El ángulo de incidencia sobre la superficie de la Tierra y la concentración de O2 y de Ozono de la atmósfera determinan la proporción de esa radiación que atraviesa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra. Por ello la intensidad y el espectro UV que alcanza la superficie de la tierra varía según el paralelo y la época del año.

En el siglo XX, a causa de los usos industriales, se produjo en la atmósfera una reducción zonal de la capa de ozono, un efecto popularizado con el nombre de "agujero de ozono". Este adelgazamiento (en términos de concentración) de la capa de ozono determina una penetración mayor de radiaciones del espectro ultravioleta, con el aumento consiguiente de alteraciones biológicas derivadas de las respuestas celulares a esta radiación. Este efecto ha resultado en un mayor riesgo, para los humanos y para el resto de las especies vertebradas, de provocar mutaciones y trastornos funcionales que conduzcan a ventajas y desventajas biológicas o a la muerte de seres humanos y animales víctimas de cánceres.

La patología humana asociada a la exposición a la radiación UV se ha distinguido por la aparición incrementada de cánceres de derivados de las células de la piel que llega a ser, según las estadísticas de la OMS, más de 3 millones anuales en la actualidad.

Además hay que considerar el aumento de incidencia del melanoma, tumor de las células pigmentarias melánicas o melanocitos. Estas células existen distribuidas por muchos órganos, desde el sistema nervioso central hasta la piel. Productoras del pigmento oscuro, al que se le dio el nombre de melanina, se caracterizan por responder a la radiación solar absorbida por la piel emigrando a las zonas expuestas, generando más melanina y vertiéndola en su entorno, tatuando la micro zona peri-celular, lo que se percibe, de forma macroscópica, por la adquisición de un tinte moreno de la piel expuesta.

Cuando los melanocitos reciben luz ultravioleta, en sus cadenas de ácidos nucleícos pueden producirse dímeros de timina, que pueden terminar en mutaciones o en trastornos del ciclo celular.

Las alteraciones genéticas inducidas por la radiación UV conllevan la transformación neoplásica de los melanocitos que descontrolan su regulación, proliferan y generan un tumor de melanocitos o melanoma, tumor maligno con alta capacidad de desarrollar metástasis en todos los órganos. Estos tumores aparecen frecuentemente en humanos, cánidos, felinos, múridos y un amplia variedad de vertebrados.

Además, la respuesta celular a la lesión del DNA se acompaña de reacciones inflamatorias en las células periféricas con destrucción de la matriz extracelular y una promoción de una inmunosupresión celular, reacciones que facilitan la progresión invasiva del tumor (Fig. 4). De hecho existen humanos que genéticamente presentan una gran susceptibilidad a desarrollar una inmuno-supresión provocada por la luz UV. Estos seres humanos presentan una facilidad muy aumentada a sufrir melanomas de alta malignidad.

La formación de una zona de la atmósfera donde la concentración de ozono es inferior a lo normal ("agujero de ozono"), crea una zona donde la radiación UV está menos filtrada y es más peligrosa de provocar cáncer de piel y melanomas.

La restauración de la concentración normal de ozono reducirá el efecto exageradamente perjudicial de la radiación solar UV, sin embargo, las predicciones más optimistas dicen que aunque se siguiese universalmente y al 100% las medidas propuestas en el Protocolo de Montreal, se tardarían unos 45 años en recuperarse la extensión de la capa de ozono y en reducirse, paralelamente, la radiación UV-B en sus niveles de peligrosidad aumentada.

Pero la realidad es que el exceso de concentración de CO_2, provocado en la carrera del consumo energético basado en la combustión, retrasará ese objetivo hasta bastante más allá del año 2050, porque el exceso de concentración de CO_2, que aumenta el calor en la atmósfera baja, enfría las capas altas de la atmósfera formando cristales de hielo que catalizan la perdida de ozono.

Estas circunstancias obligan, al menos para los humanos, al tomar medidas de protección, apantallando la piel de la acción de las radiaciones solares UV, mediante barreas físicas, como ropa, sombreros y sombrillas, cremas de aplicación cutánea con capacidad de filtrar las radiaciones UV, etc... Estas medidas son especialmente importantes dependiendo de tres variables: 1) genética del ser humano, 2) lugar de la Tierra en que este se encuentra, y 3) tiempo acumulado de exposición.

Se ha indicado que las personas, con una genética de mayor riesgo para desarrollar melanomas, se protejan extremadamente de la radiación solar intensa, especialmente en las zonas donde la penetración de las radiaciones UV de baja longitud de onda (UV-B) es más intensa. Para ello se han divulgado mapas de la superficie terrestre donde se indican los niveles de radiación UV-B que se alcanzan en cada zona (Fig. 4)

Efectos celulares del calor

La radiación solar en la zona de los infrarrojos (IR) aporta calor. Parte de la radiación IR que penetra la atmósfera queda atrapada en ella por un efecto de reflexiones oscilantes o reverberantes en las capas de la atmósfera y parte se pierde en el espacio reflejada por la tierra. La porción de luz IR que queda atrapada en le atmósfera implica un calentamiento de ésta.

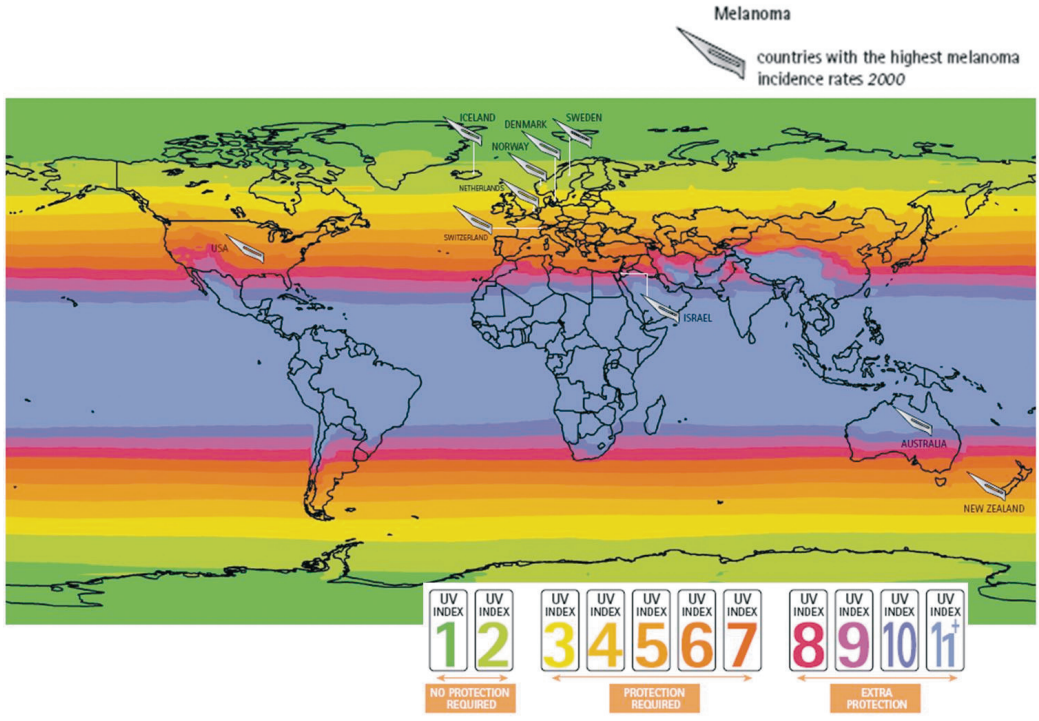

Figura 4. Poster publicado con la distribución zonal de la radiación UV y su peligrosidad

