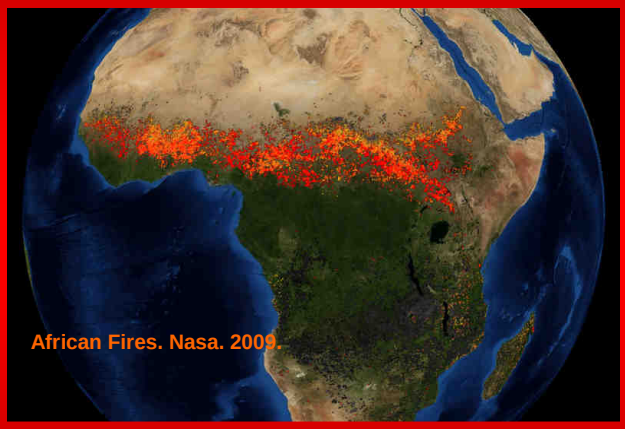
MACROECOLOGÍA, BIODIVERSIDAD Y PROCESOS DE CAMBIO AMBIENTAL EN EL PAÍS VASCO

Macroecology, Biodiversity and Environmental Change process in the Basque Country



African Fires. Nasa. 2009.

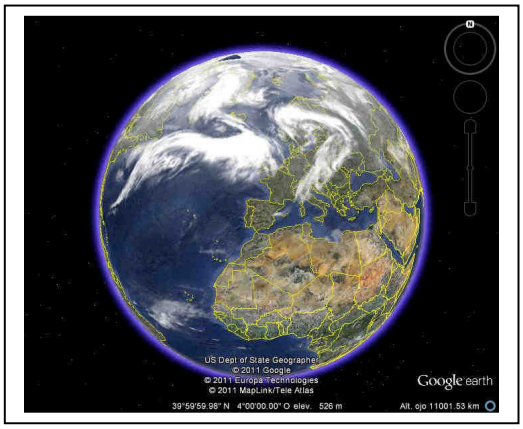
European Fires. Info. 2009.

Carlos GALÁN.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
E-mail: cegalham@yahoo.es

Marzo 2012.

MACROECOLOGÍA, BIODIVERSIDAD Y PROCESOS DE CAMBIO AMBIENTAL EN EL PAÍS VASCO.

Macroecology, Biodiversity and Environmental Change process in the Basque Country.



Carlos GALÁN.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga. 20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Marzo 2012.

RESUMEN

La comprensión de los cambios globales plantea una serie de desafíos. La macroecología estudia los patrones y procesos ecológicos a grandes escalas. Los patrones son un resultado agregado de múltiples factores, propios de sistemas complejos, desde atributos de las especies y ecosistemas, biodiversidad, distribuciones de los organismos a diferentes escalas, historia filogenética y evolutiva, así como procesos de cambio debidos a acciones humanas, desde la pérdida progresiva de hábitats hasta el denominado cambio climático global.

Las hipótesis relacionadas con procesos ecológicos y evolutivos pueden arrojar luz sobre los problemas y perspectivas que se derivan de la actual pérdida de biodiversidad, sobrepoblación del planeta, superación de su capacidad de carga, agotamiento de los recursos, contaminación y cambio climático global.

Partiendo de observaciones sobre los ecosistemas subterráneos y su biodiversidad en el País Vasco, pasamos a describir otros cambios en los ecosistemas de superficie, y los efectos que se derivan de ello. La investigación que se realiza en el laboratorio genera elementos teóricos, que pueden ser aplicados para la conservación y manejo de la diversidad biológica. En particular, se puede identificar los principales factores desfavorables para los seres vivos, las áreas y aspectos prioritarios para la conservación, el grado de amenaza que enfrentan las especies, sus repercusiones para los seres humanos que habitan sobre el territorio, y las principales líneas de actuación.

La presente nota discute -desigualmente- múltiples aspectos y enfoques sobre los cambios que están ocurriendo y, sobretodo, plantea qué deberíamos hacer para evitar las tendencias negativas actuales y recuperar condiciones de vida favorables para la humanidad y el planeta entero.

Palabras clave: Macroecología, biología subterránea, ecología, biodiversidad, conservación, cambio climático.

ABSTRACT

Understanding global change raises a number of challenges. The macroecology studies the patterns and ecological processes on large scales. Patterns are an aggregate result of multiple factors, own of complex systems, from attributes of species and ecosystems, biodiversity, distributions of organisms at different scales, phylogenetic and evolutionary history and processes of change due to human actions, since the loss progressive habitat to the so-called global climate change.

The hypotheses related to ecological and evolutionary processes can shed light on the problems and issues arising from the current loss of biodiversity, overpopulation of the planet, surpassing its carrying capacity, resources depletion, pollution and global climate change.

Based on observations on groundwater ecosystems and biodiversity in the Basque Country, we describe other changes in surface ecosystems, and effects that stem from it. The research conducted in the laboratory generates theoretical elements that can be applied to the conservation and management of biodiversity. In particular, one can identify the main factors unfavorable to living beings, areas and priority aspects for conservation, the degree of threat faced by species, their impacts on humans living on the territory, and the main lines of action.

This note discusses -unevenly- multi-aspects and approaches to the changes taking place and, above all, asks what we should do to avoid the current negative trends and retrieve favorable living conditions for humanity and the whole planet.

Keywords: Macroecology, underground biology, ecology, biodiversity, conservation, climate change.

INTRODUCCION

La enorme variedad que posee el planeta siempre me ha fascinado, tanto en sus rasgos geográficos como en la diversidad de los seres vivos, los ambientes que habitan y sus características físico-químicas, geológicas y climáticas. Las distintas especies de seres vivos nunca están solas, y aunque pueden ser separadas y subdivididas para facilitar su estudio analítico, en realidad existen como parte de sistemas complejos, donde factores bióticos y abióticos actúan conjuntamente, en redes de relaciones que se retroalimentan. Las pautas que conectan los fenómenos están en la base de la comprensión de los sistemas complejos y, por ello, del mundo real.

Las propiedades que poseen los sistemas complejos no pueden comprenderse diseccionándolos en partes elementales, ya que muchas propiedades de tales sistemas son propias del conjunto, a distintos niveles de organización. La ecología o biología de los ecosistemas estudia las relaciones entre las diferentes especies y comunidades de organismos (o biocenosis) que habitan en un habitat o biotopo determinado, así como las relaciones entre dichas especies y el medio ambiente que les sirve de soporte. Muchas propiedades y características de los ecosistemas dependen en consecuencia de una multiplicidad de factores, que a su vez, han tenido una historia evolutiva larga, extensa y llena de particularismos. El resultado que hoy observamos no viene así determinado de modo simple, sino que es el producto de múltiples interacciones, pasadas y actuales, entre los seres vivos y el ambiente. Y producto de una larga evolución, donde sucesivos cambios generan nuevas condiciones.

Algunos hechos son bien conocidos. El impacto del hombre sobre el planeta fue poco significativo hasta hace 7 mil años, cuando la humanidad apenas suponía 5 á 10 millones de habitantes en el globo (una densidad similar a la de otras especies de primates). Con la introducción de la agricultura y cría, el impacto sobre la biosfera fue creciendo a la par que aumentaba paulatinamente la población humana. La población mundial alcanzó casi 1.000 millones en 1800 (inicio de la era industrial) y pasó a más de 6.000 millones en el año 2000 y 7.000 millones a finales de 2011.

Sin embargo, el planeta es limitado. El déficit ecológico ha sido definido como la diferencia entre el área disponible (capacidad de carga) y el área consumida (huella ecológica) en un sitio determinado. Pone de manifiesto la sobreexplotación de la naturaleza y la incapacidad de regeneración tanto a nivel local como global. La capacidad de carga del planeta fue sobrepasada por la huella ecológica humana hacia 1970-80. Se puede decir que la carga global a que sometemos el planeta está actualmente un 50% por encima de lo que la naturaleza puede aportar para sostenernos y reciclar o actuar como sumidero de nuestros desechos. Estamos consumiendo hoy 1,5 planetas en el promedio global y más de 3,5 planetas en los países ricos del norte. De hecho, más del 80% de la huella ecológica corresponde al consumo de los países ricos, que representan menos del 20% de la población total.

A estos indicadores en el consumo energético y de recursos primarios, deben sumarse otros impactos que habitualmente no son contabilizados, tales como la contaminación del suelo, del agua, de los mares, de la atmósfera, la erosión, deforestación, extinción de especies, pérdida de biodiversidad, alteración de la topología del paisaje, incremento del CO_2 atmosférico y otros gases de efecto invernadero y consecuente cambio climático global.

En esta nota nos referiremos especialmente a la extinción de especies y pérdida de biodiversidad, ya que creemos que ésta es poco visible, aunque representa una agresión contra la naturaleza que se está acelerando de modo alarmante, con consecuencias devastadoras. Y partiremos de lo que conocemos mejor, a escala local, en nuestro territorio: el País Vasco. De modo conexo iremos desarrollando las interrelaciones con otros factores, bióticos y abióticos, de la trama anterior. Tratando de poner de relieve, sin caer en catastrofismos, lo que desde el punto de vista ecológico y sistémico nos espera en un futuro inmediato de no cambiar radicalmente nuestra concepción del hombre en el mundo, nuestra relación con la naturaleza y nuestro actual modelo de desarrollo.

MATERIAL Y METODOS

Nuestro enfoque podrá parecer al principio extraño y poco ortodoxo. Partimos de nuestro conocimiento de la fauna cavernícola, en el plano local, es decir, en el País Vasco. ¿Por qué esta elección? Por dos razones: (1) Porque se trata de ecosistemas que contienen una elevada representación de especies troglobias (o cavernícolas estrictos), adaptadas al ambiente profundo de las cuevas (deep-cave environment), las cuales han sobrevivido a numerosos cambios ambientales a lo largo de millones de años). (2) La fauna troglobia del país contiene uno de los más altos valores en biodiversidad de troglobios por área a nivel mundial, representando la mayor contribución zoológica del País Vasco a la Biodiversidad Global del planeta. Esta fauna ha permanecido casi invariable desde el Terciario (y épocas anteriores, en algunos casos) y era extraordinariamente abundante y diversa hasta los años 1970’s. En apenas un lapso de 40 años ha experimentado una fuerte declinación, encontrándose actualmente muchas de sus especies en situación de amenaza y/o en peligro de extinción. Por lo tanto, identificar y comprender los factores que han intervenido tan fuertemente y en tan corto espacio de tiempo sobre ecosistemas altamente resistentes a los cambios ambientales de superficie, permite extrapolar ideas, y abordar la dinámica de los cambios que están ocurriendo en el conjunto de la biosfera, a nivel global.

En esta nota trataremos de reducir al máximo los detalles cuantitativos (aunque se aportan datos sintéticos), centrándonos más bien en los cambios cualitativos y tratando de hacer comprensibles los mecanismos y procesos que intervienen y generan la situación actual. El estudio permite apreciar las principales tendencias y cómo operan y se retroalimentan a nivel de los ecosistemas. Muchos aspectos que creemos sustanciales y de gran importancia, y que nosotros como zoólogos y ecólogos entendemos perfectamente, han pasado y pasan prácticamente desapercibidos para el conjunto de la población, y de esta situación se aprovechan los dueños del poder económico promotores del modelo de desarrollo actual. Por ello pondremos especial énfasis en estos aspectos pocos conocidos por el público, destacando su grave impacto y las repercusiones negativas que ya están teniendo sobre los habitantes de nuestra comunidad local.

Debido a que los aspectos, datos y problemas medio-ambientales son continuamente silenciados, deformados, desvirtuados e interesadamente malinterpretados, por los poseedores del poder y de los medios de comunicación de masas, trataremos especialmente aspectos cercanos a nuestro modo de vida y territorio, centrándonos especialmente en Gipuzkoa. En la presente nota, dada su reducida extensión, no es posible abarcar todos los aspectos involucrados en esta temática, ni tan siquiera los más significativos, por lo que de ellos sólo serán dadas breves extrapolaciones y pinceladas de un dibujo más amplio, pero destacando las más pertinentes, aunque sea de modo por demás sucinto. La metodología seguida es la de un ensayo científico de carácter divulgativo, más que la propia de una nota científica al estilo que nos tienen acostumbrados (con la pretensión de universalidad y cientificidad) los estamentos académicos oficiales y los políticos de los entes administrativos locales. Por tanto, se basa en la comprensión, en las evidencias disponibles y en la argumentación razonada.

RESULTADOS

Invisible a nuestros ojos, se está produciendo una pérdida acelerada de biodiversidad en los ecosistemas del territorio. La degradación del ambiente y la extinción de especies progresan a un ritmo vertiginoso que, de no mediar un cambio de rumbo a tiempo, será cualitativamente peor que una extinción masiva.

Esto no es una opinión de “ecologistas” y “verdes” sino una constatación, basada en la evidencia científica, de biólogos, ecólogos y medio-ambientalistas de alta capacidad, preparación y larga experiencia en estos temas. Por ejemplo, Ramón Margalef (reconocido como eminente ecólogo y primera cátedra de Ecología en España) llamó nuestra atención en Munibe (Ciencias Naturales) de 2002, con una nota sobre el cambio en la topología del paisaje, inversión de los mosaicos de áreas humanizadas y vegetación, pérdida de conectividad, pérdida de habitats y pérdida de diversidad biológica (Margalef, 2002).

Lo que Margalef llama “la organización de la Biosfera y la reacción de la naturaleza a los mecanismos añadidos por el poder creciente de los humanos”, es lo que consideramos en esta nota bajo el título de macroecología.

La macroecología es el estudio de los patrones y procesos ecológicos a grandes escalas. Los patrones son un resultado agregado de las contribuciones individuales de las especies y grupos de especies, tales como sus áreas de distribución, abundancia, biomasa e historia evolutiva. La macroecología comprende además el estudio de la distribución y dinámica de las condiciones climáticas y otros factores geofísicos a gran escala y sus efectos sobre la distribución de la vegetación y las especies de animales en el mundo.

El primer aspecto visualizable, y que informa objetivamente de algunas importantes tendencias, es la antes citada inversión de la topología del paisaje (Margalef, 2002). Basta comparar los mapas temáticos y fotografías aéreas de distintas fechas y de inmediato destaca la importante reducción de la cobertura arbórea y la extensión de las áreas humanizadas (urbanas, vías de comunicación, plantaciones) y la reducción y degradación de las áreas naturales.

A lo largo de los últimos 4.000 años el ser humano ha ido tejiendo una red de ciudades y asentamientos unidos por vías de comunicación, a la par que desbrozaba distintos tipos de vegetación natural para sustituirlos por terrenos de cultivo y pastoreo. Hasta hace unos 200 años teníamos áreas relativamente discontinuas, de considerable a intensa actividad humana, centradas como manchas en torno a puntos separados, dispersos sobre el tejido del país que, en general, podía considerarse como una superficie continua o reticulada que actuaba como fondo natural. Hoy la situación se ha invertido, y esas manchas de intensa actividad humana forman un retículo denso que sólo deja islotes y fragmentos del antiguo fondo natural. La red de vías de comunicación es recorrida día a día con mayor intensidad y velocidad. Este sistema de transporte se convierte en el sistema de construcción más aparente, siendo uno de sus resultados la subdivisión del espacio libre en pequeñas parcelas, discontinuas o relativamente aisladas, y fuertemente influidas en toda su periferia por acciones antrópicas.

Tomando a Gipuzkoa como territorio representativo del País Vasco, hoy tenemos en grandes cifras que 6% de su superficie es terreno urbanizado, 19% son cultivos agrícolas y prados, 12% corresponde a matorrales y pastos de montaña, quedando 63% de zonas arboladas (repartidas en: 14% de hayedo, 1,8 % de relictos de encinares sobre cantiles calizos, 6,9% de restos de robledales y vegetación de rivera, y 40,3% de plantaciones de coníferas exóticas, de corte periódico).

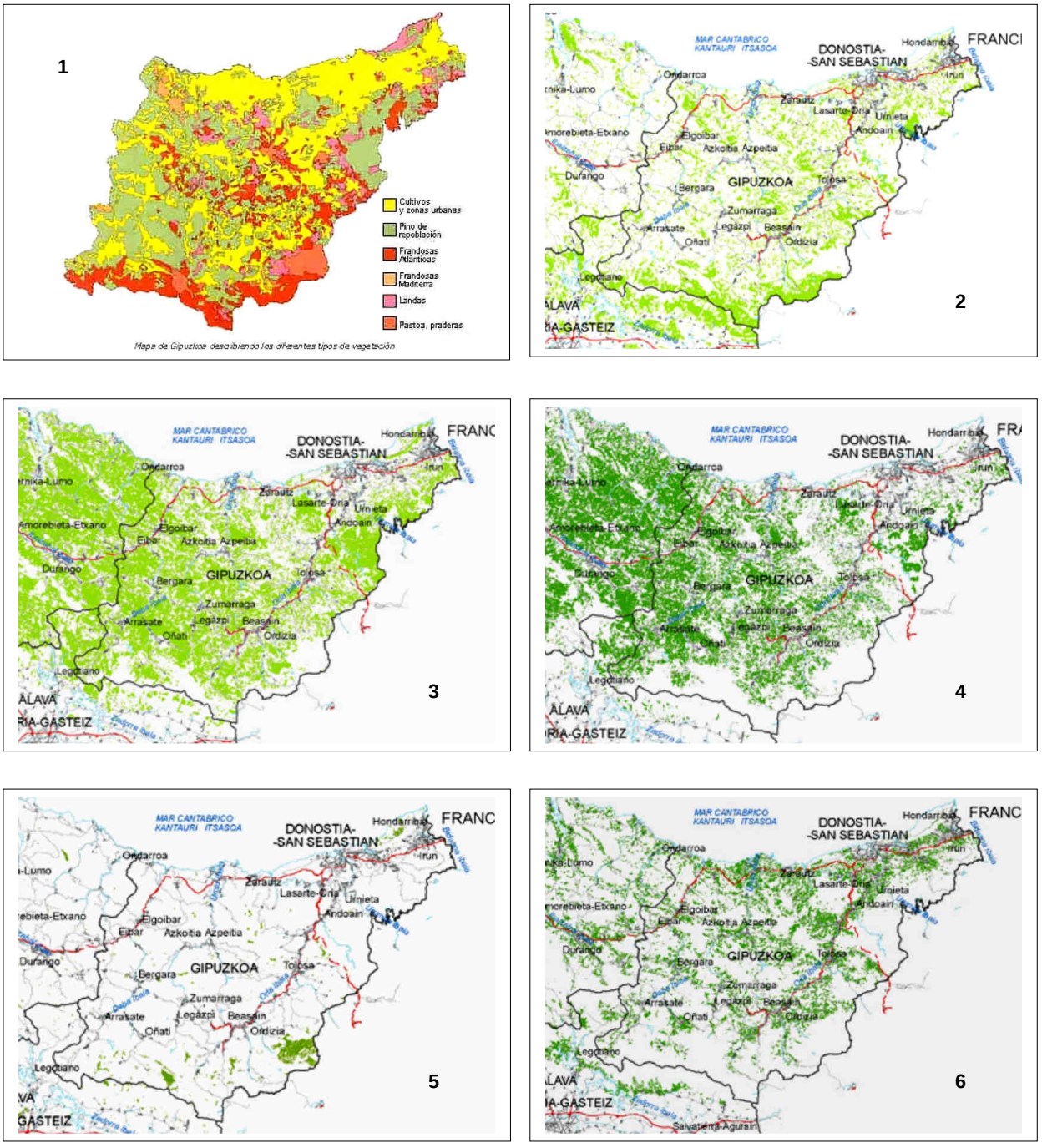


Figura 1. Mapas de vegetación de Gipuzkoa. (1) Principales tipos de vegetación. (2) Bosques naturales. (3) Plantaciones de coníferas exóticas. (4) Plantaciones de pino insignis. (5) Herbazales. (6) Prados. En el mapa 1 el marrón oscuro corresponde a hayedos y mezcla de frondosas autóctonas y el marrón claro del extremo NW a residuos de encinar relicto. El resto son áreas de cultivo, plantaciones exóticas y fases seriales de las mismas. Nótese que hay ciertas discrepancias entre mapas. El mapa 2 muestra la extensión real de hayedos (muchos de ellos degradados) y encinares. La similitud entre los mapas 3 y 4 revela que el mayor porcentaje de las coníferas exóticas corresponde al pino insignis (se omitien áreas de matorral correspondientes a pinares recién talados). Los mapas 5 y 6 muestran la extensión de vegetación herbácea (prados y herbazales), antes ocupada por robledales y hayedos, como también lo eran las actuales masas arbóreas de coníferas exóticas. El mapa 1, al incluir las áreas urbanas y landas (anteriormente bosques) da una idea visual mejor de que en Gipuzkoa sólo quedan escasos restos de la vegetación natural, muy degradados. Fuente información: (1) Juntas Generales de Gipuzkoa, 2012. (2-6) Gobierno Vasco, 2007.

Según los datos del último inventario forestal (DFG, 2005) Gipuzkoa tiene una superficie total de 1.974 km^2, de orografía muy montañosa, con una alta densidad de población (691.578 habitantes). Gran parte de lo que se considera "montes" son arbustales y landas de argomas, brezos y helechos, residuos de zonas previamente taladas. Es decir, que de los casi 2.000 km^2 de la superficie de Gipuzkoa, apenas quedan restos dispersos de robledales y vegetación de rivera y unos 174 km^2 de hayedo (8,8%). Buena parte de este es joven, ya que para 1972 la superficie cubierta de hayedos -según la misma fuente- era de 115 km^2 (5,8%).

Una precisión: bajo la denominación de coníferas exóticas se incluye básicamente las plantaciones o cultivos de pino insignis (Pinus radiata o pino de Monterrey), aunque en los últimos años se han incluido en sustitución un pequeño porcentaje de otras coníferas (pino laricio, pino pinaster, alerce, abeto douglas), frondosas (roble americano, eucalipto), y/o mezclas maderables de ellas, todas ellas exóticas.

En adición, en los últimos 40 años, y unido sobre todo a las explotaciones madereras, ha crecido una segunda red o retículo de pistas forestales que, aunque menos visibles, fragmentan a una escala menor los trozos aislados de áreas con restos de bosque y plantaciones. Sin contar que los restos de vegetación "natural" ya se encontraban muy alterados por la acción humana en forma de aclareo, trasmochado, carboneo, etc. Por lo que el "fondo natural" apenas es un vestigio de la clímax anterior y los ecosistemas que subsisten están completamente dislocados.

Esto ha supuesto un "cambio de fase" en la estructura del país y del paisaje, donde la parte humanizada se ha convertido en una trama densa, que separa fragmentos dispersos de naturaleza más primitiva o menos alterada, en diversos grados. Ello ha traído consigo una importante pérdida de hábitats, especies y grupos de especies, con una buena parte de su conectividad biológica perdida o muy mermada por la existencia de barreras al intercambio de individuos y genes que actuaba en el pasado, significando de este modo una fuerte degradación y limitación a las posibilidades de existencia de muchos seres vivos y la alteración de los ecosistemas remanentes, bajo condiciones de simplificación, muy alejados de la clímax. Esta alteración se ha extendido en años recientes hasta los ecosistemas que pensábamos eran menos impactables, que permanecían alejados del hombre y ocultos en el subsuelo de las montañas. Veremos esto a continuación.

SITUACION DE AMENAZA DE LA FAUNA CAVERNICOLA

En un extenso trabajo sobre la situación actual y grado de amenaza que soportan las poblaciones cavernícolas existentes en Gipuzkoa (Galán, 2006), analizamos un conjunto de 20 factores de amenaza que actúan sobre el karst y la fauna de las cavernas de Gipuzkoa, determinando que una combinación de 4 factores es la principal responsable de las alarmantes declinaciones observadas en los últimos 40 años.

Se puede decir que hasta hace 40 años la situación de la fauna cavernícola era buena, o por lo menos así lo parecía indicar la abundancia numérica y diversidad observable entonces en las cuevas a simple vista, así como el descubrimiento progresivo de nuevas especies. Ya en los años 2000 se apreciaba en las salidas espeleológicas normales una notable escasez de fauna, donde aparentemente el 90% de los efectivos había desaparecido. Ello dio pie a que iniciáramos una campaña de muestreos y censos mediante el empleo de cebos atrayentes en 52 localidades de 17 zonas kársticas distintas, a fin de obtener datos comparados. El trabajo se extendió a lo largo de 5 años. Los resultados ponderados mostraban un enfeudamiento mayor de la fauna en la red profunda de mesocavernas y eran necesarios lapsos de tiempo mayores para que los troglobios acudieran a los cebos. Los resultados mostraron una declinación de las poblaciones troglobias en las distintas localidades del 56% al 14% de la abundancia previa. La declinación media para el conjunto de las zonas kársticas de Gipuzkoa es del 32%, es decir, que las poblaciones troglobias han perdido dos terceras partes de los efectivos poblacionales existentes hace 40 años (Galán, 2006). Esta declinación o rarefacción se considera acentuada, propia de una situación generalizada de amenaza. Para algunas localidades y especies es muy acentuada, existiendo un grave riesgo de extinción. De los 104 taxa troglobios estudiados, 12 géneros y 28 especies (en su mayoría endémicas) se encuentran en peligro de extinción. De hecho, algunas especies no se han vuelto a encontrar en los 2000, en repetidos muestreos con cebos en biotopos óptimo de sus localidades-tipo, por lo que se presume que algunas especies han podido resultar efectivamente extintas. Sería necesario un mayor esfuerzo de investigación para poder corroborar estos extremos.

De entre las causas encontradas que han contribuido a esta declinación y situación general de amenaza, destacan como principales responsables una combinación de 4 factores: la deforestación y sustitución de la vegetación de frondosas autóctonas por el cultivo de coníferas exóticas, la contaminación por insecticidas y plaguicidas, la siltación e ingreso de bacterias alóctonas heterótrofas, y el desbalance ecológico (por varias causas) (ver análisis y datos detallados en: Galán, 2006). Estos factores están asociados a las prácticas agro-forestales modernas y a su extensión a niveles altos del karst que en el pasado actuaban como áreas de reserva. Veremos a continuación, sucintamente, cómo han actuado los principales factores de amenaza.

DEFORESTACION

La deforestación en superficie tiene un importante efecto sobre el ecosistema subterráneo. En tales casos es frecuente un incremento de la sequía subterránea; la materia orgánica es transportada por las corrientes de aire y se deposita sobre el film de agua que recubre paredes y espeleotemas; ésta suele ir acompañada por pólenes, esporas y bacterias. En estas condiciones, aunque no es visible, se desarrollan procesos de fermentación muy activos, produciéndose ácidos orgánicos los cuales son neutralizados a expensas del sustrato calcáreo; el dióxido de carbono también es producido y disuelto en el mismo sustrato. La consecuencia de ello es la destrucción de vida cavernícola y el desecamiento y corrosión de espeleotemas. A largo plazo y dependiendo de las condiciones de alteración los efectos sobre la fauna troglobia pueden ser notorios.

Las alteraciones por tala y prácticas agro-forestales conducen a un crecimiento de las reservas hídricas superficiales y a un incremento del flujo de infiltración lenta, con el resultado de un aumento de la aridez subterránea, que puede notarse hasta a 300 m de profundidad (Mangin & Bakalowicz, 1989). En muchas cavidades, la parte principal de los intercambios de aire se produce por infiltración difásica (masas de aire que acompañan al agua de infiltración), y los cambios en las características de la infiltración, alteran también los intercambios de aire, y por tanto, la atmósfera subterránea. Las perturbaciones en superficie generalmente producen aridez subterránea, pero también pueden ir acompañadas de un incremento de condiciones alternantes, donde a períodos áridos siguen eventos catastróficos de fuerte infiltración y transporte de sedimentos. Tanto las fases áridas como las húmedas alcanzan valores mucho más altos que los de las oscilaciones previas a la alteración de la cubierta vegetal (y suelos) en superficie.

Debido a la falta de luz y de fotosíntesis, el ecosistema cavernícola es casi enteramente dependiente de las comunidades de plantas y animales que viven en la superficie. Las cuevas reciben nutrientes desde la superficie en forma de hojarasca, madera y otros detritos vegetales que son lavados por las aguas de infiltración o que ingresan a través de las bocas de simas y fisuras por gravedad. También constituye un aporte las raíces de árboles y plantas vasculares. La fauna troglóxena viva, sus huevos, larvas, residuos y cuerpos muertos, constituyen un componente trófico de origen animal. Muy diversos invertebrados epígeos (moluscos, opiliones, araneidos, dípteros, lepidópteros, tricópteros, coleópteros) y vertebrados como quirópteros, diversas especies de herpetofauna y pequeños mamíferos que tienen sus madrigueras en la zona de entrada, aportan a su vez nutrientes. Para sostener el ecosistema hipógeo es por tanto necesario mantener unos saludables ecosistemas en superficie. En este sentido la deforestación o alteración de la cubierta forestal constituye una grave amenaza, ya que priva a las comunidades cavernícolas de muchos recursos vegetales y animales. En otros casos la deforestación introduce en las cuevas situadas en las áreas taladas muchos sedimentos, con una importante carga de nutrientes y bacterias epígeas (Aley et al., 1993; Blackwell, 1995; Stokes, 1996).

