrotóxicos, entre ellos el glifosato (Carrasco et al., 2012).

Los efectos de estos herbicidas impactan sobre la biodiversidad de los ecosistemas, contaminan el suelo (Piccolo, 1994) y disturban la estructura, funcionamiento y calidad de los cuerpos de agua dulce (Pérez et al., 2007; Vera et al., 2010).

Otras contaminaciones en ambientes agropecuarios son las derivadas de la cría intensiva de animales en recintos estrechos como aves o cerdos; el engorde de vacunos en *feedlot*, la producción de leche en grandes tambos, en todos los cuales se originan grandes cantidades de estiércol, materia orgánica que se puede utilizar para obtener biogás y residuo seco para fertilizar suelos⁴⁶.

⁴⁶ Técnicas sobre tratamientos por digestión anaeróbica de residuos derivados de actividades agropecuarias pueden encontrarse en el ensayo que está en la página 148 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Se atribuye a Paracelso, un médico y alquimista suizo de finales de la Edad Media, haber dicho que la dosis hace al veneno, una expresión que sintetiza la idea de contaminación por un elemento o sustancia química.

En la naturaleza, numerosos metales se encuentran en baja concentración (menos de 1000 ppm). A estos metales se los denomina metales traza y entre estos están los metales pesados. Los organismos han evolucionado en ambientes con pequeñas concentraciones de estos metales, motivo por el cual la presencia en altas concentraciones puede causarles graves trastornos. Algunos de estos metales son esenciales, necesarios para la actividad biológica (como el cobre, el cinc o el níquel) y no perjudiciales cuando están en el ambiente en bajas concentraciones, pero son tóxicos en altas concentraciones. Hay otros metales pesados, como el plomo, el mercurio, la plata o el cadmio, que no tienen ninguna actividad biológica y su presencia es generalmente tóxica para los seres vivos. En las cadenas y redes tróficas, las algas y las plantas superiores son las principales vías de ingreso de esos metales a los animales, incluido el hombre.

Mercurio: Se lo puede encontrar formando compuestos orgánicos o inorgánicos. Los primeros son de gran toxicidad porque 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 la actividad industrial libera mercurio en forma de compuestos inorgánicos, en el ambiente existen microorganismos que lo transforman en derivados orgánicos. La *bioacumulación* de mercurio contribuye a aumentar el efecto tóxico; los peces pueden acumular hasta cinco mil veces la concentración presente en el agua. En la década de 1950, en Minamata (Japón), alrededor de ciento veinte personas murieron por envenenamiento con mercurio, consecuencia de la descarga, desde una fábrica de productos químicos, de mercurio inorgánico que fue transformado en mercurio orgánico (metil mercurio) en los sedimentos de la bahía de Minamata, y que después 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 el uso de combustibles con aditivos de plomo. En los ecosistemas, el plomo produce acumulación de materia orgánica porque afecta el metabolismo de microorganismos descomponedores. La intoxicación crónica con plomo produce *saturnismo*, enfermedad que puede afectar no solo 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, del sistema productivo de glóbulos rojos y del sistema nervioso.

Cromo: Metal utilizado principalmente en curtiembres. En estado de mayor oxidación es cancerígeno. Su gran movilidad y capacidad de asociación con otras moléculas lo tornan más peligroso porque puede ingresar a las redes tróficas con gran facilidad.

Cadmio: Es liberado al ambiente en la fabricación de baterías y semiconductores para la industria electrónica y el galvanizado de piezas metálicas. En 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, por la *biomagnificación*, para depredadores de tercer y cuarto orden.

Los vegetales son una fuente de ingreso de metales pesados a los seres humanos, y entre esos vegetales está el tabaco: cada cigarrillo aporta al ambiente 1-2 microgramos de cadmio, 1.4 de cromo, 2 a 6 de níquel y 21 a 84 de plomo.

CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS

Los derrames de petróleo durante su extracción y tráfico son frecuentes, en gran escala y afectan a ecosistemas terrestres y acuáticos, especialmente al mar y ríos navegables. Generalmente el petróleo, una vez derramado en el mar, se acumula en la superficie originando las denominadas mareas negras. Producido el derrame, para recuperarlo se usan medios mecánicos. Algunas veces se suele recurrir a quemar el petróleo de la

superficie, pero los compuestos tóxicos que se volatilizan pueden afectar negativamente el aire de una zona muy extensa. Otras técnicas utilizan bacterias con capacidad de biodegradar el petróleo (Zlaltar, 1994). Algunos petróleos muy densos forman con el agua marina una emulsión difícil de desintegrar y dispersarse; con el tiempo –meses o varios años– el petróleo se hunde y sus componentes aromáticos como el benceno o el tolueno, que son muy tóxicos, se solubilizan y disuelven en el agua y los primeros afectados son los organismos planctónicos.

Por otra parte, 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 ambiente y para su eliminación 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. Esta última práctica es denominada *land-farming*, una técnica con la que se suele enmascarar un verdadero delito ambiental cuando es usada para dispersar esos residuos industriales. Esta técnica solo se podría aceptar en casos de vuelcos accidentales de hidrocarburos y con una técnica conocida como *biorremediación*, que sirve para acelerar la biodegradación natural, sembrando bacterias que utilizan los hidrocarburos como fuente de carbono y de energía y estimulando su desarrollo con el agregado de nitrógeno y fósforo (Mac Cormack y Ruberto, 2003).

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 y en aditivos de pinturas. Son muy estables y poco biodegradables, se acumulan en los tejidos grasos y pueden originar cáncer de piel, escroto y pulmón (Koch et al., 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 1982, más de la mitad se continuaron usando (Ponting, 1992). Para su eliminación son necesarios incineradores que alcancen los 1200° C, pero aún así pueden dejar residuos tóxicos en el aire.

Los principales contaminantes del aire de las ciudades que provienen de los hidrocarburos son el monóxido de carbono, generado principalmente por la combustión de los automóviles (y también por la oxidación atmosférica del metano por descomposición de residuos orgánicos), cuya toxicidad se debe a su alta tendencia a asociarse a la hemoglobina, compitiendo por 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 de algunas ciudades o de zonas industriales, los óxidos de azufre que contengan 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; además es nociva para las estatuas y edificios debido a que afecta al mármol. También son importantes contaminantes del aire de las ciudades porque están en los aerosoles que forman el *smog*, que son gotitas líquidas en suspensión contaminadas con partículas de *hollín* (producto este de la mala combustión de hidrocarburos) y 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 et al., 1995). El hollín, que es un hidrocarburo aromático policíclico, es cancerígeno y muchas mujeres que lavaban a mano la ropa sucia de los obreros del polo petroquímico de La Plata enfermaban de cáncer (José Catoggio, comunicación personal).

ELEMENTOS RADIATIVOS

Los *elementos radiactivos* se encuentran de forma natural en el ambiente, pero con las centrales nucleares ha aumentado su proporción en los lugares donde están emplazadas; en Europa ha

aumentado la radiación a causa de la nube radiactiva producida por el desastre de la central de Chernobil en 1986 y en Japón, tras el maremoto que afectó la central atómica de Fukushima en marzo de 2011.

El aumento de la radiactividad en el 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.

PREGUNTAS

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 probables soluciones- a su alcance.

2. ¿Cuáles son las causas más conocidas del fenómeno climático conocido como efecto invernadero? ¿Cuáles son algunas de las consecuencias que ya se perciben en el ambiente?

3. Las poblaciones de especies animales y vegetales que tienen más probabilidades de sobrevivir en un ambiente contaminado ¿pertenecen a organismos especializados, *k*-seleccionados o a organismos más simples poco especializados, *r*-seleccionados? ¿Puede recordar algunos ejemplos?

4. ¿Sería conveniente y posible incorporar al precio de los productos industriales el costo ambiental según el criterio de que "el que contamina paga"?

5. ¿Qué significa que la contaminación es una "enfermedad" del transporte, como dice Margalef? Explique con ejemplos de casos que usted conozca.

IX. LOS RECURSOS NATURALES

RECURSOS NATURALES

Consideramos recurso natural a todo aquello que encontramos en la naturaleza y que podemos aprovechar para satisfacer nuestras necesidades básicas o para deseos de otro tipo, como la recreación. Entonces, son recursos naturales el agua, 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, hay que saber si los recursos naturales pueden ser renovables o no renovables. En muchos casos, que pertenezcan a una u otra categoría depende de cómo se los utilice. 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 mares.

En otros casos, la distinción no es tan clara: el agua para beber que extraemos del subsuelo, de los lagos o de los ríos, no solo 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. Estos son tres ejemplos de recursos renovables que pueden 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 o 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 metales, porque si bien después de usados los metales quedan dispersos en el planeta en concentraciones muy bajas, el costo energético para reutilizarlos puede ser mucho más alto que el costo de extraerlos de los yacimientos. Lo que determina su condición de renovables o no, es el costo de la

energía necesaria para volver a concentrarlos y reutilizarlos, ya que disponiendo de mucha energía de bajo costo no existirían minerales no renovables.

SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

Más allá de los recursos naturales propiamente dichos, en los últimos tiempos se ha producido una fuerte valorización de los bienes y servicios que el ambiente y los ecosistemas proveen al hombre. Se comenzó a hablar de los *servicios ecosistémicos*, que son los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas; son procesos ambientales que originan recursos y servicios⁴⁷. En el año 2005, en las Naciones Unidas, se reunieron científicos de todo el mundo y produjeron un importante documento en el cual agruparon a los servicios de los ecosistemas en cuatro clases: los servicios que nos brindan *aprovisionamiento*, como agua y alimentos; que producen *regulación*, como los que controlan el clima capturando y almacenando carbono; que nos dan *apoyo*, reciclando nutrientes o polinizando plantas de interés en agricultura, y *culturales*, como la recreación y el descanso⁴⁸.

EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

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 ecológica selecciona la eficiencia, maximizando la cantidad de biomasa por unidad de energía consumida; que nuestra explotación acelera la velocidad con la que la materia y la energía entran y salen de los sistemas vivientes,

⁴⁷ En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ha realizado un importante aporte al conocimiento de los servicios ecosistémicos de los ambientes de este país, publicación a la que se puede acceder en: http://www.agro.uba.ar/users/paruelo/libros/Laterraetal_ValoracionServEcosistemicos.pdf (Fecha de acceso: 21 de septiembre de 2016).

⁴⁸ Ver *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en* <http://millenniumassessment.org/es/index.aspx> (Fecha de acceso: 15 de diciembre de 2015).

en tanto que la naturaleza la retarda. Nosotros simplificamos las comunidades disminuyendo la diversidad específica, en tanto que la naturaleza tiende a aumentarla. La explotación extrae el exceso de producción e impide su capitalización y retarda o frena el avance de la sucesión en el ecosistema, tornándolo más inestable. Existe, entonces, una oposición entre nuestras explotaciones y la tendencia de la sucesión ecológica. Sin embargo, no sería así si nos consideramos parte del ecosistema que explotamos, 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.). Pero actualmente usamos mucha más energía de la que efectivamente necesitaríamos si conociésemos mejor las estructuras y dinámicas de los ecosistemas que explotamos.

Por tanto, 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; es necesario entonces conocer sus dinámicas. En el caso de un ecosistema, explotado o no, las tres funciones que podremos estudiar para conocer su dinámica son: resistencia, elasticidad y resiliencia, definidas respectivamente como: la capacidad para resistir fluctuaciones o explotación sin que haya cambios en su estructura y su funcionamiento; la capacidad de recuperar el estado estacionario inicial después de una explotación o perturbación; y la velocidad con la que se recupera el sistema después de un cambio.