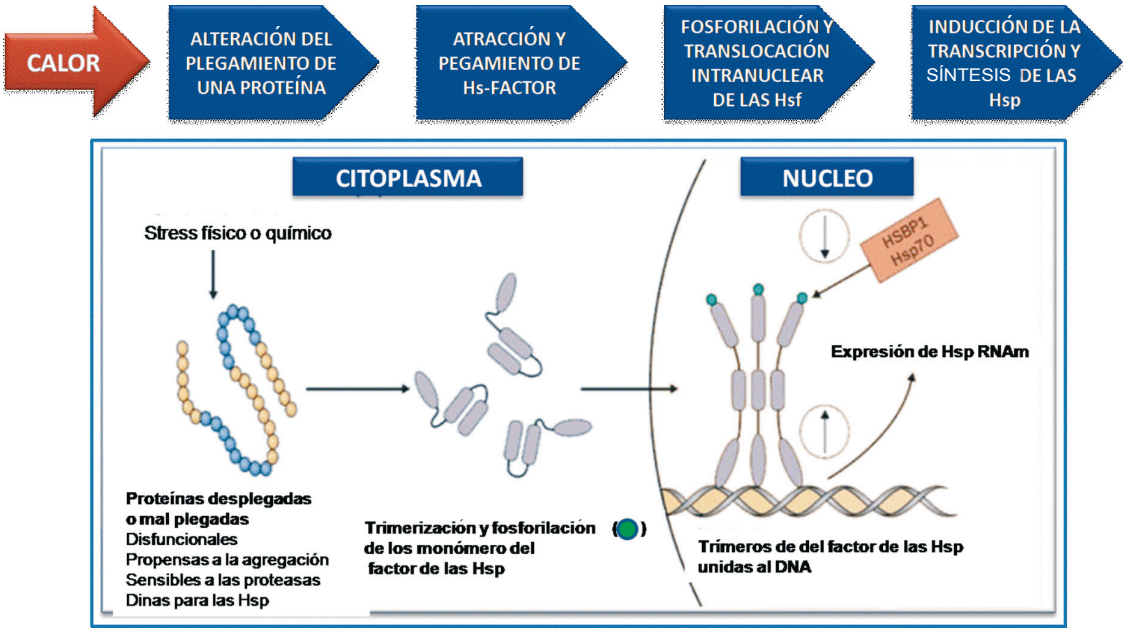

Figura 5. Esquema de la respuesta de las células ante el estrés, iniciando la producción de Hsp

El hombre y los animales existentes hoy en la Tierra se caracterizan por tener una temperatura propia característica que mantiene sus actividades celulares en condiciones de equilibrio optimizado. En el hombre la temperatura funcional de sus células es de 36,5 a 37,5 grados centígrados.

El organismo se ha adaptado para responder a los niveles de temperatura de la atmósfera y ha desarrollado sistemas de ajuste de su temperatura mediante mecanismos fisiológico de auto enfriamiento y auto calentamiento, desarrollados por distintos órganos, incluidos la piel, los músculos, los pulmones, el corazón, los vasos y el sistema nervioso vegetativo, los cuales desarrollan funciones específicas encaminadas a enfriar o calentar el organismo hasta su temperatura genética, mediante acciones como la vasodilatación, el tiritar, el sudor o el jadeo, basados en la generación de calor y en la aceleración del intercambio de calor entre el organismo y la atmósfera.

Si la temperatura ambiente se eleva por encima de la temperatura "genética" o "epigenética" del organismo se producen tres efectos principales: 1) Los sistemas de respuesta de los organismos tienden a "enfriarlo" a la temperatura genética. 2) El organismo se somete a stress, 3) Superado un umbral, el característico de cada organismo, éste sufre el un desorden agudo funcional identificado como "Golpe de Calor".

Pero a nivel celular la respuesta a la temperatura es más elaborada aunque es la que, en definitiva, condiciona la respuesta orgánica.

El aumento de la temperatura peri-celular, por encima de la temperatura genética, condiciona una respuesta celular denominada "choque térmico", ligada a la expresión y puesta en función de las "proteínas del choque térmico" o Hsp (del inglés: Heat shock proteins) (Fig. 5).

La síntesis de estas proteínas se induce por el exceso de calor en el entorno celular y por otras circunstancias generadoras de stress celular tales como la ausencia de glucosa, la infección y transformación neoplásica celular propia del cáncer. Pueden considerarse una señal de alarma cuando se liberan al medio extracelular, tras la muerte necrótica de las células, y aparecen sobre la superficie de otras células.

Las Hsp son parte de un sistema de alarma ancestral y su secuencia de aminoácidos se asocia con las raíces profundas de la evolución, así como la estabilidad de su conservación. Sus cualidades generales las pueden identificar como parte de un primitivo sistema de inmunidad, ampliamente extendido entre los seres vivos.

La familia de las Proteínas del Choque Térmico está formada por moléculas proteínicas que presentan una gran homología estructural y de secuencias, con pesos moleculares comprendidos entre 66 y 78 kDa. Entre las más estudiadas se incluyen las Hsp72, proteínas citosólicas inducidas por el estrés, las Hsp73, proteína citosólica constitutiva, y la Hsp 78, propia del Retículo Endoplásmico celular.

Todas estas moléculas tienen un extremo Amino-terminal con actividad metabólica ATPasa, y un extremo carboxi-terminal, hidrofóbico conformado con especial capacidad para unirse a otras proteínas (PBD) y cambiar su función o su estado.

Entre el extremo Amino-terminal y el que posee la actividad metabólica ATPasa, se extiende un segmento compactado en hélice tipo alfa con capacidad de asociarse a otras moléculas. Con esta estructura las Hsp se asocian fuertemente a proteínas recién sintetizadas, plegadas de formas incompletas o mal plegadas.