La deforestación es una práctica ampliamente extendida en los karsts de Gipuzkoa. Principalmente está asociada a las plantaciones de coníferas exóticas (eufemísticamente llamadas “repoblaciones”), las cuales cubren la mayor parte de la superficie forestal del territorio. En época moderna ésta se ha extendido a niveles altos y laderas de fuerte pendiente, con uso intensivo de medios mecanizados. La deforestación de montes públicos, como la ocurrida en 2002 en el monte Andatza, está afectando actualmente al pequeño karst de Guardetxe, un habitat crítico para varias especies troglobias endémicas de Gipuzkoa que sólo viven en este macizo. Visitas efectuadas inmediatamente después de la tala mostraron la existencia de siltación y una alarmante declinación de la totalidad de las especies troglobias del ecosistema. Se presume que varias especies están en peligro de extinción.

PERDIDA DE NUTRIENTES

Entre los atributos esenciales del ecosistema hipógeo que conducen a su poblamiento por invertebrados se incluyen una alta y relativamente constante humedad relativa, una escasa variación térmica, y una cierta entrada de energía en forma de nutrientes. La disponibilidad de nutrientes y humedad son factores críticos limitantes que permiten o no a la fauna del karst ocupar los ambientes terrestres. Las adaptaciones a una alta humedad relativa y a una baja disponibilidad de nutrientes son comunes entre los troglobios (Barr, 1968; Howarth, 1983; Galán, 1993). Con la excepción de algunos oligoelementos y vitaminas sintetizados por bacterias quimioautótrofas, casi toda la energía trófica en cuevas es importada desde el exterior.

Las entradas de energía a través de las bocas de las cuevas se produce principalmente vía especies epígeas que ingresan activamente a las zonas de entrada, incluyendo quirópteros, y por medio de la materia orgánica lavada en forma pasiva desde el suelo superior en las áreas cercanas a las bocas. La llamada fauna troglóxena constituye un aporte energético muy importante para la alimentación de troglófilos y troglobios. En zonas más profundas de las cuevas, la entrada de energía se produce primariamente a través del agua de infiltración, la cual contiene materia orgánica disuelta. Esta agua percola verticalmente a través del karst siguiendo las fisuras ampliadas por disolución.

Cualquier incremento de la cobertura del karst que impermeabilice su superficie, tal como construcciones, carreteras y urbanización, tiene por resultado que disminuya la percolación y como consecuencia produce un efecto detrimental que afecta al régimen de humedad y al input crítico para las especies troglobias. La alteración de la vegetación y suelos sobre la superficie, como en los casos de tala, deforestación y erosión, disminuye también el ingreso de nutrientes, ya que elimina fauna troglóxena y disminuye la cantidad de materia orgánica que puede ser transportada por las aguas de percolación.

Los quirópteros que frecuentan cuevas constituyen un importante input de nutrientes para el ecosistema hipógeo; ellos se alimentan en superficie, pero aportan a las cuevas materia orgánica en forma de guano y también de cadáveres de individuos que mueren en ellas. Este último aporte suele ser importante en especies coloniales en período de cría, cuando la mortalidad puede ser alta. El abandono de las cuevas por quirópteros que son molestados en ellas, o su declinación al ser destruidos en superficie por otras causas (uso de insecticidas y plaguicidas), priva a las cuevas de cierta cantidad de nutrientes, en ocasiones importante. Esto afecta indirectamente a la supervivencia de las especies troglobias.

La mayoría de las especies de quirópteros ha experimentado una fuerte declinación en Gipuzkoa (y en Europa en general). Esta ha ido asociada al uso intensivo de insecticidas y plaguicidas en el agro, con la también drástica disminución de las poblaciones de muchos grupos de insectos, como lepidópteros y coleópteros (Galán, 1997). Todo ello, en conjunto, representa una pérdida de nutrientes para los ecosistemas hipógeos. Esta reducción en el input de nutrientes se aceleró a partir de los años 1960´s.

CONTAMINACION POR PRODUCTOS QUIMICOS, FERTILIZANTES Y PESTICIDAS

Las áreas kársticas son especialmente sensibles a la contaminación por productos químicos, fertilizantes y pesticidas, ya que carecen de la capacidad de autodepuración o filtrado. Hidrológicamente las áreas situadas por encima del karst o que drenan hacia él encierran el mayor potencial para contribuir a la contaminación del ecosistema kárstico. Las actividades humanas en estas áreas sensibles, tales como la aplicación de pesticidas y fertilizantes para el agro, los efluentes de aguas negras y agro-ganaderos y los efluentes urbanos e industriales, pueden todos ellos contaminar gravemente el ecosistema kárstico. Para minimizar la posibilidad de introducir contaminantes lo mejor es minimizar en tales áreas el impacto de las actividades humanas. El conservar la vegetación natural es también un recurso que sirve como tampón para minimizar este impacto (Amores Olazagirre, 2005), a la vez que actúa en la preservación del ecosistema hipógeo ante cambios hidrológicos, de temperatura y humedad.

Diversos efectos de extinción o fuerte declinación de poblaciones de especies troglobias y quirópteros en cuevas de Alabama, West Virginia, Missouri e Indiana (USA) han sido documentados por Hobbs & Bagley (1989), Pasquarell et al (1993), Crunkilton (1985), Lewis, 1996), y Elliott (1998). Ellos hayan p.ej. residuos del insecticida epóxido de heptacloro (lavado hacia el karst desde jardines de viviendas cercanas), herbizidas Atrazine (procedentes de terrenos agrícolas), altos valores de nitratos y de colonias de coliformes fecales y Streptococcus (procedentes de aguas negras derivadas de establecimientos de piensos para el ganado), residuos de nitrato de amonio y úrea (procedentes de fugas de contenedores de fertilizantes) y de ácido nítrico (usado para la producción del propelente nitrocelulosa en plantas químicas).

Los insecticidas DDT y DDE, ampliamente usados en cultivos y plantaciones, causaron una notable mortandad de quirópteros en Panamá, México y USA. El dieldrin, un metabolito del aldrin, también causó elevadas mortandades en los 70's. Residuos de dieldrin y epóxido de heptacloro, usados localmente en campos de maíz, son aún hallados en el guano e insectos predados por quirópteros. Se presume que los insecticidas están en la base de la declinación experimentada por muy diversas poblaciones de troglobios (Clark, 1988; Peck, 1997). Rusterholtz (1989) experimentó la acción del pesticida chlordano sobre muestras de sedimentos de cuevas. Dosis muy pequeñas decrecían la respiración en un 25,8% y el conteo de células vivas caía en un 50% en menos de 30 minutos. El autor concluye que incluso muy diluidas dosis de pesticidas pueden matar o suprimir la vida bacterial en la arcilla de las cuevas.

Existe amplia documentación del hallazgo de envases y residuos de productos químicos, fertilizantes y pesticidas (usados en el agro) en muchas cuevas del País Vasco. Muy notoria ha sido también en Gipuzkoa la contaminación química por la industria papelera (industria asociada a las plantaciones de coníferas): no sólo ha contaminado los cursos bajos de los más importantes ríos superficiales del territorio, sino que la misma también se extiende a los acuíferos en comunicación con dichos ríos. Las zonas bajas de los karsts que bordean el río Oria y el Deba han sido en este sentido los más contaminados (periferia de Ernio, Uzturre-Loatzo, Buruntza, Izarraitz y Arno, entre otros).

De gran importancia en Gipuzkoa, por su uso masivo, es la contaminación por plaguicidas utilizados para el control de la procesionaria, una larva de mariposa que causa graves daños a los cultivos de coníferas exóticas. Los plaguicidas son dispersados mediante fumigación por medios terrestres y avionetas. Debido a que más del 50% de la cobertura forestal de Gipuzkoa está constituida por plantaciones de Pinus insignis y otras coníferas exóticas, las

cantidades usadas de plaguicidas son muy considerables y su toxicidad sobre insectos y otros invertebrados afecta tanto a organismos epígeos como hipógeos. La extensión de las plantaciones de pinos a niveles altos de montaña, está llevando esta contaminación a niveles altos del karst, que hace tres décadas no recibían semejante impacto. Creemos que esta extensión de la contaminación por insecticidas y pesticidas (asociada a las modernas prácticas agro-forestales) está en la base de la declinación generalizada de las especies troglobias (y seguramente también de muchas especies epígeas de invertebrados sensibles a estos agentes). En otro apartado es tratado este tema con mayor detalle.

La contaminación orgánica en zonas de montaña básicamente corresponde a vertidos de residuos y efluentes de establecimientos rurales e instalaciones agro-ganaderas. La contaminación química incluye a los productos usados como fertilizantes, plaguicidas, insecticidas, desparasitantes para el ganado, y un largo etcétera de productos químicos usados en el agro y en las plantaciones forestales. Restos de envases de los productos más usados se encuentran en muchas simas y vertederos próximos a caseríos y bordas. Nosotros no disponemos de datos cuantitativos sobre el uso de insecticidas y productos químicos en el territorio, pero seguramente la administración o un estudio de mercado podría suministrar cifras sobre la venta y uso de estos productos en todo el territorio. Cabe recordar que los residuos que se acumulan en el suelo y en los tejidos de los seres vivos son lavados por las precipitaciones sobre las cuencas kársticas y acaban por pasar a las aguas subterráneas.

SILTACION

El término siltación, derivado de silt = arcilla, es utilizado en bioespeleología no sólo en el sentido geológico de colmatación, obstrucción, o relleno de conductos por sedimentos, sino en el de transporte de partículas (y sus productos asociados, incluyendo bacterias y organismos unicelulares) al interior del karst.

Los terrenos agrícolas propician una mayor erosión y transporte por las aguas superficiales de componentes del suelo que aquellos mantenidos en estado natural. Particularmente las fracciones finas pueden pasar con facilidad a las aguas y si éstas ingresan al karst pueden ser introducidas importantes cantidades de arcilla y limo. Estas pueden rellenar y colmatar dolinas, bocas de cuevas, sumideros y galerías subterráneas. Las áreas que drenan hacia el karst o que están sobre él pueden también importar arcillas hacia el ecosistema subterráneo cuando están sometidas a sobrepastoreo o pastoreo intensivo.

Normalmente las arcillas y limos, por su pequeño tamaño y gran poder de adsorción fijan con facilidad moléculas de compuestos químicos y pesticidas. Con lo cual pueden también introducir contaminación química al karst. Otra fuente de arcillas pueden ser los taludes expuestos en obras y cortes de carreteras y las superficies de explanamientos y pistas forestales, dependiendo la cantidad de arcillas de las litologías, pendientes y tipos de suelos involucrados. Las prácticas forestales de tala y aclareo, sobre todo cuando usan medios mecanizados, suelen devastar la cubierta edáfica en gran extensión, propiciando una elevada erosión y transporte de sedimentos. El uso de maquinaria pesada, como tractores, para el arrastre de los troncos cortados, produce graves efectos de siltación en el karst.

El efecto más importante sobre el ecosistema subterráneo reside sobre todo en la colmatación parcial o total de algunas partes del endokarst, en el aumento de turbidez de las aguas subterráneas durante el período de paso de las aguas cargadas de sedimentos y, especialmente, en la introducción de bacterias epígeas en grandes cantidades. Estas poblaciones bacteriales son básicamente heterótrofas e inhiben el desarrollo de las bacterias quimioautótrofas que están en la base de la pirámide trófica de los ecosistemas subterráneos. La mayoría de los troglobios se alimentan en estado adulto o en alguna fase de su vida de las arcillas de las cuevas, las cuales contienen bacterias quimioautótrofas y numerosos productos de su metabolismo, especialmente diversas vitaminas y oligoelementos, los cuales resultan esenciales para completar su ciclo vital. El desplazamiento o eliminación de las comunidades bacteriales autóctonas del medio hipógeo por la invasión de poblaciones epígeas heterótrofas introduce un enorme desbalance en el equilibrio trófico del sistema y suele llegar a producir la muerte o extinción de troglobios (Poulson, 1968).

Fenómenos de siltación son muy abundantes en los karst de Gipuzkoa, debidos a la gran extensión relativa de plantaciones de coníferas exóticas. En época moderna la tala mecanizada ha incrementado el efecto nocivo, ya que ocurre periódicamente con cada época de corte y extracción de madera. Efectos adversos sobre la fauna han sido documentados en la última década en los macizos de Ernio, Guardetxe y Aizkoate (Galán, 2002, 2005). Siltación asociada a la construcción de pistas forestales ha sido registrada en Aralar, con ejemplos notorios como la colmatación total de las grandes simas Ak.1 y Ubeigueneko leizea, de más de -100 m de desnivel, ocurrida en los años 1970-1980. La siltación asociada a deforestación en los años 2000-2001 casi colmata completamente la boca de acceso a Sabesaia´ko leizea, una de las dos únicas entradas al sistema subterráneo más importante y extenso de Ernio. El karst de Guardetxe (en el monte Andatza) albergaba 8 especies endémicas de Gipuzkoa y 2 endemismos exclusivos de ese pequeño afloramiento; la tala mecanizada a matarrasa efectuada por la Diputación Foral de Gipuzkoa en 2002 causó una fuerte siltación, con efectos devastadores sobre la fauna troglobia, algunos de cuyos taxa no se han vuelto a encontrar.

BIOTA BACTERIAL

La producción primaria en el ecosistema hipógeo es muy reducida, pero cualitativamente importante, y está restringida a la actividad quimiosintética autótrofa de algunos grupos de bacterias. Normalmente en las cuevas pueden encontrarse bacterias autótrofas y heterótrofas. Las bacterias heterótrofas proceden de la superficie y necesitan materia orgánica para su desarrollo. Las bacterias autótrofas son autóctonas y su desarrollo sólo depende de los materiales inorgánicos contenidos en las cuevas. Estos dos tipos de poblaciones, una exógena y heterotrófica, y otra endógena y autotrófica, no son halladas juntas. En presencia de materia orgánica se desarrollan formas heterótrofas, mientras que las autótrofas son eliminadas por ser muy sensibles a las modificaciones en el equilibrio químico (Dudich, 1933; Caumartin, 1957, 1959). Las bacterias autótrofas nunca son halladas en medios contaminados con materia orgánica (Manson Williams & Benson Evans, 1958; Winogradsky, 1944). Las bacterias autótrofas son capaces de producir en oscuridad total la síntesis de materia orgánica nueva, ya que gracias a su especial metabolismo obtienen energía de la oxidación de compuestos inorgánicos; su papel más importante en el ecosistema hipógeo reside en su capacidad de sintetizar factores de crecimiento, vitaminas y oligoelementos, indispensables para la dieta de los troglobios y que éstos no pueden obtener por otros medios (Gounot, 1960; Vandel, 1965).

La contaminación orgánica por aguas residuales y la siltación normalmente van acompañadas por el ingreso de grandes números de bacterias heterótrofas epígeas. Estas desplazan a la biota quimioautótrofa de la cueva e introducen un fuerte desbalance trófico, el cual elimina a las poblaciones troglobias. Los residuos de granjas y terrenos agrícolas sobre el karst contribuyen con sedimentos, pesticidas, herbicidas, residuos animales y carga bacterial a las aguas de las cuevas. Gran parte de las transferencias de contaminantes y bacterias desde el suelo superior ocurren con los primeros flujos tras las lluvias. La innatural deposición de sedimentos, materia orgánica y especies epígeas acompaña a la proliferación de bacterias (Poulson, 1997). El patógeno *Salmonella chloera-suis* y otras especies de *Salmonella* han sido encontradas en diversas cuevas; la fuente de contaminación bacterial resultó ser el vertido de aguas residuales, por fallos en los sistemas sépticos, y efluentes agro-ganaderos próximos a las cuevas (Rusterholtz & Mallory, 1990). Un gran enriquecimiento de nutrientes es usualmente la fuente principal de contaminación bacterial. En muchas ocasiones puede ser detectado bajo la forma de un deslizante biofilm que recubre las rocas en los ríos subterráneos y promueve también la multiplicación de gusanos planos e isópodos (Poulson, 1997). En otro caso estudiado en una cueva (Hidden River Cave), los vertidos de aguas residuales provocaron la proliferación de gusanos tubifícidos rojos y el crecimiento de colonias de la bacteria *Sphaerotilus natans*, las cuales formaban crecimientos filamentosos; la acción bacterial era acompañada de condiciones casi anaeróbicas, con bajos nitratos, altos nitritos y depósitos oscuros de sulfuro de hierro (Lewis & Lewis, 1980).

Aunque son escasos los estudios bacteriológicos en cuevas de Gipuzkoa, muchos manantiales y surgencias kársticas se encuentran contaminados con bacterias, principalmente coliformes. Este es el caso de la surgencia de Sasiola (que drena el valle de Lastur), con elevado contenido de bacilos coliformes (Hernanz, 1977). Un reciente trabajo sobre el ecosistema subterráneo de Altxerri (Orio) mostró la contaminación de su acuífero kárstico por vertidos industriales, químicos y orgánicos, los cuales pueden haber provocado la extinción de varias especies troglobias, así como potenciales afecciones a las pinturas rupestres de la cueva, declarada patrimonio de la humanidad en 2008 (Galán et al, 2012). Cabe destacar que los análisis de aguas que realiza la administración pública en el territorio pocas veces muestrea ríos subterráneos o surgencias kársticas, y raramente aborda análisis bacteriológicos detallados. Altos contenidos de bacterias comunes son detectados esporádicamente por el control sanitario en la red de suministro de agua potable; normalmente estos casos no son divulgados y el problema es solucionado por los encargados de aguas aumentando el tratamiento con cloro, pero sin atacar las causas.

DESBALANCE ECOLOGICO

El balance entre las diversas especies que habitan en una cueva es una ecuación de equilibrio delicado. Los estudios efectuados en poblaciones insulares han demostrado que las poblaciones limitadas y aisladas tienen una sensibilidad incrementada, y muchas áreas kársticas pueden ser consideradas desde un punto de vista ecológico como muy pequeñas islas. El balance ecológico puede ser alterado o trastornado por una amplia variedad de modos. Los detritos orgánicos dejados en una cueva pueden permitir a ciertas especies incrementar grandemente su número; cuando han dispuesto de los detritos pueden invadir, atacar o competir con más fuerza que antes a otros habitantes de la cueva debido a su mayor número; las especies más débiles pueden resultar exterminadas antes de que un nuevo balance sea restaurado. Si ocurre una exitosa invasión de una nueva especie, ésta puede entonces predar sobre las especies existentes o entrar en competencia con ellas. La alta vulnerabilidad de muchas poblaciones cavernícolas plantea un especial problema, y probablemente su solución -en muchos casos y en muchas cuevas- resulta incompatible con el impacto de las actividades humanas.

Tercafs (1984, 1987) ha utilizado diversos modelos para simular los cambios biológicos que se producen en las cuevas por alteración de parámetros ambientales. Este autor halla que la distribución y abundancia de las poblaciones cavernícolas depende de la existencia de biotopos con características específicas. Estos no se distribuyen por igual a través del karst, sino que constituyen un conjunto de pequeñas secciones física y espacialmente separadas. Cada especie normalmente tiene unos requerimientos de temperatura, humedad relativa y movimientos de aire, con una zona de tolerancia y un límite de sensibilidad. La simulación muestra que los parámetros ambientales deben ser respetados para lograr una efectiva conservación de las especies. Los aportes tróficos se revelan también como muy importantes: la contribución energética por la entrada de troglóxenos resulta clave para el mantenimiento del ecosistema y, como corolario, resulta necesario mantener las condiciones de entrada de estos organismos. En este sentido, la deforestación en superficie genera un problema mayor, y la afección por biocidas usados en el agro y plantaciones madereras a un grupo tan conspicuo de troglóxenos como los quirópteros, priva de estos ingresos a los cavernícolas especializados, introduciendo un desbalance adicional.

FACTORES HISTORICOS

Hasta los años 1970´s las cuevas de Gipuzkoa poseían ecosistemas subterráneos poco alterados, muy diversos, y con una abundancia de fauna considerable. Con ello no queremos decir que no haya podido producirse la extinción de especies troglobias anteriormente, pero desde luego no hay datos para verificarlo. Lo más que es posible afirmar científicamente sobre factores de amenaza es lo que resulta factible al comparar lo observado entre el momento del descubrimiento de las especies y el momento presente. Esto es precisamente lo que establecimos en el trabajo de 2006, ya que a partir de finales de los años 1990´s, sí asistimos y constatamos una progresiva declinación y rarefacción de especies y poblaciones cavernícolas, que empezamos a documentar cuantitativamente a partir del año 2000 (Galán, 2002, 2005, 2006).

Uno de los mayores interrogantes a nuestro entender residía en la incidencia de la deforestación, ya que es conocido experimentalmente y por estudios de campo en otros países que constituye un importante factor de amenaza a largo término. El territorio de Gipuzkoa ha sido progresivamente deforestado a partir de hace 4.000 años. Por ejemplo, Aralar redujo su superficie arbórea de cerca del 95% a menos del 18% actual. Además, la mayor parte de la cobertura forestal actual corresponde a plantaciones de coníferas exóticas, quedando pocas superficies boscosas con testigos de la vegetación original de hayedos y robledales. La imagen idílica de verdes prados en las zonas altas de muchas montañas guipuzcoanas no corresponde a la vegetación natural, sino que son el resultado de tala y pastoreo, que se mantienen con el segado y abono de los propios animales; cuando éste se abandona, o también en terrenos recién talados, crece entonces la vegetación de landa atlántica (argomas, brezos, helechos) o bien el matorral enmarañado llamado monte bajo, respectivamente. Todos estos tipos seriales de vegetación baja, así como las masas de árboles maderables, deben ser considerados cultivos o plantaciones, pero en ningún caso bosques.

Nosotros suponemos que la extensión de prados a expensas del bosque fue un proceso histórico paulatino, donde nuevos equilibrios eran alcanzados bajo cobertura herbácea, y éstos eran mantenidos con cambios menores a través del pastoreo, sobre todo de ovejas. En zonas de montaña, que es donde se localiza la mayoría de los karsts guipuzkoanos, esta progresiva sustitución de la vegetación arbórea fue un proceso lento y estabilizado que, tras el impacto inicial, permitía la recuperación de los ecosistemas hipógeos. Las zonas calcáreas más abruptas eran difícilmente explotables y por ello los karsts de montaña constituían reservorios desde los cuales podía producirse la recolonización por troglobios de las zonas del endokarst afectadas. El clima húmedo del país también contribuía a impedir procesos de aridificación subterráneos. El resultado es que para 1950-70 los ecosistemas subterráneos gozaban de una aparente buena salud.

La introducción de coníferas exóticas si bien comenzó en el siglo XIX, se intensifico extraordinariamente en las décadas de 1960, 70 y 80 (DFG, 2005; JGG, 2012). En tiempos más recientes asistimos a un incremento notable en la construcción de pistas forestales y una creciente utilización de maquinaria para la tala mecanizada, que extendió la explotación de madera a zonas altas y abruptas, a tenor de la demanda de la industria papelera y de la fuerte declinación del agro. A ello se sumó otro factor previamente desconocido: el uso intensivo de fertilizantes, insecticidas y plaguicidas. Las poblaciones de los principales grupos de insectos (lepidópteros, coleópteros, dípteros e himenópteros), al igual que el de especies insectívoras de vertebrados (incluyendo quirópteros), experimentaron una fuerte declinación. Nosotros suponemos que ésta se extendió a otros grupos de invertebrados y también a los troglobios, dependientes del ingreso de nutrientes desde los ecosistemas de superficie. El grupo de invertebrados mejor estudiado en el país, el de los lepidópteros, experimentó un fuerte declive (Gómez Aizpurua, 2006, com. pers.), probablemente del orden del 75% o más de sus efectivos. El grupo de quirópteros de hábitos cavernícolas experimentó un declive igualmente considerable (Galán, 1997), sin duda superior a un 50% y tal vez a un 90% en el caso de algunas especies coloniales.

Igualmente durante el período de finales de los 1970´s a 2005 asistimos a un incremento de muy diferentes vertidos contaminantes en niveles medios y altos del karst (facilitado por la construcción de carreteras y pistas forestales) así como a una creciente presión del agro y turística en niveles altos, incluyendo actividades comerciales en relación a cuevas. La suma de todos estos factores ha actuado en conjunto de modo progresivo en las tres últimas décadas, afectando a los troglobios de modo desigual.

Un problema previo y mayor, ha sido la contaminación de la práctica totalidad de los cursos bajos de los principales ríos de Gipuzkoa, aspecto éste que se revela intratable, debido a que en cierto modo ha ido asociado al desarrollo urbano e industrial del territorio. El efecto mayor de esta contaminación se limita a las zonas del karst en contacto hidrológico con estos ríos, y debido a que éstos constituyen el nivel de base del drenaje de karsts de montaña (con escaso desarrollo de la zona inundada), su efecto ha sido periférico. No obstante este factor ha eliminado numerosa fauna intersticial y ha creado barreras a las vías de intercambio de fauna stygobia (cavernícolas acuáticos) entre karsts contiguos.

En un apartado anterior se incluyó un amplio comentario sobre deforestación o tala y plantación de especies forestales exóticas. Las talas en muchas especies de crecimiento rápido ocurren cada 15 o menos años, y el uso de tractores y maquinaria arrasa grandes extensiones y remueve el suelo exponiéndolo a fuerte erosión. Es decir, que no se trata de una tala única, en la que el terreno se recupera a mediano plazo, sino de cortas sucesivas, con métodos muy agresivos que impiden la recuperación de los ecosistemas de superficie. Cada corta sucesiva implica una pérdida progresiva de suelos por erosión, que se adelgazan y simplifican. La superficie arbolada de Gipuzkoa, en su mayor parte, ecológicamente no puede ser considerada un bosque, sino una plantación, de periódica explotación y renovación.

El impacto mayor de la deforestación y de la contaminación orgánica y química en Gipuzkoa, reside sobre todo en que estos factores de amenaza se han visto intensificados en las últimas décadas y se han extendido a niveles más altos en la montaña. Por ejemplo, las mayores extensiones de hayedo que subsisten en Gipuzkoa corresponden a las sierras de Aizkorri, Aralar, y flanco norte de Ernio; los dos primeros karsts se vieron muy afectados antes de la declaratoria de parques naturales, y el último lo está siendo con gran intensidad en la última década hasta el presente, pese a tratarse de un flanco muy abrupto, con pendientes muy fuertes. Es decir, que por un lado se trata de impactos nuevos para los cavernícolas y, por otro, éstos se han extendido a áreas críticas de reserva que antes permitían la recuperación de los ecosistemas.

Han sido documentados casos de vertidos contaminantes y graves impactos que afectaron a partes de un karst, pero no a la totalidad del mismo; aunque los troglobios desaparecieron de las áreas afectadas, los que sobrevivieron en las no-afectadas pudieron luego recolonizar lentamente el área original de distribución de las especies (Lewis, 1996; Elliott, 1998; Galán, 2006). En tales casos se trataba de karsts extensos. En Gipuzkoa en cambio predominan los karsts poco extensos, fragmentados incluso en unidades hidrogeológicas menores, es decir, el karst guipuzcoano es en esencia un archipiélago de islas e islotes calcáreos. Adicionalmente, los biotopos que albergan troglobios en el endokarst constituyen a su vez otro archipiélago menor de habitats críticos, con poblaciones poco numerosas y con muy bajas tasas reproductivas. La gran cantidad de endemismos, especies raras y especies sólo conocidas de pocas localidades, refuerzan la idea de que existe una gran insularidad en muchas de las especies troglobias guipuzcoanas. Cualquier factor de amenaza que intensifique el declive poblacional, reduzca la integridad genética o impida el intercambio, colocará a las especies bajo riesgo de extinción.

Podemos concluir que las más graves amenazas son las que resultan nuevas para los troglobios (productos químicos, insecticidas, petróleo o metales pesados, no usados antes de 1950´s en el karst). A ello se suma la intensificación de las ya conocidas (deforestación, siltación, contaminación orgánica y bacterial, pérdida de nutrientes). Otros factores son en parte consecuencia y corolario unos de otros y de los anteriores: pérdida de nutrientes, enriquecimiento de nutrientes, acción bacterial, desbalance trófico y ecológico. Estos factores están asociados a las modernas prácticas agro-forestales y, sobretodo, a su extensión a niveles altos del karst, que en el pasado actuaban como áreas de reserva. Estas últimas han jugado un papel de áreas críticas para las especies, ya que han actuado históricamente como reservorios. Pero hoy están también siendo afectadas, directa o indirectamente, por lo que urge desarrollar una política de conservación que garantice su supervivencia y recuperación antes de que sea demasiado tarde (Galán, 2006; Galán et al, 2012).