Respecto de la estabilidad, podemos observar que existen ecosistemas frágiles y ecosistemas resistentes. Ecosistemas frágiles son los que pueden ser desplazados con relativa facilidad de su estado de equilibrio dinámico. Este es el caso de la selva, donde hay muchas especies interactuando con relaciones muy delicadas entre ellas. Donde, si por la caída de un árbol se genera un claro, este es rápidamente “cicatrizado” por el crecimiento de nuevos árboles o aun de árboles ya adultos pero que permanecían con pequeño tamaño. Sin embargo, si para explotarla se realizara una tala total de la especie dominante, lo más probable es que –aunque pase mucho tiempo– esa especie ya no volvería a crecer porque se degradaría el

suelo, y además después desaparecerían especies asociadas a la que explotamos (por ejemplo, epífitas, aves que se alimentan o nidifican en sus copas, pequeños mamíferos, etc.). Este tipo de ecosistemas son estables mientras no reciban una perturbación importante, como puede ser una gran explotación de sus recursos.

Un ecosistema resistente es el que conserva sus características aun después de una explotación relativamente intensa. Según Margalef (1974) puede decirse que son ecosistemas preadaptados a la explotación humana. Un ejemplo podría ser el pastizal pampeano. Allí, aunque se eliminen las gramíneas autóctonas dominantes y sean reemplazadas por cultivos de otras plantas herbáceas, y aunque se críen herbívoros domesticados de gran tamaño como vacas o caballos, el sistema sigue manteniendo las características de pastizal y tenderá a ocupar la fisonomía original cuando se abandonen los cultivos y se retiren los herbívoros domesticados –que en el pastizal pampeano ocupan el lugar de herbívoros nativos como las hormigas y pequeños roedores, y en algunas zonas otros de mayor tamaño como ciervos y guanacos. Solo un sobrepastoreo prolongado, o el agregado de biocidas para mantener un monocultivo, pueden desplazarlo de las condiciones características de la estabilidad original.

Ambos ecosistemas son estables, pero la selva puede dejar de serlo más fácilmente que el pastizal porque es más frágil. El sistema que se recupera más rápido luego de una perturbación es un sistema más elástico y aquel que resiste mayor intensidad de perturbaciones es más resiliente. Normalmente, los ecosistemas con estabilidad dinámicamente frágil son muy elásticos pero poco resilientes, como sucede con los bosques que son eliminados para hacer agricultura; si allí se abandonan los cultivos, el bosque no se repone porque la perturbación fue demasiado grande. En cambio, si las perturbaciones son pequeñas, como en la agricultura de algunos pueblos indígenas, los ecosistemas no pierden sus características.

Todos esos aspectos de la dinámica de los ecosistemas deberían ser estudiados y conocidos antes de emprender una explotación a gran escala de un recurso natural para saber evitar, controlar o mitigar el impacto ambiental que ha de producir. Para estudiar los diversos ecosistemas son necesarios especialistas de muchas áreas del conocimiento, porque hay que saber qué recursos naturales tenemos,

y entonces necesitamos, entre otros profesionales, botánicos que estudien y realicen censos de la flora existente, zoólogos que hagan lo mismo con la fauna, geólogos que estudien las rocas sobre las que se desarrolla la vida, tecnólogos especialistas en aplicar técnicas como la del análisis de imágenes satelitales y ecólogos que en los distintos ambientes integren e interpreten la información existente a medida que se va obteniendo, ya que en ecología no es necesario contar con todos los datos de un ecosistema, comunidad o población para saber cómo funciona⁴⁹.

En Argentina se realizan estos estudios y trabajos desde hace muchos años, con especial planificación e inversión estatal a partir de la segunda mitad del Siglo XX. Las Universidades Nacionales, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y las provincias han realizado y realizan importantes aportes a esos objetivos. También la Asociación Argentina de Ecología⁵⁰ aporta a ese conocimiento e inventario. Se cuenta ya con mucha información pero es necesario que se la use, se la tenga en cuenta y haya mayor intervención de los que conocen cómo son y cómo funcionan los diferentes ecosistemas para asesorar y tomar decisiones antes, durante y después de su eventual explotación⁵¹.

EXTRACTIVISMO

Los recursos naturales debieran ser explotados solamente para satisfacer necesidades de las poblaciones humanas buscando con los beneficios alcanzar un desarrollo sustentable y compatible con

⁴⁹ Sobre la teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales puede leerse el ensayo de Cristina Serafini que está en la página 186 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

⁵⁰ Ver www.asaeArgentina.com.ar/

⁵¹ Sobre la sustentabilidad del desarrollo puede leerse el ensayo *Recursos naturales y sustentabilidad* que está en la página 177 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

la preservación del recurso. Pero en Argentina y en los otros países de América Latina, en muchos casos y desde la época colonial⁵², los recursos naturales son explotados según un modelo extractivista⁵³, basado en la rápida obtención y acumulación de los beneficios económicos que se pueden obtener de las ventajas comparativas de los territorios. Ejemplos de este modelo son la megaminería⁵⁴, el monocultivo de caña de azúcar o de soja desplazando otros cultivos o desforestando selvas y bosques, hasta la obtención de gas y petróleo con técnicas convencionales y no convencionales. En casi ninguno de estos casos se incorporan a los costos de la aplicación del modelo, las externalidades negativas, es decir los perjuicios sociales en las poblaciones de los territorios afectados. La naturaleza es primariamente considerada parte del capital para producir bienes y servicios (Svampa y Viale, 2014).

UN MODELO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Un ejemplo de modelo de manejo de recursos naturales es el del rendimiento máximo sostenido (RMS) que nos explica cuál es

la máxima extracción de la producción excedente de una población animal o vegetal que puede ser explotada teóricamente de manera indefinida, es decir, sin afectar su capacidad de reposición. En general las poblaciones animales y vegetales tienen diversos rendimientos sostenidos a diferentes niveles de densidad poblacional, pero sólo uno de esos niveles es el que permite la extracción máxima (Rabinovich, 1981).

⁵² Sobre las formas de relacionarse con la naturaleza que tenían las culturas precolombinas con sus técnicas de explotación de los recursos, y las técnicas extractivas que emplearon después los europeos que ocuparon su territorio, existe una investigación realizada por los ecólogos Nicolás Gligo y Jorge Morello disponible en <http://docplayer.es/13332369-Notas-sobre-la-historia-ecologica-de-america-latina.html>. (Fecha de acceso: 24 de Septiembre de 2016).

⁵³ Sobre el extractivismo en la explotación minera ver: <https://territoriosendisputa.files.wordpress.com/2014/11/minerc3ada-transnacional-narrativas-del-desarrollo-y-resistencias-sociales2809d-1.pdf> (Fecha de acceso: 24 de septiembre de 2016).

⁵⁴ Más sobre la explotación minera: file:///C:/Users/Leonardo/Downloads/megamineria_a_cielo_abierto_ramos.pdf (Fecha de acceso: 24 de septiembre de 2016).

Veamos cuál es ese nivel que permite la extracción máxima. Sabemos que en un modelo de crecimiento sigmoideo, por debajo de la capacidad de carga K , la población tiene una velocidad de crecimiento que es mayor que cero. Entonces se produce un excedente de individuos que es posible extraer sin que el tamaño poblacional N varíe a largo plazo, y el RMS se obtiene cuando la velocidad de crecimiento es máxima, es decir, en el punto de inflexión de la curva sigmoidea, donde $N=K/2$ (ver Figura 5 en página 48). Si ese excedente no se extrae, la población seguirá creciendo hasta alcanzar la capacidad de carga, donde la velocidad de crecimiento es cero y ya no hay excedente.

Pese a su utilidad, el modelo de RMS tiene algunas objeciones: no resulta adecuado para el caso de recursos multiespecíficos, en los cuales se explotan varias especies a la vez (por ejemplo la pesca), donde es imposible lograr el RMS para todas las poblaciones. Tampoco considera adecuadamente las fluctuaciones que sufren las poblaciones, ya sea por variaciones en su capacidad de carga, o cambios climáticos. No obstante, ajustando la estimación de la capacidad de carga de la población cada año, el empleo del modelo puede dar buenos resultados de manejo.

Un ejemplo simple de la aplicación de este modelo podría ser el de la explotación de una población de mamíferos herbívoros silvestres. Si suponemos una población con una capacidad de carga K de 150.000 individuos, el rendimiento máximo sostenido se obtendría cuando hubiera 75.000 individuos, y si suponemos que una tasa de extracción que permitiera mantener el tamaño poblacional constante fuera de 2.000 individuos al año, la aplicación de este modelo serviría además para calcular el *costo de oportunidad*. Así por ejemplo, si por cada adulto que cazáramos pudiéramos obtener 1.000 pesos, aplicando RMS obtendríamos 2 millones de pesos al año. Pero si en lugar de hacer eso cazásemos todos los individuos de la población, es decir los 150.000, podríamos obtener 150 millones de pesos, y si los depositamos en un banco con una tasa de interés del 5 % anual obtendríamos una renta de 3.750.000 pesos. Comparando esta ganancia con la anterior vemos que aunque se agotase completamente la población se ganaría 1.750.000 pesos más por año, es decir que su eliminación sería más beneficiosa económicamente que la

conservación mediante una explotación sostenible. La decisión de hacer una cosa o la otra, como en todos los temas de nuestra relación con la naturaleza y con nuestros semejantes, debería estar controlada por principios y conocimientos que tengan en cuenta los efectos a mediano y largo plazo para la sociedad involucrada y no quedar librada a decisiones individuales⁵⁵.

LOS RECURSOS DE LA BIODIVERSIDAD

La *biodiversidad* 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. La biodiversidad es un recurso natural que tiene importancia fundamental en el mantenimiento de los ecosistemas naturales y también de los sistemas sociales en los que se desarrollan nuestras vidas.

En las últimas décadas, preservar la biodiversidad ha comenzado a ser una preocupación de algunos componentes de la sociedad, y en el transcurso de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se aprobó y firmó el Convenio sobre la diversidad biológica. Con tal convenio, los Estados se comprometieron a realizar esfuerzos para investigar e identificar los componentes de la diversidad biológica que sean importantes para su conservación y utilización sostenible; también a identificar procesos que tengan efectos perjudiciales para la preservación y uso sostenible de la diversidad biológica. Además, se propusieron adoptar medidas económica y socialmente idóneas que actúen como incentivos para la conservación y la utilización sostenible de los componentes de la diversidad biológica.

Las especies hasta ahora identificadas se aproximan al millón y medio. Pero son muchas más: un cálculo actual estima que existirían actualmente unos $8,75 \pm 1,3$ millones de especies (Mora et al., 2011)

⁵⁵ Un ejemplo de explotación sostenible de mamíferos silvestres se encuentra en el caso de la Vicuña en la Puna Altoandina. Recuperado de <https://youtu.be/XT-XyzWmkBY> Publicado el 30/10/2013. Video realizado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) para el Programa de Manejo y Uso de la Vicuña, a cargo de las investigadoras Bibiana Vilá, Yanina Arzamendia y Gisela Marcoppido.

y algunas estimaciones hablan hasta de 30 millones. Y las especies actuales solo representarían el 0.001 % de las especies que han existido desde que existen los seres vivos. 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 otros grupos de especies, al grupo de los dinosaurios.

Jorge Crisci (2000) ha escrito:

Todos los seres vivos que existen y han existido están hermanados en el origen. Cada una de las especies, incluyendo al hombre, 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. Pero, al mismo tiempo, cada una de las especies es un ensayo único y precioso de la naturaleza, donde se cruzan los fenómenos del universo, sólo una vez de ese modo, y nunca más. Y así cada especie, con su singularidad y universalidad, es un espejo secreto del inconcebible universo.

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. 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. Es decir que el conjunto de la biodiversidad podría ser aprovechado, ya que los genes de cualquier organismo podrían utilizarse mediante procesos biotecnológicos.

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 y recreacional; una selva tropical o un bosque templado o frío, pueden ser muy atractivos y placenteros para el hombre. Hay otra visión no utilitaria que nos habla del respeto por la naturaleza de la que somos indisolublemente una parte. Y este es un serio problema ético. En

la Constitución de la República de Ecuador, en el año 2008, se ha explicitado que la naturaleza tiene derechos, entre ellos el de la protección de los ecosistemas y la biodiversidad.