Otras moléculas acompañantes como Hip, Hop, Hup, Hap y CHIP, modulan los cambios de nucleótidos de las cadenas de DNA y RNA y también la afinidad de las Hsp para coordinar:

1. El plegamiento de proteínas nuevas.

2. El re-plegado de proteínas mal plegadas.

3. El tráfico de proteínas a través de las membranas

4. La desarticulación de las vesículas cubiertas de clatrina

5. La inhibición de la agregación de las proteínas

6. El marcado de las proteínas para que sean degradadas por el sistema de proteosomas.

Pero en condiciones anómalas, niveles muy altos de Hsp 70 producen efectos patológicos como: 1) Inhibición de la apoptosis celular, permitiendo que las células sobrevivan a su ciclo de vida genéticamente determinado, su acumulación en tumores. 2) Empobrecimiento de la diferenciación celular, dejando a las células en un estado funcional ineficiente e imperfecto. 3) En tumores ya formados incrementa la frecuencia de metástasis tumoral. 4) Aumenta la resistencia de los tumores a la quimioterapia.

La asociación clínica entre altos niveles de Hsp70 y pésimo pronóstico las hace especialmente interesantes para usarlas en clínica como medio de diagnóstico, de pronóstico y también de posible tratamiento de los tumores malignos.

Las Hsp tienen la capacidad de asociarse y escoltar una gran variedad de péptidos celulares como los antígenos celulares capaces de estimular reacciones del sistema de inmunidad. Los antígenos unidos a Hsp se internalizan fácilmente por Células Presentadoras de Antígeno (APC) mediante endocitosis dirigida por receptores específicos para las Hsp.

Los antígenos custodiados por Hsp se canalizan por la ruta de presentación del Complejo Mayor de Histocompatiblidad clase I (MHC class I) de las células presentadoras de antígeno como las células dendríticas de la piel, las cuales estimulan, a través del factor NFkappab y su ruta de acción, la producción y liberación de Citoquinas inflamatorias, Quimioquinas y moléculas co-estimulantes.

De ahí que las Hsp jueguen un papel inmune muy importante para aprovecharlo en estrategias de inmunoterapia del cáncer:

Péptidos liberados de forma espontánea por los tumores, o introducidos intencionadamente con fines terapéuticos en pacientes de cáncer, pueden asociarse a Hsp del la matriz intercelular.

El complejo formado por el péptido y la molécula de Hsp tiene especial afinidad por el receptor CD91 de las células presentadoras de antígeno. Este nuevo complejo, péptido-Hsp-CD91, se endocita por las células presentadoras de antígeno y éstas al endocitarlo sintetizan y segregan moléculas que coordinan inespecíficamente la respuesta inmune en su conjunto, a través de moléculas como la interleucina-1 (IL-1), que produce una activación de las células inflamatorias cercanas, el factor estimulante de colonias de monocitos y granulocitos (GM-CSF), que provoca la proliferación de los precursores de los granulocitos y de los macrófagos, la Proteina-1 atrayente de los macrófagos (MCP-1), que tiene la propiedad de atraer los monocitos a la zona donde se libera la proteína (Fig.- 6). Paralelamente el complejo péptido-Hsp-CD91 se transporta al retículo endoplásmico donde se transfiere el péptido a las moléculas del Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC) sintetizadas por la célula. Estas moléculas MHC se transponen a la superficie de las células y se expone el antígeno a los receptores de las células T-CD4 y T-CD8 las cuales orquestan la respuesta de rechazo de las células de los tejidos que muestren el antígeno en su superficie.

Christopher V. Nicchitta, unos años atrás, propuso la posibilidad clínica de utilizar las Hsp para presentar los antígenos de un tumor al sistema inmune del portador del tumor, para provocar el rechazo inmune del tumor[1]. Concretamente realizó experimentos en los que unió Hsp tipo GP-96 a péptidos procedentes de células de un sarcoma murino y provocó el rechazo del tumor en los ratones que previamente habían recibido el complejo. Esto demostró ser una forma posible de inmunización contra tumores.

Sus mismos estudios demostraron que las Hsp del propio portador del tumor son las más efectivas provocando la inmunización contra el tumor.

Todos estos resultados demuestran que las Hsp son vectores de reacciones diversas que pueden producir o corregir ciertas patologías.

La elevación térmica de la superficie de la Tierra induce en los humanos y en los animales reacciones orgánicas para mantener en el organismo una temperatura inferior a la del medio ambiente. Por otro lado, las células de los organismos situadas en zonas más expuestas a las elevadas temperaturas expresarán Hsp que desencadenar efectos de reajuste molecular de las funciones celulares.

En los estudios de biodiversidad y de los efectos de la actividad humana sobre ella, directos o indirectos ocasionados por los cambios medioambientales causados por la actividad humana, deben de considerar especialmente las reacciones celulares que componen los diversos tejidos de los órganos para comprender, tanto la posible muerte de los animales como su adaptación al cambio ambiental, si éste perdura durante tiempo suficiente.

[1] Christopher V. Nicchitta. Re-evaluating the role of heat-shock protein–peptide interactions in tumour immunity Nature Reviews Immunology 3, 427-432 (May 2003)

Los cambios ambientales sean físicos, químicos, o de cualquier género, afectan directamente a las células y sólo a través de las respuestas de éstas se puede comprender el alcance de los cambio previsibles sobre los órganos y los animales (Fig. 5).

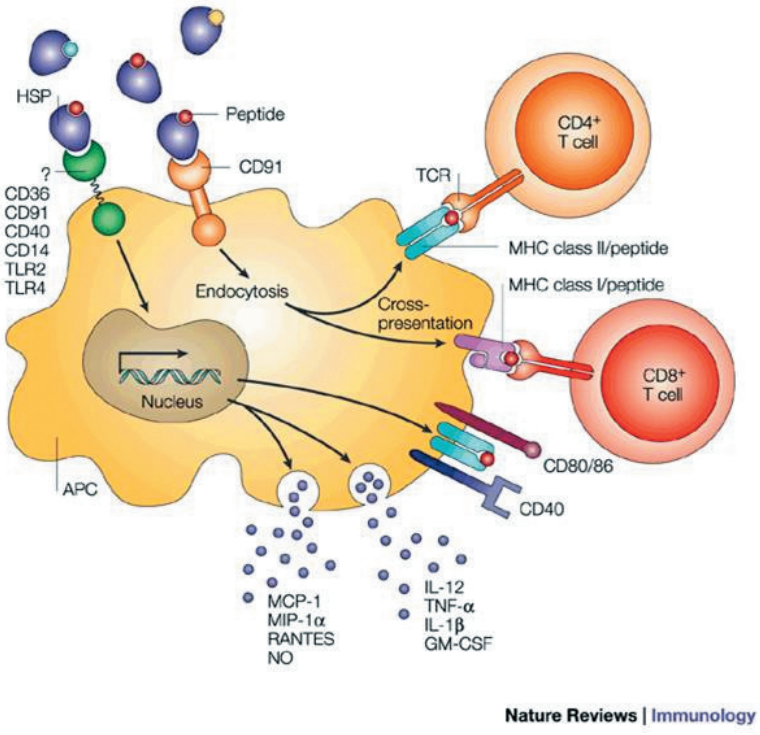

Figura 6. Esquema de la respuesta de las células presentadoras de antígeno ante la presencia en la matriz extracelular de péptidos acoplados a moléculas de Hsp. Esquema de Christopher V. Nicchitta. Re-evaluating the role of heat-shock protein–peptide interactions in tumour immunity Nature Reviews Immunology 3, 427-432 (May 2003)