Observar la acción que han tenido (y siguen teniendo) los principales factores de amenaza sobre la fauna hipógea, nos ha llevado a plantear interrogantes sobre su acción en el territorio a escalas mayores, macroecológicas. En los siguientes apartados trataremos con mayor detalle el comportamiento de algunos de ellos y su incidencia sobre diversos grupos de especies y ecosistemas, tanto hipógeos como epígeos. Trataremos con especial énfasis algunos temas que consideramos representativos a la vez que ilustrativos, como las afecciones a quirópteros, el problema de los tratamientos contra la procesionaria (por su estrecha vinculación a las plantaciones de coníferas exóticas en el país), y los efectos adversos derivados del creciente uso de biocidas en el agro, sobre los ecosistemas naturales y sobre la salud de la población humana.

AFECCIONES A QUIROPTEROS

Los quirópteros son uno de los grupos más diversos de mamíferos, comprendiendo la tercera parte de las especies continentales (según los últimos datos en Gipuzkoa se encuentran 26 especies). La inmensa mayoría de las especies de quirópteros en Europa se encuentran amenazadas y por ello han sido incluidas en las listas rojas de vertebrados continentales (Galán, 1997; Nowak, 1991; Stebbings, 1988).

El mayor impacto sobre quirópteros reside ampliamente en las actividades humanas. Entre las causas de amenaza y declinación más comunes registradas en Europa y Norteamérica destacan, en orden decreciente, las siguientes: (1) Reducción o destrucción de los recursos alimentarios por el empleo de insecticidas, plaguicidas y pesticidas. (2) Envenenamiento directo de los murciélagos por insectos intoxicados por productos químicos pero todavía vivos. (3) Envenenamiento con efecto indirecto (subletal) que aunque no causa mortalidad directa produce perdida de fertilidad o inviabilidad de los embriones, con la consiguiente reducción de la tasa de natalidad. (4) Uniformización de los paisajes con eliminación de la vegetación autóctona (deforestación, eliminación de bosques naturales y arbustales, plantaciones de coníferas exóticas). (5) Empleo en edificaciones de productos de impregnación para el tratamiento de xilófagos, carcomas y hongos de las maderas (muy tóxicos para animales homeotermos). (6) Destrucción de refugios (demolición de ruinas; eliminación de viejos edificios; cierre hermético de graneros, minas y cuevas; tala de árboles viejos con huecos apropiados para quirópteros; reparación de puentes y muros). (7) Destrucción intencionada por el hombre o molestia en los lugares de refugio de colonias de reproducción y/o maternidad por visitas humanas continuadas o por simple vandalismo. El uso de insecticidas y plaguicidas (que reunimos bajo la denominación de biocidas) es el factor que más ha incidido en el declive generalizado de poblaciones de murciélagos en Europa y Norteamérica (Benzal & Paz, 1991; Clark, 1988; Elliott, 1998; Galán, 1997, 2006; Horacek, 1984; Jefferies, 1972; Mohr, 1972; Stebbings, 1988; Tuttle, 1979).

Guillen et al. (1991) ofrecen una amplia recopilación de los efectos de los biocidas sobre las poblaciones de quirópteros en la península ibérica, tanto del efecto directo de compuestos organoclorados, organofosforados y carbamatos, como de su efecto indirecto sobre la fertilidad, depresión de la disponibilidad de presas, y acción de inhibidores antiquitinizantes. En un estudio sobre la incidencia de los biocidas en *Rhinolophus ferrumequinum*, *Pipistrellus pipistrellus* y *Miniopterus schreibersi*, estos autores hallaron que de 15 biocidas analizados tan sólo dos no se encontraron en ninguna muestra; que la frecuencia de aparición de biocidas en quirópteros es relativamente alta (de los 13 biocidas detectados, 11 aparecieron en más del 30 % de las muestras y 6 en más del 70 %), aunque las concentraciones son, en general, bajas (subletales). Por la afinidad de su estructura química predominan el DDT y sus metabolitos, seguidos de BPC (bifenilos policlorados), lindano y sus metabolitos, y aldrín, heptacloro y sus metabolitos. Las zonas con aprovechamientos agrícolas tienen mayores niveles de contaminación de productos fitosanitarios que las forestales. De las tres especies, *M.schreibersii* tiene los contenidos más elevados de productos fitosanitaros. Se atribuye esto a que dado el carácter migratorio de la especie hace que tenga acceso a áreas distantes que deben haber recibido tratamientos más importantes. En el caso de los BPC los niveles de esta especie son muy similares a los de *P.pipistrellus*, que es un murciélago antropófilo y, por tanto, de fácil acceso a estos productos.

Los compuestos organofosforados aumentaron su uso en el Estado español y ya para 1987 se empleaban más de 121 mil toneladas/año. Su toxicidad para vertebrados es muy variable pero a menudo resultan más tóxicos que los organoclorados. La tolerancia de los murciélagos a estos pesticidas es un tema complejo y a menudo su toxicidad se presenta bajo la forma de efectos subletales y crónicos, particularmente decreciendo el éxito reproductor.

Otros compuestos pertenecientes al grupo de las benzoiloureas se utilizan como inhibidores del crecimiento de insectos o antiquitizantes. El más conocido de ellos es el diflubenzurón, ampliamente utilizado en tratamientos de pinares atacados por procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*). Aunque resulta muy eficaz para el control de la plaga, tiene un amplio efecto sobre las orugas de otras mariposas y muchos otros insectos. Soria et al. (1988) estudiaron su efecto sobre *Graellsia isabelae*, especie incluida en el libro rojo de los lepidópteros ibéricos. En un primer experimento hallan que 250 orugas alimentadas con acículas de los pinos tratados mueren antes de los 10 días. Con igual alimento pero procedente de una zona tratada dos años antes, mueren 248 (el 99,2%) en un plazo inferior al mes y medio. En el control con dieta no tratada la mortalidad es del 41,2%, que se considera normal. En un segundo experimento, en semilibertad, el 100% de las orugas que se alimentan de pinos tratados dos años antes mueren antes de llegar a crisálidas, mientras que en el control el 30% de ellas llega a crisálida. Los autores concluyen que el efecto de estos biocidas es de gran magnitud sobre determinados grupos de insectos (sobre todo lepidópteros), de los cuales las especies-plaga son sólo una parte. Este efecto puede durar varios años, sin perder intensidad, dependiendo de la vida del follaje de la vegetación tratada (2 á 4 años en el caso de pinos). Y por último tiene comprobados efectos indirectos sobre poblaciones de vertebrados entomófagos, al disminuir la disponibilidad de presas.

Para el tratamiento de protección de estructuras de madera contra insectos xilófagos y hongos, se utilizan productos sobre todo a base de lindano, pentaclorofenol y hasta hace poco dieldrín, los cuales son altamente tóxicos para los murciélagos. No es necesario que los murciélagos se encuentren en el refugio cuando se hace la aplicación

(Voute, 1981). El lindano y el pentaclorofenol pueden ser letales para *P.pipistrellus* incluso si el refugio es utilizado 14 meses después. La cuantificación de la mortalidad producida por este tipo de tratamiento es difícil de evaluar, porque las colonias en edificios a menudo pasan desapercibidas y los cadáveres sólo son visibles en raras ocasiones. En gran parte de Europa una importante fracción de las poblaciones de murciélagos utiliza edificaciones como refugio en alguna fase de su ciclo de vida. Stebbings & Arnold (1987) citan p.ej. un caso estudiado en Inglaterra: el tratamiento en 1953 de unos cobertizos donde se cobijaba una colonia de *Rhinolophus ferrumequinum* con lindano al 1%. El número mínimo de murciélagos muertos después de la aplicación fue de 15.000 y en 1961 todavía seguían muriendo bastantes individuos. Aunque algunos siguen visitando el refugio, nunca han vuelto a criar allí. Este es sólo un ejemplo del efecto adverso de este tipo de biocidas sobre quirópteros.

A pesar de que la información disponible es fragmentaria, está fuera de toda duda que el amplio espectro de biocidas usados en el agro, en el tratamiento de plagas de masas forestales, y en el tratamiento de maderas, es la causa central de los declives experimentados por poblaciones de murciélagos en Europa y en el País Vasco.

Una o varias de las causas antes señaladas, actuando juntas, son las responsables de los declives experimentados por poblaciones de quirópteros. En algunas regiones europeas ha sido importante la destrucción de refugios. En el País Vasco, donde existen infinidad de zonas kársticas y cuevas e infinidad de refugios en zonas forestales y edificaciones antiguas, los biocidas ocupan el lugar principal, aunque también ha ocurrido alteración del habitat, sustitución de caducifolios por coníferas, la eliminación de árboles viejos con huecos apropiados para quirópteros y el disturbio en algunos refugios en cueva antes utilizados por colonias de quirópteros.

Es importante tener en mente, cuando se habla de impacto medioambiental y conservación de la biodiversidad, que la inclusión de especies en listados de especies amenazadas busca proteger a especies cuyas poblaciones han declinado numéricamente, han desaparecido de buena parte de su rango de distribución previa, o ambas cosas a la vez, estando por consiguiente amenazadas o en peligro de extinción. La categoría de especies vulnerables hace referencia a que de continuar actuando factores desfavorables colocarían a dichas especies en peligro. Para proteger a las especies amenazadas hay que protegerlas de las causas reales que afectan a su supervivencia. Por consiguiente hay que entender los factores de amenaza y lo que representan en términos cuantitativos y cualitativos para la demografía de las poblaciones y la biología de las especies.

En el caso de las poblaciones de quirópteros en Europa, la inclusión de la práctica totalidad de las especies en las distintas categorías de los catálogos, ha obedecido a la alarmante declinación numérica (documentada) que han experimentado sus poblaciones. En países como Inglaterra o Alemania algunas especies de quirópteros han visto reducido el número de sus efectivos en más del 95%. Por ejemplo, *Rhinolophus ferrumequinum* fue considerada una especie amenazada en Europa en 1982, y en el mundo en 1986 (Stebbings & Griffith, 1986). La especie ha declinado rápidamente por el uso de biocidas, disturbio de sus refugios en cuevas y edificaciones, vandalismo, modificación del habitat que ha resultado en la pérdida de grandes presas de insectos, y por el uso de insecticidas que son absorbidos por los murciélagos. En Inglaterra durante el pasado siglo sus números han caído sobre el 98 %, hasta existir hoy sólo 2.200 individuos (Stebbings, 1988; Nowak, 1991). Problemas similares han ocurrido a *Rhinolophus hipposideros, R.euryale, R. blassi* y *R.mehelyi*, los cuales también son listados como especies en peligro en Europa por Stebbings & Griffith (1986). Una lenta recuperación de *Rhinolophus euryale* ha ido siendo notada desde que algunos de los más peligrosos pesticidas eran prohibidos en los 1980´s (Brosset et al., 1988).

La situación de las especies de *Myotis* en Europa es también muy mala. *Myotis dasycneme* por ejemplo, ha declinado ahora a números de sólo 3.000 ejemplares en Europa Occidental y de menos de 7.000 en su entero rango de distribución. *Myotis myotis* ha sido casi exterminado en Gran Bretaña, los Países Bajos e Israel, y sus colonias se han visto reducidas en su entero rango. Stebbings & Griffith (1986) listan a dichas especies, junto con *Myotis emarginatus* y *M.blythi*, en peligro. *M.bechsteini* como raro, y *M.nattereri, M.capaccini, M.mystacinus* y *M.brandti* como vulnerables. Los factores de amenaza incluyen la pérdida de refugios en bosques clareados, disturbio de las colonias de hibernación en cuevas y minas, deliberada exclusión de colonias de maternidad en castillos y catedrales, y contaminación. La más grande amenaza inmediata para estas especies en Europa reside en el uso de biocidas y en la fumigación y tratamiento químico de maderas en construcciones que tradicionalmente utilizaban estas especies como lugar de descanso. Los compuestos químicos permanecen en la superficie de las maderas tratadas durante años, y son absorbidas a través de la piel y boca de los murciélagos, causando su muerte o fallos reproductivos (Nowak, 1991). Estos ejemplos muestran los casos de amenaza más comunes en la mayoría de géneros europeos de murciélagos y constatan una alarmante declinación global de sus efectivos poblacionales, en el conjunto europeo.

A través de 46 años de observaciones sobre quirópteros en cuevas del País Vasco, hemos obtenido algunos datos comparados sobre los cuales hemos basado algunas estimaciones. Parte de ellas han sido expuestas en Galán (1997, 2006) y básicamente consideran que ha existido un declive de las poblaciones de quirópteros en la región del orden del 50% de sus efectivos, y tal vez mayor en el caso de las especies cavernícolas más gregarias, como *Rhinolophus euryale* y *Miniopterus schreibersii*. Entre los factores responsables de esta declinación, a su vez correlacionada positivamente con la declinación de grandes grupos de insectos (como lepidópteros y coleópteros), el empleo de biocidas es la causa principal. Otros factores, muy importantes en otros países, como la pérdida de habitat por

antropización o la destrucción de refugios, parecen haber tenido en cambio una importancia secundaria en términos comparativos. La mayoría de las especies presentes en el país soportan variables grados de amenaza; otras de ellas son raras o están insuficientemente investigadas; y el murciélago común (*P. pipistrellus*) es aún relativamente abundante. Nosotros estimamos que sólo dos especies (*R.euryale* y *M.schreibersii*), por ser cavernícolas-coloniales y estar presentes sólo en un reducido número de localidades, deben ser consideradas vulnerables y deben ser protegidas especialmente de los principales factores de amenaza que inciden sobre ellas: el uso de biocidas y la destrucción o disturbio de sus colonias de reproducción.

Conviene también destacar que las especies amenazadas no están simplemente estáticas, incluidas en un listado administrativo, sino que siguen soportando impactos humanos desfavorables (con la consiguiente amenaza de extinción) en tanto no se actúe sobre las causas o factores de amenaza que provocan los desequilibrios y el declive poblacional. En este sentido, la preocupación de la administración por la conservación del medio ambiente y la biodiversidad, debe ir dirigida no a mantener a las especies en los listados o catálogos, sino a lograr su recuperación y salida de dichos catálogos. Sin ello, las listas de especies amenazadas probablemente se transformen con el paso de los años en listas de especies extintas por el hombre, que es lo que crecientemente está ocurriendo. Diversos autores han alertado sobre la escasa comprensión que se tiene en materia de conservación sobre el significado de los listados de especies protegidas (Elliott, 1998; Tercafs, 1988). Mc Craken (1989) ha cuestionado por ejemplo la utilidad de los Red Data Books para un grupo tan importante de vertebrados como los quirópteros; aunque la IUCN lista el 4% de las especies existentes de este grupo en el mundo como amenazadas o en peligro, él piensa que las listas rojas dan una inadecuada e incompleta visión de la situación real de amenaza y de la actual crisis de extinciones de fauna; básicamente porque lo que las listas reflejan ampliamente es nuestra ignorancia sobre el estatus de los quirópteros en muchas partes del mundo, lo que a su vez se relaciona con la falta de financiación a la investigación de estos temas. Una consideración similar podría hacerse sobre el conocimiento de los quirópteros en nuestra región así como sobre el conjunto de especies de invertebrados, los cuales representan el 97% de las especies animales.

Puede también remarcarse que si los factores señalados afectan de modo significativo a especies insectívoras de mamíferos, como los quirópteros, que son relativamente resistentes, su acción se extiende en grado más severo a muy distintos grupos de insectos e invertebrados, mucho más sensibles, así como a otros grupos de vertebrados de hábitos alimentarios insectívoros (topillos, aves y anfibios que se alimentan de insectos, entre otros).

LOS TRATAMIENTOS CONTRA LA PROCESIONARIA

Las fumigaciones de los bosques españoles afectados por plagas como la de la procesionaria del pino se practican lanzando sustancias químicas tóxicas y persistentes como el *diflubenzurón* que se mezcla con gasóleo y se esparce a razón 0,3 cm^3 por metro cuadrado (TERRA, 2010). Los efectos de estos tratamientos sobre los seres vivos y la población humana del entorno no están suficientemente estudiados, pero afectan de forma grave especialmente a personas con diversos tipos de alergias y a personas con el síndrome de sensibilidad química múltiple (SQM). Lo mismo sucede con el resto de fumigaciones ambientales tanto en parques urbanos como equipamientos públicos. Las alarmas sobre los efectos nocivos de estos tratamientos se han centrado exclusivamente en su efecto negativo sobre la salud humana, pero su acción tóxica se incrementa a medida que descendemos en la escala zoológica. Además de la señalada acción sobre los quirópteros, es probablemente uno de los biocidas responsables de las declinaciones de los mayores grupos de insectos del País Vasco. Al respecto debe recordarse que la mayor parte de la masa forestal en Gipuzkoa está constituida por las plantaciones de coníferas exóticas, periódicamente atacadas por procesionaria. Por lo cual su efecto sobre los seres vivos del territorio es considerable.

De las plagas de los bosques ibéricos destaca por su visibilidad la oruga de la *procesionaria* del pino. Esta plaga está causada por la larva de la mariposa nocturna *Thaumetopoea pityocampa* o procesionaria. La oruga de la procesionaria mientras crece se alimenta de las hojas del pino la cual se comporta como el mayor defoliador de los pinares. Los mayores daños se dan en época invernal. Su ciclo vital es complejo y tiene como característica que la etapa de metamorfosis ocurre en el subsuelo; pero de toda la población en este estado, sólo la mitad lo hace al año siguiente, mientras que la otra mitad tardará dos años (las temperaturas más bajas de -12 ºC impiden su desarrollo así como la elevada pluviosidad dificultan su proliferación). De este modo la especie se asegura que si las condiciones climáticas de aquel año han sido desfavorables le queden supervivientes para la siguiente temporada.

La oruga de la procesionaria del pino afecta a la mayor parte de las especies de pino autóctonas y especialmente a las coníferas exóticas como el pino insignis. Es muy vistosa por las bolsas de refugio que construyen las orugas cuando descansan de comer hojas y protegerse a su vez del rigor invernal. En años en que el invierno es más bien benigno la procesionaria se expande enormemente. En todo caso, desde los años 1960's ha pasado a ser una costumbre fumigar las masas arboladas afectadas por la procesionaria. Estas fumigaciones se realizan con medios aéreos o terrestres, y utilizando pesticidas que además de afectar a la procesionaria afectan también a otras especies de lepidópteros e insectos beneficiosos como las cabañas de abejas.

Figura 1. La plaga de la procesionaria de los pinares españolas es tratada con fumigaciones terrestres y aéreas.

Figura 2. Detalle de las orugas de la procesionaria en su característico "nido".

Las plagas que afectan a la producción forestal toman una especial virulencia sobretodo en los bosques monoespecíficos y de especies exóticas, que no pertenecen a la vegetación clímax de la región. Más de 500.000 hectáreas quedan completamente defoliadas todos los años en España por los ataques de la oruga de la procesionaria del pino. En los pinares adultos disminuye el crecimiento, mientras que los repoblados jóvenes, acosados por la procesionaria, tardan más tiempo en constituirse en masas adultas o, incluso, terminan degradándose. Por otra parte, los montes defoliados por la oruga presentan un aspecto desolador y pueden llegar a ser intransitables y dificultar los trabajos silvícolas por las urticarias que producen las orugas. Una de las principales formas de combate de este tipo de plagas son las fumigaciones aéreas o terrestres cuyo impacto ambiental y sobre la salud están en cuestión.

Métodos alternativos para luchar contra la procesionaria se basan en la captura de las mariposas hembras con trampas a las que se las atrae con preparados de feromonas. También se usan insecticidas naturales como la toxina del bacilo *Bacillus thuringiensis* (sin toxicidad ni persistencia aparente para el medio, aunque afecta a otras especies de insectos como cualquier insecticida). Otro método es la corta manual de las bolsas o “nidos”, pero es menos efectivo según los exterminadores expertos. Cada comunidad autónoma toma su particular decisión, la más habitual la fumigación aérea o terrestre según la extensión, aplicando insecticidas químicos en plagas intensas, biológicos en plagas suaves y en algunas zonas como el norte de Aragón han desestimado cualquier aplicación por tener importantes cabeceras de cuencas fluviales.

Las fumigaciones se practican en otoño, momento en que las orugas están en la fase joven de su ciclo vital y son todavía débiles por lo que además son más vulnerables a los pesticidas. El plaguicida más habitual empleado es el *diflubenzurón* (que tiene -según la escala establecida por la propia industria- una toxicidad baja para los seres humanos y animales superiores, pero que en cambio tiene una larga persistencia en el medio). Recordemos que en los últimos años se han prohibido los organofosforados (plaguicidas con efectos neurotóxicos para los seres vivos) en fumigaciones, por su indiscriminada y elevada toxicidad. Las fumigaciones aéreas se aplican en plagas que ocupan una gran extensión: montes, zonas húmedas, cultivos de frutales, especialmente cítricos. Estas últimas aplicaciones según sus defensores reducían de forma contundente las plagas en los vegetales y a la vez servían de control para otros insectos como mosquitos y moscas que masivamente pueden ser molestos para la salud pública.

El diflubenzurón no tiene un efecto inmediato sobre las orugas ya que es un inhibidor de la quitina por lo que les impide el crecimiento que será el factor que las matará. Por ello está indicado en los primeros estadios larvarios. Pero, precisamente, por su lentitud de acción es preciso que el principio activo esté presente sobre las hojas de los

árboles el mayor tiempo posible. Por este motivo se usan sustancias que mantengan su persistencia y en este caso son sustancias grasas. La dispersión aérea según los técnicos de la administración forestal que lo defienden argumentan que permite que el diflubenzurón quede prendido en las hojas del pino y de esta modo estará activo afectando a los orugas entre octubre hasta marzo que empiezan a enterrarse. Para aumentar la adherencia de la aplicación se usa como disolvente el gasóleo de modo que esta se hace más resistente al lavado por las lluvias a la vez que permite la formación de gotas muy finas, lo cual incrementan la cobertura de la aplicación, sobre todo en pinares cuyas acículas, en forma de cilindros de muy pequeño diámetro, son excelentes para capturar gotas pequeñas (de unos 125 micras). El gasóleo es barato y forma una mezcla muy homogénea con la formulación de diflubenzurón denominada DIMILIN 45 ULV.

El problema no atañe sólo al diflubenzurón en las fumigaciones sino también como comentamos al solvente que se usa para facilitar su activación, o sea el gasóleo (hidrocarburos). La dosis de plaguicida se basa en la llamada técnica de volúmenes ultra bajos (ULV) que recomienda dosis de 45 g por hectárea y se mezcla con 3 lt de gasóleo y aceite parafínico. La dosis total del caldo por hectárea es de 3 lt/ha (por cada 10.000 m^2) lo que arroja una concentración de materia activa de 0,0045 g/ m^2 y 0,3 cm^3/m^2. Si hacemos la dispersión de gotas por metro cuadrado puede parecer poco, pero esta es suficiente para que los tóxicos arrojados lleguen a lugares insospechados del bosque silvestre contaminando el medio ambiente. Se da el caso que en el otoño se fumigan bosques de pinos que son ricos en setas y de alguna manera estas acaban también asimilando la aspersión tóxica lanzada.

Estamos ante un problema ecológico del que existe escasa conciencia colectiva sobre la contaminación ambiental que provoca. No hay datos concretos de las fumigaciones en España pero se estiman en unas 100.000 hectáreas de bosques en las que se vertieron tóxicos sin aviso y de una larga persistencia. Sólo en Cataluña, donde hay casi 1,5 millones de hectáreas arboladas, anualmente se fumigan cerca de 10.000 hectáreas (un 80% en avioneta y un 20% en helicóptero). El gobierno autonómico catalán asegura que las plantaciones de pino fumigadas son bosques públicos aunque también lo hacen en los bosques privados que lo solicitan. Actualmente, en España existen 44 operadores autorizados para realizar tratamientos aéreos en el que trabajan unos 120 pilotos, según el Colegio Oficial de Pilotos de la Aviación Comercial (COPAC).

Las fumigaciones ambientales con productos químicos en nuestro país quedarán suprimidas por la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo de 2009, por la que se establece el marco de actuación para conseguir un uso "sostenible" de los plaguicidas, y establece su prohibición cuando la lucha contra una plaga forestal pueda sustituirse por otros medios desde tierra. En cualquier caso, deberán siempre utilizarse los productos menos tóxicos posibles. Esta normativa deberá ser transpuesta por los países miembros antes del 14 de diciembre de 2011. En España, actualmente, una comisión política está redactando el Decreto de aplicación de esta normativa, que determinará entre otros qué productos se podrán utilizar o sustituir en las fumigaciones aéreas. TERRA (2010) ha recopilado los artículos principales de esta directiva europea:

• Teniendo en cuenta los posibles riesgos derivados del uso de los plaguicidas, el público en general debe estar mejor informado de los efectos globales del uso de plaguicidas, mediante campañas de sensibilización, información difundida a través de los comerciantes, y otras medidas adecuadas (artículo 10 capítulo IV)

• La pulverización aérea de plaguicidas puede causar efectos negativos significativos en la salud humana y el medio ambiente, sobre todo por la deriva de la pulverización. Por tanto, la pulverización aérea debe prohibirse en general, con posibles excepciones en los casos en que presente claras ventajas en términos de menor impacto en la salud humana y el medio ambiente en comparación con otros métodos de pulverización o cuando no haya ninguna alternativa viable, siempre que se empleen las mejores técnicas disponibles para reducir la deriva (artículo 14).

• El uso de plaguicidas puede ser particularmente peligroso en zonas muy sensibles, como son los espacios Natura 2000 protegidos en virtud de las Directivas 79/409/CEE y 92/43/CEE. En otros lugares, como parques y jardines públicos, campos de deportes y áreas de recreo, áreas escolares y de juego infantil, así como en las inmediaciones de centros de asistencia sanitaria, los riesgos derivados de la exposición a los plaguicidas son grandes. En esos lugares debe minimizarse o prohibirse la utilización de plaguicidas. Cuando se utilicen plaguicidas deben preverse "medidas adecuadas de gestión del riesgo", así como concederse prioridad a los plaguicidas de bajo riesgo y a las medidas de control biológico (artículo 16).

La propia normativa resulta irónica y, anodina en la práctica. Ya que plantea un uso "sostenible", campañas de sensibilización, sustituciones por otros biocidas, y reducciones en "zonas de riesgo" para los humanos, especialmente niños, pero en ningún caso habla de su eliminación y menos aún sobre la protección de los seres vivos no-humanos.

Durante las dos ultimas décadas se han detectado grupos de personas intoxicadas por fumigaciones en espacios públicos; especialmente en el interior de edificios, zonas urbanas o zonas verdes donde hay una población residente o usuaria importante dejándoles secuelas irreversibles como es el síndrome de sensibilidad química múltiple (SQM). Este colectivo ha realizado denuncias de fumigaciones reiteradas en su municipio que afectan a su precaria salud y las cuales además se han realizado sin el aviso previo que habían solicitado. Se estima que más del 70% de los diagnosticados por el SQM enfermaron después de estar expuestos a fumigaciones ambientales. También se ha denunciado a la administración por las fumigaciones terrestres en parques urbanos con plaguicidas como el

insecticida sistémico *Duloc* e incluso el *Malation* (prohibido en toda la UE a partir del 2009). En el caso de las quejas por las fumigaciones aéreas la administración ha argumentado su "intención" de sustituir el gasóleo por aceite vegetal, pero no hay certeza alguna de este posible compromiso ya que por ahora es perfectamente legal fumigar los bosques con plaguicidas con gasóleo. Habitualmente, tampoco se avisa sobre las zonas que serán fumigadas.

La reducción del uso de plaguicidas en la UE está en marcha pero, lamentablemente, queda aún una larga lista de substancias por eliminar y sustituir. Hay que exigir el cumplimiento de la legislación en la aplicación de químicos tóxicos, así como reclamar la eliminación de estos como única forma para evitar la contaminación ambiental, la pérdida de biodiversidad y los riesgos para la salud pública (TERRA, 2010).

Los efectos del uso de productos químicos tóxicos a veces sólo es posible de valorar con una perspectiva dilatada en el tiempo. Las personas con SQM y alergias que empeoran gravemente en presencia de dosis mínimas de biocidas en el entorno son la alarma que advierte sobre la necesidad de adoptar soluciones drásticas para la eliminación o reducción de productos químicos altamente nocivos para el medio ambiente y los seres vivos.