En estos tiempos, 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 et al., 1999).

El número de especies que son explotadas en estos tiempos y que se consideran valiosas en la civilización capitalista es muy bajo frente a la gran diversidad de especies domesticadas a lo largo de 10.000 años. Poco interés existe por las especies que no tienen una utilidad evidente e inmediata, solo interesa preservar las plantas o animales “que sirven para algo”.

Las listas de los catálogos de especies en peligro de extinción se ocupan de los animales con pelo o con plumas. Pero la mayor cantidad de especies que existen, y que se están extinguiendo por la alteración antrópica de los ambientes, no están al alcance del ojo humano, son de pequeño tamaño.

RESERVAS DE BIOSFERA

A la protección de la biodiversidad contribuyen las reservas de biosfera que son “zonas de ecosistemas terrestres o costeros/ marinos, o una combinación de los mismos, reconocidas como tales en un plano internacional en el marco del Programa MAB (el hombre y la biosfera, por sus siglas en inglés) de la UNESCO”. Estas reservas son creadas para impulsar la integración armónica de las poblaciones humanas con el resto de la naturaleza.

Las reservas de biosfera también prestan servicios ecosistémicos tales como de provisión (agrobiodiversidad, agua, etc.), regulación (clima, calidad del agua, control de erosión), culturales (turismo y recreación) y soporte (suelos, producción primaria). En América Latina y el Caribe hay 116 reservas. Argentina tiene un Sistema Nacional de Áreas Protegidas que abarca 22 millones de hectáreas. Estas áreas incluyen parques nacionales, reservas y monumentos

nacionales, cuyo propósito es conservar muestras representativas del gran mosaico ambiental que posee Argentina⁵⁶.

Otra explotación de recursos naturales, o uso de servicios de los ecosistemas de las reservas de la biosfera, la constituye lo que en estos tiempos llaman “turismo ecológico”. En este caso la conservación del recurso natural que es objeto del negocio turístico requiere, como en los casos estudiados anteriormente, estudios previos y monitoreo posterior para permitir su uso sostenible⁵⁷.

EL RECURSO SUELO, BASE DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre. Como ecosistema se forma y 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 sistema con un equilibrio dinámico y estable, con propiedades físicas y químicas dadas principalmente por la naturaleza de la roca madre, el relieve, el clima, la biota y el tiempo transcurrido.

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 varios metros de profundidad en las llanuras y otros de unos pocos centímetros en las de relieve escarpado.

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 usos de los suelos como recursos naturales varían en el tiempo y el espacio. Algunos usos, 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, la función biológica: son el soporte de una biodiversidad muy grande de microorganismos

⁵⁶ Recuperado de www.parquesnacionales.gob.ar/.

⁵⁷ Sobre el turismo ecológico puede leerse el ensayo que está en la página 259 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

responsables, entre otras cosas, de reciclar la materia orgánica, intervenir en la nutrición de las plantas superiores y mantener la agregación de partículas; la función alimentaria: es el sustrato y fuente de numerosos nutrientes para la vegetación terrestre, natural o cultivada, que provee la mayor parte de los alimentos para el hombre y los otros animales; la función de filtro: su porosidad permite la circulación de agua y gases, aptitud que aprovecha el hombre para depurar aguas sucias; la 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 et al., 2000).

De los 13.000 millones de hectáreas del planeta Tierra, aproximadamente el 28 % de la superficie tiene suelos cultivables; si agregamos los suelos de zonas áridas o anegables y que podrían ser utilizados, alcanzaríamos solo un 37 % de tierras cultivables, o sea unos 4.900 millones de hectáreas. En Argentina, de un total de 274 millones de hectáreas, en la mitad ya se realiza agricultura⁵⁸.

El uso de los suelos para agricultura en Argentina comenzó en la región andina, y en el siglo XIX, con la inmigración europea y el proyecto político agroexportador, comenzó a hacerse en las llanuras. Argentina, Uruguay y Brasil tienen en la región de los pastizales pampeanos un recurso natural de gran riqueza ecológica y económica. El aprovechamiento de los servicios ambientales que tiene, al mismo tiempo que en esa extensa región realicemos agricultura y ganadería sin degradarla, es una oportunidad que aún seguimos teniendo. Pero en una parte importante de esa región ya se han degradado muchos de los servicios que tenía, principalmente por la erosión eólica⁵⁹.

Los pastizales de planicies son muy importantes por su extensión, su riqueza biológica y su actual uso por la población humana, pero la región pampeana también involucra pastizales de serranías en Argentina, Uruguay y sur de Brasil de gran riqueza biológica y ecológica. Las sierras contienen una gran heterogeneidad ambiental, y una gran biodiversidad con especies cuyos linajes y distribución

⁵⁸ Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>

⁵⁹ Sobre el pastizal pampeano puede leerse el ensayo que está en la página 208 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>

las vinculan con las planicies pampeanas, los Andes patagónicos, los Andes tropicales, el monte-espinal, la Patagonia extrandina, y el sur de Brasil, y asimismo presentan especies endémicas, tanto de animales como de vegetales. Estos pastizales también tienen una gran importancia en la conservación de cuencas, pero están siendo sometidos al uso agropecuario e invadidos por malezas leñosas (pinos, retamas, *Ulex*, etc.) y herbáceas (Kristensen, et al, 1995; Pérez, et al, 2007).

DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos se encuentran amenazados principalmente por la pérdida de fertilidad y por la erosión. El primer caso es consecuencia de la explotación intensiva de cultivos, que con la extracción de su biomasa, tanto de forraje, fibras y semillas, 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. 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.

Por otro lado, un suelo de zonas húmedas que tenga poco drenaje probablemente se verá afectado por anegamiento y posterior salinización.

De las 280 millones de has de superficie de Argentina, 112 millones de has (40%) están afectadas en algún grado por procesos de degradación, principalmente por erosión. En las zonas húmedas con producción agrícola, la degradación por estas causas se incrementó a razón de 250 mil has/año en los últimos treinta años (1985-2015)⁶⁰.

En muchas zonas selváticas o boscosas de Argentina se extrae la madera y, en lugar de reforestar, se realizan actividades agrícolas, por lo general monocultivos, como algodón en Chaco, caña de azúcar y cítricos en Tucumán, yerba mate y té en Misiones y soja en casi todas. En otros lugares las especies y ecosistemas nativos, sean bosques o pastizales, son reemplazadas por árboles de crecimiento rápido. En

⁶⁰ Recuperado de <http://www.ambiente.gov.ar/?aplicacion=calendario&IdPagina=25>

Argentina se pueden ver ejemplos como estos en las plantaciones de pinos en Misiones y en la faja más húmeda del borde entre el bosque subantártico y la estepa patagónica; y de eucaliptos en Entre Ríos, Corrientes, Misiones y Santa Fe. Si bien esto no favorece tanto la erosión como el caso anterior, crea problemas de reducción de la diversidad biológica y cambios en las características físico-químicas y funcionales de los suelos. Un caso histórico que produjo la degradación del suelo y generó la emigración de las poblaciones humanas fue la explotación durante cincuenta años del quebracho colorado en la región chaqueña de Argentina por la empresa inglesa 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 al suelo con cobertura vegetal viva y muerta, la que impide que el agua escurra rápidamente arrastrando la parte 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 transportables por el viento. Estas medidas de control no implican grandes costos. Existen otras medidas como la construcción de terrazas o de presas, que son costosas y exigen acuerdos y una amplia participación por parte de todas las personas afectadas⁶¹. Por otro lado, los suelos albergan una biota particular, responsable de la descomposición de materia orgánica y del ciclado de nutrientes. En este sentido, el ecosistema edáfico juega un papel muy importante en la provisión de servicios ecosistémicos de los que depende, entre otras cosas, la propia agricultura.

⁶¹ Sobre la erosión del suelo como proceso condicionado por factores económicos y sociales se puede leer el ensayo que está en la página 219 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

En el siglo XX se desarrollaron los sistemas agrícolas modernos, los lugares donde intervenimos intensamente en el ambiente eliminando las especies que no nos son útiles y que compiten con nosotros por los mismos recursos. Lo hicimos con energía proveniente del carbón y del petróleo, la que nos permitió el cambio de una agricultura de subsistencia y de bajo impacto ambiental, a la actual agricultura de carácter casi industrial y con un impacto que ha contribuido a generar las causas de la actual crisis ambiental.

Desde hace miles de años, los humanos hemos realizado la selección artificial con diversos fines en algunas especies, pero durante los aproximadamente cien últimos hemos mejorado unas pocas especies vegetales que aportan la mayor parte de nuestra alimentación: maíz, trigo, arroz, papa, mandioca, soja, cebada y batata. También hemos realizado esa selección en gallinas, cerdos, cabras, ovejas y vacas, que son las escasas cinco especies que aportan la mayor cantidad de alimentos de origen animal. Y como normalmente las especies que han sido seleccionadas y domesticadas pierden la capacidad de crecer y desarrollarse en la vida silvestre, para mantenerlas no solo hay que suministrarles alimentos y nutrientes sino que también es necesario invertir en ellas más energía: luz, temperatura, medicamentos, techos, etc., energía que también, casi toda, proviene de los hidrocarburos.

Estamos hablando de sistemas agrícolas que requieren importantes contribuciones de energía para funcionar, la que puede ser aportada por mayor o menor mano de obra. Según esa mano de obra ocupada en función de la superficie cultivada, podemos considerar que existen dos tipos de empresas agropecuarias: por un lado está la realizada con mucha mano de obra, que es la agricultura de campesinos, colonos, minifundistas, pequeños productores, artesanos y de varias formas más, donde casi toda la familia participa en el trabajo; y por otro, la empresa agropecuaria industrial, que ocupa poca mano de obra especializada, explota grandes superficies y usa mucha tecnología y energía externa.

La primera, la realizada por los campesinos en todo el mundo, ocupa entre el 50 y el 70% de la mano de obra de la población

rural. Esa ocupación de mano de obra y producción son importantes cuando se tiene en cuenta que el 49% de la población mundial vive en zonas rurales, produce los alimentos que consume y tiene un excedente que exporta a zonas urbanas⁶².

En Argentina esa agricultura de campesinos ocupa el 53% del empleo rural, que asciende al 70% si se considera la mano de obra familiar y constituyen el 71% del total de los productores del sector agropecuario, que tienen menos del 15% de las tierras explotadas de acuerdo al censo realizado en 2011 por el Registro Nacional de Agricultura Nacional⁶³.

La característica de la agricultura industrial es la dependencia casi absoluta de los combustibles fósiles y de los insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. Se produce en grandes superficies con monocultivos que, aunque económicamente son más rentables, requieren más agroquímicos, y por la extrema simplificación los agrosistemas pierden el efecto estabilizador de la biodiversidad; también es consecuencia de esta agricultura la pérdida de variedad de especies cultivadas durante milenios y la pérdida de culturas rurales; a lo que hay que agregar la degradación de los suelos por pérdida de nutrientes, debido a que comúnmente se extrae más de lo que se repone (Sarandón, 2002). Se usan los mejores suelos y se trabaja a gran escala, poca mano de obra, mucha tecnología y gran capital, el pequeño y mediano campesino no puede competir, y tarde o temprano termina abandonando su trabajo en la tierra. Para expandir las fronteras de esta agricultura se eliminan bosques y todas las comunidades que los integran, incluidas las humanas, pierden sus hábitats. Además la expansión de las fronteras también expande los efectos secundarios, como el despoblamiento rural.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se crearon y fueron introducidas en la agricultura semillas de variedades muy productivas de cereales, como el trigo y el arroz, especialmente en la década de 1960. Se buscaba lograr altos rendimientos con variedades de madurez temprana y homogénea, y uso de grandes cantidades de fertilizantes y de pesticidas. Esas nuevas variedades, al tiempo

⁶² Recuperado de http://www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/Comm102WhoWillFeeSpa.pdf

⁶³ Recuperado de www.renaf.minagri.gob.ar (Fecha de acceso: 2 de mayo de 2015).

que muy productivas, eran muy sensibles al ataque de insectos y de hongos. A esa etapa de la agricultura mundial se la denomina “revolución verde”. Este fue un nombre irónicamente muy apropiado, porque en los países destinatarios se creó una nueva dependencia para producir alimentos, no solo de las empresas transnacionales productoras de las semillas sino también de las productoras de los fertilizantes y agrotóxicos, que en muchos casos son las mismas. Se incorporaron más tierras y tecnología, y en algunos países se han alcanzado los altos rendimientos, como en India, donde desde 1968 la producción de trigo se ha triplicado, en tanto que en ese mismo período la población se ha duplicado; lo mismo pasó con el arroz en toda Asia. Pero transcurridos más de cincuenta años, pese al uso de plaguicidas, los insectos destruyen alrededor de un tercio de los cultivos del mundo.