EVOLUCIÓN REGISTRADA DE LA DIVERSIDAD HUMANA Y PROBLEMAS DE SU ESTUDIO

Emiliano Aguirre

Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

I

Para hablar de la diversidad biológica en el grupo zoológico humano, me veo obligado a pasar por la puerta de un notable contraste observado y actualmente difundido. Este contraste puede afectar al lenguaje con que se trata la Historia Natural de este grupo que nos incluye, y con ello desenfocar el conocimiento de nosotros mismos. El contraste está entre la gran diversidad actual morfológica de las razas humanas y la proximidad, casi total identidad genética, entre ellas. No es tan grande la diversidad funcional como los racistas de los últimos siglos quisieron suponer, sino idéntica la capacidad deportiva, artística, para el cine, la ciencia, la política y la economía, y sorprende en cambio la diversidad separatista de las lenguas. Esta cuestión merece estudio.

El problema que me preocupa antes de hablar y de estudiar el grupo de nuestros antepasados fósiles es cómo las diferencias genéticas y las morfofuncionales observadas en la humanidad actual, en los animales más próximos conocidos como Primates antropomorfos –chimpancés, gorilas, orangutanes- y en los realmente intermedios, hoy extinguidos, que vamos conociendo por los fósiles, influyen en la clasificación y en la nomenclatura con que los distinguimos conceptualmente, y de aquí en estimaciones, valoraciones conscientes o inconscientes, y en las reconstrucciones filogenéticas y evolutivas. Otro paso que me parece ver olvidado en frecuentes invocaciones de proximidad genética es que también pueden ser y son altamente diferentes las capacidades efectivas y resultados de distintas mutaciones. Éstos pueden ser tan grandes o mayores en ciertos efectos o dimensiones tras una mutación, que en la suma de otras varias.

El tema aquí propuesto es recordar y resumir la variedad hoy conocida por fósiles del grupo humano. Pero se hace necesario tocar la cuestión dicha, al comienzo y no al final de dicho tema, pues una clasificación de los fósiles en categorías y con denominaciones taxonómicas puede consolidar errores de apreciación en la historia evolutiva del grupo biológico que se estudia.

Para empezar, hablamos aquí del grupo evolutivo humano o "clado humano", para usar términos que no prejuzgan las magnitudes de proximidad o distancia en la diversidad biológica. Si quiero usar un término de Nomenclatura taxonómica, lo seguiré llamando "homínidos", Familia *Hominidae*, en contra de la moda que se está imponiendo de llamarlos "homininos", subfamilia o tribu "*Homininae*" u "*Hominini*". Esta rebaja de la categoría taxonómica se ha justificado por la proximidad mayor y diversidad menor de lo comúnmente supuesto entre humanos estrictos y los primates llamados antropomorfos, que se venían clasificando como Superfamilia "Hominoideos". Ahora se les mete en la Familia Homínidos, y no falta quien los clasifica incluso en el género *Homo*.

Esta apreciación minimizante aporta como fundamento la estricta proximidad de los genomas, que no pretendo negar ni infravalorar. No me cabe la menor duda sobre nuestro parentesco evolutivo muy próximo con los chimpancés, los bonobos y los gorilas, y lo celebro. Pero la Taxonomía zoológica y su Nomenclatura no tratan de clasificar genomas, sino grupos de organismos como complejos morfológico-funcionales, eso sí, teniendo en cuenta sus demostrables antecedentes y parentescos evolutivos; en esto ayuda el conocimiento de los genomas, para evitar el error de asumir como relación filogenética unos parecidos morfológicos que son meros resultados de convergencia adaptativa. La Taxonomía y su Nomenclatura tienen que tener en cuenta la Genética, pero no clasificar genomas numéricamente. ¡Qué diría Darwin!

La clasificación en "Familias" no se basa en distancias o medidas cronológicas, obviamente. Tampoco en diferencias geográficas. En la isla de Madagascar se distinguen cinco "familias" de Primates: *Lemuridae*, *Lepilemuridae*, *Daubentoniidae*, *Indriidae* y *Cheirogaleidae*, y otras dos extinguidas, *Archaeolemuridae* y *Palaeopropithecidae*; otras, en cambio, se conocen en todo el Viejo y el Nuevo Mundo. Tampoco se distinguen familias por el número de especies o de géneros, ni por un número de cladogénesis inferidas. Sí se definen "familias" por diferencias del sistema morfológico, funcional y adaptativo, dentro de lo visto en el Orden como característico o significativamente diferencial. Y dentro de la Familia se admiten cambios más que puntuales y aun readaptaciones.

Se pueden contar muchas proximidades en la humanidad actual con los chimpancés, el gorila, el orangután. Incluso en comportamiento familiar y social, percepciones y memoria, expresiones de gesto y orales. Pero hay una diferencia, un conjunto de diferencias significativas en Zoología que no veo cómo pueda minimizarse: la bipedia erguida en el desplazamiento y en la postura quieta. La estación y locomoción bípeda y vertical humana es singular y distinta no sólo dentro del Orden Primates y sus familias sino entre todos los Vertebrados, incluidas las Aves bípedas, y en el aspecto morfológico no afecta a un solo órgano o a unos pocos, sino a muchas partes del cuerpo: dedos y planta del pie, toda la organización del tarso, articulaciones de los miembros; toda la columna vertebral, su forma y función, cada vértebra de cervicales a lumbares, las cinturas, sobre todo la pelvis; los afectados son los huesos y los músculos en su forma y función; el cráneo y la cara y la dentadura, la disposición y apoyo de las vísceras digestivas. Éstas son diferencias singulares en forma y función respecto a todos los otros géneros del Orden Primates, que explican y justifican sobradamente la clasificación de los bípedos como una Familia: Homínidos. En el esqueleto del pie se aproximan a *Homo* los géneros *Gorilla* y *Pan* más que *Pongo*; pero en todo el conjunto de columna, pelvis, cráneo, verticalidad y demás, gorilas y chimpancés están cerca del orangután, distantes de los humanos.

II

Hablaré, pues, de Homínidos, y concretamente de homínidos fósiles, pero empezando por primates fósiles de afinidades ambiguas, por tanto difíciles de clasificar, y próximos inferencialmente a la diversificación evolutiva entre el linaje humano y sus más afines.