OTROS EFECTOS DE LOS BIOCIDAS

Lo primero que conviene establecer es el enorme número de biocidas utilizados, en cantidades considerables, y de forma creciente a partir de los años 1960's. Estos han sido diseñados con la intención precisa de exterminar seres vivos, aunque, como veremos, no siempre lo consiguen y a menudo causan daños mayores de los que se pretende evitar, incluso a los propios seres humanos. Una consulta a la simple guía de una de tantas empresas que vende insecticidas para el agro y jardinería menciona los siguientes:

Concentrado 50 ml: Insecticida sistémico, para pulgones, trips, barrenas, cochinillas, larvas. Es un insecticida organofosforado sistémico a base de dimetoato, que actúa por contacto e ingestión. Posee buen efecto de choque y larga persistencia. Efectivo contra un amplio número de insectos que atacan las plantas. **Oleotion 400 ml:** Aceite insecticida - acaricida formulado con un aceite mineral + un insecticida organofosforado (fenitrotion), con actividad por contacto e ingestión, de estimable valor en el control de insectos y ácaros que atacan a las plantas. **Oleosumithión Massó 1 L:** Insecticida Fosforado. Aplicaciones: Frutales de hoja caduca, viñedo, platanera, cítricos y arbustos ornamentales, contra cochinillas, pulgones, huevos y larvas de insectos y de araña roja y otros ácaros. **Insect 40 ml:** Bio-insecticida a base de esporas de Beauveria bassiana. Es un producto a base de esporas de Beauveria bastiana, un hongo que actúa por contacto parasitando a los insectos- plaga. Las esporas se activan con el agua. Al efectuar la pulverización, estas esporas alcanzan al insecto, se le adhieren y germinan sobre él, penetrando en su interior. **Bacillus thuringiensis 40 ml:** Se utiliza para controlar todo tipo de orugas y polillas. Es un insecticida que presenta gran actividad contra una amplio grupo de orugas de lepidópteros como la procesionaria del pino, la polilla del racimo, la carpocapsa del manzano y peral, el minador del clavel, el barrenador del geranio, heliotis y espodoptera o gusanos de las hortícolas, orugas defoliadoras, etc. **Trivalen-Triplex 750 ml:** Protección total de las plantas, contra plagas y enfermedades. Es un preparado líquido para aplicar directamente sin diluir con acción insecticida y acaricida. En el control de plagas (insectos y ácaros) actúa por contacto e ingestión. **Imidan 50 PM:** Insecticida contra el escarabajo de la patata, mosca de la fruta, cochinillas y larvas minadoras. Composición: 50% p/p Fosmet en forma de polvo mojable. Aplicaciones: Patata: Contra escarabajo. Frutales: carpocapsa, mosca, cochinillas, larvas. Cítricos, olivar y viñedo parral: polillas y altica. **Dursban 5G:** Insecticida de suelo granulado. Composición: Clorpirifos 5% p/p. Aplicaciones: Gusanos blancos, grises, gusanos del alambre, larvas de dípteros, en fresales, girasol, horticolas, maiz, patata, remolacha, tabaco. **Massocide A.T. Plus:** Insecticida para uso doméstico contra toda clase de insectos rastreros. Composición: 3% de fenitrotion, 0,15% de sumithrin en forma de polvo para espolvoreo. Aplicaciones: Contra hormigas, cucarachas, pulgas e insectos corredores en general. **Sumicombi plus:** Insecticida de choque, prolongado efecto residual y efecto repelente, de gran penetración. Frutales de hoja caduca contra carpocapsa, polilla y otras orugas, chinillas y pulgones; hortícolas (excepto crucíferas), contra polillas y otras orugas, pulguillas, pulgones y trips. **Atominal:** Insecticida anticochinillas. Regulador del crecimiento. Composición: 10% de piriproxi-fen (líquido emulsionable). Aplicaciones: Cítricos contra caparreta, serpeta, piojo gris y piojo blanco del limonero; melocotonero y nectarino contra piojo de San José, tomate contra mosca blanca. **Sumiforte extra:** Insecticida con rápida acción de choque, persistencia y repelencia del Esfenvalerato junto con la eficacia y penetración del Sumithion. Frutales contra pulgones y piojo de San José; viñedo y parral de vid contra polillas del racimo; olivar contra prays (generación antófaga); remolacha contra pulgones, pulguilla y taladros; cereales contra Aelia rostrata. **Torque 55:** Acaricida específico para el control de araña roja y otros ácaros tetraníquidos. Composición: Fenbutestán 55% en forma de líquido autosuspensible. Aplicaciones: frutales, cítricos, parral, judías verdes, ornamentales, solanáceas y cucurbitáceas. **Antibarrenador 600 cc:** Anti gusanos de troncos. Mata los gusanos que taladran los troncos y las ramas de los árboles. Controla: Zeuzera pyrina "queras": labra galerías rectas y ascendentes en ramas. Cossus cossus: labra galerías ovales ascendentes a nivel del cuello. Sesia Myopiformis: labra galerías bajo la corteza del tronco. **Anti-caracoles 750 gr:** Cebo microgranulado para combatir caracoles, limacos y babosas. Es un helicida en forma de cebo microgranulado con actividad insecticida, que actúa por contacto e ingestión, a base de metaldehído, para el control de todo tipo de caracoles y babosas. Etc., etc. La guía lista hasta 45 insecticidas no-específicos (Infojardin, 2012).

Desde luego, en el mercado hay hoy varios miles de biocidas, específicos y de amplio espectro, de los tipos más diversos. Es acaso el mejor ejemplo de cómo la industria no solo puede generar tóxicos de forma indeseada sino al contrario, perfectamente consciente, como producto final que vender. Lo llamativo es que lo que se produce y vende deliberadamente es un veneno que ha sido concebido como tal, con la idea de dañar otros seres vivos diferentes de

los seres humanos. El resultado final, como veremos, demasiadas veces ha sido otro. A continuación exponemos algunos datos extraídos de Prada (2012), quien resume algunos de los principales aspectos.

Una de las primeras aplicaciones que llevó al diseño de este tipo de productos fue precisamente la bélica, como se vio en la 1ª y 2ª Guerra Mundiales y en la Guerra de Vietnam. Finalizadas esas contiendas se potenciaron otros usos de algunos de los venenos producidos. Los biocidas son una de las fuentes de sustancias tóxicas contaminantes que más preocupan. Con la particularidad de que, a diferencia de otras sustancias, se trata de venenos que el hombre disemina de forma plenamente consciente y deseada por el planeta.

Hay diversos tipos de biocidas, cada uno con su particular problemática, tales como los organofosforados, los organoclorados (como el DDT, el clordano, el lindano o el dieldrin) o los carbamatos, por ejemplo. Sus aplicaciones son muy diversas: herbicidas, insecticidas, funguicidas, acaricidas… En España en concreto el hombre esparce deliberadamente cada año decenas de miles de toneladas de plaguicidas. Lo hace, por supuesto, sobre los cultivos, especialmente los intensivos, pero no sólo sobre ellos.

Andalucía es la Comunidad Autónoma que más consume, aunque las mayores cantidades por hectárea, a nivel puntual, se den en algunos cultivos de Canarias. También se esparcen sobre áreas sin cultivar como puedan ser, por ejemplo, las fumigaciones contra la langosta que se efectúan regularmente en zonas de Extremadura o Salamanca. Miles de hectáreas de pinares son fumigadas también cada año para combatir plagas como la de la procesionaria. Se usan profusamente para matar las hierbas de las cunetas de las carreteras o vías de tren. Más de una ciudad es fumigada, como es el caso de Badajoz, con productos como piretrinas, a causa de los mosquitos. También y con una gran intensidad, se fumiga en los parques y jardines, de áreas residenciales (en muchas urbanizaciones, así como en campos de golf, el uso de plaguicidas no tiene nada que envidiar al de algunas áreas agrarias).

Nicolás Olea, catedrático de Medicina de la Universidad de Granada, denunciaba en una conferencia en 2006 como algunos de los pesticidas cuyo uso se prohibía para las cosechas, por los residuos de ellos que luego quedaban en los alimentos, se estaban derivando a usos como la jardinería, lo que estaba creando situaciones de exposición inadvertida a sustancias peligrosas. Hay casos de una muy potente utilización de pesticidas en entornos urbanos. Un ejemplo en España es el de lugares como Elche (Alicante) donde se producen fuertes fumigaciones en los palmerales para combatir plagas como la del célebre picudo rojo (un insidioso escarabajo importado). Incluso en las piscinas se usan profusamente pesticidas para matar los hongos, por ejemplo. Y por supuesto, en centros de trabajo, hospitales, hoteles e incluso aviones o vagones de tren y, en muchos casos, no cuando se detecta un insecto, sino según un calendario regular.

No convendría olvidar, tampoco, el uso directo de pesticidas aplicados sobre el cuerpo humano. Por ejemplo, el lindano y otros productos que se han estado usando en las cabezas de los niños en las lociones anti-parasitarias (donde ahora siguen utilizándose más comúnmente otro tipo de pesticidas). E incluso, como sucedía hace unas décadas, en simples colonias con DDT, usadas diariamente como prevención. Aunque algunos de estos usos ya no se den del mismo modo los tóxicos empleados, por su carácter bioacumulativo, siguen en nuestros cuerpos y en los de nuestros hijos.

Ante el escenario descrito de un uso generalizado, no parece fácil a priori escapar al riesgo de verse expuestos a estas sustancias, sea a través de la dieta, especialmente en el caso de las más bioacumulativas, u otras posibilidades como las de la exposición directa a la que no solo son acreedores los aplicadores sino cualquier persona que respire en un lugar recientemente fumigado. A pesar del conocimiento científico que existe acerca de los riesgos de muchas de ellas, su consumo no para de crecer. En España, por ejemplo, la producción de plaguicidas aumentó un 63% (de 100.568 a 163.602 toneladas) entre 1994 y 2004 y el consumo aparente aumentó un 24% entre 2003 y 2004 (173.149 toneladas, superior a las 163.000 producidas, ya que se importaron algo más de las que se exportaron).

Si nos centramos en los pesticidas agrarios, hay que hacer notar que su empleo masivo es la quintaesencia de la desnaturalización de la práctica agraria con la que se prometió incrementar la producción a costa de unas severas consecuencias de contaminación y de pérdida de calidad y diversidad de los productos. Su empleo ha debilitado las cosechas y fortalecido a sus enemigos, creando una agricultura cada vez más dependiente de nuevos y cada vez más tóxicos y caros productos que han de ser aplicados en dosis crecientes cada año.

Cuando se descubrieron las propiedades insecticidas del DDT es cierto que se percibieron algunos pasajeros incrementos en la producción, pero enseguida los pesticidas fueron perdiendo eficacia, de modo que para conseguir leves mejorías había que incrementar muy notablemente el consumo de plaguicidas. Mientras a finales de los años 50 había unas pocas especies de insectos resistentes, hoy son centenares. Al mismo tiempo han eliminado poblaciones enteras de insectos no solo beneficiosos sino con frecuencia fundamentales para el equilibrio ecológico e incluso para la pervivencia de importantes usos humanos. Lo mismo cabe decir de las llamadas “malas hierbas” cuya resistencia a los herbicidas ha crecido de tal modo que ha forzado a los fabricantes de pesticidas a embarcarse en la incierta aventura de crear variedades de plantas transgénicas que puedan ser compatibles con las dosis crecientes de herbicidas que se usan. Ello hace además a las empresas productoras de pesticidas unos muy importantes actores en la aparición de otra nueva forma de contaminación, además de la química derivada de sus productos, y que no es otra que la contaminación genética, cuyos efectos aún no han sido debidamente valorados, y que se está extendiendo poco

a poco con imprevisibles consecuencias sobre la salud y el medio ambiente. Hoy España ostenta el triste record de ser el país de Europa con mayor superficie ocupada por cultivos transgénicos. En los supermercados crece el número de productos, sean nacionales o de importación, derivados de la manipulación genética, sin haber valorado debidamente los cambios en la composición de los alimentos y sus posibles efectos sanitarios, especialmente sobre sectores sensibles de población. Resulta llamativo el poder creciente que las industrias químicas están teniendo sobre el sector de la alimentación, ya desde las mismas semillas, cuando la mayor parte de la población quiere una alimentación lo más natural posible.

Mientras todo esto sucede grandes cantidades de pesticidas siguen integrándose en los ciclos naturales, como en las cadenas alimentarias, muchas veces con gran persistencia. Hay pesticidas que llevan décadas sin apenas utilizarse y que siguen detectándose en los tejidos humanos. Se adhieren de forma tremendamente insidiosa a la cadena de la vida. Se difunden a través de toda suerte de mecanismos físicos, químicos y biológicos. Su presencia se detecta muy lejos en el tiempo y en el espacio del lugar en el que fueron empleados. Se ha publicado mucho acerca de los daños que producen en vegetales y animales acuáticos, cómo inducen anomalías en la reproducción de las aves y anfibios, y por supuesto, como se acumulan y causan estragos en los propios seres humanos. Muchas de estas sustancias, diseñadas precisamente para dañar organismos vivos -o si se prefiere, más eufemísticamente, para ser biológicamente activas- son muy conocidas por sus efectos sobre el sistema nervioso, inmune y endocrino. Más adelante veremos algunos ejemplos de ello.

Existe la tendencia, especialmente en una sociedad como esta tan saturada de información (pocas veces valiosa) a fijar sólo la atención en lo más espectacular. Aquello que por sus proporciones y por su claridad es difícil que pase desapercibido. Un ejemplo de ello fue lo que pasó en Bhopal, en la India, cuando una explosión en una fábrica de pesticidas en los años 80 causó miles de muertos y cientos de miles de afectados. Otro ejemplo de contaminación por pesticidas del que, por una serie de circunstancias, se ha hablado mucho a nivel internacional, es el de las fumigaciones con el *agente naranja* durante la Guerra del Vietnam. Más de tres décadas después de acabada la guerra la población sigue sufriendo efectos graves que han afectado ya a cientos de miles de personas (cánceres, defectos congénitos, daños neurológicos, dolencias en la piel). Pero incluso temas como estos sólo atraen la atención de los medios de comunicación durante un tiempo limitado, pasado el cuál todo queda prácticamente olvidado, salvo para las personas que tienen algún interés singular por estas cuestiones.

Hay otros temas que, a pesar de su tremenda incidencia, en general ni siquiera consiguen ése pasajero interés de los medios de comunicación. Temas que llaman mucho menos la atención, a pesar de estar vinculados con usos extraordinariamente extendidos de los pesticidas como los que tienen que ver con la agricultura. Todo ello aunque sus efectos de enfermedad y muerte arrojen cifras realmente notables. Basta ver, por ejemplo, los datos de la Organización Mundial de la Salud que, a pesar de ser bastante conservadores, hablan de unos 220.000 muertos al año y 25 millones de afectados en el planeta, por causa de los pesticidas (datos de la Academia de Ciencias de EE.UU., un tanto conservadores, afirman que para 2050 se habrán producido un millón de cánceres por exposición a pesticidas, refiriéndose sólo a 28 de estos biocidas, aunque la EPA ya tiene al menos 53 identificadas como cancerígenos). Los datos publicados por el Instituto de Recursos Mundiales hablan de entre 3 millones y 3,5 millones de intoxicaciones agudas por pesticidas en el tercer mundo al año. Sin embargo, ni siquiera estas cifras hacen que la prensa se ocupe demasiado de estos temas. Y a causa de ello, una buena parte de la población apenas está al tanto de cosas objetivamente muy relevantes.

Cabe decir, no obstante, que en las cifras aludidas se incurre muy probablemente en uno de los errores de enfoque más frecuentes a la hora de abordar los efectos de la química sobre la salud y que no es otro que solo fijarse en los efectos más inmediatos y directamente atribuibles a un tipo de sustancias, como los derivados de las más evidentes exposiciones agudas, no valorándose más que las enfermedades y muertes más obviamente atribuibles, cuando una buena parte de la morbilidad, esto es, de las enfermedades, y de la mortalidad puede quedar diferida en el tiempo, y ser difícilmente asociable a la causa que la produjo. Las cifras citadas no contemplan la contribución de los pesticidas a múltiples problemas de salud extraordinariamente frecuentes en las sociedades modernas, que van desde los más diversos tipos de cáncer al síndrome de fatiga crónica, pasando por la diabetes, etc., a pesar de la creciente evidencia científica que va en ese sentido. Al hablar de los efectos sanitarios no basta con centrarse tan sólo en una serie de daños muy directos y evidentes, como las intoxicaciones de agricultores que se dan en los invernaderos de El Ejido (Almería), una de tantas zonas agrícolas de España, país en el que se usan pesticidas con extraordinaria abundancia. Porque, más allá de los casos más evidentes, el impacto sanitario de los pesticidas es mucho más vasto. Para empezar, entre los propios agricultores, como muestran muchos estudios científicos, cuyos resultados no han sido incorporados debidamente a estadísticas, que ligan los pesticidas agrícolas y del hogar a enfermedades como el Parkinson. En tales estudios se aprecia, por ejemplo, que las personas más expuestas a herbicidas tienen hasta cuatro veces más riesgo de padecer la enfermedad y los más expuestos a insecticidas hasta 3,5 veces más. En USA el Centro de Control y Prevención de Enfermedades registró en agricultores 2,8 veces más riesgo de padecer Parkinson.

Basta consultar la CHE Toxicant and Disease Database, para ver como en el epígrafe de la citada enfermedad dice que la misma ha sido ligada por una copiosa cantidad de trabajos de investigación científica con la exposición a

una serie de sustancias químicas, especialmente entre trabajadores agrícolas, como aplicadores de pesticidas, granjeros, criadores de animales y otras personas que suelen estar bastante expuestas a los biocidas. Varias poblaciones estudiadas, que tenían varias veces más riesgo de padecer la enfermedad tenían un claro pasado de exposiciones a sustancias tales como herbicidas o insecticidas. Entre la lista de sustancias asociadas a la enfermedad, que incluye no solo pesticidas, se citan, el MPTP, metanol, paraquat, dieldrin, glifosato, plomo, mancozeb, maneb, pesticidas organofosforados y organoclorados, PCBs, etc.

Un estudio del Departamento de Herpetología de Aranzadi (2012) ha analizado por primera vez los efectos del herbicida glifosato, de uso común incluso en nuestras ciudades, sobre los anfibios europeos. Los resultados no dejan margen para la duda, con dosis menores a las recomendadas por los fabricantes, se produce una mortalidad absoluta para las 10 especies estudiadas.

El estudio destaca que cada vez es mayor el número de compuestos químicos que contaminan el agua, procedentes principalmente de la actividad humana. Muchas veces pasa desapercibida la contaminación difusa, derivada de una agricultura intensiva, que afecta a enormes extensiones de terreno y a sus sistemas acuáticos (acuíferos, ríos, embalses, charcas). Este problema medioambiental ha aumentado en los últimos años debido al crecimiento de la población mundial y al incremento de los potenciales contaminantes elaborados por multinacionales del sector agrícola. Entre estos compuestos químicos destacan por su creciente uso los herbicidas, y en particular *el glifosato*.

El glifosato, de la multinacional *Monsant*o, es uno de los herbicidas más empleados en la actualidad. Se aplica tanto sobre las hojas, como en troncos y raíces y actúa inhibiendo la síntesis de aminoácidos esenciales para las plantas. Es utilizado principalmente en agricultura, pero su uso se ha extendido a la jardinería (es habitual su uso en ciudades como Donosti), e incluso lo usa la administración para la eliminación de plantas exóticas invasoras en el medio natural.

Desde su creación, a mediados de los 60, han ido en aumento los estudios toxicológicos sobre sus efectos. La Agencia de Protección Ambiental y la Organización Mundial de la Salud clasificaron los herbicidas con glifosato como levemente tóxicos para humanos. Sin embargo, existe cierta controversia porque algunos estudios recientes indican que podría afectar al desarrollo embrionario, causando malformaciones, abortos o cáncer. En cualquier caso, no cabe la menor duda de que el glifosato afecta negativamente a los ecosistemas naturales, sobre todo los medios acuáticos, donde tiende a acumularse. En estos medios, el efecto es múltiple, ya que afecta a todos los representantes de la cadena trófica, tanto a niveles basales, eliminando el fitoplancton que nutre a muchos organismos, como a animales mayores, como peces o anfibios (Aranzadi, 2012).

Los primeros resultados obtenidos en el País Vasco sobre 10 especies de anfibios (55% de las especies presentes) a lo largo de 3 años, muestran que las dosis recomendadas por los distintos fabricantes, superan ampliamente las concentraciones toleradas. Las especies que prefieren las charcas temporales para reproducirse y las poblaciones más aisladas, se mueren con dosis menores, posiblemente como consecuencia de la depresión genética derivada de su aislamiento previo. Las sustancias coadyuvantes que acompañan a los herbicidas con glifosato, pueden llegar a ser igual de tóxicas que el propio glifosato. En dosis menores a las letales, que no producen mortalidad en un principio, a largo plazo pueden afectar a la biología y comportamiento de los anfibios, su crecimiento, estado de salud y capacidad de escapar de depredadores, reduciendo su supervivencia (Aranzadi, 2012). Puede comprenderse también que si esto ocurre con vertebrados, el impacto es aún mayor sobre los invertebrados acuáticos y el fitoplancton, trasladándose sus efectos negativos a través de las redes tróficas.

Diversos informes vinculan muy diversas enfermedades (como la esclerosis lateral amiotrófica) a los pesticidas organofosforados. Otros estudios vinculan los biocidas con la ocurrencia de linfomas y otras patologías (p.ej. el cáncer de próstata). Hace unos años, el doctor Gonzalo López Abente, del Instituto de Salud Carlos III, publicó un interesante monográfico sobre *"Cáncer en agricultores"* que mostraba como en este sector de población hay excesos de una serie de cánceres (cáncer cerebral, estómago, linfoma de Hodking, leucemia, próstata o testículo).

Pero si, como vemos, muchas estadísticas ni siquiera contemplan todos los daños que los pesticidas producen en los agricultores, como grupo humano expuesto mas intensivamente, es evidente que mucho menos contemplan los efectos que tienen en amplios sectores de población que, por ejemplo, a través de la dieta pueden verse expuestos a estas sustancias, que en diversos casos tienen que ver con patologías como el cáncer de mama.

En 2001 la Comisión Europea hizo públicos los resultados de una serie de análisis que revelaban que casi un 37% de las frutas y verduras europeas que llegaban a los mercados tenían presencia de plaguicidas por debajo del "límite legal" y casi el 4% por encima de este. El año siguiente, durante el Congreso Nacional de Epidemiología que se desarrolló en Barcelona, una investigadora experta en esta área, Ana María García, de la Universidad de Valencia, presentó otros datos que mostraban también esa presencia de pesticidas en un alto porcentaje de las muestras de las frutas, especialmente algunas como las naranjas, así como en muchas de las muestras de lechugas y arroz. En 2005, por su parte, la Gaceta Sanitaria publicó un estudio de la Agencia de Salud Pública de Barcelona que había detectado presencia de restos de pesticidas organofosforados en más del 14% de los productos analizados (en concreto, p.ej., en un 37% de los cítricos y en un 3% de los frutos secos). La Organización de Consumidores y Usuarios ha realizado

diversos trabajos sobre la presencia de residuos de pesticidas en las frutas y verduras que llegan a las tiendas. Y no son estos los alimentos con mayor contenido en tóxicos, sobre todo porque no suele ser en los vegetales donde estos hayan sus mayores concentraciones.

En cualquier caso, el conocimiento que buena parte de la población tiene de estas cuestiones es muy escaso, aunque cada vez más investigaciones científicas avalan que no son precisas altas concentraciones de biocidas en los cuerpos humanos para generar desarreglos. Los biocidas pueden tener efectos notables en concentraciones de tóxicos aparentemente "bajas" y perfectamente "legales", especialmente cuando se expone a ellos una buena parte de la población de un país.

Los pesticidas han sido ligados a los más variados problemas de salud, como el cáncer, problemas reproductivos, del sistema inmunitario o del sistema nervioso. Son sin duda uno de los grupos de sustancias que la ciencia ha asociado a más dispares problemas de salud. Por citar tan sólo un pesticida, el clordano, ha sido ligado a problemas tales como cáncer de mama, cáncer de hígado, supresión del sistema inmune, neuropatía periférica, leucemias en niños y adultos, generación de anticuerpos de autoinmunidad, esclerosis múltiple, cáncer de testículos, porfiria, etc. Si fuésemos, uno por uno, por todos los pesticidas, viendo los desmanes que les atribuye una creciente literatura científica, no acabaríamos nunca.

Por concluir con este breve repaso al problema de los pesticidas, vamos a hacerlo con uno de los usos más cercanos en los países industrializados. Me refiero a las fumigaciones -sea con organofosforados, con piretroides o carbamatos- que se producen en el interior de espacios cerrados para terminar con hormigas, cucarachas y demás. Son tratamientos que con frecuencia ni siquiera se realizan por que se haya detectado la presencia de insectos, sino de forma "preventiva", según un calendario regular. Suele hacerse en las más diversas dependencias, desde hoteles a oficinas, pasando por aviones o vagones de tren, por ejemplo.

La salud de miles de trabajadores se ha visto menoscabada por este tipo de tratamientos, habiendo terminado muchos de ellos con invalidez permanente. Al margen de que muchas veces no se guardan siquiera las mínimas normas y precauciones, hechos así hacen dudar si los supuestos beneficios de tales fumigaciones compensan los daños producidos, máxime cuando en muchas de estas fumigaciones apenas habían sido detectadas unas pocas hormigas, y si no habría sido más inteligente haber considerado otras alternativas menos agresivas.

La inquietud médica por estas cuestiones está creciendo en zonas como Cataluña, ante los centenares de casos de personas por dificultades respiratorias, incapacidad para tareas normales, síndromes irritativos, pérdidas de memoria, dificultad de concentración, síndrome de fatiga crónica, sensibilidad química múltiple, fenómenos autoinmunes, hipotiroidismo, desarreglos hormonales, etc. Ha habido casos que han tenido cierta repercusión en la prensa, como los de las fumigaciones en el Hospital Vall d`Hebrón, en el Centro de Atención Primaria de Tarragona o en algún hotel de la capital catalana. Los daños sanitarios derivados de situaciones de este tipo son muy diversos. Carme Valls, doctora que ha estudiado muchísimos casos, principalmente en Cataluña, establece seis grandes síndromes originados al exponerse a los insecticidas: síndrome respiratorio de vías altas y bajas, síndrome neuropsicológico, síndrome hiperestrogénico con alteraciones del ciclo menstrual, síndrome de estimulación de la autoinmunidad, síndrome de parasimpaticotonía hipotalámica, con hipersecreción de la hormona del crecimiento, y síndrome de hipersensibilidad química múltiple (López et al., 2007).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en su Nota Técnica de Prevención 595, entre los efectos atribuibles a los pesticidas incluye daños en la memoria, afectación a la capacidad de concentración y orientación, pérdida de energía, fatiga, anomalías en algunos parámetros neurofisiológicos, alteraciones menstruales, sensibilidad química múltiple, etc. Diversos informes aluden a los efectos neurotóxicos de los organofosforados, que traen consigo trastornos neurocomportamentales de tipo crónico con disminución de las capacidades cognitivas, exhaustivamente descritos. Apuntando que los organofosforados, solos o en compañía de los piretroides (que parece que también por sí mismos podrían hacerlo) pueden originar, entre otras cosas, el llamado Síndrome de Fatiga Crónica, incluso en exposiciones a niveles bajos, acabando por generar la incapacidad laboral permanente de los afectados. Finalmente, los organofosforados son capaces de ocasionar neumonía química y SQM.

Tampoco debemos olvidar que la exposición a pesticidas puede ser mucho más sutil de lo que imaginamos y no proceder sólo de la dieta o de los productos que manipulamos, sino de elementos que no sospechamos que puedan portarlos, como pueda ser la madera tratada de una casa que, sin que nosotros lo sepamos, puede haber sido tratada, pongamos por caso, con pentaclorofenol (compuesto sintético profusamente usado para el tratamiento de las maderas, por sus propiedades fungicidas, y para impregnar tejidos industriales). La industria del papel, así como la de los curtidos, también lo emplean como antibacterial. Persiste mucho en el suelo, el aire o las aguas. Se atribuyen al pentaclorofenol o a algunos de sus metabolitos graves efectos sanitarios y puede ser cancerígeno. Es muy tóxico por ingestión, contacto con la piel o inhalación, y fuertemente irritante para ojos y vías respiratorias. Decenas de países han adoptado medidas para limitar su uso.

No se le escapará al lector -que haya llegado hasta aquí sin aburrirse- que el tema es por demás extenso. Las pocas páginas del resumen anterior apenas abordan el impacto sobre los ecosistemas naturales. La deformación antropocéntrica impulsada por el modelo de desarrollo vigente limita la obtención de información. Si no se difunde,

y menos financia, las investigaciones asociadas a problemas para la salud humana, mucho menos se consideran o se tienen en cuenta los relativos a otros seres vivos no-humanos. Eso no interesa. La industria agro-química y sus multinacionales dictan las normas que los políticos de las administraciones imponen y reglamentan con la ayuda de abogados y técnicos educados en la obediencia burocrática, a los que denominan consultores o expertos.