Con esa agricultura de altos insumos en monocultivos de maíz, trigo, arroz y soja, en el año 2011, la producción mundial alcanzaba alrededor de 2.200 millones de toneladas, cifra que a los argentinos puede decirnos algo si la comparamos con los 90 millones de toneladas que se produjeron en nuestro país ese mismo año con igual tecnología. Parte de esa producción se usa para elaborar carne de porcinos, vacunos y aves y, parte, para obtener energía como biocombustibles usando –particularmente para eso– maíz y soja.

En el mundo, en el año 2011 se produjeron alrededor de 314 Kg de granos por habitante, pero solo en USA fueron 800 Kg/habitante. Según esta producción se hacen cálculos que influyen en los precios en función de la existencia o no de déficit en el *stock* mundial remanente de granos; en el año 2011, el déficit es de 60 millones de toneladas. Ese *stock* son los granos en depósitos cuando se inicia la cosecha y es una medida de la seguridad alimentaria (se dice que “existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana”). En las últimas cuatro décadas, ese *stock* alcanzaba para 89 días de demanda; pero en el 2011 se redujo a 79 días por la mayor demanda de los países emergentes y por el uso de granos para producir energía de biocombustibles. En un intento de explicación, sin consideraciones

éticas ni de otro tipo, podemos decir que –según lo que se observa en la naturaleza– a los organismos vivos el almacenamiento, el stock permanente, las reservas, les permiten algún control sobre el futuro, ya se trate de alimentos, energía o elementos minerales, cosa que a las poblaciones les posibilita evitar cambios bruscos.

SOBRE LA EMPRESA AGROPECUARIA FAMILIAR Y LA AGROECOLOGÍA

La agricultura familiar genera más variedad, diversidad y estabilidad, mientras que la agricultura industrial produce paisajes monótonos e inestables pero de alta productividad. Antes era común, y aún se puede encontrar en algunas regiones, un paisaje dominado por pequeños productores con alternancia de grupos de consumidores: familias que viven donde cultivan y producen, y pequeñas poblaciones que reciben alimentos que aquellas les suministran (esto se observa también en comunidades naturales). En cambio ahora hay un paisaje dominado por grandes ciudades (que son como organismos heterótrofos) que se abastecen mediante la agricultura industrial de grandes extensiones con organismos autótrofos que tienen a su alrededor, y no solo con la agricultura, puesto que también se produce carne y leche a gran escala.

Sin embargo ahora –también en la empresa agropecuaria familiar, aunque en menor escala– se trabaja con técnicas que son propias de la agricultura tradicional e industrial puesto que ya se usan agroquímicos y semillas con cambios genéticos.

Ante la declinación de las bases naturales de los suelos que facilitaron los cultivos intensivos y prolongados, los perjuicios de todo tipo por el uso de agrotóxicos para el control de la salud de las plantas, y el consiguiente aumento de los subsidios de energía (Viglizzo, 2011; Sánchez, 2012), en estos tiempos se está proponiendo diseñar *agroecosistemas* basados en procesos que aumenten el reciclado de biomasa y optimicen la disponibilidad y el flujo equilibrado de nutrientes; aumenten la actividad biológica del suelo; minimicen las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del suelo a través de la cobertura; diversifiquen específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio; aumenten

las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad.

La agroecología trabaja por el desarrollo de los conocimientos ecológicos para aplicarlos al diseño de agrosistemas apuntando a lograr una actividad sustentable, basada en la productividad económica, la equidad social y la salud ambiental. Se trata de un cambio de paradigma de la economía para que sea compatible con la sustentabilidad de todas las actividades productivas de la sociedad. Entonces, para ayudar a lograr la transición desde la agricultura tradicional (de altos insumos de energía y agroquímicos) hacia la agricultura ecológica, se trabaja tanto con la dimensión técnico-ecológica como con la dimensión socio-cultural. Se considera como tema central estudiar la matriz comunitaria en que se inserta el agricultor (Sarandón, 2002). Porque trabajar comprometido con el respeto por el ambiente implica cambios muy grandes en el modo de vida⁶⁴.

LOS RECURSOS DE LOS BOSQUES NATIVOS Y DE LOS IMPLANTADOS

Los bosques nativos son aquellos que han crecido naturalmente, que no los ha plantado el hombre, que son producto de miles de años de interacción con los factores climáticos y edáficos de cada región en la que se encuentran⁶⁵. Son ecosistemas con gran diversidad de especies de plantas y animales, muchas de las cuales están tan especialmente adaptadas a ellos que normalmente no pueden sobrevivir en otros ecosistemas. Los servicios que ofrecen van desde ser refugio de miles de especies que viven en esos lugares, hasta regular el ciclo y calidad del agua y fijar mucho más dióxido de carbono que la vegetación de herbáceas. También determinan el clima en regiones próximas y lejanas incidiendo sobre la distribución de la nubosidad y las precipitaciones. Al *Homo sapiens* los bosques le han provisto de alimento, medicinas y fundamentalmente madera desde muchos

⁶⁴ Sobre agroecología y biodiversidad en América Latina y el Caribe existe la página <http://www.biodiversidadla.org> (Fecha de acceso: 20 de julio de 2016).

⁶⁵ Hay un libro online de libre acceso “*Ecología y manejo de los bosques de Argentina*” <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>.

miles de años atrás, por lo menos desde que comenzó a usar sus manos para hacer fuego, construir refugios, fabricar armas, embarcaciones, etc.

Se ha estimado, que Argentina a principios del siglo XX, habría tenido entre 60 y 100 millones de hectáreas de bosques nativos; pero durante ese siglo y hasta el presente, en muchos de ellos, la explotación ha consistido en el desmonte para agricultura y ganadería, no habiéndole asignado ningún valor a la continuidad de los *servicios* de la vegetación y la fauna originales. La explotación de estos recursos naturales ha consistido en la extracción de madera para leña, para los durmientes de los ferrocarriles y para construcciones de todo tipo, sin tener en cuenta ningún plan que tendiese a la protección del recurso, básicamente al mantenimiento del mismo en el tiempo. Se talaban árboles de centenares de años sin reponer, no ya ejemplares de la misma especie sino de ninguna otra, dejando los suelos en ciertos casos expuestos a la erosión o a la invasión de malezas, cuyo ingreso al interior del bosque se ve facilitado por la mayor luminosidad; y este ingreso de malezas muchas veces también facilita el ingreso del fuego.

En los comienzos del siglo XXI en Argentina quedan alrededor de 31 millones de hectáreas de bosques nativos distribuidos entre los bosques patagónicos, ubicados en las laderas montañosas a lo largo de la cordillera patagónica; en el bosque chaqueño, en las provincias de Chaco, Formosa, Salta, Santiago del Estero, Santa Fe y Córdoba; en la selva paranaense, de la provincia de Misiones; en las yungas en las laderas húmedas de las Sierras Subandinas del noroeste de Argentina (Salta, Jujuy, Tucumán) entre los 400 y 2500 metros sobre el nivel del mar; y en el espinal, que son bosques de pequeñas superficies discontinuos en un paisaje que va desde el sur de La Pampa y Buenos Aires hasta Corrientes, pasando por San Luis, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos⁶⁶.

De los bosques nativos, además de los productos tradicionales basados en la producción de los árboles, en muchos casos, con un

⁶⁶ Sobre la deforestación en la provincia de Córdoba ver en <http://www.unciencia.unc.edu.ar/2010/junio/deforestacion-agricultura-y-biodiversidad-apuntes>. (Fecha de acceso: 15 de julio de 2016).

manejo adecuado también se obtiene carne de bovinos, caprinos y ovinos en explotaciones silvopastoriles. El turismo es otra importante fuente de ingresos porque el paisaje de los bosques es un gran atractivo para el hombre de la ciudad, particularmente aquellos que se vinculan con bellezas escénicas (cataratas, lagos, montañas).

...Un comentario aparte merece la situación de los pueblos originarios o aborígenes en relación a los bosques nativos argentinos. Se estima una población aborigen de alrededor de un millón de personas, 50% de las cuales viven en relación directa con el bosque, es decir alrededor de 500.000 personas pertenecientes a unas diez etnias. Con el reconocimiento constitucional de los derechos pre-existentes sobre la tierra de estas comunidades, previsto en la reforma de la Constitución Nacional del '94, hoy existe un reclamo generalizado de reconocimiento de la tenencia de la tierra sobre vastas superficies forestales de la Argentina, tema no menor que deberá resolverse próximamente para tener claridad sobre el destino de nuestros bosques nativos y sus poblaciones ancestrales... (Brown, 2009)⁶⁷.

En Argentina, también existen bosques implantados que cubren una superficie de 1,2 millones de hectáreas. Las especies cultivadas son básicamente pinos en Misiones, eucaliptos en Entre Ríos, y álamos y sauces en el delta de río Paraná. En estos casos, los suelos son objeto de estudios que realizan especialistas con el fin de conocer la sostenibilidad de esas explotaciones en contraposición con usos alternativos de los mismos suelos⁶⁸.

En estos tiempos muchas regiones boscosas están siendo desmontadas para hacer cultivos de herbáceas anuales, como el maíz y la soja. Siendo la soja una planta de gran rusticidad, alta producción de granos y que se adapta a muchos climas, su cultivo

⁶⁷ Para conocer un caso de manejo forestal sustentable de un bosque nativo de Argentina se puede leer el ensayo que está en la página 223 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>

⁶⁸ Sobre cultivo de eucaliptos en Entre Ríos y sobre plantaciones en el delta del Paraná, se pueden leer los ensayos que están en las páginas 226 y 233 respectivamente de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

está dando origen a la ocupación no solo de los suelos agrícolas de la llanura pampeana sino también a los de bosques que se eliminan, particularmente en la ecorregión chaqueña (70% de la deforestación en la última década). Esto significa – sin una adecuada planificación y zonificación- perder para siempre animales, plantas, suelos y servicios que tienen los bosques, que son patrimonio de Argentina y de los que toda la sociedad siempre podría recibir beneficios, directa o indirectamente, a cambio de altas ganancias de corto plazo y muy probablemente escasa duración.

Ha dicho el ecólogo doctor Jorge Morello que:

...en este milenio tenemos totalmente claro que los bosques son valiosos por muchas razones más que la producción de madera. Cualquiera que haya convivido cierto tiempo con los Tobas, y los Wichi en el Chaco ha aprendido que los bosques son “farmacias vivientes”, “mercados de alimentos vivientes”, “fábricas de tinturas, resinas, gomo-resinas y látex”, “mercerías de fibras vegetales”. Ya sabemos que algunos bosques tropicales manejados para producción de frutos y látex rinden económicamente el doble que si se dedicaran a plantaciones intensivas o conversión para ganadería, y los bosques de clima templado-frío son más valiosos para conservar agua, suelo y hábitats para recreación que si se manejan solamente para producción de madera... (Morello, 2004).