En la segunda mitad del periodo Mioceno, con sucesivos descensos térmicos, fueron apareciendo primates con tallas y pesos crecientes en el Viejo Mundo. Al final, entre hace poco más de 7,2 Ma y unos 5,5 Ma, sobrevino la grave crisis Messiniense, con movimientos tectónicos que llegaron a levantar cordilleras como el arco Bético-Rifeño, fríos extremos que causaron la formación y gran extensión del actual Casquete Polar Antártico, descenso del nivel del mar, falta de agua oceánica en el Mediterráneo. Ocurrió además un cambio en el dominio de plantas con carbono C4 por carbono C3, con lo que descendió considerablemente la vegetación jugosa reduciéndose las extensiones de selva, aumentando en su lugar las sabanas con gramíneas y las cubiertas montanas con chaparral y matorrales leñosos. Se redujo con esto el espacio vital para los grandes trepadores, los antecesores de chimpancés y gorilas, aumentaron las sabanas para los bóvidos y para los camellos que cruzaron Behring y llegaron a Iberia y África, y también las montañas y colinas con chaparros y matas. Por estas laderas se sube y se baja mejor erguido sobre los tobillos y rodillas, con las manos libres para apoyarse, defenderse, llevar carga. Con el cambio dicho, en África creció este espacio aprovechable para grandes monos que, además de trepar en árboles, pudieran erguirse sobre los pies en roquedos y laderas. En Toros-Menalla, cerca del Lago Chad actual, entre montañas, datado cerca o poco más de 6 Ma, se encontró el cráneo y otros restos de un primate, *Sahelanthropus tchadensis*, con indudables rasgos indicadores de verticalidad y afinidad homínida. Casi al mismo tiempo, en las colinas Tugen del oeste de Kenya, y con datación inferior a 6 Ma, se descubrieron fósiles sobre todo del esqueleto poscraneal además de dientes y mandíbula de otro gran primate, llamado *Orrorin tugenensis*: se ve adaptación a la bipedia en huesos del miembro posterior y a la trepación en el anterior; los molares, reducidos, se parecen a los humanos, y los dientes delanteros a los de chimpancés. Otro resto mandibular, en Lothagam (Kenya), con unos 5,5 Ma, no tiene clasificación segura.

Un notable acontecimiento paleogeográfico ocurrió en torno a los 5,3 Ma antes del presente (AP), que datan el paso del periodo estratigráfico Mioceno al Plioceno, con un rápido cambio a clima muy cálido, deshielo y elevación del nivel del mar, que duraron hasta un ligero empeoramiento hace unos 4,5 Ma, con recuperación en torno a los 4 Ma. De todo este tiempo sólo se conoce una especie fósil de grandes primates hominoideos, el llamado *Ardipithecus ramidus*, del entorno del río Aramis, en Etiopía. Sus yacimientos se agrupan en dos niveles, con edades que distan un millón de años más o menos: 4,4 Ma tienen los más de 40 fósiles de la subespecie-tipo *Ardipithecus r. ramidus*, y de edad imprecisa entre 5,8 y 5,2 Ma los de otra, descubierta más tarde, *Ardipithecus r. kadabba*. Las articulaciones conservadas del miembro posterior o inferior revelan capacidad de andar bípedo, pero el primer dedo del pie aparece prensil, parecido al chimpancé, con el que tiene semejanzas también la dentadura, sobre todo los caninos. Por esto no se considera segura su clasificación como homínido. Lo que sí resulta evidente es una diacronía en la aparición de los rasgos que se consideran característicos de esta familia, tras la eclosión de diversas combinaciones con los primeros ensayos de andar bípedo en tiempos de la crisis messiniense. La capacidad de trepar se conservará largo tiempo tras la aparición de la bipedia.

El género *Australopithecus* se clasifica con seguridad en la Familia Homínidos. Incluye fósiles de numerosos yacimientos africanos desde el norte de Etiopía hasta el extremo meridional de Sudáfrica. Los australopitecos más antiguos son los llamados *A. anamensis*, de Kanapoi con 4,1 Ma y de Allia Bay con 3,9 Ma, y conocidos por fósiles craneales y poscraneales, unos y otros de Kenya. Este mismo último dato se asigna al más antiguo clasificado como *Australopithecus afarensis*, de Belohdelie (Etiopía). El australopiteco afarense es conocido en una buena extensión geográfica, hasta Tanzania, y un lapso de tiempo de poco menos de un millón de años: mucho de su anatomía por el esqueleto de "Lucy" en el Afar, AL- 288, datado en 3,1 Ma y el 40% de sus huesos conservados. Más completo aún y poco más antiguo es el de una niña, "Selam", en Dikika (Etiopía) de hace 3,3 Ma; hay partes de 13 esqueletos en AL-333 de 3,2 Ma. El andar

bípedo no sólo es inferido por el estudio de formas en huesos fósiles de afarenses, sino con la prueba real grabada de un trayecto de huellas de dos o tres individuos, en la localidad de Laetoli (Tanzania). Las huellas se conservaron en un trecho bajo un sedimento fino, que vino a cubrir una capa de cenizas volcánicas sobre las que habían cruzado aquellos australopitecos afarenses: el dato es de 3,6 Ma, o poco más.

Vemos, pues, lo bien documentado que está este éxito evolutivo del australopiteco afarense, pero ocurre más en el intervalo de su vida que incluye los deterioros progresivos del clima que se conocen hace más de 3,5 Ma y cerca de 3 Ma: una diversificación de este clado de bípedos, estudiada en diversos fósiles que se han clasificado como distintas especies, el australopiteco de Bahr-el-Ghazal (Chad), *A. bahrelghazali*, con distintos datos alrededor de 3,4 Ma, o incluso géneros, como el *Kenyanthropus platyops* de Lomekwi (Kenya): de éste se conocen 36 fósiles de seis localidades, al oeste del L. Turkana, con dataciones alrededor de 3,5 Ma. También el fragmento craneal y mandíbula inmaduros de la Brecha Gris de Makapansgat (Sudáfrica), probablemente un parántropo (*Paranthropus*) de unos 3,3 Ma, y el aún no clasificado con cráneo y esqueleto "Piececito" (Little-Foot) del Miembro 2 de Sterkfontein (Sudáfrica) con edad incierta en el intervalo 3,5-3 Ma.