Se pretende combatir los problemas que genera el desarrollo con más desarrollo, con medidas de "gestión" de riesgo y con alternativas razonables, como acostumbra a decirse en el vago lenguaje de las directivas Europeas, nada democráticas por cierto. Además, siempre queda el recurso de achacar los problemas de salud (debidos a la contaminación del aire por el tráfico en las ciudades y a los biocidas en el ambiente) al pérfido tabaco, chivo expiatorio con el que se frotan las manos los industriales de los sectores automotrices, agro-químicos, de hidrocarburos, y las administraciones que aumentan los impuestos. Desviar la atención y desinformar (mediante campañas de propaganda orquestadas a través de los medios de comunicación, en manos de los mismos poderes económicos) ha pasado a ser una forma habitual para re-configurar la atrofiada percepción de los ciudadanos.

FERTILIDAD Y ESPERMA

Los contaminantes químicos (no sólo biocidas) han sido y son la fuente de múltiples problemas, a niveles macroecológicos. En Galán (2010) referimos p.ej. dos de ellos. Los CFC's, responsables nada más y nada menos que de los agujeros en la capa de ozono de la atmósfera terrestre, y el envenenamiento masivo de la población humana en los países desarrollados por el plomo tetra etílico utilizado en las gasolinas. Este último, aunque dejó de usarse en USA en los 2000, hace que los habitantes de ese país nacidos a lo largo del pasado siglo tengan 625 veces más plomo en sangre, que los habitantes anteriores a esas fechas. Con los consiguientes efectos (subletales) para su salud, incluyendo problemas mentales.

La tesis de que los contaminantes químicos tienen que ver con el crecimiento de las tasas de obesidad y diabetes en los países ricos es algo que cada vez está cogiendo más fuerza en ámbitos científicos. Prueba de ello es como, ante la acumulación de decenas de estudios que asocian la exposición a contaminantes químicos con la diabetes y la obesidad, se haya constituido recientemente un grupo de trabajo del Programa Nacional de Toxicología de los Estados Unidos sobre el tema (NTP, USA, 2011). De modo similar, el Informe BUND - 2011, de una asociación ambientalista alemana, ha llamado la atención sobre los altos niveles de plastificantes tóxicos (sobre todo ftalatos) en jardines de infancia y entornos infantiles. Los resultados de los análisis recientes sobre ftalatos señalan la peligrosidad que entrañan estos productos químicos para la salud de los niños.

Un estudio publicado en abril de 2011 en la revista médica *Acta Paediatrica* ha identificado por primera vez que los índices de defectos congénitos en Estados Unidos son superiores para las gestantes que concibieron en primavera y verano. Los investigadores también hallaron que este periodo de incremento del riesgo es correlativo al del uso de pesticidas en aguas de superficie en muchas zonas de Estados Unidos (Europa Press, 2012). Tras estudiar los 30,1 millones de nacimientos en Estados Unidos contabilizados entre 1996 y 2002, los investigadores han encontrado una fuerte asociación entre el incremento en el número de defectos congénitos en niños de mujeres cuyo último periodo menstrual antes del embarazo tuvo lugar entre abril y julio, justo en la época del año en que se elevan los niveles de nitratos, atrazina y otros pesticidas.

Mientras muchos de esos compuestos, incluido el herbicida atrazina (que está prohibido en Europa pero sigue autorizado en Estados Unidos) son sospechosos de ser dañinos para el desarrollo embrionario, este es el primer estudio que ha correlacionado un incremento en su concentración estacional en el agua en superficie con el pico de defectos congénitos (en niños concebidos en esos mismos meses). La correlación fue estadísticamente significativa en la mitad de las 22 categorías de defectos congénitos incluidos en la base de datos del Centro de Control de Enfermedades, incluyendo espina bifida, labio leporino y síndrome de Down.

Por si aún faltara saber algo más sobre los contaminantes químicos, estudios recientes demuestran su incidencia en problemas de infertilidad y baja calidad del semen. Científicos de Estados Unidos y China han encontrado que existe una asociación entre p.ej. los niveles de Bisfenol A encontrados en la orina y una peor calidad del semen (Li et al, 2011). El Bisfenol A es el componente del policarbonato, uno de los plásticos más usados actualmente, y de las resinas epoxi. Aparte de encontrarse en muchos productos plásticos se encuentra también en empastes dentarios, recubrimientos interiores de latas de comida, y un largo etc. De los cientos de hombres estudiados (una parte de ellos con y otros sin exposición al Bisfenol A), Li et al (2011) hallan que a mayor concentración de Bisfenol A en la orina, menor concentración y menos vitalidad de los espermatozoides. El incremento de los niveles de BPA en la orina se correlaciona significativamente con (1) decrecimiento en la concentración de esperma, (2) decrecimiento del conteo total de esperma, (3) decrecimiento de la vitalidad del esperma, y (4) decrecimiento de la motilidad de los espermatozoides. En comparación con los hombres con niveles indetectables de BPA, los que tenían niveles detectables tenían tres veces más riesgo de padecer esos problemas, 4 veces más riesgo de tener un menor número total de espermatozoides, más del doble de que la movilidad de los mismos fuese menor, con la consiguiente

infertilidad. Es interesante destacar que no se trata de concentraciones altas del contaminante, sino simplemente de la diferencia entre bajos niveles detectables e indetectables. El Bisfenol A aparece como contaminante a niveles "bajos" en los cuerpos de amplísimos sectores de población. Estos resultados aportan la primera evidencia epidemiológica de los efectos adversos del BPA en la calidad del semen (Li et al, 2011).

Una nueva alerta sobre los efectos de los biocidas es dada por investigaciones que revelan que muchos de ellos alteran las hormonas masculinas, con efectos anti-androgénicos (baja calidad del semen, testosterona, cáncer de testículos y problemas reproductivos). Los estudios realizados por el equipo de Andreas Kortenkamp, del Centro de Toxicología de la Universidad de Londres, con fondos de la Comisión Europea, revela que muchos pesticidas agrícolas, entre ellos algunos que no habían sido testados con anterioridad para descubrir este tipo de efectos, y que son muy comunmente detectados en los alimentos, pueden alterar las hormonas masculinas (Orton et al, 2011). Los científicos instan a que se investigue más sobre la influencia de estas sustancias en el declive de la salud reproductiva masculina en Occidente.

Es importante señalar que los biocidas seleccionados han sido aquellos que figuran entre los más comúnmente detectados en las frutas y verduras en Europa. Con frecuencia son productos que han pasado a reemplazar a otros sobre los que se había ido acumulando evidencia científica acerca de sus efectos negativos, lo que sugiere que los nuevos productos también podrían generar problemas. Pesticidas autorizados, que suelen ser contaminantes cotidianos muy presentes en nuestros organismos, como dimethomorph, fludioxonil, fenhexamid, imazalil, linuron, ortho-phenylphenol, tebuconazole y pirimiphos-methyl, pueden ser importantes contaminantes antiandrogénicos en el presente y en el futuro. Fungicidas como dimethomorph, fludioxonil y fenhexamid, son productos formulados hace pocos años, y se sabe que pueden permanecen estables en las materias primas de los alimentos y llegar al consumidor. Otros, como el ortho-phenylphenol, son usados no solo en agricultura sino como conservantes de la madera, en colas y pegamentos, aditivos plásticos, retardantes de llama, o desinfectantes en hospitales. De los 37 compuestos testados, 24 pesticidas eran anti-androgénicos en los ensayos MDA-kb2. El más potente de los antagonistas del receptor de andrógeno (AR) fue el fenithrotion. La mayor parte de los pesticidas analizados alteran las hormonas masculinas. Entre ellos, además, se cuentan muchos que hasta ahora no se sabía que tuviesen efectos hormonales. Muchos son fungicidas que se aplican a las frutas y los cultivos como los de fresas o lechugas.

Ante las conclusiones de la investigación, sus autores han pedido que todos los pesticidas que se usan actualmente sean testados para ver si tienen efectos semejantes, afectando por ejemplo a los niveles de testosterona, hormona que es fundamental para la salud reproductiva de los varones. Consideran que hacer tales test de anti-androgenicidad de los pesticidas debe ser algo que se acometa con urgencia. Es más, debería haberse hecho antes de permitirse su comercialización y uso indiscriminado.

Los investigadores hacen notar así mismo algo importante: que se está estudiando más hasta ahora los efectos de pesticidas que ya han sido prohibidos que los de los pesticidas que más se usan en estos momentos. Obviamente, es algo ilógico. También consideran lamentable la falta de seguimiento o monitorización que existe en Europa acerca de la presencia de estas sustancias en los cuerpos de la población general. Es más que probable que muchas otras sustancias semejantes, aún no estudiadas, tengan efectos análogos (Orton et al, 2011). Las conclusiones, pues, tienen un hondo calado.

No conviene olvidar aquí la literatura científica previa que ha asociado problemas como el síndrome de disgenesia testicular con la exposición a contaminantes. Entre los problemas de este síndrome se cuentan anomalías como la criptorquidia o la hipospadia, la caída en el número de espermatozoides y el cáncer testicular. En sus antecedentes, además, la publicación pasa revista a lo que ha sido publicado sobre la asociación de la exposición a pesticidas a cosas tales como leucemia infantil, anomalías reproductivas, menor tamaño del pene, etc. Esto último podría tener cierta gracia, pero deja de tenerla cuando se constata que más de la mitad de los varones europeos nacidos a partir de los años 1970-80 son infértiles funcionales. De ahí el creciente empleo de métodos de inseminación artificial para que las parejas puedan tener hijos.

Vemos en consecuencia que el empleo de biocidas, ideados por el hombre para eliminar plagas, acaba también teniendo múltiples efectos adversos sobre la propia salud humana. Debe recordarse que la extensión de la agricultura a expensas de los ecosistemas naturales, y sobre todo los monocultivos, que concentran alimentos, atraen a especies capaces de utilizar éstos, compitiendo con el hombre y multiplicando sus números, hasta adquirir el carácter de plaga (desde el punto de vista humano). Para controlar tales plagas se aplican biocidas, que no sólo atacan a las especies indeseadas, sino que afectan a muchas otras especies del entorno natural, con la consiguiente simplificación de los ecosistemas antropizados. Además, muchas de las especies indeseadas que se pretendía eliminar, tras una mortandad inicial, acaban haciéndose mucho más resistentes a los tóxicos empleados. Lo que trae consigo el invento de biocidas más agresivos, que se aplican más intensivamente, en una nueva vuelta de tuerca que, como un loop de retroalimentación positiva, produce fenómenos de amplificación de los problemas, en vez de su solución. Con un incrementado daño a la biodiversidad del planeta y a los propios seres humanos. Estos impactos eran poco significativos hasta comienzos o mediados del siglo 20 y -en un lapso de 100 años- su acción se ha intensificado exponencialmente, hasta el paroxismo.

EL CAMBIO CLIMATICO

Otro de los aspectos macroecológicos más en boga es el denominado Cambio Climático Global. Aspecto en general pobremente comprendido cuando no distorsionado. Es conveniente comenzar estableciendo algunos hechos.

Se trata del aumento de CO_2 en la atmósfera (de 100 ppm), como producto de la acción humana. También se ha detectado un ligero aumento de la temperatura media del aire (de 0,7ºC), debida al efecto invernadero, pero que en parte puede tener también causas astronómicas. Más que "calentamiento global" habría que llamarlo "trastorno climático global", ya que su efecto más apreciable es una irregularización del clima.

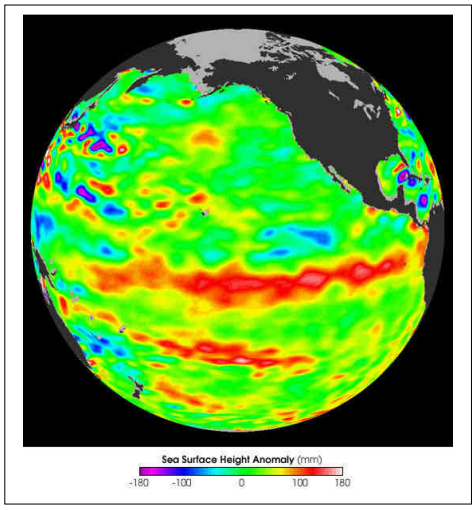
El aumento de CO_2 se correlaciona con la era industrial, pasando su concentración de 280 ppm en 1900 a 370 ppm en 2011. La transferencia de carbono hacia la atmósfera es debida a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación, en partes semejantes, y constituye la primera evidencia de que el ser humano puede alterar el equilibrio ecológico del planeta de forma global y no sólo en pequeñas áreas.

Acompañando a estos datos se producen modificaciones en la ciclicidad y distribución del clima, con adelanto o atraso en el inicio y fin de las estaciones, presencia de veranos más cálidos e inviernos más fríos de lo normal, entre épocas secas y de lluvia, en la intensificación tanto de lluvias cortas como de sequías largas, y en la violencia o intensidad de meteoros tales como huracanes, tornados, y vaguadas o "gotas frías". Estos trastornos están causando problemas de características catastróficas, sobretodo para la agricultura, pero también para el ser humano.

Son estos trastornos lo que caracterizan el cambio global, afectando a la biosfera. Para entender su acción nos referiremos en primer lugar a cómo ocurren en una de las regiones más críticas para la regulación del clima del planeta: las grandes selvas amazónicas.

Los trastornos que están ocurriendo en la región amazónica (escasez de lluvias en una de las regiones de más alto índice pluviométrico del planeta) han sido incorrectamente atribuidos al fenómeno cíclico denominado "El Niño", (asociado a causas astronómicas) por lo que trataremos a continuación de lo que en realidad ocurre (Figura 3).

Normalmente, a lo largo del ecuador, se observa un fuerte contraste de temperatura entre la parte occidental del Pacífico tropical, donde se encuentran en superficie las aguas más cálidas (más de 28°C) y la parte oriental, enfriada por afloramiento de aguas profundas, mucho más frías. En algunos años este contraste desaparece, cuando las aguas más cálidas invaden la parte E del Pacífico. El nivel del mar frente a la costa Sudamericana se eleva varias decenas de cm. La anomalía climática comienza a aparecer alrededor de los meses de abril-mayo, se va extendiendo poco a poco, para culminar hacia el final de año, antes de desaparecer progresivamente en el curso del año siguiente. Este fenómeno, que se manifiesta en su mayor intensidad en la época de Navidad, fue bautizado por los pescadores peruanos desde el siglo XIX con el nombre de "El Niño" (su re-equilibrio es conocido como La Niña). La región de surgencia (upwelling) de aguas frías, ricas en nutrientes, de la costa sudamericana sostiene la más importante pesquería a nivel mundial, la de la anchoveta peruana, con un tonelaje impresionante. Los pescadores fueron las primeras víctimas en sufrir las consecuencias de "El Niño", que se presenta en ciclos irregulares, aproximadamente cada 7 años (a veces más), los cuales se acompañan con anomalías de presión, temperatura y precipitaciones. Intensas lluvias azotan las costas occidentales desérticas de Sur América (a veces también en el Norte), desaparecen los bancos de anchovetas (llevando a la quiebra a muchas empresas pesqueras y de harina de pescado) y mueren por hambre gran parte de las colonias de los pájaros guaneros. Por el contrario, en la otra parte del Pacífico, la disminución de la temperatura de las aguas provoca sequías en Indonesia y en N de Australia, regiones que son más húmedas habitualmente. La influencia del Niño se extiende más allá de la región directamente concernida, si bien los efectos se debilitan con la lejanía. Así, por ejemplo, se suelen producir sequías en el NE de Brasil y SW de USA.



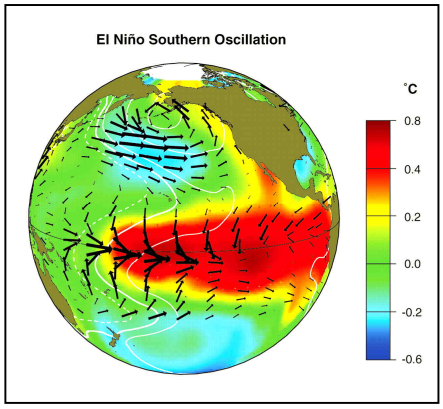


Figura 3. Anomalía climática de "El Niño". Izquierda: anomalía de altura del nivel de la superficie del mar. Encima: Anomalía térmica positiva durante un máximo de El Niño. Se esquematiza también la presencia de vientos atípicos del W.

El recalentamiento del Pacífico oriental se refleja también en las temperaturas medias globales y los años con El Niño son más calientes que los años cercanos. Por eso es importante tener en cuenta este fenómeno en la evaluación de los cambios climáticos. Inversamente, el recalentamiento podría tener un efecto sobre la frecuencia e intensidad de los eventos relacionados con El Niño. En las décadas anteriores a 1980 se observaron eventos más espaciados y más débiles (de 1 a 2ºC), mientras, sucesivamente, fue constatado un recrudecimiento de varios "Niños" intensos, como los de 1982-1983 y 1997-1998, con un recalentamiento mayor de 3°C.

Los modelos del clima actual simulan eventos parecidos a El Niño, pero no son todavía satisfactorios en términos de frecuencia e intensidad. Los modelos más realistas parecen indicar un posible aumento de su amplitud (en cuanto a recalentamiento climático) y sin cambios en su frecuencia, pero esta tendencia general es todavía muy insegura.

Los trastornos causados por El Niño (lluvias, inundaciones, aluviones, destrucción de carreteras y poblados) se limitan a la zona costera de los Andes y no pasan a la vertiente oriental. Por ello, es equívoco atribuir a El Niño trastornos similares ocurridos en otras regiones, muchos de los cuales han sucedido cuando El Niño no estaba activo.

La cordillera de los Andes es una barrera que separa netamente dos regímenes pluviales: el "pacífico", dominado por la temperatura del agua oceánica frente a las costas sur-americanas, y el "atlántico" (en el cual se encuentra Venezuela y la Amazonia), controlado por la humedad transportada por los alisios del noreste y del sureste.

La región amazónica es una de las regiones de más elevado índice pluviométrico del planeta. ¿De donde proviene el vapor de agua que produce este alto índice de pluviosidad? Salati et al. (1978) y Salati (1983), entre otros, estudiaron estas cuestiones. Basados en estudios de fraccionamiento isotópico de los componentes de las moléculas de agua durante el ciclo hidrológico (en especial $H_2{}^{16}O$ y $H_2{}^{18}O$) llegaron a la conclusión de que la fuente primaria del vapor de agua para la cuenca del Amazonas es el océano Atlántico (este vapor llega a la región transportado por los vientos alisios), pero hay una igualmente importante recirculación del vapor de agua, dependiendo el 50% de las precipitaciones de este mecanismo (Figura 4). La cobertura vegetal, o sea la selva, tiene un papel fundamental en este proceso, ya que aporta agua a través de la evapotranspiración. En la región existen además distintos regímenes hídricos (en algunos sitios hay un período de sequía bien definido y en otros llueve prácticamente todo el año).

La atmósfera terrestre es el lugar donde maduran todos los elementos del clima. Su masa (de $5{,}6 \times 10^{15}$ toneladas) representa la millonésima parte de la masa del planeta Tierra. La casi totalidad de la masa atmosférica se encuentra en la capa inferior, de 10 km de espesor, llamada troposfera, que es donde se sustentan todos los procesos de la vida animal y vegetal y gran parte del ciclo hidrológico de las lluvias.

La atmósfera terrestre está hoy aproximadamente formada por 79% de nitrógeno, 20,8% de oxígeno, 0,93% de argón, 0,03% de CO_2, pequeñas cantidades de gases raros y una cantidad variable de vapor de agua. Todo indica que la atmósfera fue producida por los gases que escapaban de la corteza terrestre durante su solidificación, hace 5 Ga (1 Ga = mil millones de años). Todavía hoy continúa este proceso por los 500 volcanes en actividad que liberan gases entre los cuales se encuentran nitrógeno, CO_2, SO_2, SO_3, H_2, Cl_2 y pequeñas cantidades de otros (H_2S, CO, HF, etc.).

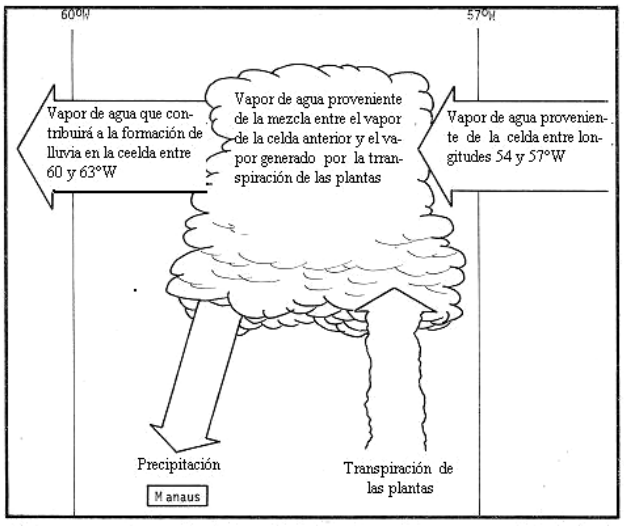


Figura 4. Esquema general para explicar la formación de las lluvias en el Amazonas a partir de dos fuentes de vapor: el océano Atlántico y la selva. El esquema representa la celda de la región de Manaus.

El oxígeno es uno de los gases más importantes, y no se encuentra libre en los gases volcánicos. Para explicar su presencia en la atmósfera, hay dos explicaciones posibles. La primera, muy importante al principio de la formación de la atmósfera, es la foto-desintegración de la molécula de agua por la radiación ultravioleta de los rayos solares. Este proceso es autorregulado, porque al alcanzar el oxígeno una presión del orden de uno por mil de la actual presión parcial, el propio oxígeno absorbe la radiación ultravioleta produciendo ozono, proceso que ocurrió hace 2,7 Ga. El segundo mecanismo capaz de producir oxígeno es la fotosíntesis, por la cual las plantas utilizando CO_2 y energía solar liberan oxígeno por medio de una reacción bastante sencilla. La producción de oxígeno a través de la fotosíntesis comenzó antes de hace 2,7 Ga y la concentración de oxígeno fue aumentando progresivamente, hasta alcanzar la concentración actual, pasando por períodos de concentración mayor en la época del Carbonífero, hace 350 millones de años, cuando grandes selvas recubrían la superficie terrestre.

El tiempo medio de "permanencia" de los gases en la atmósfera es muy reducido comparado con los tiempos geológicos. El vapor de agua, principal elemento del ciclo hidrológico, tiene un tiempo de permanencia de algunas semanas o meses. Para la cuenca amazónica, en particular, este tiempo medio es aproximadamente de 2 a 3 meses

para el ciclo general y posiblemente solo de algunos días para las células de circulación más cercanas al suelo. Es importante poner en evidencia que la interacción entre los elementos de la atmósfera con otros sectores de la naturaleza depende en gran parte de procesos biológicos. Esta evidencia lleva, por otro lado, a una conclusión importante: la existencia de la vida depende del reciclaje de estos elementos; el CO_2 fijado por la fotosíntesis da origen a materia orgánica, la cual, respirada, suministra energía y produce CO_2 y H_2O. El nitrógeno fijado origina amoníaco, y esto produce las proteínas que, interactuando con otras sustancias, forman los seres vivos; el O_2, a través de la respiración, produce la energía que mantiene los procesos vitales. En esta visión simplificada de procesos muy complejos, es importante reconocer la interacción entre los procesos vitales y el reciclaje de las sustancias de la atmósfera.

El vapor de agua depende de la selva. El vapor de agua de la atmósfera es el componente que presenta las mayores variaciones espaciales y temporales. O sea, las cantidades de vapor varían bastante, en el mismo lugar, durante el año y varía también de manera acentuada de una región a otra en diversas localidades del planeta. Por ejemplo, en Hong Kong, la concentración varía de 9 g/m^3 en enero a 23 en julio; en La Paz de 8 g/m^3 en enero a 5 en agosto; a Manaus de 20 g/m^3 en enero a 19 en septiembre; y, en el Sahara puede llegar a 2 g/m^3. En determinadas condiciones de temperatura y presión, la concentración de vapor se transforma en lluvia, cumpliendo la atmósfera la función del transporte del agua de una región a otra. "También el transporte del agua del océano a las regiones polares, se hace por medio de la atmósfera. Durante las glaciaciones una gran cantidad de agua se fue acumulando en las regiones polares bajo la forma de hielo, produciéndose una disminución de 100 m en el nivel de los mares, y esto ha sucedido hace solamente 50 mil años. Posteriormente, por el aumento de la temperatura media de la Tierra, las nieves se fusionaron y se reincorporaron a los océanos, estabilizándose a su nivel actual. Lo que interesa conocer hoy son las condiciones que influyen sobre el actual régimen de lluvias y saber de que manera la selva que actualmente recubre gran parte de esta región interactúa con la atmósfera para producir las precipitaciones. Lo que estamos levantando aquí es una hipótesis de que en la Amazonía la selva no es una simple consecuencia del clima, sino que el actual equilibrio climático depende de una interacción de la atmósfera con la cobertura vegetal" (Salati et al, 1978).

La distribución de las precipitaciones es bastante variable, yendo desde 6.000 mm anuales en la vertiente andina a 1600 en el altiplano central del Brasil. El promedio general es de 2.200 mm anuales, lo que corresponde a una precipitación total en la cuenca amazónica de 12 x 10^{12} m^3 por año. Esta cifra nos dice que ésta es la mayor cuenca hidrográfica del mundo, representando el 15% del agua dulce en forma líquida del planeta.

La distribución anual de estas precipitaciones es bastante variable y, considerando también la parte amazónica de las regiones andinas y de los altiplanos de Guayana y del Planalto Central, se puede afirmar que casi todos los tipos de clima están representados, aunque predomine el clima caliente y húmedo. Una de las características más importantes es el desfase de 6 meses entre el máximo de las precipitaciones de las estaciones en el Hemisferio Norte (junio y julio) y las del Hemisferio Sur (febrero y marzo). De todos modos lo fundamental es conocer las causas que provocan la distribución de las lluvias, sea su variación anual como el total anual o, en otras palabras, cuál es el origen del vapor de agua de la atmósfera, cuáles son los mecanismos que provocan las lluvias, y si hay alguna relación entre las lluvias y el recubrimiento forestal existente.

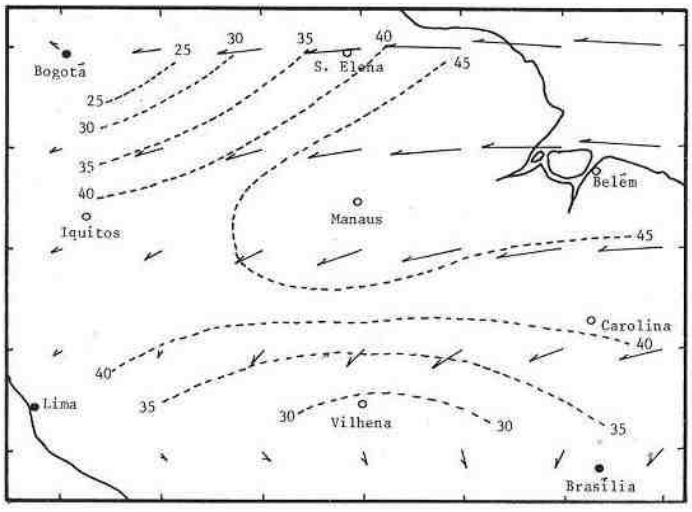


Figura 5. Las flechas indican los flujos de vapor de agua promedio para el mes de marzo sobre la Amazonia. Un cm equivale a 2000 gr de vapor por segundo. Para los otros meses, aunque haya variación de los valores, el comportamiento es similar, con flujos predominantes del cuadrante Este. Las líneas punteadas representan los valores del agua precipitable.

La Figura 5 indica los flujos de vapor de agua en la atmósfera y la cantidad media anual de vapor para las diversas regiones de la Amazonía. El agua precipitable representa el total del vapor de agua que existe en la atmósfera, desde el suelo hasta las capas más altas. En la región de Manaus, p.ej., el valor de 45 mm indica que si todo el vapor fuera extraído de la atmósfera, se obtendría una lámina de agua de 45 mm extendida a toda el área considerada. Se puede concluir que sobre la región existe constantemente una masa de agua de un centenar de billones de toneladas, responsable por el clima siempre húmedo, siendo también un importante factor en el balance de energía porque, absorbiendo la radiación infrarroja de la superficie, hace que sean pequeñas las variaciones diarias de temperatura.

En cuanto al flujo de vapor de agua, las flechas de la Figura 4 indican la dirección y las cantidades en la región. De manera general podemos decir que el flujo predominante es del cuadrante Este, siendo el origen primario del vapor la región del océano Atlántico. Siendo que el total de agua que cae en la cuenca amazónica en forma de lluvia es de 12 x 10^{12} m^3/a, y en cuanto el drenaje representado por el río Amazonas es del orden de 165 mil m^3 por segundo, lo que representa una pérdida total de agua por la red fluvial de aproximadamente 5,5 x 10^{12} m^3/a, hay que concluir que la parte faltante de la lluvia retorna a la atmósfera bajo forma de vapor. Este vapor es generado por las plantas que, actuando como bombas, retiran el agua del suelo y la transfieren a la atmósfera en forma de vapor a través de la transpiración. La superficie foliar de la selva también retiene una parte de la precipitación, la cual evapora, suministrando una parte del vapor de agua. En caso de lluvias leves, en regiones de selva tupida, este proceso puede ser el más importante en el balance hídrico. La energía usada en todos estos procesos es la energía solar. La Figura 6 enseña el esquema del balance hídrico para la cuenca amazónica y la Figura 7 el esquema del balance de energía para la región.