El tema es muy serio y profundo, y para revertirlo son necesarios planes que aborden lo social y lo educativo ya que se trata de la escasa valoración de los recursos forestales y también de la escasa capacidad técnica para lograr que los bosques generen recursos tangibles que permitan que la sociedad los perciba de una manera diferente. En muchas partes de Argentina, en el año 2012 una hectárea con bosque valía menos que una hectárea sin bosque⁶⁹.

⁶⁹ Sobre las implicancias sociales y ambientales de este tema existe un video realizado por investigadores de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires que puede verse en <http://monitoreodesmonte.com.ar/prensa>

PLAGAS E INVASIONES BIOLÓGICAS

Se considera plaga a toda especie que por su tamaño poblacional en un determinado lugar, provoca daños o perjuicios considerables para la salud o la economía humanas. 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 (Brailovsky, 2005).

Las condiciones para que se desarrolle una plaga pueden ocurrir 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 (a los que entonces los llama plagas) 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 algunas de las especies naturales de ese sistema desplazadas 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, solo 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. En Argentina, la expansión de la frontera agrícola a partir de 1960 hacia zonas que ocupaban bosques nativos dio lugar a una gran plaga: la paloma torcaza (*Zenaida auriculata*) que provoca importantes pérdidas económicas en las cosechas de girasol, sorgo y soja y su control es prácticamente imposible mientras continúe ese uso del territorio; el INTA estimó que solo en la cosecha de girasol del año 2012 en el oeste de la provincia de La Pampa, la plaga de palomas produjo una pérdida de más de 10 millones de dólares⁷⁰. La paloma, que no es plaga en el ambiente natural, sí lo es en el ambiente modificado por la agricultura donde no tiene límites para su alimentación, pero también

⁷⁰ <http://cienciahoy.org.ar/2016/04/la-paloma-torcaza-un-problema-agricola-y-urbano/>
(Fecha de acceso: 10 de agosto de 2016).

puede constituirse en plaga una especie a la que se le han eliminado sus depredadores naturales, como sucedió a principios del siglo XX con la población de vizcachas en la llanura pampeana que era controlada por pumas y zorros, y que, al ser estos perseguidos, incrementó su número y en esos años fue una plaga que afectaba también la agricultura.

Otro aspecto la ocupación de los territorios por el hombre es que siempre 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 y puede también llegar a ser una plaga. 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. Este último fue introducido en 1946, y más de sesenta años después la descendencia invadió todo el archipiélago y ya es prácticamente imposible controlarlo. Los castores comen las ramas, las hojas y hasta la corteza de diferentes árboles y producen su muerte (Lizarralde y Escobar, 2000).

Otro caso es el de la cotorra, que estaba presente en los bosques próximos a la llanura pampeana, los bosques en galería de los ríos de la Mesopotamia, el sur de Brasil y los bosques de tala de la costa bonaerense, pero desde que comenzó la agricultura y la ocupación de la pampa por la actividad humana, esa región de Argentina ha sido totalmente invadida por la cotorra (*Myiopsitta monachus*) en menos de ciento cincuenta años. Allí produce perjuicios alimentándose de granos de girasol, maíz y otros cultivos (Bucher y Aramburu, 2014).

En la localidad de Jáuregui, partido de Luján, provincia de Buenos Aires, en los comienzos de la década de 1970 un señor que las tenía enjauladas, liberó unas diez ardillas de la especie *Callosciurus erythraeus*, roedora oriunda del sudeste asiático. Desde aquellos años ya se han reproducido tanto que en el año 2010 se las pudo encontrar en varias localidades próximas a Luján, también en la provincia de Córdoba (La Cumbrecita) y en la provincia de Santa Fe (Cañada de

Gómez). La expansión se debe a su propia reproducción y también a la captura y liberación intencional. Constituyen una plaga que ocasiona diversos daños, como estropear los árboles frutales y comer sus frutos, roer cables eléctricos, de teléfono, mangueras de riego, etc. y competir por los alimentos con especies nativas de esta zona que tienen nicho ecológico parecido; o alimentarse de huevos de algunas aves; también podrían ser transmisores de enfermedades⁷¹.

En el Río de la Plata, en el año 1991 se observó la presencia de un molusco, el mejillón dorado, *Limnoperma fortunei*, originario de China y el sureste asiático, y en el año 2012 ya había invadido amplias zonas de la Cuenca del Plata, hasta Paraguay y Brasil. Es una especie que compite con las nativas desplazándolas, llegan a encontrarse hasta 150.000 individuos por metro cuadrado (Darrigran y Darrigran, 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 y Darrigran, 2002).

También hay invasiones en ambientes marinos como ocurre en el caso de *Undaria pinnatifida*, que es un alga macroscópica de color pardo proveniente de Japón. Aparentemente los barcos pesqueros y comerciales, al liberar en el puerto el agua que traen de lastre, habrían liberado también esporas de este organismo que está colonizando la costa de Puerto Madryn y ya se ha dispersado por otras zonas de la costa patagónica, compitiendo con especies autóctonas como *Macrocystis pyrifera* (Casas y Schwindt, 2008).

En el año 2012, en Argentina, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación ha declarado a la especie *Didymosphenia geminata* como exótica invasora en todo el país. Se trata de una diatomea de agua dulce, un alga microscópica que crece formando masas mucilaginosas conocidas como moco de rocas, y se la encuentra en las rocas y otras superficies sólidas del fondo de arroyos y ríos de zonas frías.

⁷¹ Sobre la invasión por ardillas en Argentina puede leerse el ensayo que está en la página 240 de la edición electrónica de este libro, <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

CONTROL DE PLAGAS EN LA AGRICULTURA

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, es poco conocido el efecto que estos y sus productos de degradación causan sobre los organismos no destinatarios. Los métodos de *control biológico* son diversos⁷²:

1- Introducción o reintroducción en el ecosistema de los controles naturales de la especie plaga; hay que asegurarse de que el depredador de la plaga sea consumidor exclusivo de esta 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 roedores se redujo, comenzaron a comer todo lo que encontraban a su paso, aves de corral, huevos, etc.

2- Esterilizar individuos de la especie plaga, mediante radiaciones a machos criados en laboratorio y liberarlos en la zona donde se encuentra la plaga; esto, en especies cuyas hembras se aparean solo una vez y los machos varias veces, disminuye drásticamente la progenie, la población se reduce y puede llegar a eliminarse localmente.

⁷² Recuperado de <http://docplayer.es/8147381-Introduccion-a-la-teoria-del-control-biologico-de-plagas-deborah-fischbein.html> (Fecha de acceso: 10 de agosto de 2016).

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 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 en lugar de utilizar solamente medios de control químico⁷³.

EL RECURSO AGUA DULCE

El agua dulce es solo un 3% del agua que hay en el planeta. De ese porcentaje, el 75 % se encuentra almacenado en los glaciares y más del 24% conforma el agua subterránea. Menos del 1 % del agua dulce del planeta constituye los cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos, embalses y arroyos. Muchas de las civilizaciones también se fundaron cerca de cuerpos de agua dulce porque podían tomarla, la usaban para riego, para transporte, o para obtener recursos como la pesca. Con el tiempo, esos cuerpos de agua superficiales pasaron a ser los receptores de los desechos de la sociedad civilizada. Es así que ríos como el Támesis ya se hallaban contaminados en el siglo XV. El desarrollo de la tecnología permitió el tratamiento de los efluentes y el rescate de muchos residuos de modo que muchos cuerpos de agua pudieron recuperarse. Sin embargo, día a día, el desarrollo industrial y tecnológico genera nuevas sustancias contaminantes que

⁷³ Acerca de investigaciones realizadas sobre el control biológico de plagas, en la página 244 de la edición electrónica de este libro (<http://hdl.handle.net/10915/38507>) puede leerse un ensayo donde se describe el caso de una arañuela que es plaga de la frutilla, y que puede ser controlada por el ácaro depredador *Neoseiulus californicus*. En la página 251 del mismo libro hay un ensayo que a su vez describe una investigación sobre el control biológico y dinámica poblacional de una plaga en California.

tarde o temprano van a parar a las aguas superficiales y en muchos casos llegan a napas profundas. Este es el caso de los fertilizantes, metales pesados, hidrocarburos, muchos biocidas y aun muchos medicamentos que son evacuados a los cursos de agua superficiales alterando el funcionamiento de estos ecosistemas.

AGUAS SUPERFICIALES

Los cuerpos de agua superficial, arroyos, ríos y lagos, son un caso típico de demandas sociales contradictorias (esto ya fue lúcidamente formulado por Watt, 1978); son sistemas capaces de prestar un conjunto muy amplio de servicios ecosistémicos de las cuatro categorías mencionadas unas páginas antes; por ejemplo pueden proveer agua potable o pesca (servicios de *aprovisionamiento*), captura de carbono (un servicio de *regulación*), descomposición de materia orgánica y absorción de nutrientes (servicios de *apoyo*) y, como es obvio, pueden brindar esparcimiento y descanso (servicios *culturales*). Ahora bien, estos servicios no son totalmente compatibles entre sí; cuando un cuerpo de agua presta un intenso servicio de descomposición de materia orgánica y secuestro de carbono, probablemente tendrá un escaso valor como lugar de recreación o de aprovisionamiento de agua potable; es decir, las demandas son contradictorias y la “calidad” del sistema acuático como recurso admite más de una definición según los objetivos que se planteen como prioritarios. Aun así, es posible compatibilizar de alguna manera óptima la mejor calidad del recurso para satisfacer una combinación de servicios, pero hay que tener en cuenta que aquello que consideramos óptimo, es algo que fijamos de antemano y es arbitrario; también hay que decir, que cuando el sistema ofrece esa hipotética combinación óptima de servicios, no necesariamente se halla en un estado ecológicamente estable. Desde hace tiempo sabemos que los ecosistemas acuáticos pueden presentar estados alternativos localmente estables y que el salto entre un estado y otro puede ser provocado por cambios muy pequeños de las variables ambientales. El caso más conocido y estudiado es el de las lagunas (cuerpos de agua sin flujo y de poca profundidad) que pueden, a partir de un pequeño cambio en las densidades de poblaciones de algunos peces, pasar de un estado de

aguas muy turbias, con gran cantidad de fitoplancton en suspensión, a un estado de aguas claras, con muchas plantas vasculares sumergidas (Scheffer et al. 2001; Momo 2014); algo parecido pasa con los ríos que, cuando reciben materia orgánica, pueden pasar de golpe de un estado de *eutrofia* (con muchos nutrientes, alta producción primaria y una cantidad moderada de oxígeno disuelto) a un estado de *distrofia* (casi sin oxígeno, con descomposición anaeróbica de la materia orgánica, muchas bacterias, sin peces, con enorme acumulación de materiales parcialmente descompuestos). Todo esto nos obliga a prestar atención sobre cierta fragilidad de los ecosistemas que no siempre tenemos en cuenta.

Las aguas superficiales cumplen también la función de transporte y refugio de biodiversidad. Se ha comprobado que las aguas dulces y sus zonas vecinas son “puntos calientes” de biodiversidad en el planeta, ya que son utilizados tanto por organismos acuáticos como por muchos terrestres como lugares de alimentación y nidificación. La diversidad de plantas también presenta picos muy altos en la zona de transición entre el ambiente acuático y el terrestre. Un río de porte mediano, como el río Luján en Argentina, puede albergar entre aves, reptiles, mamíferos, peces, plantas vasculares, invertebrados y protistas, más de novecientas especies diferentes⁷⁴.

Otros servicios ecológicos brindados por las aguas superficiales son menos conspicuos pero muy importantes en el escenario climático mundial; los humedales son uno de los ecosistemas que más aportan al secuestro y fijación de dióxido de carbono; ecosistemas como los pantanos, los esteros y las lagunas son capaces de acumular grandes cantidades de carbono inmovilizado en los sedimentos y de esta manera contribuir a la mitigación del calentamiento global.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

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) y en otros se saca de sedimentos subterráneos. Estos

⁷⁴ Una síntesis de las características y de los usos de las plantas acuáticas la podemos encontrar en el ensayo de la página 256 de la edición electrónica de este libro: <http://hdl.handle.net/10915/38507>.