Otros fósiles del grupo se conocen en el tramo entre hace 3 y 2,5 millones de años: los abundantes y típicos australopitecos africanos (*A. africanus*) del Miembro 4 en Sterkfontein, y los primitivos parántropos de Etiopía *Paranthropus aethiopicus*, de varios sitios de Afar en el norte y de Shungura en el sur. Alrededor de los 2,6 y 2,5 millones de años se renueva con los bípedos un cuadro de diversidad, que pronto decae quedando dos géneros en representación de la familia humana. En cerca de 2,5 Ma se datan, además del africano del sur, otro australopiteco en Bouri (Etiopía), *A. garhi*, y más parántropos (*P. aethiopicus*) en otro nivel de Shungura (Etiopía) y en uno superior de Lomekwi (Kenya). El *A. gahri* se conoce de cuatro localidades, una mandíbula completa, un cráneo incompleto, partes de un esqueleto con huesos de los miembros, húmeros y ulna de varios individuos. El sitio principal tiene infradato de $\pm$ 2,49 Ma. El fémur es parecido al de *Homo*, el radio al de chimpancé, los caninos grandes, los premolares grandes no robustos, los molares ni grandes ni robustos, mayor el segundo (M2), reducido el último (M3). Una bóveda craneana presenta cresta sagital. Y en cerca o más de 2,4 Ma están los fósiles más antiguos conocidos del Género *Homo*: AL-666 de Afar (Etiopía), en un nivel alto de Omo-Shungura, en nivel superior de Chemeron cerca del Lago Baringo, y sobre la Toba Burgi al este del Turkana (Kenya), y una mandíbula en los Chiwondo Beds de Uraha (Malawi); tienen algunos parántropos contemporáneos, también llamados "australopitecos robustos" y considerados subgénero de australopitecos. A partir de este dato no vuelven a citarse australopitecos propiamente dichos, o "grácil es". Recordemos que hace cerca de 2,6 Ma comienza la actual Edad del Hielo, con ambos casquetes polares, como no la había desde el Pérmico, hacía más de 250 millones de años.

Entre parántropos y humanos las diferencias son muy claras y ciertamente adaptativas a los graves cambios ambientales debidos más a la aridez que al frío. En los parántropos resalta el tamaño muy pequeño de los incisivos y los caninos, muy grandes y muy robustos molares y también los premolares que son molariformes; los arcos zigomáticos hacen al rostro muy ancho, dejan ver junto con los relieves de la mandíbula una potentísima musculatura masticadora, lo que se aprecia sobre todo por el relieve de una cresta sagital en lo alto del cráneo que da inserción a esa masa muscular: gracias a ella y a la dentadura podían consumir alimentos muy duros y coriáceos. En el género *Homo* los incisivos y dientes yugales son sencillos y medianos de tamaño, poco menores que los de australopitecos, el rostro es más vertical, con el arco masticador retraído y salientes en cambio el nasal y el mentón, haciéndose notar el aumento en altura

y anchura de la caja craneana y del volumen del cerebro que contiene. Humanos y parántropos son las dos estirpes de bípedos que persisten hasta finales del Pleistoceno Inferior: después sólo queda la humana.

III

Una diferencia esencial es que los parántropos pudieron subsistir en condiciones y ambientes limitados, mientras que los humanos lo consiguieron adaptándose a los más diversos y adversos. Un factor de origen genético-epigenético que se manifiesta con eficacia en formas y funciones está en la multiplicación y diversidad operativa de circuitos neuronales que condujeron a la tecnología de la piedra. Se conocen hábitos en nuestros parientes más próximos de romper ramas, o "palos", y servirse de ellos como apoyo o para desprender y conseguir un alimento. Y son capaces de aprender comportamientos y maneras que maestros humanos les enseñen. Tanto aves como insectos hacen por instinto heredado asombrosas construcciones y nidos. Pero sólo desde hace los 2,6 Ma de esta Edad de Hielo se conocen piedras rotas mediante golpes con otras piedras de modo que se formen puntas y diedros agudos; después empuñables y dirigibles de modo que puedan cavar, perforar, cortar, raer o pelar lo que se quiera y donde se quiera. Y desde entonces se lo puede asociar fundadamente con los bípedos del Género *Homo*, aun cuando no se puede excluir a priori que algún otro bípedo pudiera ocasionalmente hacer algo semejante. Es con todo escasa la labor en talla instrumental de piedras que se encuentra con los primeros humanos que se han clasificado como "especies": *Homo habilis* y *Homo rudolfensis*, con fósiles en África Oriental. Un fenómeno explosivo en la evolución biológica de este género humano, fueron su expansión geográfica y su desarrollo tecnológico hace cerca o muy poco menos de 1,9 Ma. Era el final de una mejoría climática en poco más de los dos millones de años.

Con edades poco inferiores a 1,9 Ma se conocen los primeros fósiles humanos clasificados en la "especie" *Homo ergaster*. Con ella aparecen más verticalidad en el rostro y el cráneo, creciente volumen encefálico, reducción en el tamaño de los molares segundo y tercero (M2, M3). La duración del crecimiento se alarga en la infancia, adolescencia y juventud, y con ello el tiempo para aprender. Desde edades semejantes se conocen conjuntos de utensilios líticos con elaboración notablemente más compleja y diversa, que los arqueólogos llaman Modo 1 (Olduvayense) evolucionado; no mucho más tarde, hacia 1,7 Ma, aparecerán los bifaces de gran formato (GF) con los que caracterizan el Modo 2 o "Achelense". De hace muy poco menos de 1,8 Ma son los más antiguos fósiles humanos que se conocen fuera de África, en Dmanisi (Georgia): las evidencias apuntan a que sus antecesores salieron del continente africano más cerca de hace 1,9 Ma. Desde entonces, a lo largo del Pleistoceno, poblaciones humanas han ocupado todos los continentes, archipiélagos, y hasta ámbitos geográficos tan adversos como zonas circumpolares, altiplanos muy elevados, selvas densas y desiertos.

Los más antiguos que se citan del lado de acá del Cáucaso están en el Pleistoceno Inferior en la Península Ibérica: el fragmento craneal de Orce (Granada), de hace 1,3 Ma o más; la falange de la mano de Cueva Victoria (La Unión, Murcia), con dato sólo aproximado en torno a 1,1 Ma; un diente, una mandíbula y una falange en el nivel E9 de la Sima del Elefante en la Trinchera de Atapuerca (Burgos). Esta mandíbula, de una cata excavada el 2007, podrá proporcionar información sobre sus posibles parentescos, nos preguntamos si con Dmanisi o con otros. Desde hace menos de 1,5 Ma escasean fósiles humanos en África. Recordemos que en África el verdor recuperado hace 1,6 Ma se vuelve a perder hace 1,4 Ma y sucede aridez entre hace más de 1,3 y 1,1 Ma, y desaparecen varias especies de mamíferos entre 1,4 y 1,2 Ma AP, mientras en España mejora la pluviosidad entre hace cerca de 1,4 Ma y poco menos de 1,2 Ma cuando se

registra una crisis de frío global. Alrededor de 1,3 Ma era frondoso y diverso el mosaico vegetal y rica la fauna en torno a lagos y humedales en las cuencas béticas e ibéricas.