Estudios detallados, considerando todas las informaciones científicas existentes, incluyendo observaciones meteorológicas de superficie y de satélite como también las concentraciones isotópicas de las aguas de la región, permiten concluir que el vapor de agua generado por la transpiración de las plantas se reincorpora en el proceso de formación de las lluvias y, en el equilibrio actual, el régimen pluvial está íntimamente ligado a la naturaleza de la cobertura vegetal. La Figura 8 resume esta idea.

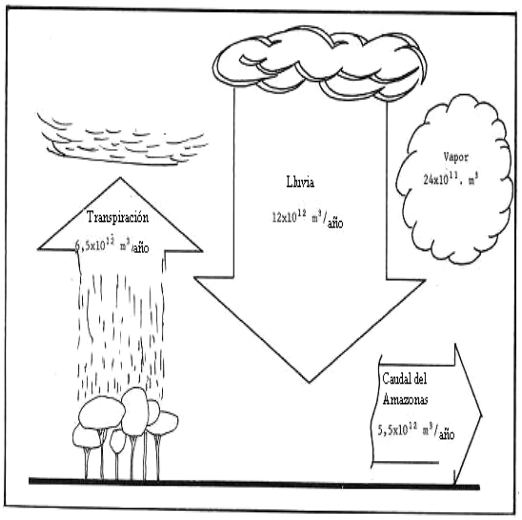


Figura 6. Un balance de agua de la cuenca Amazónica indica que el promedio en el total de precipitación es del orden de 12x10^{12} m^3/año, el caudal del río Amazonas es del orden de 5,5 x10^{12} m^3/año y la evapotranspiración, incluyendo la evaporación y la transpiración de las plantas, es de 6,5 x10^{12} m^3/año.

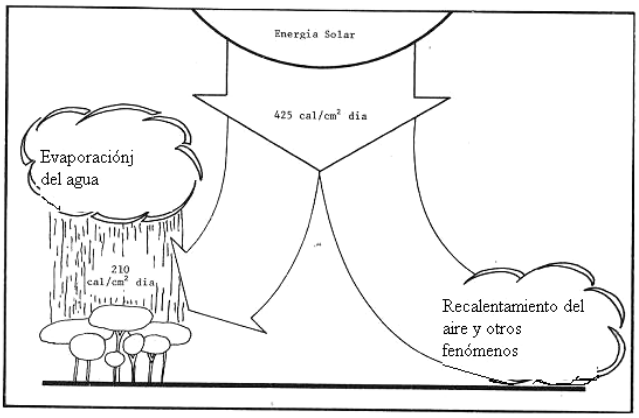


Figura 7. De las 425 calorías por cm^2 por día que llegan en promedio a la superficie del Amazonas Central, aproximadamente 210 son utilizados en el trabajo de evaporación del agua a través de la transpiración de las plantas y las restantes 215 son utilizadas en el recalentamiento del aire y otros procesos.

Agua, selva y equilibrio ecológico. Es interesante notar que en la época de la realización de los trabajos de Salati (1978-83) no se manejaba el concepto de "calentamiento global". Según este autor la temperatura de la Tierra estuvo aumentando hasta el año 1955 y desde ese momento en adelante dio señales de leve declinación. Comenta el hecho de que el continuo aumento de CO_2 no se haya visto acompañado por un aumento de la temperatura, como sería de esperar. Por lo que supone que tuvo que haber habido una compensación entre los factores que modifican el clima. Esto lleva a señalar que estamos viviendo en un planeta en continua modificación, que todavía se está ajustando: los continentes se mueven, el fondo de los océanos se renueva, los terremotos ajustan las capas del suelo y de las rocas, los volcanes eliminan parte del exceso de energía interna y los ríos y los vientos modelan la superficie del planeta. Hoy, con el crecimiento exponencial de la población, a las oscilaciones naturales se les suman las modificaciones de la actividad humana, cada vez mayores, en algunos casos incontrolables e irreversibles.

En Europa y Asia las modificaciones introducidas por las civilizaciones, comenzaron hace 7 mil años, mientras los grandes ecosistemas de las Américas permanecieron casi inalterados, hasta hace 400 años. Pocas son ahora las regiones continentales cuya estructura biológica sea todavía determinada sólo por factores naturales. De estas, la más grande, exuberante, y compleja es la Amazonía. Por lo cual lo que ocurre sobre ella indica las principales tendencias globales. Hay que recordar que la región amazónica es una fuente de vapor de agua para las regiones circundantes. Existen evidencias de que hay un flujo de vapor de agua desde el norte hacia el sur durante todo el año, y es probable que una parte de las lluvias del área central de Sur América provenga de la cuenca amazónica. Se espera que la

deforestación lleve a modificaciones del ciclo del agua o del total del agua disponible en la cuenca del Plata, o incluso pueda alterar el potencial hidroeléctrico del Brasil.

Un buen ejemplo de lo que puede pasar por avance de la deforestación lo suministra la isla de Marajó, en el delta del Amazonas. Las áreas recubiertas de selva tienen las lluvias mejor repartidas en el año con un mínimo de 80 mm mensual, mientras en las zonas sembradas a pasto la precipitación ha caído a cero en el período de estiaje. La energía solar que alcanza el suelo de la región es en promedio de 420 calorías por cm^2 por día y en gran parte (50-60%) es utilizada para la evapotranspiración de las plantas. En caso de deforestación en gran escala, el balance energético resultaría completamente alterado. Una gran parte de la energía utilizada por las plantas para respirar pasaría a incrementar el calentamiento del aire.

Salati (1983) concluye su trabajo intentando corregir la falsa creencia de que la selva amazónica es el "pulmón del mundo", como si esta fuera una fuente de oxígeno para la atmósfera. La realidad es que la selva amazónica se encuentra en un estado que los ecólogos definen como "clímax", el cual se caracteriza por su condición de equilibrio entre producción y consumo de energía: el oxígeno liberado por la actividad fotosintética viene reabsorbido en los procesos vitales de las propias plantas y de los otros organismos vivos del ecosistema.

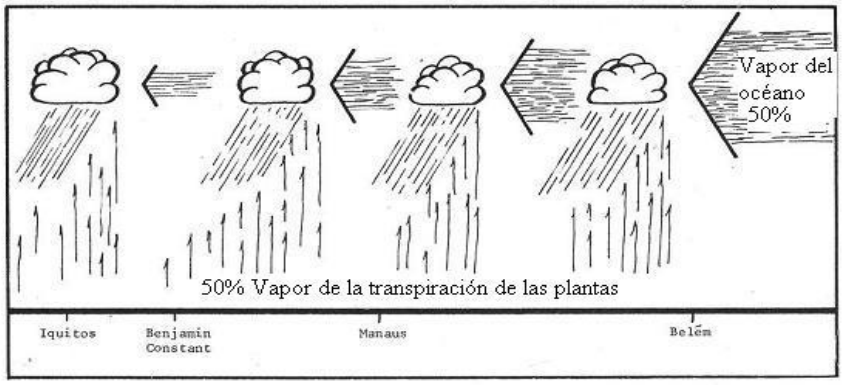


Figura 8. Esquema sencillo del modelo de recirculación de agua en la franja central de la cuenca amazónica. Aproximadamente el 50% del vapor de agua que produce las lluvias viene del océano Atlántico, con los vientos alisios que soplan desde el cuadrante Este, y el otro 50% es producido dentro de la propia Amazonia, por la transpiración de las plantas de la selva, que reciclan el agua.

No hay producción directa de O_2 en estos tipos de bosques, ya que absorben la misma cantidad que emiten, comportándose como intercambiadores. En cambio, la selva amazónica representa una gran reserva de carbono. De manera general, las selvas del planeta contienen la misma cantidad de carbono existente en la atmósfera en forma de CO_2, estimándose su cantidad en 830 x 10^9 toneladas de carbono. Este número toma en cuenta sólo la parte viva de la selva. Si consideramos también las diversas formas de la materia orgánica del suelo, entonces el total de carbono asociado al sistema forestal está en el orden de 2000 a 3000 x 10^9 toneladas de carbono, o sea 3 a 4 veces más de lo existente en la atmósfera.

Los análisis de suelos en las regiones ecuatoriales deforestadas constatan que, en general, hay una disminución de materia orgánica y, dependiendo del tipo de agricultura practicada, los tenores pueden ser de hasta menos de la mitad de los existentes en los ecosistemas forestales. En cuanto no existe una cuantificación completa de las variaciones del tenor de carbono del suelo y de las plantas bajo los diversos tipos de manejos forestales y de actividades agrícolas, una cosa es segura: durante la transformación de la selva en áreas de agricultura y pastizales, hay una transferencia de carbono hacia la atmósfera. Aceptando que las selvas en áreas tropicales están siendo cortadas en 10 x 10^6 has/año, el flujo de carbono para la atmósfera por este proceso de 2 a 5 x 10^9 tC/año. Este flujo es del mismo orden de tamaño de la quema de combustibles fósiles, estimado en 5 x 10^9 tC/año.

La tendencia natural de los océanos es absorber el exceso de CO_2, controlando la presión parcial de este gas en la atmósfera. La interacción entre el CO_2 de la atmósfera con los océanos es intensa y rápida. A través de una transferencia molecular, el CO_2 de la atmósfera es renovado en apenas una década, estableciéndose en el largo plazo una situación de equilibrio dinámico que, hasta recientemente, para el CO_2 era del orden de 280 ppm (era preindustrial). Con el desarrollo industrial, a partir del comienzo del siglo 20, el equilibrio de este proceso fue roto por la actividad humana. Las observaciones más recientes indican que el CO_2 de la atmósfera está aumentando a una tasa de 1,5 ppm por año, con una concentración actual de 370 ppm. Las causas principales de este aumento son la quema de combustibles fósiles y la tala y quema de selvas y bosques.

Este aumento de CO_2 provocará un recalentamiento de la Tierra en las próximas décadas, fenómeno que se reflejará en una variación de las zonas climáticas y traerá cambios en las áreas agrícolas. El aumento de la temperatura media de la atmósfera terrestre alcanzará 1ºC para el 2020 y posiblemente 2ºC para el 2050. Pero hay que entender que se trata de valores medios, no de un aumento correlativo en cada localidad.

Actualmente los bosques tropicales ocupan la región ecuatorial del planeta y entre el Ecuador y el Polo hay una diferencia térmica de 50°C. Durante el Jurásico y el Cretácico la temperatura fue muy superior a la actual y la diferencia térmica entre el Ecuador y el Polo era de escasos grados. Se puede decir que todo el planeta tenía entonces un clima tropical. Lo que quiere decir que durante fases cálidas se amortiguan los cinturones climáticos (hasta

prácticamente desaparecer), extendiéndose las condiciones tropicales (o similares a ellas) a áreas que de otro modo serían subtropicales, templadas y frías. Por consiguiente el calentamiento medio será mayor en altas latitudes pero permanecerá casi invariable a nivel del actual cinturón intertropical, que se ampliará.

La predicción de las tendencias futuras es algo incierta, porque influyen también factores que pueden actuar como amplificadores o como moderadores (autorreguladores) de los cambios. Las influencias astronómicas suelen actuar de forma sistemática sobre el clima. Mientras que las segundas son no-lineales o caóticas (no sistemáticas). Por todo ello el clima es considerado un sistema complejo. Según que tipo de factores dominen la variación del clima será sistemática o caótica. En esto depende mucho la escala de tiempo en la que se observe la variación ya que pueden quedar patrones regulares de baja frecuencia ocultos en variaciones caóticas de alta frecuencia y viceversa.

Con la aparición de las cianobacterias en la Tierra se puso en marcha la fotosíntesis oxigénica. La atmósfera primitiva era reductora o menos oxidante que la actual. Las algas, y luego también las plantas, absorben y fijan CO_2, y emiten O_2. Su acumulación en la atmosfera favoreció la aparición de los organismos aerobios que lo usan para respirar y devuelven CO_2. El O_2 en la atmósfera es así el resultado de un proceso vivo y no al revés.

Aunque los bosques y selvas son intercambiadores de O_2, no ocurre lo mismo para el CO_2. La absorción de CO_2 no se realiza solamente en el crecimiento y producción de la biomasa vegetal, sino también en la producción de energía que hace posible las funciones vitales de las plantas, energía que pasa a la atmósfera o al océano en forma de calor y que contribuye al ciclo hidrológico. En todo caso, en los grandes ecosistemas forestales ocurre una abundante fijación del carbono, que contribuye apreciablemente a la reducción de los niveles atmosféricos de CO_2. Hoy sabemos que la selva amazónica contribuye, con la evapotranspiración de sus plantas, en la generación del 50% de las lluvias y en la formación del 50% del caudal de los ríos, y que su tala o merma producirá a la larga una disminución de las lluvias, del caudal de los ríos, contribuyendo al calentamiento y al trastorno climático global.

Las sequías severas en la Amazonia se han vuelto más frecuentes en los últimos años. Los expertos estiman que hasta ahora desapareció el 20% de los 4,2 millones de km^2 originales de la selva. El 12% del territorio amazónico ya es utilizado para actividades agropecuarias, y las forestales se incrementan. Desde el 2000, año tras año hay menos lluvias en la región amazónica. Donde las sequías aparecían cada 40 años, hoy se repiten cada cuatro o cinco, con intensidades mayores. Eso nos lleva a pensar que el escenario actual puede dejar de ser excepcional y convertirse en patrón. Esto implicaría que se está en presencia de un escenario climático de largo plazo. Y se puede sospechar que se está cerca del límite en el manejo de los recursos de la Tierra. Lo que hoy vemos en la selva amazónica es un anticipo del futuro en otras varias zonas.

Otro aspecto a destacar es que los fenómenos descritos no se circunscriben sólo al territorio de la Amazonia, sino que interactúan, con mayor o menor intensidad en amplias regiones de toda su periferia. Así p.ej. países del norte de Sudamérica (como Colombia, Venezuela, Guyana y Surinam) reciben en parte humedad de vientos del sur-este. Mientras más deforestada está la Amazonia, estos vientos aportan menos humedad y más temperatura, lo que retarda la acumulación de nubes, pero al acumularse éstas, se precipitan bruscamente en un lapso atrasado, intenso y corto, que produce inundaciones y, en caso de haberse eliminado la cobertura vegetal de las cuencas altas y medias, provoca los aluviones solifluidales que han sido frecuentes en estos países en la última década. Otro ejemplo puede ser el de muchos lugares de África en los que prácticamente no ha llovido en los últimos veinte años porque fueron deforestadas las selvas de El Congo, que producían la evapotranspiración que lograba hacer llegar las lluvias hacia el centro del continente madre. Es lo mismo.

En latitudes templadas, como el País Vasco, el comportamiento irregular del clima obedece a causas del mismo tipo, con la salvedad de que gran parte de la deforestación ocurrió en el pasado. Pero la eliminación de los escasos restos de hayedo y su sustitución por plantaciones de coníferas, de corta periódica, también incrementa la sequía, reduce el caudal de los ríos, propicia fenómenos de vaguada o gota fría, y contribuye al calentamiento global. No sólo porque las acículas de los pinos sostienen una superficie foliar menor que la de las frondosas, sino sobretodo por la pérdida de espesor de los suelos, que se vuelven más erosionables, con la consiguiente pérdida de su capacidad de retención de agua, lo que amplifica las crecidas hidrológicas y elimina parte de su capacidad de regulación del ciclo hidrológico. El trastorno climático global también se aprecia en la irregularidad de las estaciones, con temperaturas altas y bajas fuera de temporada, sequías más pronunciadas y eventos de lluvias o nevadas cortas e intensas.

Si seguimos creciendo, quemando combustibles fósiles, deforestando, envenenando y agrediendo más a la Naturaleza, pronto no tendremos de qué vivir. Como dijo Arturo Eichler: “La tala del primer árbol fue el inicio de la civilización humana. La tala del último será su final”.

Algunos de los datos citados fueron publicados hace 30 años, advirtiéndonos de procesos y tendencias que hoy comprobamos fehacientemente. Esto debería ser motivo de vergüenza para los políticos de todo el mundo, que demuestran que no saben leer los trabajos de los investigadores. Si algunos de los poderosos hubiera tenido en cuenta estos hechos antes, la humanidad se hubiera ahorrado buena parte de una peligrosa crisis económica y hubiera podido enfrentar el problema del cambio climático global con 30 años de anticipación, en vez de dedicarse a propiciar guerras y desarrollos insostenibles.

INUNDACIONES, PLAGAS E INCENDIOS

La acción humana ha ocasionado también una intensa cementación de las ciudades y áreas urbanas, en las que cada vez quedan menos zonas verdes, menos jardines y parques. A lo que se suma los movimientos de tierra y el asfaltado o cementación de las vías de comunicación, caminos e incluso pistas en zonas forestales, que se han multiplicado.

Muchas de las inundaciones que ocurren en España con frecuencia creciente, no se correlacionan con lluvias intensas. Basta que caigan cuatro gotas para que muchas zonas se inunden o queden anegadas por avalanchas de lodo. En las áreas urbanas (y su periferia) la cementación, al impermeabilizar el terreno, elimina la capacidad de regulación de los suelos. La descarga de las lluvias se traslada sin retardo (sin permitir el papel de esponja o regulador que desempeñaban las zonas verdes), lo que unido a la insuficiencia de los drenajes para evacuar el agua de estas crecidas (o al obstruirse por ramas, plásticos y desechos de todo tipo) provoca la inundación de las zonas bajas y edificaciones mal diseñadas. Las aguas de estas crecidas e inundaciones tienen además una importante carga sólida de sedimentos (procedente de múltiples zonas de obras y movimientos de tierra, así como de la erosión de sus cuencas) con la consiguiente fuerza mecánica y poder erosivo. Los reportajes televisivos nos muestran imágenes de vehículos y enseres arrastrados con gran violencia, restos de arbolado y basuras que obstruyen y rompen puentes y carreteras, y depósito de grandes cantidades de barro y lodo. A ello se suma incluso algunas pérdidas de vidas humanas. Se puede decir que las arroyadas tienen características semi-aluvionales, y las inundaciones no son simples aumentos del nivel de las aguas. Lo más grave es que no son producto de lluvias excepcionales. Basta ver los registros meteorológicos para verificar esto.

Si bien es cierto que muchas inundaciones son debidas a la urbanización en zonas inadecuadas, y que algunas de ellas corresponden a fenómenos puntuales de gota fría o vaguadas (que como parte del trastorno climático global se han acentuado), lo fundamental reside en la pérdida de regulación hidrológica de sus respectivas cuencas, como subproducto de la deforestación y pérdida de suelos. En Gipuzkoa -según la Agencia Vasca de Aguas- tendríamos cerca de 65 zonas o tramos de los ríos que serían puntos rojos o de alto riesgo de ocurrencia de inundaciones y problemas de este tipo. La canalización de muchos tramos de río y la eliminación de áreas de rebalse y humedales, contribuyen sin duda a incrementar la altura de las aguas en los cauces naturales durante las crecidas. Pero lo esencial de que las crecidas se produzcan con tal intensidad y en tan breve espacio de tiempo reside en la falta de cobertura vegetal y de suelos. Gipuzkoa tiene una orografía accidentada con una red hídrica muy encajada, que ha evolucionado naturalmente sin experimentar semejantes trastornos. Las zonas peligrosas o de “alto riesgo” de desbordamiento e inundación son el producto moderno de una mala gestión, preocupada más por la clasificación de los desastres, que por la prevención de sus causas.

Si observamos los registros hidro-meteorológicos históricos, no encontramos una variación en la cantidad y distribución de las lluvias que se correlacione con las crecidas e inundaciones que con frecuencia creciente se están produciendo en el territorio en las últimas décadas. Nadie habla entonces de suelos o bosques, sino que se oculta o distorsiona la información atribuyendo estos fenómenos a lluvias excepcionales. Lo cierto es que aunque se ha mantenido una superficie forestal importante (Gipuzkoa siempre se ve muy verde) en su mayoría se trata de plantaciones de coníferas exóticas. Su explotación y las cortas sucesivas han ido produciendo una intensa pérdida de suelos, y por consiguiente, una pérdida importante de la capacidad de regulación hidrológica. El papel de esponja reguladora de la vegetación natural (con suelos profundos y con capacidad de retención) se ha ido perdiendo. Los terrenos agrícolas y las plantaciones madereras presentan suelos adelgazados, con una mermada capacidad reguladora. Las lluvias que antes caían empapaban los suelos y estos introducían un retardo en el paso del exceso de aguas a los ríos, además de que evapotranspiraban más. La cobertura agro-forestal degradada evapotranspira menos y los suelos adelgazados por sucesiva erosión pierden su capacidad de regulación. Unido a las fuertes pendientes del territorio, ello ocasiona un rápido tránsito de las aguas de lluvia a los ríos, y la consiguiente rapidez y violencia de las crecidas. Si a ello se suma la acumulación en los cauces de restos incontables de la actividad forestal y desechos de desmontes de pistas y residuos de todo tipo, se comprenderá que las crecidas, inundaciones, deslizamientos de terrenos y avalanchas aluvionales, van creciendo en intensidad y frecuencia.

De estos factores, el efecto negativo más grande, que caracteriza al momento actual, es que prosigue y se intensifica la explotación forestal. Lo que no se ve (o no se desea ver) es que la pérdida de suelos es progresiva. La destrucción de su espesor, características y capacidad de regulación hídrica, se incrementan con cada corta sucesiva, año tras año, y esta acción se extiende hasta niveles altos de las montañas que hasta hace poco no soportaban tales impactos. Valles como los del Leizarán y el Araxes son un ejemplo de esto. Los fenómenos de siltación que venimos observando en cuevas (con afección a su fauna cavernícola) indican la aceleración de estos procesos. Sus efectos están alcanzando hoy incluso a los ecosistemas más altamente resistentes y antiguos del territorio, que habían permanecido inmunes durante millones de años a los cambios de superficie.

Los suelos, degradados y contaminados (por sustancias tóxicas industriales y pesticidas usados en el agro y en las plantaciones de coníferas exóticas), poco tienen que ver con los suelos naturales que existían con anterioridad, los

cuales habían logrado un desarrollo y equilibrio acorde con los bosques clímax, por las interacciones entre clima, sustrato geológico y vegetación. La simplificación de los ecosistemas de superficie, aunada a la pérdida de biodiversidad, trae consigo otro fenómeno: el crecimiento y extensión de las plagas, agrícolas y forestales. Pese al uso intenso de biocidas, que han eliminado gran número de individuos y especies, en el otro lado de la balanza nos encontramos con la proliferación temporal de unas pocas especies, que se alimentan de los monocultivos, constituyendo plagas para los mismos. Es frecuente así mismo ver en épocas como el verano la proliferación de grandes números de insectos fastidiosos, como mosquitos, moscas y tábanos. Las zonas con ganado mantienen rebaños que se ven saeteados por las picaduras de estos insectos. En las bocas de las cuevas se encuentran descansando nubes de miríadas de mosquitos, de unas pocas especies, que no proliferan más gracias a la acción de algunas arañas troglóxenas y troglófilas. Los brotes de procesionaria sobre los pinares prosiguen su acción, como otras plagas, por la simple razón de que los monocultivos las sostienen, pese al empleo de biocidas. Las plagas agrícolas se han tornado muy resistentes, además de persistentes. Bajo nuevas condiciones de simplificación, nuevos equilibrios son alcanzados. Los intentos de recuperación de la vegetación natural sobre fases seriales (procesos de sucesión) se ven interrumpidos. En campos degradados los ganaderos (que a menudo son también plantadores de pinos) no escatiman esfuerzos en tratar de arrancar más biomasa aprovechable. En zonas de montaña que antes eran zona de pastoreo para ovejas, vemos crecientes números de ganado vacuno y caballar. Encontramos cabras y chivos desde prácticamente la cumbre del monte Aizkorri hasta los argomales de la costa de Jaizkibel, a orillas del mar. Estos resistentes animales, cuya suelta en los montes está legalmente prohibida, porque acaban con los retoños de frondosas naturales que intentan volver a crecer, pareciera ser que campan hoy a sus anchas en los más diversos terrenos. Las malas hierbas y las plantas invasoras exóticas están también ganando terreno. En el mar, la proliferación de plagas de medusas ha pasado a ser un fenómeno común, asociado al calentamiento de las aguas. Enfermedades como la malaria y el paludismo irrumpen en el litoral mediterráneo y muy diverso ácaros, chinches e insectos que pensábamos restringidos a los trópicos han aparecido en las ciudades y cultivos europeos, en parte también transportados por el turismo de masas y las importaciones desde países exóticos. Un auténtico cóctel de ingredientes, desconocido con anterioridad.

La cuantía de las masas forestales maderables es mayor de lo que se supone. Las estadísticas del inventario forestal del Gobierno Vasco dan para 2005 un aumento de las existencias maderables en sólo 9 años de 41, 6 a 54,8 millones de m^3. El mismo informe señala que la superficie de talas de pinos adultos, si bien ha descendido, esto se debe al descenso de la actividad en forma de cortas finales y el menor período que se sigue actualmente entre plantación y corta. Igualmente se constata un descenso en la superficie de pinares adultos, contrarrestado por el aumento de superficie de latizales y la no contabilización de la mezcla que suele nacer tras una corta final o un abandono agrario, los cuales han aumentado. También se difunde la idea de un leve aumento de las frondosas en relación a coníferas, pero no se trata de las frondosas autóctonas, ya que entre las primeras se incluye p.ej. al eucalipto, de extensión acrecentada en Bizkaia. De igual modo, el aparente descenso de las plantaciones de pino insignis es contrarrestado por el incremento de otras coníferas exóticas (otros tipos de pinos y alerces y un pequeño porcentaje de abeto y roble americano). Para Gipuzkoa, del total forestal, las cortas anuales de madera alcanzaron cifras de 476.000 y 438.000 m^3 en los años 2007 y 2008, respectivamente. Los informes de gestión forestal de la Diputación de Gipuzkoa señalan también que el 80% de los bosques está en manos privadas, mientras que el 20% restante es público. El 94% de las cortas de madera en Gipuzkoa corresponden a la especie Pinus insignis, y el 90% de ellas se produce en montes de titularidad privada (Gobierno Vasco 2007, JJG, 2012). De modo inverso se puede decir que incluso en los denominados montes de titularidad pública, el negocio maderero parece ser el interés central de la administración. Los montes públicos son concebidos como objetos de explotación y por ello no extraña que los departamentos de agricultura y medio ambiente sean gestionados por técnicos forestales interesados en mantener rendimientos de la extracción de madera, y no en la conservación de la naturaleza. De hecho, el único apartado que hemos encontrado sobre biodiversidad (en informes de la administración), refiere sólo la diversidad estructural de las plantaciones de especies arbóreas maderables (Gobierno Vasco, 2012), sin referencia ni al conjunto de ecosistemas, especies animales o vegetales no-maderables, que constituyen la verdadera biodiversidad de un territorio.

Esta miopía en los entes de la administración que deberían velar por la conservación de la naturaleza, va de la mano de una concepción de la naturaleza como “recursos” explotables y de la extensión de la propiedad privada sobre el territorio común de los humanos. Esta apropiación capitalista de la naturaleza, no ocurre sólo en las ciudades (lo cual podría esgrimirse que pueda tener cierta lógica, como la propiedad de los medios de producción), sino que abarca todos los espacios naturales, montañas y valles. Y es una imposición de minorías. Porque se olvida que la otra cara de la propiedad privada es que priva de propiedad a los que no son propietarios. Un ciudadano que nazca hoy en Gipuzkoa se encontrará que todo el territorio es privado y nada le pertenece, ni tan siquiera su usufructo. Las parcelas que quedan de titularidad pública son gestionadas para su explotación en forma cuasi-similar a los terrenos privatizados, por políticos que administran el territorio de ayuntamientos, diputaciones y la red de “espacios naturales protegidos”. Tal es el status quo actual. Sólo queda privatizar las playas y cobrar peajes.

Ante el desarrollo de monocultivos forestales y sus fases seriales, muy inflamables, no extraña el auge de otra de las plagas modernas: los incendios de vegetación. Estos han surgido y se han multiplicado de forma exponencial en las últimas décadas. Y hasta se trata de naturalizar el tema, hablando de "épocas de incendios", como si fueran épocas naturales de lluvia o de frío. Que se asocian también al cambio climático y al calentamiento global. Afortunadamente Gipuzkoa, por su clima húmedo, se salva en gran parte de estos destrozos. Aunque el número de incendios no obstante crece, habiéndose registrado p.ej. 33 incendios en 2009.