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 freático 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 directamente el impacto de las actividades humanas: se contamina por el uso excesivo de fertilizantes o pesticidas y también por la concurrencia 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.

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, existen tres grandes acuíferos debajo del freático. 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.

PREGUNTAS

1. ¿De qué depende que un recurso natural renovable pueda dejar de serlo y, en algunos casos, llegar a su extinción o a su agotamiento? (Recuerde las diferencias entre recurso natural renovable y recurso natural no renovable).

2. ¿En qué casos podemos hablar de ecosistema robusto o ecosistema preadaptado a la explotación humana?

3. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de control biológico de plagas?

¿Y cuando hablamos del control integrado de plagas?

4. ¿Conoce alguna de las causas de la extinción acelerada de especies en la actualidad? ¿Cuáles cree que son las especies que corren más riesgo de extinguirse las *r* estrategias o las *K* estrategias? ¿Conoce algunos ejemplos?.

5. ¿Qué es el rendimiento máximo sustentable de un recurso natural renovable? ¿Puede dar un ejemplo?

6. El suelo es un recurso renovable que en casi todo el planeta está siendo degradado. Explique algunas de las causas de esa degradación y también las técnicas que debieran tenerse en cuenta para asegurar su protección y uso sustentable.

7. ¿En qué casos hablamos de invasión biológica o contaminación por especies? ¿Conoce algunos ejemplos?

8. El programa económico y tecnológico que se conoce como la Revolución Verde trajo beneficios en la producción de granos de cereales, pero también produjo y sigue produciendo perjuicios a los sistemas agrícolas ¿cuáles son esos perjuicios? ¿Para qué países estaba especialmente destinada tal “revolución”?

9. ¿Puede explicar usted por qué existe una aparente (o sin “aparente”) oposición entre explotación de un recurso natural vivo y la tendencia de la sucesión ecológica? (Recuerde que la naturaleza cambia hacia un estado en el que, con igual o menor uso de energía, puede mantenerse una biomasa mayor).

10. ¿Cuáles son las diferencias más notables entre la agricultura industrial y la agricultura de campesinos?

11. En estos primeros años del siglo XXI, explotar con un manejo sustentable mil hectáreas de bosque nativo probablemente producirán menos ganancia de dinero que eliminándolo y sembrando soja en ese suelo. ¿Por qué haría usted una cosa o la otra? Fundamente su respuesta.

REFERENCIAS

- Alvarado, P. (2011). Producción de carne en Argentina. Recuperado de <http://www.vet.unicen.edu.ar>
- Aramendia, P., Fernández Prini, R. y Gordillo, G. (1995). ¿Buenos aires en Buenos? *Ciencia Hoy*, 6 (31), p.p. 55-64.
- Benachour, N., Seralini, G.E. (2009). Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chemical Research Toxicology*, 22, p.p. 97-105.
- Benamú, M. A., Schneider, M.I., Sánchez N.E. (2010). Effects of the herbicide glyphosate on biological attributes of *Alpaida veniliae* (Araneae, Araneidae), in laboratory. *Chemosphere*, 78, p.p. 871–876.
- Brailovsky, A. E. (2005). *Ecología en la biblia*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Milá.
- Brown, A. (2009). *Bosques Nativos de Argentina*. Recuperado de <http://www.proyungas.org.ar/publicaciones/pdf/cartillabosquesnativos.pdf>
- Bucher, E. H. y Aramburu R. M. (2014). La cotorra como especie invasora: el caso de las pampas. *Ciencia Hoy*, 24 (141), p.p. 41-47.
- Calzada, J. (2012). Argentina como productor y exportador de granos. Bolsa de Cereales de Rosario. Recuperado de <http://www.bcr.com.ar/Programa%20de%20Formacin/Argentina%20y%20la%20producci%C3%B3n%20de%20Granos%20Mayo%202012.pdf>.
- Campbell, B. (1985). *Ecología humana*. Barcelona, España: Salvat Editores S.A.
- Carrasco, A. E., Sánchez, N. E. y Tamagno, L. E. (2012). *Modelo agrícola e impacto socio-ambiental en la Argentina: monocultivo y*

agronegocios. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24722/Documento_completo__.pdf?sequence=3

- Carriquiriborde, P. (2010). Toxicidad de Glifosato en Peces Autóctonos: Estudios de Laboratorio y Campo. En Camino, M. y Aparicio, V. (Eds.). *Aspectos Ambientales del Uso de Glifosato*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA, p.p. 57-68. Recuperado de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-aspectos_ambientales_del_uso_de_glifosato__version_pa.pdf. (Fecha de acceso: 16 de agosto de 2016).
- Carson, R. (1980). *Primavera Silenciosa*. Barcelona, España: Ediciones Grijalvo S.A.
- Casas, G. y Schwindt, E. (2008). Un alga japonesa en la costa Patagónica. *Ciencia Hoy*, 18 (107), p.p. 31-39.
- Castañé, P., Sánchez Caro, A. y Salibián A. (2015). Water quality of the Luján river, a lowland watercourse near the metropolitan area of Buenos Aires (Argentina). *Environ Monit Assess*, 187, p. 645.
- Doi: 10.1007/s10661-015-4882-y
- Cauble K. y Wagner R. (2005). Sublethal effects of the herbicide glyphosate on amphibian metamorphosis and development. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 75, p.p. 429-435.
- Colinvaux, P.A. (1980). *Introducción a la Ecología*. México: Ed. Limusa.
- Connell, J. M. (1975). Some mechanisms producing structure in natural communities: a model and evidence from field experimets. En M. L. Cody y J. Diamond (Ed.), *Ecology and evolution of communities*. Cambridge, Massachussets: Harvard University Press.
- Crisci, J. (2000). La biodiversidad como recurso vital de la Humanidad. Recuperado de http://www.anav.org.ar/trabajos_publicados/9/crisci.pdf (Fecha de acceso: 15 de marzo de 2015).

- Damborenea, M. C. y Darrigran, G. (2002). Un sudamericano invade Asia. *Ciencia Hoy*, 11 (66), p.p. 24-30
- Darrigran, G. y Darrigran J. (2001). El mejillón dorado: una obstinada especie invasora. *Ciencia Hoy*, 11 (61), p.p. 20-23.
- Ehrlich, P. y Ehrlich, A. (1975). *Población, recursos y medio ambiente*. Barcelona, España: Editorial Omega. control
- Giorgi, A. y Malacalza, L. (2002). Effect of an industrial discharge on water quality and periphyton structure in a pampean stream. *Environ Monit Assess*, 75(2), p.p. 107-19.
- Gluszczak, L., Dos Santos Miron, D., Crestani, M., Braga Da Fonseca, M., De Araujo Pedron, F., Duarte, M.F., & Pimentel Vieira, L. (2006). Effects of glyphosate herbicide on acetylcholinesterase activity and metabolic and hematological parameters in piava (*Leporinus obtusidens*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65 (2), p.p. 237-41.
- Halffter, G., Morello J., Mateucci S. y Solbrig O. (1999). La biodiversidad y el uso de la tierra. En S. D. Matteucci, O. T. Solbrig, J. Morello y G. Halffter (Eds). *Biodiversidad y Uso de la Tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba, p.p. 17-29.
- Holm, E. (1988). Environmental restraints and life strategies. An habitat template matrix. *Oecologia*, 75, p.p. 141-145.
- Hurtado, M. (1993). El recurso suelo: su degradación. En F. Goin y R. Goñi (Eds.), *Elementos de Política Ambiental* (pp 133-141). La Plata, Argentina: Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires.
- Hutchinson, E. (1981). *Introducción a la ecología de poblaciones*. Barcelona, España: Editorial Blume.

- Koch, O. R., Cravero De Koch, A. A. M. y Farr, S. M. (1993). Patología Humana y Medio Ambiente. En F. Goin y R. Goñi (Eds.), *Elementos de Política Ambiental* (pp 673-691). La Plata, Argentina: Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires.
- Kristensen M. J. y Frangi, J.L. (1995). Sierra de la Ventana: una isla de biodiversidad. *Ciencia Hoy*, 5(30), p.p. 25-34.
- Lajmanovich, R.C., Sandoval, M.T. & Peltzer, P.M. (2003). Induction of mortality and malformation in *Scinax nasicus* tadpoles exposed to glyphosate formulations. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(3), p.p. 612-618.
- Lizarralde, M. S. y Escobar, J. M. (2000). Mamíferos exóticos en la Tierra del fuego. *Ciencia Hoy*, 10 (56), p.p. 52-63.
- Lugo, A. E. y Morris, G. L. (1982). *Los sistemas ecológicos y la humanidad*. Washington, DC, Serie Biología, Monografía N° 23: Organización de los Estados Americanos.
- Mac Arthur, R. H. & Wilson, E. O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton. New Jersey: Princeton University Press.
- Mac Cormack, W. P. y Ruberto, L. A. (2003). Eliminación de hidrocarburos en la Antártida. *Ciencia Hoy*, 13 (77), p.p. 40-47.
- Malthus, Thomas R. (1846). *Ensayo sobre el principio de la población*. Madrid. Recuperado de https://books.google.com.ar/books/about/Ensayo_sobre_el_principio_de_la_poblacion.html?id=8TdBY3XYiAC&redir_esc=y (Fecha de acceso: 11 de julio de 2016)
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Barcelona, España: Editorial Omega.
- Margalef, R. (1980). *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Barcelona, España: Editorial Omega.

- Margulis, L. y Sagan, D. (1995). *¿Qué es la vida?*. Barcelona, España: Tusquets Editores.
- Menéndez-Helman, RJ, GV Ferreyroa, M dos Santos Afonso y Salibián, A. (2012). Glyphosate as anacetylcholinesteraseinhibitor in Cnesterodondecemmaculatus. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 88, p.p. 6-9.
- Menéndez-Helman, R.J., Miranda, L.A., dos Santos Afonso, M. y Salibián A. (2015). Subcellular energy balance of Odontesthesbonariensis exposed to a Glyphosate-based herbicide. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 114, p.p. 157-163.
- Mirkin, G. A., Spatz, L., González Cappa, S. M. y Quintana, M. (2000). La esquistosomiasis: una de las enfermedades parásitas más difundidas en el mundo. *Ciencia Hoy*, 10 (56), p.p. 30-41.
- Molina, M. (1996). Los clorofluocarbonos y el ozono estratosférico: un problema global. *Ciencia Hoy*, 6 (36), p.p. 51-61.
- Momo, F.R. (2014). Vivir a los saltos. Revista *Eu!!*, Número 4: 26 – 34.
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B., Worm, B. (2011). How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol* 9(8): e1001127. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Morello, J. (2004). El conocimiento sobre los bosques de Argentina, su manejo y su conservación: ¿Llegamos a tiempo? En Arturi, M.F, Frangi, J.L. y Goya, J.F. (Eds.). *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*. Prólogo. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>
- Morello, J., Buzai, G., Baxendale, C., Rodríguez, A.F., Mateucci, S., Rodríguez, A., Godagnone, R. y Casas, R. (2000). Urbanismo y consumo de tierra fértil. *Ciencia Hoy*, 10 (55), p.p. 50-62.