Más tarde llegaron a Indonesia los primeros humanos que fueron llamados "pitecántropos": sus dataciones más fiables exceden poco los 1,1 Ma. Pero su morfología retiene rasgos primitivos, diría que más que los de Dmanisi. Cabe pensar que provienen de un grupo distinto del antecesor de los georgianos, aun cuando salieran de África con poca diferencia de tiempo. Algo hubieron de tardar sus antepasados en cruzar el sur de Asia hasta llegar a Malasia y cruzar el entonces emergido fondo del Mar de la Sonda. De lo que se sabe poquísimo y sólo por inferencias es de la expansión de unos u otros por el centro de Asia hasta llegar al Nivel Aurora de Gran Dolina (Atapuerca) hace 800.000 años, y los más antiguos conocidos de China. Queda mucho por buscar.

IV

La diversidad dentro del género humano y su evolución en estos casi dos millones de años es muy difícil de conocer y valorar, pues se han definido dentro de él un número exagerado de especies, y aunque no pocas han caído en desuso, aún se pretende tenerlo dividido en más de veinte, con el agravante de que autores de países occidentales reconocen mayor número de "especies" en Europa y menos en Asia, incluso una sola, "*Homo erectus*", para China e Indonesia, y los indonesios unas cuantas en Java y menos en Europa y África. Se dan y se usan, pues, muchos nombres linneanos y se entiende y hace entender con ello la categoría y concepto de "especie" en la diversidad animal según Linneo, sin fundamento y a priori, cerrando así la posibilidad de pensar o plantearse toda cuestión acerca de las posibles relaciones entre conjuntos poblacionales y sobre la valoración de sus diversidades.

La crisis del concepto linneano de especie en la taxonomía del Reino Animal, que mantuvo Ernst Mayr y considero inseparable de la nomenclatura binomial en latín, es hoy extendida. No se resuelve con asignar las categorías y nombres latinos de Familia, Género y especie por número de variantes genéticas ni de tiempo transcurrido como hacen algunos. Más científico, positivo e inequívoco es el recurso a agrupaciones definidas y diferenciadas por conceptos claramente no linneanos: como las "ecovares" (variedades distintas por genética y ecología) como se ha propuesto.

Para referirnos a fósiles humanos, describirlos, compararlos y clasificarlos es más que recomendable, insisto, es necesario y urgente evitar el uso de nombres de especies linneanas, en latín. Es mucho más conveniente encontrarles el sitio en "paleodemos", como hace F.C. Howell, si bien éstos asimismo necesitan una revisión. La alternativa aceptable y prudente para referirlos con nombres y clasificación habituales, en latín, sería, desde los ergásteres de hace 1,9 Ma, llamarlos como subespecies de *Homo sapiens*: *Homo sapiens heidelbergensis*, *H. s. mauritanicus*, *H. s. pekinensis*, *H. s. soloensis*, *H. s. antecessor*.

Los rasgos zoológicos que caracterizan a la humanidad y la distinguen de otras especies, muy próximas, de primates, incluso de los otros bípedos conocidos, son la cefalización, la reducción dentaria, la tecnología lítica, la edad de crecimiento prolongada. Todas ellas están presentes ya en el "*ergaster*" y en el "*antecessor*": son plesiomorfas en el clado. Los progresos o apomorfías son compartidos, sinapomorfías. En China, en Sudáfrica como en Europa y el entorno mediterráneo se progresó del Paleolítico Inferior al Medio con algunas diferencias pero en datos cronológicos próximos, y del Medio al Superior, con mezcla, pienso, de razas, salvo quizás la excepción de los últimos neandertales en Europa. No comprendo cómo por un lado se magnifican las diferencias entre las razas o poblaciones fósiles humanas, mientras por otro se minimizan y pasan por encima las que separan de los estimados chimpancés y gorilas a todos ellos y a los australopitecos.

Veinte especies son muchas, y lo son doce, para un par de millones de años, especialmente en unos animales comunicativos, como somos los humanos. No lo justifican las distancias geográficas ni las guerras: si en muchas de éstas los vencedores han exterminado a los contendientes, lo han hecho a los del propio sexo solamente. No se ha visto incompatibilidad genética ni rechazo entre razas que estuvieron aisladas muchos miles de años, incluso con variación en tamaño de los órganos sexuales.

Los paleodemos de Howell son 26, comenzando por el de Nariokotome, cuyo fósil conocido más antiguo está datado en hace 1,88 millones de años. Los distingue por rasgos apomorfos, aun por diferencias menores en los compartidos o plesiomorfos; tiene también en cuenta las modalidades diferentes en conjuntos tecnológicos, y expresa siempre sus dudas sobre si incluir o no los fósiles de tal o cual localidad en el paleodemo que nombra con el sitio del grupo que mejor puede definirse y compararse. Aunque algunos necesitan revisión, el conjunto de la idea más clara de la diversidad que se ha ido produciendo en el clado humano en estos dos millones de años, en su mayoría si no totalidad intraspecífica, no llegando en otros ni a subespecífica o racial: pero queda claro que Howell procura señalar modestamente los puntos de diversidad en el grupo zoológico humano sin pretender clasificar ni establecer jerarquías o divisiones.

Los paleodemos humanos de Howell son:

- En África:

• Nariokotome

Incluye con los fósiles de esta localidad, conocidos como "*Homo ergaster*", otros del oeste y este del Lago Turkana (Kenya), de Konso-Gardula (Etiopía) con industria asociada del Modo 2, el de Olduvai (Tanzania) OH15, y el de Swartkrans (Sudáfrica) SK 847. Entre 1,88 y cerca de 1,5 Ma.

• Olduvai LLK-II

El tipo es el cráneo de Olduvai OH9 descrito como "*H. leakeyi*", de la Unidad II superior. Incluye otros de Olduvai como OH12, las mandíbulas OH22 y OH23, de las unidades Ndutu (IV) y Masek, el cráneo de Buia (Danakil, Eritrea), y fósiles de Melka-Konturé (Etiopía). Entre cerca de 1 Ma y 0,6 Ma.

• Tighenif (Ternifine)

Con las tres mandíbulas, un parietal y dientes de Ternifine o Palikao (Argelia) descritas como "*Atlanthropus mauritanicus*", reúne fósiles de las Canteras de Sidi-Abderrahman (Marruecos) en las cuevas de Littorina, Thomas 1 y Thomas 3, y con duda Salé. Edades inciertas entre 700 Ka y menos de 400 Ka.

• Kabwe

Además del cráneo tipo de "*Homo rhodesiensis*" y otros fósiles de Kabwe, antes llamado Broken Hill (Zambia), incluye los de Elandsfontein (Sudáfrica), Ndutu, Olduvai OH11, Lago Eyasi (Tanzania), Kapthurin Beds del L. Baringo (Kenya), Bodo (Etiopía). Entre 250 y 600 Ka.

• Irhoud

Con los cráneos y mandíbula de Yebel-Irhoud (Marruecos) con edad entre 125-90 Ka EU y 190-105 Ka LU (y rasgos juntos de neandertal y humano moderno) incluye Howell fósiles de Kébibat (Marruecos), Tabún E, Zuttiyeh (Galilea); Karain (Turquía), Sel-Ungur (Kirgizia), de entre hace 250 y 150 Ka.