Lo esencial del tema de los incendios forestales es que se trata en el 99,9% de las veces de incendios intencionados, producto de la acción humana. No son rayos, chispas de tren, ni colillas de cigarrillos, los que provocan incendios. Los incendios son intencionados, producto de la mano del hombre. En algunos, pocos, casos pueden originarlos quemas intencionadas de maleza y vegetación serial baja, en busca de despejar el terreno y permitir el rebrote de nuevos pastos. También han sido quemadas extensiones importantes para la especulación urbanística o para el aprovechamiento de la madera (sólo quemada en su superficie) y que la normativa legal no permitía utilizar en estado natural. Pero, en la mayoría de los casos los incendios son debidos a simples ganas de quemar y hacer daño. Que los pirómanos disfruten con ello o se deleiten con la destrucción no lo sabemos; nosotros creemos que en gran medida está asociado a un auténtico odio a los monocultivos madereros y a sus propietarios. En este sentido el caso de Galicia es emblemático, ya que buena parte de su superficie son plantaciones privadas de eucaliptus exóticos, que benefician a pocos y constituyen un impacto negativo para el conjunto. Porque es sintomático que bajo un clima tan o más lluvioso y verde que el del País Vasco se registre tan elevado número de incendios y que se repitan año tras año. Tras estos incendios se oculta más rencor del que imaginamos, y el fuego, fácil de iniciar con impunidad y poco riesgo, cumple un papel justiciero y purificador. Si los políticos y terratenientes fueran igual de inflamables, seguramente habrían sido quemados repetidas veces.

Y ya el colmo o punto culminante de lo retorcido del tema de los incendios de vegetación, lo constituye la quema intencionada por los contratados para apagar el fuego (los bomberos incendiarios). A medida que se fueron creando cuerpos anti-incendios, con la contrata de personal en las temporadas de incendios, el quemar se ha vuelto un incentivo para personas sub-contratadas y en paro. Y con la crisis y el alto número de personas sin empleo, puede resultar atractivo para muchos generar problemas que les suministren al menos un trabajo temporal. Esta retroacción, ilógica desde el punto de vista de la conservación de la naturaleza, no es nueva, ya que trata de crear trabajo para los que están o pueden quedarse sin él. Lo perverso resulta común bajo la lógica capitalista, en los más diversos grupos profesionales. Así tenemos médicos que realizan operaciones que no son necesarias; mecánicos de automóviles que sustituyen piezas en buen estado; policías que no atrapan a todos los delincuentes para no quedarse sin trabajo y tener siempre delitos que combatir, haciéndose imprescindibles; abogados que complican las leyes para incrementar su campo de acción o su experticia; jueces que por iguales razones son poco proclives a hacer justicia, prefiriendo complicar las interpretaciones jurídicas; limpiadores de pintadas que mandan a sus hijos a hacer graffitis; cerrajeros que echan pegamento a cerraduras de comercios y edificios para ser contratados para su reparación; y otras muchas formas de vandalismo interesado. No nos engañemos, vivimos en un mundo enfermo y en una sociedad enferma e injusta, con crecientes niveles de resentimiento e irracionalidad. Donde las enfermedades o trastornos de tipo psicológico alcanzan cotas alarmantes. A todos los niveles sociales. La evasión, a través del alcohol y las drogas (cuyo comercio se prohíbe y su consumo se permite, de modo perverso), es objeto también de negocio y crea complicaciones adicionales. Los medios de comunicación retroalimentan toda esta irracionalidad, donde una ética de respeto a la naturaleza y a los demás seres humanos hace tiempo que ha sido olvidada.

EFECTOS DERIVADOS DEL MODELO DE DESARROLLO

Esta alarmante pérdida de valores, de sentido común y de perspectivas, alcanza niveles de paroxismo. Vivimos en una sociedad enferma y en un modelo de civilización en declive, que recuerda la época del ocaso de otros imperios, como el de Roma en el mundo antiguo. Pero a la vez vivimos un momento histórico de la misma naturaleza que el que vivió Europa occidental durante el Renacimiento. Desde la perspectiva de los sistemas complejos, se trata de un momento de inflexión, de un cambio de fase, de un instante de bifurcación, como dirían Prigonine & Stengers (1991). Vivimos en un tiempo de cambio en el orden de las significaciones y, vivir esos momentos es vivir un tiempo de incertidumbre y, al mismo tiempo, de oportunidades (Porto-Gonçalves, 2009).

Hablar de cambios en el orden de las significaciones es, rigurosamente, hablar de cuestiones que nos remiten al campo de la cultura. A fin de cuentas, la especie humana inventó, a lo largo de su aventura sobre el planeta, múltiples formas de prestar sentido al vivir, lo que por sí solo nos remite a la complejidad de lo que es ser humano. Las múltiples culturas que esa misma especie biológica creó, nos indica cuán lejos estamos de poder pensar en un único actuar racional (Porto-Gonçalves, 2009). Lo más grave de las contradicciones que presenta la crisis del modelo de desarrollo económico, es que también entran en crisis sus visiones del mundo, su imaginario de significaciones, sus matrices de racionalidad (Galán, 2010). El modelo de crecimiento ilimitado ha alcanzado su límite, y resulta más que

nunca necesario plantear modelos de decrecimiento, con una lógica distinta a la capitalista, que sea respetuosa con la naturaleza y con los seres humanos.

Si nos detenemos a reflexionar, veremos que todos los datos y temas hasta aquí tratados, de un modo u otro constituyen un conjunto de fenómenos interrelacionados. Y todos derivan del modelo de desarrollo hegemónico, que resulta insostenible y está en crisis. A todos los niveles.

Podemos referirnos a nivel general a prácticas como la obsolescencia programada de los productos industriales, a la investigación de las empresas farmacéuticas dirigida a producir medicamentos que no curen, sino que sólo palien los efectos, tornando su consumo necesario y recurrente. A nivel local, en Gipuzkoa, podemos citar ejemplos ilustrativos de esta dinámica, desconsiderada con la naturaleza y el ser humano, y motivada la mayoría de las veces por un ánimo desmedido de lucro.

Puede así afirmarse que toda la carne de res que comemos en Gipuzkoa ha sido tratada p.ej. con clenbuterol, ya que este producto (nocivo para la salud) incrementa en un 10% el peso del ganado en pie, por retención de agua en sus tejidos. Solo dos técnicos son encargados de la vigilancia e inspección sanitaria de cerca de 2.000 establecimientos ganaderos y mataderos en el territorio, cuando bastaría con controlar las ventas de clenbuterol de las dos únicas empresas que lo producen y comercializan. Y cuando se detecta esta sustancia, la multa administrativa y sacrificio del animal tienen para el productor un costo bajo y asumible, que compensa tales pérdidas. El tema es tan conocido entre los que trabajan en el área que es hasta objeto de chiste casos como el de prestigiosos ciclistas, acusados de dopaje (por su alto contenido de clenbuterol en sangre), los cuales argumentaron en su defensa que la presencia de la sustancia era debida a que comieron carne en un asador del país.

Otro ejemplo lo tenemos en el control de los vertidos contaminantes al río Urumea. Como los técnicos que efectúan las mediciones de la calidad del agua lo hacen de lunes a viernes, los industriales retienen los residuos para efectuar las descargas los fines de semana, cuando no hay mediciones. Cualquier ciudadano puede corroborar esto viendo que los malos olores en el Urumea se notan precisamente los sábados y domingos, y no entre semana.

Otro amigo donostiarra que vive en Amara, me comentaba indignado que cuando por primera vez (hace unos 5 años) pusieron medidores para ver la calidad del aire en Donosti, el aparato fue instalado al lado de su edificio, en la Av. Madrid, pero como daba niveles de contaminación muy altos para varios parámetros (por el tráfico de vehículos), la administración sabiamente trasladó el aparato medidor a la zona alta de Hospitales (más verde), a fin de no registrar la contaminación real. Presentó una denuncia al Ayuntamiento que debe seguir descansando entre papeles y denuncias inatendidas. Y si eso ocurre en Donosti, que no es una ciudad muy contaminada y goza de un aire bastante limpio, imagínense el grado de contaminación de ciudades como Madrid o Barcelona (y muchas otras) cuyos habitantes viven bajo una boina negra permanente de aire contaminado.

Figura 8. La mancha de contaminación de la descarga del colector submarino de Ulía se aprecia desde el espacio. Fuente: Imagen de Google Earth, a 4,66 km de altura.

Tenemos además en Donosti otro ejemplo singular de contaminación, ya que se aprecia desde el espacio (Figura 8). Es la mancha de aguas residuales que salen del colector submarino detrás de Ulía y que, aunque provienen de una planta de tratamiento que reúne y trata las aguas de la comarca, no deja de contener alto número de contaminantes químicos y orgánicos. Se piensa que alejando el vertido a escasos 100 m de la costa este se diluye o desaparece por arte de magia. Pero nada se dice de sus efectos sobre la biota marina o incluso sobre la salud de los inadvertidos bañistas y consumidores de pescado capturado en esas aguas. Cuando el viento es de componente NE el fuerte olor de ese desagüe llega hasta el camino de la costa y el merendero de Ulía. ¿Es todo esto una exageración? Invito al lector a verificarlo.

No digamos ya los problemas generados por la enorme cantidad de basura que producimos. Que hasta tenemos que exportarla a Bizkaia y es un actual tema de debate -por todos conocido- el qué hacer con la basura y dónde colocar nuevos vertederos, incineradoras u otros sistemas que contemplen un mayor reciclaje y aprovechamiento de residuos. Se debate, como tantas veces, sobre soluciones para las consecuencias, pero no para las causas. Causas que básicamente corresponden a un exceso de residuos, por exceso de consumo (consumismo y problemática asociada).

Es interesante señalar a este respecto que el consumo genera problemas que rebasan o no se limitan al estrecho marco de nuestra comarca o territorio, sino que extiende sus tentáculos sobre un espacio geográfico mayor. Muchos productos que consumimos en el país proceden de la importación -cuando no de la rapiña- de productos procedentes

de países lejanos. Y tienen un impacto global en lo que denominamos huella ecológica, y en los cambios actuales a nivel macroecológico. P.ej. el Ministerio del Ambiente de Brasil, en relación a las antes citadas afecciones a la Amazonia, señaló que solo entre 2004 y 2005 se destruyeron 26 mil km^2 de extensiones de selva (13 Gipuzkoas), para dar lugar a cultivos de soya con fines de exportación. Grupos como Greenpeace y WWF señalaron que los países consumidores tienen tanta responsabilidad como el gobierno de Brasil por haber alentado estos desastres. Greenpeace responsabilizó directamente a España por importar importantes cantidades de soya y de madera de estas áreas del Amazonas, hoy deforestadas. Empresas siderúrgicas ubicadas en los estados de Maranhão y Pará, talan y utilizan el carbón vegetal para producir hierro fundido, usado como materia prima para la fabricación de acero. Estadísticas del organismo indican que el 80% del carbón vegetal que abastece las plantas de arrabio de los estados de Maranhão y Pará proviene de la deforestación ilegal de la selva nativa, lo que corresponde a 120.000 árboles por día, derribados en la Amazonia para atender la producción y exportación de arrabio, en manos de multinacionales del sector. Entre los países importadores se encuentra también España. Con todo esto lo que queremos decir es que -aunque no lo advirtamos- nuestro consumismo desenfrenado causa estragos y tiene efectos mucho más allá de los límites de nuestra comarca. En el País Vasco no sólo importamos energía para sostener nuestro consumo energético industrial y doméstico, sino que ese desmesurado gasto es motivo y parte de la denominada huella ecológica, que en los países ricos del norte desarrollado ha sobrepasado 3,5 veces la capacidad de carga del planeta.

PERSPECTIVAS Y ALTERNATIVAS

Los cuatro factores que inicialmente detectamos como causantes de las declinaciones de fauna cavernícola (deforestación y sustitución de la vegetación autóctona por plantaciones de coníferas exóticas, siltación, contaminación química y orgánica, desbalance ecológico), muestran a nivel macroecológico y sobre los ecosistemas de superficie un impacto mayor y significativo. Estos factores, asociados al modelo de desarrollo y sus prácticas agro-forestales, se han extendido en época moderna a niveles altos del karst (en las principales montañas) y se ha intensificado su acción, generando, entre otras, el conjunto de afecciones que hemos revisado.

Muchas de ellas tienen efectos sobre la salud humana y nuestra calidad de vida, pero sobretodo han entrañado una importante pérdida de biodiversidad y amenazas de extinción, así como una incidencia en los procesos de trastorno climático y sus efectos derivados en el ciclo del agua, suelos y CO_2 atmosférico. Sus niveles de acción sobrepasan los límites de regulación que mantienen los equilibrios macroecológicos conocidos. Su intensificación y aceleración sin duda producirán nuevos cambios. Pero las perspectivas son inciertas.

En esencia, esto se debe a que tratamos con sistemas complejos, no-lineales. Las visiones mecanicistas, lineales, que imperan en gran parte del mundo académico y en el imaginario de las sociedades occidentales impiden ver esto. La extendida idea de que los eventos pequeños resultan de causas pequeñas, mientras que los grandes eventos se explican por grandes causas, pertenece a una visión superada. La mecánica de Newton permitió a Haley predecir con precisión cuándo reaparecería en nuestro cielo su cometa, lo que impulsó la confianza en la capacidad de la ciencia para conocer el futuro y las concepciones mecanicistas en ciencia. Sin embargo, la realidad (como lo demuestra el pensamiento sistémico y la dinámica de los sistemas complejos) es que la naturaleza se rige por leyes no-lineales y por ello no nos autoriza a hacer predicciones para tiempos ilimitados. No tenemos el futuro en las manos. La inestabilidad es connatural en nuestro sistema planetario. La visión mecanicista que nació de la física durante el siglo de la Ilustración y hasta hace no muchas décadas plena de confianza en las posibilidades ilimitadas de la ciencia, se ha derrumbado. Estas matrices de racionalidad se han sustentado sólo porque resultaban convenientes para sostener el otro gran paradigma del capitalismo: las ideas de progreso y de crecimiento ilimitado. Esto no sólo es imposible en un planeta finito, sobrepoblado, donde el consumo (y la disposición de residuos) superan la capacidad de carga, y donde el modelo económico basado en los hidrocarburos ha entrado en una fase de agotamiento. Es insostenible, aún cuando los poderes económicos sigan propagadizando su viabilidad. Hay que recurrir a otras alternativas.

La no linearidad de los sistemas que nos ofrece la naturaleza -y, en ocasiones, la sociedad- es razón central de su comportamiento azaroso, donde la predictibilidad es muy limitada. Y no bastan las explicaciones *ad hoc*. Y esto no es característico sólo de las ciencias naturales, sino que se da en situaciones similares en la sociedad y su economía.

En los sistemas complejos, no-lineales, que engloban a la inmensa mayoría de los sistemas naturales, las interacciones internas tienen un comportamiento caótico, y ello determina una limitación intrínseca de la capacidad predictiva de nuestras teorías en el largo plazo. Las visiones sistémicas nos ofrecen a la vez la posibilidad de entender cómo es que surgen estructuras en ciertos sistemas simples inicialmente homogéneos e indiferenciados, tema de gran alcance y que resulta misterioso para la ciencia anterior al estudio de los sistemas complejos. Por otro lado, nos muestra cómo la pérdida de capacidad predictiva no es por ignorancia, sino porque los datos específicos de que disponemos, por precisos que sean, resultan siempre insuficientes para hacer la predicción acertada a plazos largos. La verdad es que no podemos predecir el clima que habrá en el futuro. Estamos frente al efecto mariposa, descubierto por Poincaré hace ya cien años, cuando estudió la estabilidad del sistema planetario y descubrió lo inesperado: para sorpresa de todos, este sistema, al que considerábamos estable, es esencialmente inestable. Simplemente, es un sistema no-lineal (Galán, 2010).

Las perspectivas que tenemos por delante dependen mucho de lo que hagamos, porque algunas cosas si podemos constatar. Pero un paso previo es percibir el hecho de que buena parte de la actividad científica actual tiene no sólo un motor interno con matrices mecanicistas y mercantilistas, sino que opera simultáneamente un poderoso motor externo que en mucho decide su camino. La parte más poderosa de esta maquinaria radica en las grandes estructuras de poder (económico, político y militar) que imponen sus normas y directrices a nuestras sociedades, sobretodo a las más "avanzadas". Y que son precisamente las responsables de la crisis actual.

Hemos constatado la acelerada pérdida de biodiversidad, los elevados grados de contaminación y afección a la salud, el incremento de CO_2 atmosférico producto de la quema de hidrocarburos (el cual sustenta nuestro modelo energético y está en la raíz de las recientes guerras imperiales para apropiarse del petróleo) y de la deforestación continuada que produce pérdidas de los mecanismos de regulación y trastornos climáticos. Pero la vida es tenaz, y su comportamiento complejo buscará nuevos re-equilibrios, probablemente haciendo desaparecer a la especie humana causante de tantos estragos. La naturaleza no nos necesita para nada. Nosotros necesitamos a la naturaleza. Si no cambiamos nuestra concepción del mundo y actuamos en consecuencia, nos esperan tiempos inciertos.

Es también importante señalar, que no todos los humanos son igualmente responsables de esta situación. Los países ricos del norte (que representan menos del 20% de la población mundial) se apropian actualmente del 83% de los recursos del planeta. Pero además, en el seno de los países ricos, hay también contrastes del mismo orden entre sus diferentes estratos sociales. Podríamos decir que tal vez menos del 4% de la humanidad, los que ocupan los estratos superiores de la pirámide del capital acumulado, son los grandes responsables. Entre estos, hay a su vez una ínfima minoría (la cúspide de la pirámide), que al modo de los super-depredadores conduce esta situación. La teoría general de sistemas nos muestra a su vez que el agotamiento de recursos y la continuidad de directrices de crecimiento ilimitado, en un planeta finito, conducen a situaciones de juego llamadas de suma cero. Es decir, que para que algunos continúen incrementando sus ganancias, es necesario que los demás pierdan (Galán, 2010). De ahí la exacerbación de las desigualdades y las injusticias, que están llevando a la inmensa mayoría de los humanos a situaciones insostenibles, de malestar, locura y aniquilación.

La aceptación pasiva de semejante situación sólo se explica por el peso que aún tiene la ideología dominante, a través de la propaganda de los medios de comunicación y, cuando esto no basta, a través de la fuerza (económica, militar, o una combinación de ambas). Sin embargo, el gigante tiene pies de barro, y hay alternativas. Viables, posibles y sostenibles, empezando por el decrecimiento, el reparto del trabajo y el reparto del dinero, auténtico dios del sistema capitalista imperante. Hay otras matrices de racionalidad, basadas en ideas de que son los propios humanos los que pueden cambiar su futuro, no "el mercado", ni agencias financieras de calificación, ni el grupo de los 20, ni demás espectros creados ad hoc por "expertos" al servicio de los dueños del poder. El cambio de paradigma implica terminar con la separación hombre-naturaleza y repensar un nuevo modo de civilización, basado en la cooperación entre sus integrantes, como lo hacen las especies evolutivamente exitosas.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las tendencias macroecológicas que gobiernan los procesos de cambio global actuales pueden ser consideradas desde diversas vertientes. Exponemos a la discusión algunas de ellas.

Boff (2012) comienza por criticar el modelo-patrón de sostenibilidad del siguiente modo:

"Los documentos oficiales de la ONU y el actual borrador para Río+20 definieron que el modelo patrón de desarrollo sostenible debe ser: económicamente viable, socialmente justo y ambientalmente correcto. Es el famoso triple llamado de Triple Botton Line (o línea de los tres pilares), creado en 1990 por el británico John Elkington, fundador de la ONG Sustain Ability. Dicho modelo no resiste una crítica seria.

Desarrollo económicamente viable: En el lenguaje político de los gobiernos y de las empresas, desarrollo equivale a Producto Interior Bruto (PIB). Ay de la empresa o país que no obtenga tasas positivas de crecimiento anuales! Entran en crisis o en recesión con la consecuente disminución del consumo y la generación de desempleo. En el mundo de los negocios, el negocio es ganar dinero, con la menor inversión posible, con la máxima rentabilidad posible, con la competencia más fuerte posible y en el menor tiempo posible.

Cuando hablamos aquí de desarrollo no es cualquier desarrollo, sino el realmente existente, que es el industrialista/capitalista/consumista. Este es antropocéntrico, contradictorio y equivocado. Explico: Antropocéntrico porque está centrado sólamente en el ser humano, como si no existiese una comunidad de vida (flora y fauna y otros organismos vivos) que también precisan de la biosfera y demandan igualmente sostenibilidad. Es contradictorio, pues, desarrollo y sostenibilidad obedecen a lógicas que se contraponen. El desarrollo realmente existente es linear, creciente, explota a la naturaleza y privilegia la acumulación privada. Es la economía política de tipo capitalista. La categoría sostenibilidad, por el contrario, proviene de las ciencias de la vida y de la ecología, cuya lógica es no-linear e incluyente. Representa la tendencia de los ecosistemas al equilibrio dinámico, a la inter dependencia y cooperación de todos con todos. Como se desprende, son lógicas que se autoniegan: una privilegia al individuo, otra al colectivo, una enfatiza la competencia, otra la cooperación, una la evolución del más apto, la otra la co-evolución de todos interconectados.

Es equivocado, porque alega que la pobreza es la causa de la degradación ecológica. Por tanto, cuanto menos pobreza más desarrollo sostenible habría y menos degradación, lo que es erróneo. Analizando críticamente las causas reales de la pobreza y de la degradación de la naturaleza, se ve que resultan, no exclusivamente pero si en lo principal, del tipo de desarrollo practicado. Es él que produce la degradación, pues dilapida la naturaleza, paga bajos salarios y genera así pobreza.

La expresión desarrollo sostenible representa una trampa del sistema imperante: asume los términos de la ecología (sostenibilidad) para vaciarlos de contenido. Asume el ideal de la economía (crecimiento) enmascarando la pobreza que el mismo produce.

Socialmente justo: si hay una cosa que el actual desarrollo industrial/capitalista no puede decir de sí mismo es que sea socialmente justo. Si así fuese no habría 1.400 millones de hambrientos en el mundo y la mayoría de las naciones en la pobreza. Fijémonos apenas en el caso de Brasil. El Atlas Social de Brasil de 2010 (IPEA) refiere que cinco mil familias controlan el 46% del PIB. El gobierno traspasa anualmente 125 billones de reales al sistema financiero para pagar con intereses los préstamos hechos y aplica apenas 40 billones para los programas sociales que benefician a las grandes mayorías pobres. Todo eso denuncia la falsedad de la retórica de un desarrollo socialmente justo, imposible dentro del actual paradigma económico.

Ambientalmente correcto: El actual tipo de desarrollo se hace moviendo una guerra irrefrenable contra Gaia, arrancando de ella todo lo que fuera útil y objeto de lucro, especialmente, para aquellas minorías que controlan el proceso. En menos de 40 años, según el Indice Planeta Vivo de la ONU (2010), la biodiversidad global sufrió una caída del 30%. Apenas desde 1998 hasta hoy hubo un aumento del 35% en las emisiones de gases de efecto invernadero. En vez de hablar de los límites del crecimiento harían mejor hablándonos de la agresión a la Tierra.

En conclusión, el modelo patrón de desarrollo que se quiere sostenible, es retórico. Aquí y allá se verifican avances en la producción de menos carbono, en la utilización de energías alternativas, en la reforestación de regiones degradadas y en la creación de sumideros de desechos. Pero fijémonos bien: todo es realizado siempre que no se vean afectados los lucros, ni se debilite la competencia. Aquí la utilización de la expresión “desarrollo sostenible” posee una significación política importante: representa una manera hábil de desviar la atención del cambio necesario del paradigma económico, si quisiésemos una real sostenibilidad. Dentro del actual, la sostenibilidad es retórica, o localizada, o inexistente.”

El mismo autor (Boff, 2012) intenta en otro trabajo dar una definición holística de la sostenibilidad. Dice:

“Hoy en día hay un conflicto entre las distintas maneras de entender la sostenibilidad. Es clásica la definición del Informe Brundland de la ONU (1987): Desarrollo sostenible es el que atiende las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender a sus necesidades y aspiraciones. Este concepto es correcto pero tiene dos limitaciones: es antropocéntrico (sólo considera al ser humano) y no dice nada sobre la comunidad de vida (otros seres vivos que también necesitan biosfera y sostenibilidad). Voy a tratar de hacer una formulación lo más integradora y holística posible:

Sostenibilidad es toda acción destinada a mantener las condiciones energéticas, informacionales, físico-químicas que sustentan a todos los seres, especialmente a la Tierra viva, a la comunidad de vida y a la vida humana, buscando su continuidad, y atender también las necesidades de la generación presente y de las generaciones futuras, de tal forma que el capital natural se mantenga y se enriquezca su capacidad de regeneración, reproducción y ecoevolución.

Expliquemos los términos de esta visión holística: 1. Sustentar todas las condiciones necesarias para la generación de los seres: estos sólo existen a partir de la conjugación de las energías, de los elementos físico-químicos e informacionales que, combinados entre sí, dan origen a todo. 2. Sustentar a todos los seres: aquí se trata de superar radicalmente el antropocentrismo. Todos los seres emergen del proceso evolutivo y gozan de valor intrínseco, independientemente del uso humano. 3. Sustentar especialmente a la Tierra viva: la Tierra es más que una «cosa» (res extensa), sin inteligencia, o un mero medio de producción. Ella no contiene vida, sino que está viva, se autorregula, se regenera y evoluciona. Si no garantizamos la sostenibilidad de la Tierra viva, llamada Gaia, quitamos la base para todas las demás formas de sostenibilidad. 4. Sustentar también a la comunidad de vida: no existe el medio ambiente, como algo secundario y periférico. Nosotros no existimos: coexistimos y somos todos interdependientes. Todos los seres vivos son portadores del mismo alfabeto genético básico. Formamos la red de vida, incluyendo los microorganismos. Esta red crea la biomasa y la biodiversidad y es necesaria para la subsistencia de nuestra vida en este planeta. 5. Sustentar la vida humana: somos un eslabón singular de la red de vida, el ser más complejo de nuestro sistema solar y la punta avanzada del proceso evolutivo por nosotros conocido, pues somos portadores de conciencia, de sensibilidad y de inteligencia. Sentimos que estamos llamados a cuidar y guardar a la Madre Tierra, garantizar la continuidad de la civilización y vigilar también nuestra capacidad destructiva. 6. Sustentar la continuidad del proceso evolutivo: los seres son conservados y soportados por la Energía de Fondo o la Fuente de todo Ser. El universo posee un fin en sí mismo, por el simple hecho de existir, de continuar expandiéndose y autocreándose. 7. Sustentar la atención a las necesidades humanas: lo hacemos a través del uso racional y cuidadoso de los bienes y servicios que el cosmos y la Tierra nos ofrecen sin el cual sucumbiríamos. 8. Sustentar a

nuestra generación y a aquellas que seguirán a la nuestra: la Tierra es suficiente para cada generación siempre que ésta establezca una relación de sinergia y de cooperación con ella y distribuya los bienes y servicios con equidad. El uso de esos bienes debe regirse por la solidaridad generacional. Las futuras generaciones tienen el derecho de heredar una Tierra y una naturaleza preservadas. 9. La sostenibilidad se mide por la capacidad de conservar el capital natural, permitir que se rehaga y que, incluso a través del genio humano, pueda ser enriquecido para las futuras generaciones. Este concepto ampliado e integrador de sostenibilidad debe servir de criterio para evaluar cuánto hemos progresado o no y nos debe igualmente servir de inspiración o de idea-generadora para hacer realidad la sostenibilidad en los diferentes campos de la actividad humana. Sin esto, la sostenibilidad es pura retórica sin consecuencias."

Enrique Leff es uno de los principales impulsores críticos de otra alternativa macroecológica, el modelo de deconstrucción. Extraemos de su trabajo "Decrecimiento o deconstrucción de la economía: hacia un mundo sustentable" (Leff, 2010) una serie de extractos relacionados con lo que aquí se discute.

"Los años 60 marcaron una época de convulsiones del mundo moderno. Al tiempo que irrumpieron movimientos emancipatorios y contraculturales, explotó la bomba poblacional y sonó la alarma ecológica. Por primera vez, desde que la maquinaria industrial y los mecanismos del mercado fueran activados en el capitalismo naciente en el Renacimiento, desde que Occidente abriera la historia a la modernidad guiada por los ideales de la libertad y el iluminismo de la razón, se conformó uno de los pilares ideológicos de la civilización occidental: el principio del progreso impulsado por la potencia de la ciencia y de la tecnología (convertidas en las más serviles y servibles herramientas de la acumulación de capital) y el mito de un crecimiento económico ilimitado.

La crisis ambiental ha venido a cuestionar una de las creencias más arraigadas en nuestras conciencias: no sólo la de la supremacía del hombre sobre las demás criaturas del planeta y del universo, y el derecho de dominar y explotar a la naturaleza en beneficio de "el hombre", sino el sentido mismo de la existencia humana fincado en el crecimiento económico y el progreso tecnológico: de un progreso que fue fraguando en la racionalidad económica, que se fue forjando en las armaduras de la ciencia clásica y que instauró una estructura, un modelo; que fue estableciendo las condiciones de un progreso que ya no estaba guiado por la coevolución de las culturas con su medio, sino por el desarrollo económico, modelado por un modo de producción que lleva en sus entrañas un código que se expresa en un dictum del crecimiento, de un crecimiento sin límites!