- Odum, E .P. (1972). *Ecología*. México: Nueva Editorial Interamericana.
- Pérez, G.L., Torremorell, A., Mugni, H., Rodríguez, P., Vera, M.S., Do Nascimento, M., Allende, L.,... & Zagarese, H. 2007. Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecological Applications*, 17(8), p.p. 2310–2322.
- Pianka, E., (1982). *Ecología Evolutiva*. Barcelona, España: Ed. Omega.
- Piccolo, A. & Celano, G. (1994). Hydrogen-bonding interactions between the herbicide Glyphosate and water-soluble humic substances. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11, p.p. 1737-1741
- Ponting, C. (1992). *Historia verde del mundo*. Barcelona, España: Editorial Paidós.
- Rabinovich, J. E., (1981). Modelos y catástrofes: Enlace entre la teoría ecológica y el manejo de los recursos naturales renovables. *Interciencia*, 6 (1), p.p. 12-21.
- Rapoport, E. H. (1979). Tácticos y estrategias r, K y “S.O.S.”. En J. Rabinovich y G. Halfter (compiladores). *Tópicos de ecología contemporánea*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rapoport, E. H. (2003). Valor nutricional de las malezas comestibles. *Ciencia Hoy*, 13 (76), p.p. 40-47.
- Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N. & Seralini, G.E. (2005). Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives*, 113, p.p. 716-720.
- Rigacci, L.N., Giorgi, A.D.N., Vilches, C.S., Ossana, N.A. y Salibián, A. (2013). Effect of a reservoir in the water quality of the Reconquista River, Buenos Aires, Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (11), p.p. 9161-9168. Recuperado de DOI 10.1007/s10661-013-3243-y

- Sahade, R., Lagger, C., Torre, L., Momo, F., Monien, P., Schloss, I., Barnes, D.,...& Tarantelli, S. (2015). Climate change and glacier retreat drive shifts in an Antarctic benthic ecosystem. *Science Advances*, 1 (10), p. 1-8. Disponible en DOI: 10.1126/sciadv.1500050
- Sánchez, N. (2012). Modelo actual de desarrollo agrícola de la Argentina. En Carrasco, A. E., Sánchez, N. E. y Tamagno, L. E. *Modelo agrícola e impacto socio-ambiental en la Argentina: monocultivo y agronegocios*. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24722/Documento_completo_.pdf?sequence=3
- Sánchez-Bayo, F. (2011). Impacts of Agricultural Pesticides on Terrestrial Ecosystems. En F. Sánchez-Bayo, van den Brink, P.J. y Mann, R. M. (Eds.). *Ecological Impacts of Toxic Chemicals* (pp. 63-87). Bentham Science Publishers. Recuperado de 10.2174/97816080512121110101
- Santadino, M., Coviella, C. & Momo, F. (2014). Glyphosate sublethal effects on the population dynamics of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water, Air and Soil Pollution*, 225, p.p. 2207
- Sarandon, S. (2002). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. La Plata, Buenos Aires: Ediciones Científicas Americanas. Recuperado de <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/agroecologiaelcamino.pdf>
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J., Folke, C. y Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413, p.p. 591 – 596.
- Schneider, M. I., Sánchez, N., Pineda, S., Chi, H. y Ronco, A. (2009). Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): ecological approach. *Chemosphere*, 76, p.p. 1451-1455.
- Slobodkin, L. B. (1966). *Crecimiento y regulación de las poblaciones animales*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba.

- Svampa, M. y Sola Álvarez, M. (2010). Modelo minero, resistencias sociales y estilos de desarrollo: los marcos de discusión en Argentina. *Ecuador Debate* 79:105-126. Recuperado de repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/3526 (Fecha de acceso: 20 de septiembre de 2016).
- Svampa, M. y Viale, E., (2014). *Maldesarrollo. La Argentina del extractivismo y el despojo*. Buenos Aires, Argentina: Katz editores.
- Vera, M.S., Lagomarsino, L., Sylvester, M., Pérez, G.L., Rodríguez P., Mugni, H., Sinistro, R., ... y Pizarro H.. (2010). New evidences of Roundup (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. *Ecotoxicology*, 19, p.p. 710–721.
- Viglizzo, E.F. y Jobbágy, E. (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Villalba, A. (2009). Resistance to Herbicides. Glyphosate. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-
- Wackernagel, M., and Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Philadelphia: New Society Publishers.
- Wackernagel, M., Schulz, N.B., Deumling, D., Linares, A.C., Jenkins, M.,... Randers, J. (2002). Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 99, p.p. 9266–9271. Recuperado de <http://www.pnas.org/cgi/reprint/99/14/9266.pdf>. (Fecha de acceso: 4 de diciembre de 2015).
- Zlatar, Y. (1994). Los derrames de petróleo, su impacto ambiental. *Revista Museo*, 1(4), p.p. 79-82. Recuperado de <file:///C:/Users/Leonardo/Downloads/RevMuseoCNv1n4Comprimido.pdf> (Fecha de acceso: 12 de julio de 2016).

GLOSARIO

Acuífero Formación geológica formada por agua infiltrada desde el suelo y acumulada en depósitos subterráneos que fluyen y se renuevan lentamente.

ADN Ácido desoxirribonucleico. Macromolécula que contiene la información genética y que se encuentra en los cromosomas de todas las células de los organismos.

Adsorción Fenómeno físico de superficie caracterizado por la adhesión sin que se interpongan uniones químicas.

Agente etiológico Organismo vivo o sustancia inerte capaz de producir una enfermedad.

Agrotóxicos Son sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, que se utilizan en la agricultura para eliminar animales y vegetales que son plagas o enfermedades que perjudican las plantas cultivadas, especialmente en cultivos intensivos.

Alelopatía Efecto de productos excretados por algunas especies de plantas que inhiben el crecimiento de otras especies de plantas y animales a su alrededor.

Ambiente Es el escenario donde desarrollan sus actividades los organismos vivos y está formado por todo lo que los rodea: luz, aire, agua, sonidos, olores, artefactos, etc., incluyendo a los otros organismos.

Antibiosis Efecto producido por microorganismos que, en determinados momentos de su desarrollo, excretan al ambiente sustancias que inhiben el crecimiento de otras.

Antrópico Algo de origen humano, humanizado, opuesto a lo natural.

Antropozoonosis Enfermedades causadas por agentes en cuyo ciclo de vida quedan al mismo tiempo involucrados seres humanos y otros animales.

ARN Ácido ribonucleico, que transcribe el código del ADN y lo traduce a proteínas. Es también el material genético de muchos virus.

Atmósfera oxidante Es la que contiene una concentración de oxígeno como la actual, cercana al 21% en volumen.

Atmósfera reductora Es la que contiene muy poco oxígeno, como la que existió en la Tierra hasta que proliferaron las cianobacterias capaces de fotosintetizar y liberar oxígeno. Por entonces la concentración de oxígeno era de solo una parte en 100.000.000.000 en volumen (1^{-9} % en volumen).

ATP Trifosfato de adenosina. En la célula es el principal transportador de la energía.

Autótrofos Organismos que basan su metabolismo en la captación de la energía de la luz.

Bentónico Que pertenece al bentos.

Bentos Se refiere a aquella zona de los ambientes acuáticos que ocupan el espacio que va desde las márgenes, riberas o costas hasta las profundidades. Los organismos y comunidades bentónicas son los que habitan estas zonas.

Bifenilos policlorados Grupo de hidrocarburos clorados tóxicos con capacidad de biomagnificación en los organismos vivos.

Bioacumulación Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en los organismos vivos que hace que en estos se alcancen concentraciones más elevadas que las que tiene el ambiente.

Biocida Es todo compuesto químico usado en el control de organismos que son plagas o patógenos.

Biodiversidad Es la variedad de organismos que hay en determinado lugar o región (incluye por extensión la biodiversidad genética y de ecosistemas).

Bioma Es una zona con similares condiciones climáticas y similares comunidades de plantas, animales y organismos del suelo; los biomas son ecosistemas de gran extensión. Por ejemplo biomas de bosque o de pastizales de llanura.

Biomagnificación Incremento de alguna sustancia química, generalmente liposoluble de lenta degradación, a lo largo de las cadenas y redes tróficas. En los niveles tróficos más altos puede producir trastornos severos.

Biomasa Peso total vivo que habitualmente se expresa como peso seco. En general se presenta como peso por unidad de área o volumen.

Biorremediación Es el aprovechamiento de las capacidades metabólicas de los organismos vivos para la eliminación de

contaminantes mediante la utilización de tecnologías simples que permiten acelerar la biodegradación natural de tales contaminantes.

Biota Es la lista de especies de la fauna y de la flora de un ecosistema.

Biotopo Es el espacio geográfico, el lugar, donde se desarrolla una comunidad; presenta condiciones ambientales físicas y químicas uniformes.

Bomba biótica Teoría que sostiene que los bosques controlan el movimiento de las precipitaciones.

Cadena trófica (o cadena alimenticia) Cadena imaginaria de eslabones formada por las conexiones entre especies de organismos, cada una de los cuales come del eslabón precedente.

Capacidad de carga (K) Número de individuos de una población que puede sostenerse con los recursos de un hábitat; en las ecuaciones logísticas y otras ecuaciones sigmoideas de crecimiento poblacional, la K está dada por la asíntota o meseta.

Clímax Teórica etapa final de la sucesión ecológica donde la comunidad ha alcanzado el estado de mayor equilibrio dinámico con el ambiente.

Comensalismo Relación entre especies en la que una resulta beneficiada y la otra no resulta perjudicada ni beneficiada.

Concentración letal media (CL-50) es la concentración que provoca la muerte de la mitad de los organismos expuestos a una sustancia química. Al indicar la CL-50 se requiere que se especifiquen las condiciones del ensayo con el que se la determinó. La CL-50 es una expresión cuantitativa de la toxicidad aguda de una sustancia disuelta en agua: cuanto más pequeño es el valor de la CL-50 de una sustancia, mayor es su toxicidad.

Conectividad Refiere a la cantidad de interacciones o conexiones que hay dentro de un sistema.

Control biológico Uso de enemigos naturales en el control de organismos plaga.

Costo de oportunidad Es el costo, lo que se deja de ganar, por una oportunidad (A) no aprovechada al elegir la oportunidad (B) para realizar en ese mismo tiempo, con el mismo capital o recurso (véase en este libro el caso de explotar con RMS una población de mamíferos herbívoros silvestres en lugar de cazarla en su totalidad

y poner el dinero obtenido en un banco con una tasa de interés que diera una ganancia mayor).

DBO Demanda biológica de oxígeno Es el oxígeno que consumen las bacterias en determinados volumen de agua, tiempo, temperatura y en oscuridad. Nos indica el consumo de materia orgánica.

Dinámica poblacional Variaciones espacio-temporales de la densidad poblacional. Su estudio implica conocer las causas que producen dichas variaciones.

Disposición Con este término se define al traslado de material contaminante a suelos previamente seleccionados y su vertido en los mismos sin ningún tratamiento posterior.

Distrofia Mal funcionamiento de alguna de las funciones de los organismos o de las comunidades.

Diversidad específica Medición de la variedad de especies en una comunidad que tiene en cuenta la abundancia relativa de cada una de ellas.

DQO (Demanda Química de Oxígeno) Es la cantidad de oxígeno necesaria para degradar las sustancias orgánicas que no degradan los organismos, en un tiempo y volumen de agua determinados.

Ecotono Zona de transición entre dos comunidades diferentes.

Efecto invernadero Calentamiento de la atmósfera terrestre provocado por la radiación de onda larga que no puede dispersarse en la estratosfera debido al aumento del dióxido de carbono y otros gases contaminantes dentro de la atmósfera.

Eficiencia En un sistema es la relación entre la variable dependiente o de salida y la variable independiente o de entrada, o una de estas en caso de ser varias.

Elementos radioactivos Elementos químicos en los que núcleos inestables emiten espontáneamente partículas de energía radiante según una tasa constante.

Endemias Son las enfermedades que siempre están presentes en regiones de determinadas condiciones ambientales.

Energía exosomática De ella hablamos para referirnos a todas las energías que se mueven por fuera de los organismos vivos pero que les son funcionales. Por ejemplo el movimiento del aire para las aves, del agua para los peces y la corriente eléctrica para los hombres.

Energía libre En las transformaciones de la energía, es la medida del cambio entre la energía potencial de los estados inicial y final. Es la parte de la energía transformable en trabajo; en los seres vivos, es la energía que es utilizable a partir de los alimentos que ingieren.

Entropía Medida del desorden de cualquier sistema.