Los pioneros de la bioeconomía y la economía ecológica plantearon la relación que guarda el proceso económico con la degradación de la naturaleza, el imperativo de internalizar los costos ecológicos y la necesidad de agregar contrapesos distributivos a los mecanismos desequilibrantes del mercado. En 1972, un estudio del MIT y el Club de Roma señaló por primera vez Los Límites del Crecimiento. De allí surgieron las propuestas del "crecimiento cero" y de una "economía de estado estacionario". En ese mismo tiempo, N. Roegen estableció en su libro La Ley de la Entropía y el Proceso Económico, el vínculo fundamental entre el crecimiento económico y los límites de la naturaleza. El proceso de producción generado por la racionalidad económica que anida en la maquinaria de la revolución industrial, le impulsa a crecer o morir (a diferencia de los seres vivos que estabilizan su crecimiento). El crecimiento económico y el consumo, implican un consumo creciente de naturaleza -de materia y energía-, que no solo se enfrenta a los límites de dotación de recursos del planeta, sino que se degrada en el proceso productivo y de consumo, siguiendo los principios de la segunda ley de la termodinámica.

Cuatro décadas después de los 60, la destrucción de los bosques, la degradación ecológica y la contaminación de la naturaleza se han incrementado en forma vertiginosa, generando el calentamiento del planeta por las emisiones de gases de efecto invernadero y por las ineluctables leyes de la termodinámica que han desencadenado la muerte entrópica del planeta. Los antídotos que ha generado el pensamiento crítico y la inventiva tecnológica, han resultado poco digeribles por el sistema económico. El desarrollo sostenible no es ecológicamente sustentable!

El sistema económico, en su ánimo globalizador, continuó soslayando y negando el problema de fondo. Así, antes de internalizar las condiciones ecológicas de un desarrollo sustentable, la geopolítica del "desarrollo sostenible" generó un proceso de mercantilización de la naturaleza y de sobreeconomización del mundo: se establecieron "mecanismos" para un "desarrollo limpio" y se elaboraron instrumentos para la gestión ambiental que han avanzado en establecer derechos de propiedad (privada) y valores económicos a los bienes y servicios ambientales. La naturaleza libre y los bienes comunes (el agua, el petróleo), se han venido privatizando, al tiempo que se trata de poner precio a la naturaleza -a los sumideros de carbono-, y generar mercados para las transacciones de derechos de contaminación en la compraventa de bonos de carbono.

Hoy, ante el fracaso por detener el calentamiento global (el Protocolo de Kyoto estableció la necesidad de reducir los GEI al nivel de 1990), surge nuevamente la conciencia de los límites del crecimiento y emerge el reclamo por el decrecimiento. Los nombres de Mumford, Illich y Schumacher vuelven a ser evocados por su crítica a la tecnología, su elogio de que "lo pequeño es hermoso" y el reclamo del arraigo en lo local. Resurge así el hecho incontrovertible de que el proceso económico globalizado es insustentable; que la ecoeficiencia no resuelve el problema de un perpetuo crecimiento en un mundo de recursos finitos, porque la degradación entrópica es ineluctable e irreversible.

La apuesta por el decrecimiento no es solamente una moral crítica y reactiva; una resistencia a un poder opresivo, destructivo, desigual e injusto; una manifestación de creencias, gustos y estilos alternativos de vida. El decrecimiento no es un mero descreimiento, sino una toma de conciencia sobre un proceso que se ha instaurado en el corazón del proceso civilizatorio, que atenta contra la vida del planeta vivo y la calidad de la vida humana. El llamado a decrecer debe afincarse en una sólida argumentación teórica y una estrategia política. La propuesta de detener el crecimiento de los países más opulentos pero de seguir estimulando el crecimiento de los países más pobres o menos "desarrollados" es una salida falaz. Los gigantes de Asia han despertado a la modernidad, y tan solo China y la India están alcanzando y estarán rebasando los niveles de emisiones de CO_2 de EE.UU. A ello se suman los efectos conjugados de los países de menor desarrollo llevados por la racionalidad económica hegemónica y dominante.

Por ello debemos pensar en una transición hacia una economía sustentable. Ésta no podrá ser una ecologización de la económica existente, sino Otra economía, fundada en otros principios productivos. El decrecimiento implica la deconstrucción de la economía, al tiempo que se construye una nueva racionalidad productiva.

Economistas ecólogos, como Herman Daly han propuesto sujetar a la economía de manera que no crezca más allá de lo que permite el mantenimiento del capital natural del planeta, es decir la regeneración de los recursos y la absorción de sus desechos (tesis de la sustentabilidad fuerte), pero la economía simplemente no es consciente y no consiente con tal receta de los ecólogos. No se trata de ponerle corsé a la gorda economía y de ponerla a dieta de naturaleza para evitarle un infarto por obesidad. Se trata de cambiar el organismo, de pasar de la economía mecanizada y robotizada -artificial y contra natura-, a generar una economía ecológica y socialmente sustentable.

Decrecer no solo implica desescalar o desvincularse de la economía, porque ello no evitaría que el crecimiento continuara consumiendo naturaleza hasta rebasar los límites del planeta. La abstinencia y la frugalidad de algunos consumidores responsables no desactivan la manía de crecimiento instaurada en la raíz y en el alma de la racionalidad económica, que lleva inscrita el impulso a la acumulación del capital, a la globalización del mercado y a la concentración de la riqueza. Las excrecencias del crecimiento -la esclerosis del conocimiento y la reclusión del pensamiento-, no retroalimentan al cuerpo enfermo de la economía. No se trata de reabsorber sus desechos, sino de extirpar el tumor maligno.

La estrategia economicista que intenta contener el desbordamiento sujetándola con los mecanismos del mercado, sometiéndola a las formas de raciocinio e interés prevalecientes, ha fracasado. La solución no es el decrecimiento, sino la deconstrucción de la economía y la transición hacia una nueva racionalidad que oriente la construcción de la sustentabilidad. La deconstrucción de la economía requiere de un ejercicio filosófico, político y social complejo. La economía no sólo existe como teoría, como supuesta ciencia. Es una racionalidad -una forma de comprensión y actuación en el mundo- que se ha institucionalizado y se ha incorporado en nuestra subjetividad. La pulsión por "tener", por "controlar", por "acumular", es ya reflejo de una subjetividad que se ha constituido a partir de la institución de la estructura económica y de la racionalidad occidental.

Deconstruir significa cuestionar el pensamiento, la ciencia, la tecnología y las instituciones que han instaurado la jaula de la racionalidad occidental. La racionalidad económica no es una mera superestructura a ser indagada y deconstruida por el pensamiento; es un modo de producción de conocimientos y de mercancías. El proceso económico no se implanta en el mundo como un árbol que echa raíces en la tierra y se alimenta de su savia nutriente. Es como un dragón que va dragando la tierra, clavando sus pezuñas en el corazón del mundo, chupando el agua de sus mantos acuíferos y extrayendo el oro negro de sus pozos petroleros. Es el monstruo que engulle la naturaleza para exhalar por sus fáusticas fauces bocanadas de humo a la atmósfera, contaminando el ambiente y calentando el planeta. No es posible mantener una economía en crecimiento que se alimenta de una naturaleza finita: sobre todo una economía fundada en el uso del petróleo y el carbón, que son transformados en el metabolismo industrial, del transporte y de la economía familiar en dióxido de carbono, el principal gas causante del efecto invernadero y del calentamiento global que hoy amenaza a la vida humana en el planeta Tierra.

El problema de la economía del petróleo no es el del incremento de su oferta, explotando las reservas guardadas y los yacimientos de los fondos marinos, para abaratar nuevamente el precio de las gasolinas, que han sobrepasado los 4 dólares por galón. El fin de la era del petróleo no resulta sólo de su escasez creciente, sino de su abundancia en relación a la capacidad de absorción y dilución de la naturaleza; del límite de su transmutación y disposición hacia la atmósfera en forma de CO_2 y gases de efecto invernadero. La búsqueda del equilibrio de la economía por una sobreproducción de hidrocarburos para seguir alimentando la maquinaria industrial (y agrícola por la producción de agro-bio-combustibles), pone en riesgo la sustentablidad de la vida en el planeta… y de la propia economía. La despetrolización de la economía es un imperativo ante los riesgos catastróficos del cambio climático si se rebasa el umbral de las 550 ppm de CO_2, como vaticina el Informe Stern y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

El decrecimiento de la economía no solo implica la desconstrucción teórica de sus paradigmas científicos, sino de su institucionalización social y de la subjetivización de los principios que intentan legitimarlos como la forma suprema e ineluctable del ser en el mundo. Sin embargo, las diversas razones para deconstruir la racionalidad económica no se traducen directamente en acciones capaces de desactivar la maquinaria capitalista. No se trata sólo de moderar el consumo o de incrementar las fuentes alternativas y renovables de energía en función de los nichos de

oportunidad económica que se hacen rentables ante el incremento de los costos de energías tradicionales. Estos principios, aun convertidos en movimiento social no operan por si mismos una desactivación de la producción, sino una normatividad y una fuga del sistema, una contracorriente que no detiene el torrente desbordado de la máquina del crecimiento. Por ello precisamos deconstruir las razones económicas a través de la legitimación de otros principios, otros valores y otros potenciales no económicos; debemos forjarnos un pensamiento estratégico y un programa político que permita desconstruir la racionalidad económica al tiempo que se construye una racionalidad ambiental.

Desconstruir la economía resulta ser una empresa compleja. La destrucción creativa del capital que preconizaba Schumpeter, no apuntaba al decrecimiento, sino al mecanismo interno de la economía que la lleva a "programar" la obsolescencia y la destrucción del capital fijo para reestimular el crecimiento económico insuflado por la innovación tecnológica como fuelle de la reproducción ampliada del capital.

Más allá del propósito de desmantelar el modelo económico dominante, se trata de destejer la racionalidad económica entretejiendo nuevas matrices de racionalidad y abonando el suelo de la racionalidad ambiental. Esto lleva a una estrategia de deconstrucción y reconstrucción; no a hacer estallar el sistema, sino a re-organizar la producción, a desengancharse de los engranajes de los mecanismos del mercado, a restaurar la materia desgranada para reciclarla y reordenarla en nuevos ciclos ecológicos. Mas esta reconstrucción no está guiada simplemente por una "racionalidad ecológica", sino por las formas y procesos culturales de resignificación de la naturaleza. En este sentido implica procesos de reapropiación de la naturaleza y de reterritorialización de las culturas.

El crecimiento económico arrastra consigo el problema de su medición. El emblemático PIB con el que se evalúa el éxito o fracaso de las economías nacionales, no mide sus externalidades negativas. Pero el problema fundamental no se resuelve con una escala múltiple, con las "cuentas verdes", con un "índice de desarrollo humano" ó un "indicador de progreso genuino". Se trata de desactivar el dispositivo interno de la economía, y hacerlo sin desencadenar una recesión de tal magnitud que genere mayor pobreza y destrucción.

La transición hacia una bioeconomía sostenible significa un descenso de la tasa de crecimiento de la población, de la tasa de crecimiento económico tal como se mide en la actualidad y con el tiempo una tasa negativa, en tanto se construyen los indicadores de una productividad ecológica, sustentable y sostenible. En este sentido, la nueva economía se funda en los potenciales ecológicos, en la innovación tecnológica y en la creatividad cultural de los pueblos. De esta manera podría empezar a diseñarse una sociedad post-crecimiento y una economía en equilibrio con las condiciones de sustentabilidad del planeta. Empero, de la racionalidad ambiental no sólo emerge un nuevo modo de producción, sino una nueva forma de ser en el mundo: nuevos procesos de significación de la naturaleza y nuevos sentidos existenciales en la construcción de un futuro sustentable" (Leff, 2010).

Existen muchos otros puntos de vista y la diversidad de temas involucrados en macroecología y procesos de cambio global son objeto hoy de múltiples debates a la vez que de prácticas (sobre todo agro-ecológicas) que, sobre el terreno real, están implementando cambios, de modo práctico (particularmente en países de América Latina). Cada cual puede sacar sus propias conclusiones, ya que no existe una receta única para paliar los trastornos de este sistema en crisis. Nosotros sólo queremos destacar que la crisis es real y que hay alternativas, que otro mundo es posible. Serán los sujetos sociales los que determinen a través de sus luchas y sus prácticas los cambios futuros.

Pero ante la cuestión, que cada vez se hacen más personas, de cuáles son los límites, hay que remarcar que éstos ya fueron rebasados en la década de 1980. Insisto en este idea: la humanidad actual está consumiendo en promedio 1,5 planetas, y los países "desarrollados" son los que mayor daño y trastornos ocasionan (por eso resulta irónico que se autodenominen desarrollados o avanzados), ya que su huella ecológica representa un sobreconsumo de 3,5 planetas, lo que hace que el promedio global supere en un 50% la capacidad de carga del planeta Tierra.

Otro amigo ecólogo llamaba mi atención recientemente sobre el hecho de que no puede haber sostenibilidad, ni decrecimiento, como fórmula tecnocrática-Kantiana, racional, como la vemos en occidente (ver: Pereira, 2012). Si no se superan los elementos propios de las matrices de racionalidad de la globalización, es decir, detalles como la lógica del pensamiento hegemónico, con patrón de conocimiento hegemónico, con género hegemónico, con cultura hegemónica, no hay salida; todo lo hegemónico implica la subyugación de otros (recuerdan el imperativo "you are with me or against me", de Bush, Obama y asociados SRL). La primera cuestión para el decrecimiento debería ser: ¿cual decrecimiento, quien decrece, que racionalidad sobra? Las mismas preguntas podrían hacerse sobre la crisis económica actual y la recesión en Europa; si hay que hacer recortes, ¿por donde hay que recortar, en qué gastos hay que recortar, a qué sectores y estamentos sociales hay que recortar, que racionalidad hay que recortar?

Para concluir, hago mías las palabras de F. F. Herrera (in: Pereira, 2012), quien considera que: Vivimos en un mundo basado en la mentira. Nos creemos con derecho a tomar de la naturaleza lo que queramos, sin consideración alguna, ni para con la naturaleza, ni para con nuestros semejantes. Hasta las palabras que usamos son falsas: llamamos a la naturaleza "recursos", los trabajadores son también "recursos humanos". Por ello, el análisis sistémico no puede mas que constatar que estamos frente a un momento de bifurcación, donde habrá que construir otro modelo civilizatorio, basado en la cooperación, si es que aspiramos a un futuro sustentable, o simplemente a un futuro.

BIBLIOGRAFIA

AMORES OLAZAGIRRE, G. 2005. Influencia de la contaminación atmosférica sobre los hayedos de la Alta Navarra. Aranzadiana, 126: 176-177.

ALEY, T.; C. ALEY; W. ELLIOTT & P. HUNTOON. 1993. Karst and cave resource significance assessment, Ketchikan Area, Tongass National Forest, Alaska. Report of the Karst Resources Panel, 79 pp + app. 43 pp.

ARANZADI Sociedad de Ciencias. 2012. El glifosato: letal para los anfibios del País Vasco. Página web aranzadi-sciences.org. Dpto. de Herpetología. Noticias Enero 2012. Texto 2 pp + video.

BARR, T. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. In: Dobzhansky, T.; M.K. Hecht & W. Steere (Eds.), Evolutionary Biology, vol 2, pp: 35-102.

BENZAL, J. & O. PAZ. 1991. Los murciélagos de España y Portugal. ICONA, Madrid, 330 pp.

BLACKWELL, B. 1995. Literature review of management of cave/karst resources in forest environments. Report to Vancouver Forest Region, British Columbia, Canada. 19 pp.

BOFF, L. 2012. Crítica ao modelo-padrão de sustentabilidade. http://atitudesustentavel.uol.com.br/ecocardiograma/2012/02/06/l-boff-desenvolvimento-sustentavel-critica-ao-modelo-padrao/

BOFF, L. 2012. Sostenibilidad, intento de definición holística. http://www.redescristianas.net/2012/01/28/sostenibilidad-intento-de-definicionleonardo-boff-teologo/

CAUMARTIN, V. 1957. Recherches sur une bactérie des argiles de cavernes et de sediments ferrugineux. Comp. Rend. Acad. Sci. Paris, 245.

CAUMARTIN, V. 1959. Quelques aspects noveaux de la microflore des cavernes. Ann. Spéléol., 14: 147-158.

CLARK, D. 1988. How sensitives are bats to insecticides? Wild Soc. Bull., 16: 399-403.

CLARK, D. 1988. Environmental contaminants and the management of bat populations in the United States. In: U.S. Fish & Wildlife Service (Editor), Management of Amphibians, Reptiles, and Small Mammals in North America, Symposium, Flagstaff, Arizona, july 1988, pp: 409-413.

CRUNKILTON, R. 1985. Subterranean contamination of Maramec Spring by ammonium nitrate and urea fertilizer and its implications on rare cave biota. Proc.1984 National Cave Management Symposium, Missouri, 25: 151-158.

DFG - Diputación Foral de Gipuzkoa. 2005. Inventario forestal de Gipuzkoa. DFG, Gestión de montes. http://mendia-natura.gipuzkoa.net/contenidos/es/gestion_de_montes/

DUDICH, E. 1933. Die klassifikation der Höhlen auf biologischer Grundlage. Mitteil. Höhl. Karstf., 19.

ELLIOTT, W. 1998. Conservation of the North American Cave and Karst Biota. In: Elsevier Science´s Subterranean Biota (Ecosystem of the World series), electronic preprint, Texas Speleological Survey, 28 pp.

EUROPA PRESS. 2012. Defectos congénitos se asocian con concebir en primavera o verano en USA y son correlativos al uso de pesticidas en las aguas de superficie. http://www.europapress.es/salud/noticia-defectos-congenitos-eeuu-asocian-concebir-primavera-verano-200903311700.

GALAN, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipúzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.

GALAN, C. 1997. Fauna de Quirópteros del País Vasco. Munibe (Ciencias Naturales), S.C. Aranzadi, 49: 77-100.

GALAN, C. 2002. Biodiversidad, cavernas amenazadas y especies troglobias en peligro. Aranzadiana123: 147-152.

GALAN, C. 2005. Biología subterránea, dinamismo y protección de la fauna amenazada de la cueva de Aizkoate (Ernio Sur, Gipuzkoa). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.

GALAN, C. 2006. Conservación de la fauna cavernícola troglobia de Gipuzkoa: (1) contexto general, biodiversidad comparada, relictualidad y endemismo. (2) análisis de las distribuciones de especies troglobias. (3) factores de amenaza. (4) demografía, estatus y grado de amenaza de las poblaciones troglobias. (5) manejo de zonas kársticas y fauna troglobia. (6) Biotopos Subterráneos Protegidos. Lab. Bioespeleología S.C.Aranzadi. Pag. Web aranzadi-sciences.org, Archivos PDF: (1): 14 pp. (2): 11pp. (3): 20 pp. (4): 8 pp. (5): 11 pp. (6): 35 pp.

GALAN, C. 2010. Pensamiento sistémico y Matrices de racionalidad en Bioespeleología, Ciencia y Medio ambiente. Pag web Cota0.com + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 50 pp.

GALAN, C.; J. RIVAS & C. VERA MARTIN. 2012. Contaminación del medio ambiente hipógeo de la Cueva de Altxerri por vertidos industriales y probables efectos adversos sobre su ecosistema subterráneo y sus pinturas rupestres. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 21 pp.

GOBIERNO VASCO. 2007. Mapas de Inventario Forestal. Dpto. de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco. Últ. modificación: 14/06/2007. http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-15135/es/contenidos/informacion/if_mapas_usos/es_dapa/if_mapa_usos.html.

GOBIERNO VASCO. 2012. Biodiversidad Gipuzkoa. Capítulo VII Ámbito de capacidades. Biodiversidad. Gipuzkoa. 46 pp. http:// www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-15135/es/ contenidos/informacion/if_biodiversidad/es_dapa/adjuntos/Bio_gipuzkoa.pdf -

GUILLEN, A.; C. IBANEZ; J. L. PEREZ; L. HERNANDEZ & M. J. GONZALEZ. 1991. Efectos de los biocidas en las poblaciones de murciélagos. In: Benzal & Paz (Ed). Los murciélagos de España y Portugal. ICONA, Madrid, pp: 211-227.

GOUNOT, A. 1960. Recherches sur le limon argileux souterrain et sur son role nutritif pour les Niphargus (Amphipodes, Gammarides). Ann. Spéléol., 15: 501-526.

HERNANZ, A. 1977. Estudio Hidrogeológico de los alrededores de Deva, Guipúzcoa. Euroestudios S.A., Inf. ES 220/17, 49 pp.

HOBBS, H. & F. BAGLEY. 1989. Shelta Cave Management Plan. Biological Subcommitee of the Shelta Cave Commitee, National Speleological Society. 78 pp.

HORACEK, I. 1984. Remarks on the causality of populations decline in European bats. Myotis, 21-22: 138-147.

HOWARTH, F. 1983. The conservation of Hawaii´s cave resources. The Newsletter of Cave Conservation and Management, 2(1-2): 19-23.

INFOJARDIN. 2012. Guía de Insecticidas - Plaguicidas. 6 pp. http://articulos.infojardin.com/compras/a-fitosanitarios/insecticidas-plaguicidas.htm.

JEFFERIES, D. 1972. Organochlorine insecticide residues in British bats and their significance. J. Zool., 166 (2): 245-263.

JJG - Juntas Generales de Gipuzkoa. 2012. El territorio histórico de Gipuzkoa: la vegetación. http://w390w.gipuzkoa.net/WAS/CORP/DJGPortalWEB.

LEFF, E. 2010. Decrecimiento o desconstrucción de la economía: hacia un mundo sustentable. http://www.ecosistemas.cl/web/eco-reflexiones/reflexiones/1548-decrecimiento-o-desconstruccion-de-la-economia.html

LEWIS, J. 1996. The devastation and recovery of caves and karst affected by industrialization. In: REA, G. (Ed). Proc. 1995 National Cave Management Symposium, Indiana Karst Conservancy. pp: 214-227.

LEWIS, J. & T. LEWIS. 1980. The distribution and ecology of two species of subterranean Caecidotea in Mammoth Cave National Park. Cave Research Foundation Annual Report, 1980, pp: 23-26.

LI, DE-KUN; Z. ZHOU; M. MIAO; Y. HE; J. WANG; J. FERBER; L. HERRINTON; E. GAO & W. YUAN. 2011. Urine bisphenol-A (BPA) level in relation to semen quality. Fertility and Sterility, 95 (2): 625–630.

LÓPEZ, J; J. OBIOLS; N. MORENO & C. VALLS. 2007. Plaguicidas de uso ambiental: un riesgo grave y poco conocido. Revista Interact. Mujeres y Salud, 7. http://www.matriz.net/mys/mys-07/dossier/doss_07_018.html

MANGIN, A. & M. BAKALOWICZ. 1989. Orientations de la recherche scientifique sur le milieu karstique. Influences et aspects perceptibles en matière de protection. Spelunca, 35: 71-79.

MC CRACKEN, G. 1989. Cave conservation: Special problems of bats. NSS Bull., 51: 49-51.

MANSON WILLIAMS, A. & K. BENSON EVANS. 1958. A preliminary investigation into the bacterial and botanical flora of caves in South Wales. Cave Research Group, Great Britain, 8: 11-32.

MARGALEF, R. 2002. La superficie del planeta y la organización de la Biosfera: reacción a los nuevos mecanismos añadidos por el poder creciente de los humanos. Munibe Ciencias Naturales, 53: 7-14.

MOHR, Ch. 1972. The status of threatened species of cave-dwelling bats. NSS Bull., 34(2): 33-47.

NOWAK, R. M. 1991. Walker´s Mammals of the World. Fifth Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore & London, 642 pp.

ORTON F.; E. ROSIVATZ; M. SCHOLZE & A. KORTENKAMP. 2011. Widely Used Pesticides with Previously Unknown Endocrine Activity Revealed as in Vitro Anti-Androgens. http://ehp03.niehs.nih.gov/article/info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.1002895. Environ Health Perspectiv: doi:10.1289/ehp. 1002895 & http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/news/pesticides-block-male-hormones

PASQUARELL, G. & D. BOYER. 1993. Water quality impacts of agriculture on karst conduit waters, Greenbrier County, West Virginia. In: FOSTER, D. (Editor), National Cave Management Proceedings, Bowling Green, Kentucky, october 1991, pp: 72-78.

PECK, S. 1997. Origin and diversity of the North American cave fauna. In: SASOWSKY et al., Editor. Conservation and Protection of the Biota of Karst. Symp. Nashville, Tennessee, pp: 60-66. Karst Waters Institute, Spec. Publ. 3. 118 p.

PEREIRA, A. L. 2012. La Tierra sobrevive. Video-film. http://www.youtube.com/watch?v=X6BMZdr-Jnw&feature=share

PORTO-GONÇALVES, C.W. 2009. Más allá de la crítica a los paradigmas en crisis: diálogos entre diferentes matrices de racionalidad. Anales III Encuentro Iberoamericano de Educación Ambiental, Caracas.

POULSON, T. 1968. Aquatic cave communities. Cave Research Foundation Annual Report, 1968, pp: 16-18.

POULSON, T. 1997. The Mammoth Cave Tour. In: SASOWSKY et al. (Editors), Conservation and Protection of the Biota of Karst, Symp. Nashville, Tennessee. Karst Waters Institute, Special Publ., 3: 113-117.

PRADA, C. 2012. Los pesticidas, venenos confesos. 14 pp. Blog de Carlos Prada: La verdad es verde. http://carlosdeprada. wordpress.com/ toxicos-y-salud/sustancias-conflictivas/los-pesticidas-venenos-confesos/

PRIGONINE, I. & I. STENGERS. 1991. La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia. Ed. UnB. Brasilia.

RUSTERHOLTZ, K. 1989. Response of a model ground warwe microbial community to acute chemical stress. Cave Research Foundation Annual Report, 1989, p.39.

RUSTERHOLTZ, K. & L. MALLORY. 1990. Detection and quantification of viable Salmonella sp. in flowing underground streams. Cave Research Foundation Annual Report, 1988, p.46.

SALATI, E. 1983. Amazõnia: desemvolvimento, integração e ecología. Editora Brasiliense S.A.:.15-44.

SALATI, E.; MARQUES, J. & L.C. MOLION. 1978. Origen e Distribução das Chuvas na Amazõnia, Inter-ciencia, 3 (4): 200-206.

SORIA, S.; F. ABOS & E. MARTIN. 1988. Influencia de los tratamientos con diflubenzurón ODC 45 por 100 sobre pinares en las poblaciones de Graellsia isabelae (Graells) (Lep. Syssphingidae) y reseña de su biología. In: F. Robredo (Ed): Estudios de los tratamientos con diflubenzurón y su incidencia sobre la fauna. Serie Técnica 4, ICONA, Madrid, pp: 93-117.

STEBBINGS, R. 1988. Conservation of European Bats. Cristopher Helm Publ., London, 246 pp.

STEBBINGS, R. & F. GRIFFITH. 1986. Distribution and status of bats in Europe. Inst. Terr. Ecol., Nat. Environ. Res. Council, 142 pp.

STEBBINGS, R. & H. R. ARNOLD. 1987. Assessment of trends in size and structure of a colony of the greater horseshoe bat. In: S. Harris (Ed). Mammals populations studies. Symp. Zool. Soc. London, 58: 7-24.

STOKES, T. 1996. Preliminary problem analysis of cave/karst issues related to forestry activities on Vancouver Island. Report by Terra Firma Geoscience Services to Vancouver Forest Region, British Columbia, 13 pp.

TERCAFS, R. 1984. Simulation de la répartition de populations animales souterraines. Mém. Biospéol., 11: 179-183.

TERCAFS, R. 1987. La conservation de la faune cavernicole: apport de la simulation, aspects biologiques. Annals Soc. r. zool. Belg., 117: 3-14.

TERCAFS, R. 1988. Optimal management of karst sites with cave fauna protection. Environment.Conservation, 15: 149-166.

TERRA. 2010. Fumigaciones con químicos tóxicos. http://www.terra.org/fumigaciones-con-quimicos-toxicos_2353.html 14/02/2012

TUTTLE, M. D. 1979. Status, causes of decline and management of endangered gray bats. J. Wild. Manage., 43 (1): 1-17.

VANDEL, A. 1965. Biospeleology: The Biology of Cavernicolous Animals. Pergamon Press, Oxford, 524 p.

VOUTE, A. 1981. The conflict between bats and woodpreservatives. Myotis, 18-19: 399-403.

WINOGRADSKY, S. 1944. Microbiologie du sol: Problémes et méthodes. Cinquante ans de recherches. Paris, 1-119.