Epidemia Enfermedad cuyo número de casos excede al que normalmente se da en una determinada región en un determinado tiempo.

Esmog Mezcla compleja de contaminantes del aire constituida por agua gaseosa, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas sólidas diversas.

Especie Categoría discreta de organismos, con capacidad de reproducción y de dejar descendencia fértil.

Estabilidad Capacidad de un sistema de volver al estado inicial tras recibir alguna perturbación.

Estado estable o estacionario Es el de aquel sistema en el que la suma de los flujos de entrada es igual a la de los de salida.

Eutrofización Se refiere al proceso por el cual un cuerpo de agua acumula un exceso de nutrientes; normalmente es producido por escorrentía de superficie conteniendo nitrógeno y fósforo, nutrientes que originan gran crecimiento de organismos autótrofos.

Fenotipo Características observables de un ser vivo que son la expresión de la interacción del genotipo con el ambiente.

Filogenia Es la rama de la biología que estudia las relaciones de una especie con otras, es decir, el origen y desarrollo evolutivo de los de seres vivos y el grado de parentesco entre ellos.

Fitoplancton Conjunto de organismos vegetales y bacterias libres, suspendidas en el agua cuya capacidad de movimiento es por lo general menor que la del agua.

Genotipo Características genéticas que determinan las estructuras y funciones de las células y de los organismos.

Hábitat Lugar de condiciones apropiadas donde vive un organismo, especie o comunidad animal o vegetal. Es el lugar físico o espacio concreto donde se expresan los factores ambientales. Por ejemplo, se puede hablar de hábitat acuático, hábitat terrestre, hábitat de las aves, hábitat de los peces.

Heterótrofos Organismos que utilizan la materia orgánica de otros organismos como su fuente de energía y nutrientes.

Hollín Es un producto en base al carbón, de color gris blancuzco o negro, formado por pequeñas partículas, las que son emitidas a la atmósfera durante la combustión, particularmente de los hidrocarburos.

Homeostasis Mantenimiento constante de las condiciones internas del organismo vivo aunque el ambiente externo varíe.

Homólogo Que tiene origen evolutivo similar (por ejemplo las alas de las aves y nuestros brazos).

Huella del ser humano Para algunos autores es la superficie de la tierra que se necesitaría para producir -de modo sostenible- los bienes y servicios que requiere un ser humano.

Huella ecológica Es un indicador del espacio productivo necesario para suministrar los recursos y absorber los residuos generados por una población humana en su entorno, que se mide en unidades de superficie equivalentes a la hectárea productiva por persona.

Impacto ambiental Se refiere a la alteración de cierta magnitud o complejidad que produce en el ambiente, o en alguno de los componentes, cualquier actividad humana o de la naturaleza. En general, dicha alteración representa un cambio neto (positivo o negativo) en la salud del hombre o en su bienestar.

Impacto ambiental acumulativo “aquel efecto que, de prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto “ (Paruelo et al, 2011).

Incidencia Número de nuevos casos de una enfermedad en una población en un tiempo dado.

Invasión biológica También llamada contaminación biológica, se refiere a la introducción de una especie en un ambiente nuevo para ella, en el que carece de controles biológicos y puede convertirse en plaga.

Ley de la productividad marginal decreciente Al incorporar unidades adicionales a un factor productivo, la productividad responde con incrementos, pero cada incremento es menor hasta que la respuesta se detiene.

Metales pesados Son aquellos elementos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. Ejemplos: Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Estaño y Cinc.

Modelo logístico Representación matemática de crecimiento de una población que incorpora el efecto de la densidad sobre la velocidad de crecimiento.

Modelos matemáticos Representación cuantitativa de las relaciones entre las partes de un sistema.

Mutación Cambio espontáneo o inducido en las moléculas de ADN y de ARN.

Mutualismo Relación entre dos especies con la que ambas se benefician pero que pueden vivir de modo independiente (ver **simbiosis**).

Nanómetros Mil millonésima de metro, 10^{-9} .

Nicho ecológico Se refiere a todas las características (químicas, físicas, biológicas) de un ambiente que determinan la posición de un organismo o una especie en un ecosistema; comúnmente se lo equipara con la “profesión” o papel de esa especie en el ecosistema.

Nivel de daño económico Densidad de la plaga por encima de la cual se produce un daño económico por pérdidas de rendimiento o calidad de la producción.

Nivel trófico (trófico, de *trofos*, que significa alimento) se refiere a la posición ocupada por un organismo en una cadena o en una trama alimenticia. Es decir, a la “altura” o “distancia” a la que se encuentra un organismo en relación a los vegetales con clorofila, que constituyen el primer nivel trófico. Los herbívoros se identifican como del segundo nivel trófico y así sucesivamente.

Niveles guía Son las concentraciones máximas de sustancias o elementos permitidas por las normas de uso.

Ozono Molécula de tres átomos de oxígeno.

Paleozoico Refiere a una de las eras en que se divide la historia geológica de la Tierra. En el esquema cronológico, esa historia comienza hace unos 570 millones de años y finaliza hace unos 240 millones.

Pandemia Enfermedad infectocontagiosa que puede extenderse por uno u más continentes; un ejemplo es el SIDA y el cólera hace algunos años.

Parásito Organismo que se alimenta de las sustancias elaboradas por otro organismo (llamado hospedador) cuando ambos están asociados de manera más o menos permanente en estado de equilibrio inestable.

Parasitoides Se denomina así a los organismos cuyas larvas crecen como parásitos de otros organismos, alimentándose de sus tejidos hasta completar su estadio larval.

Pasivos ambientales Son los daños ambientales que dejan, en términos de contaminación y del deterioro de los ecosistemas, las actividades de explotación o de industrialización de recursos naturales por parte de las empresas a lo largo del tiempo. Y es por tanto la obligación financiera que tienen las personas o empresas para la reparación de los daños al ambiente o por el incumplimiento de la legislación ambiental.

Pelágico Se refiere a aquella zona de los ambientes marinos que ocupan el espacio de las aguas abiertas, alejada de la costa. Los organismos y comunidades pelágicas son los que habitan estas zonas.

Perifiton Comunidad de organismos que se desarrolla adherida o estrechamente vinculada con cualquier objeto o superficie sólida sumergidos en el agua.

Plaguicidas En la agricultura y en la epidemiología ambiental se refiere a una serie de sustancias químicas o agentes usados para el control de plagas.

Prevalencia Número total de casos de una enfermedad durante un determinado tiempo.

Principio precautorio Es el que obliga a suspender o cancelar actividades que amenacen al ambiente pese a que no existan pruebas científicas suficientes que vinculen tales actividades con el deterioro de aquel.

Producción primaria Se refiere a la producción de los vegetales capaces de sintetizar su propia materia orgánica a partir de la energía solar y dióxido de carbono y otros elementos inorgánicos.

Productividad Para algunos es la relación entre la producción y alguno de los factores que intervienen en ella, por ejemplo la biomasa, relación esta conocida también como tasa de renovación; para otros, productividad es sinónimo de producción, que es la medida del flujo de energía por unidad de espacio y de tiempo.

Productores primarios Son los organismos que contienen clorofila y con ella pueden producir materia orgánica a partir de elementos inorgánicos de la energía proveniente de la luz.

Productores secundarios Son los organismos que para su metabolismo dependen de la energía contenida en la materia orgánica de otros organismos.

Red trófica Trama de las muchas relaciones de alimentación interconectadas que se pueden encontrar en la mayoría de las comunidades naturales.

Reservorio Cuando referimos al control de plagas denominamos reservorio al lugar donde las especies plaga o sus controles naturales pueden mantenerse fuera de alcance de nuestras acciones, y son las reservas genéticas que, con las condiciones propicias, pueden recuperar el tamaño poblacional por el cual las consideramos plagas a unas y controles naturales biológicos a las otras. En epidemiología, también se aplica a los lugares o seres vivos en los cuales reside algún agente patógeno.

Respiración Proceso de nivel celular por medio del cual se produce la degradación (oxidación) metabólica de compuestos orgánicos de los cuales todos los seres vivos liberamos energía química que nos permiten desarrollar nuestras actividades y mantenernos organizados. En ausencia de oxígeno, se habla de respiración anaeróbica, que permite la extracción de energía, aunque de manera menos eficiente. (En el lenguaje común se dice que respiramos cuando ventilamos nuestros pulmones para permitir el ingreso de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono, que es un producto de la respiración).

Selección natural En ambientes sometidos a cambios importantes, es la supervivencia y reproducción diferencial de los fenotipos que, frente a esos cambios, presentan ventajas comparativas que les permiten sobrevivir y transmitir sus genotipos a las nuevas generaciones mediante la reproducción.

Servicios ecosistémicos Son los aspectos de los ecosistemas (estructuras y procesos) utilizados de manera activa o pasiva para generar bienestar humano.

Sésil Organismo permanentemente adherido a un sustrato.

Simbiosis Relación entre especies con la que ambas se benefician y ninguna puede vivir sin la otra.

Sitios Ramsar Así se designan los humedales que son considerados de importancia internacional y protegidos por legislación regional o nacional, de acuerdo a un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y el uso racional de los humedales mediante y gracias a la cooperación internacional.

Suelo Formación natural constituida por una mezcla de minerales inorgánicos, materia orgánica en descomposición, agua, aire y organismos vivos.

Tasa de renovación Cociente entre la producción y la biomasa.

Taxonomía Es el estudio de la clasificación de los organismos. Esta clasificación permite agruparlos en jerarquías según sus similitudes y diferencias que nos hablan de su parentesco o proximidad filogenética.

Termodinámica Refiere a la rama de la física que estudia las relaciones entre los fenómenos caloríficos y mecánicos, particularmente el de las transformaciones de energía.

Tiempo de renovación Cociente entre biomasa y la producción.

Trama trófica El paso de energía de un organismo a otro ocurre a lo largo de una cadena alimentaria donde el primer organismo es comido por el segundo, el segundo por el tercero y así sucesivamente en una serie de niveles tróficos. En la mayoría de los ecosistemas, las cadenas alimentarias poseen muchas interconexiones conformando tramas tróficas.

Umbral de daño económico: ver “Nivel de daño económico”.

Zoonosis Enfermedades que ocurren en los animales, excluidos los hombres.

Zooplankton Se refiere a animales por lo común de tamaño casi microscópico, que forman parte del plancton y en general son capaces de migrar tanto vertical como horizontalmente en los ambientes acuáticos. Se los encuentra en cuerpos de agua marina, salobre y de agua dulce. El zooplankton en general está constituido por microcrustáceos y por muy diversos protozoos.

AUTORES

Leonardo Malacalza, Profesor Titular de Ecología en la UNLu, Licenciado en Botánica de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP. Investigó, dirigido por el Dr. Ramón Margalef en el Depto. de Ecología de la Universidad de Barcelona. Ha investigado y dirigido investigaciones sobre ecología de aguas, vegetación y suelos de la cuenca del río Luján. Es investigador del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable. Es doctor *honoris causa* de la Universidad Nacional de Luján. malacalzal@speedy.com.ar

Fernando Roberto Momo, Profesor Asociado ordinario en la UN de Gral. Sarmiento. Profesor Adjunto ordinario en la UNLu. Licenciado y Doctor en Ciencias Biológicas (UBA). Investigador-docente por concurso categoría equivalente A. Es investigador del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable y creó el Programa de Investigación en Ecología Matemática del Departamento de Ciencias Básicas, UNLu. momo@ungs.edu.ar

Carlos Eduardo Coviella, Profesor Asociado ordinario de Ecología en la UNLu. Ingeniero Agrónomo de la UNLu y Ph.D. en Entomología, Universidad de California, Riverside, USA, realizado con una beca Fulbright. Es investigador y director del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable y del Programa de Investigación en Ecología Terrestre de la UNLu. carlosecoviella@yahoo.com

Impreso en los talleres gráficos de la Dirección de Editorial e Imprenta
de la Universidad Nacional de Luján.
Octubre de 2017