• Florisbad

Cráneo parcial del Estado de Orange (Sudáfrica), tipo de "*H. helmei*", al que se unen otros del Turkana Oriental, en Ileret (Kenya), Omo-Kibish (sur de Etiopía), Eliye Springs y Laetoli (Tanzania). Entre c. 300 y más de 200 Ka.

• Klasies River

Los numerosos conjuntos de fósiles de Klasies River Mouth (KRM) y Border Cave dejan ver alta variabilidad intrapoblacional, que incluye rasgos muy próximos a los humanos modernos. Se añaden aquí los de las cuevas Die Kelders y Equus (también Sudáfrica), y Mumba (Tanzania). Alrededor de 100 Ka.

• Singa

Varios fósiles humanos de esta localidad sudanesa se distinguen por rasgos de humano moderno y datos entre 130 y 94 Ka. Se les asocia el esqueleto juvenil de Taramsa (Egipto), con edad entre 80 y 50 Ka.

• Dar-es-Soltane

• Cráneos y mandíbulas en dos cuevas, con los que se relacionan los de la Cueva de los Contrabandistas de Temara y la Cueva Zouhra de El Haroura (también Marruecos), de alrededor de 40 Ka.

- En Asia Oriental:

• Yunxian

Dos cráneos deformados de Quyuan (Hubei, China), entre hace 870-830 Ka, con industria lítica asociada; se les añade el de Gongwangling (Lantian, Shaanxi, China), de edad próxima o poco más joven.

• Zhoukoudian

En la localidad principal del "*Sinanthropus*" u "*Homo pekinensis*" se extrajeron fósiles humanos, sobre todo cráneos, en varios niveles de la larga serie estratigráfica entre hace más de 600 Ka y unos 230 Ka, comprendiendo casi todo el Pleistoceno Medio. A este demo longevo se añaden la mandíbula de Chenjiawo (Shaanxi), tipo de "*H. lantianensis*", y fósiles humanos de otras numerosas localidades chinas: Yiyuan, Huludong, Longtandong, Cueva Halu.

• Dali

Conocido como "*H. daliensis*" por un cráneo con importantes novedades sobre todo de tendencia moderna en formas y proporciones de la parte facial. Se le pueden relacionar fósiles de Walongdong, Guojiujan, Chaoxian, quizá también la Cueva de Yonhuidong y el sitio de superficie Dingcun. Edades entre menos de 250 y más de 115 Ka.

• Jinniushan

Cráneo y partes del esqueleto poscraneal de una cueva con este nombre, y datos de 280 Ka o al menos 200 Ka. Conjunto morfológico más parecido a otros modernos que el de Dali. Se le unen numerosos fósiles craneales y de otras partes de al menos 10 individuos de Xujiayao, con entre 125-104 Ka.

• Maba/Hathnora

La primera localidad de China, la otra de India. El cráneo incompleto de Maba, "*H. mapaensis*", se distingue de todos los otros demos chinos por formas del cráneo y rostro que convergen con las de neandertales. Se le parece el de Hathnora (Narmada, Madhya Pradesh), llamado "*H. narmadensis*". Alrededor de 100 Ka.

- En Indonesia:

• Brangkal/Sangiran

Se reúnen varios fósiles de mandíbulas y maxilares en localidades del área de Sangiran que fueron clasificados como "*Pithecanthropus robustus*", y una calavera infantil de Perning, al Este, "*P. modjokertensis*". Se han señalado edades próximas a 1,8 Ma, más probable es el dato próximo a 1,1 Ma.

• Glagahomba/Sangiran

Howell reúne aquí la mandíbula Sangiran-6, ó A, llamada "*Meganthropus palaeojavanicus*" y otros fragmentos mandibulares y craneales de "*P. dubius*", que se distinguen bien del demo anterior y del siguiente. Más seguros que las dataciones 1,77-1,66 Ma, son las que no pasan de 1,1 Ma.

• Trinil/Sangiran

Conjunto de fósiles conocidos desde el año 1890, publicados por E. Dubois como "*Pithecanthropus erectus*", fragmentos craneales, mandíbulas, fémures y otros hallados más tarde, de las localidades que dan nombre a este paleodemo. Edades discutidas entre más de 1,1 Ma, y entre 1 y menos de 0,8 Ma, más probable.

• Ngandong

Otras dos localidades de Java, Ngandong junto al río Solo, de donde el nombre específico de "*Homo soloensis*" para una docena de cráneos, y Sambungmachan, ambas del Pleistoceno Superior entre 53 y 27 Ka, contenían fósiles de humanos que conservan rasgos arcaicos.

- En Eurasia occidental:

• Dmanisi

Varios cráneos, mandíbulas y otras partes del esqueleto del llamado "*H. georgicus*" se van extrayendo en Dmanisi (Georgia), en estratos de hace más de 1,7 Ma, con industria lítica del Modo 1, los más antiguos fuera de África. Variedad en la población, unos con rasgos progresivos conocidos en los de Nariokotome, y otros conservan parecidos con *H. habilis*. Se infiere que esta salida de África ocurrió al tiempo o muy poco después de la diversificación de hace cerca de 1,9 Ma. Se estudia la relación con éstos de los fósiles de Atapuerca, Sima Elefante TE-9.

• Atapuerca-Gran Dolina

Más de cien fósiles humanos de unos 6 individuos en cata limitada y margen de un nivel aún no excavado en extensión, el Estrato Aurora, del relleno de la sima con este nombre, cerca de Burgos (España). Más de 780 Ka, quizá más de 800 Ka; llamados "*H. antecessor*", conservan rasgos primitivos; otros progresivos, se ven también en chinos del Pleistoceno Medio, de donde se infiere extensión en Eurasia de primitivos pobladores en el Pleistoceno Inferior. No hay base alguna para relacionarlos con la ascendencia de los neandertales.

• Arago/Mauer

Con la mandíbula de Mauer (Alemania), conocida hace tiempo como "*H. heidelbergensis*", se asocian restos craneales, mandíbulas y poscraneales de varios individuos en la Caune de L'Arago (Tautavel, sur de Francia) con industria, y entre más de 500-450 Ka. Rasgos primitivos y otros que se verán confirmados en Neandertales. Pueden añadirse los de Boxgrove (Inglaterra), Fontana Ranuccio, Visogliano-2 y Notarchirico (Italia).

• Petralona/Atapuerca-Sima

Con el cráneo de Petralona, Grecia, tipo de "*H. petralonensis*", reúne Howell otros fósiles europeos, aislados o casi, que van mostrando, con pocos rasgos primitivos o indiferenciados, expresiones de rasgos neandertalenses: de Apidima (Grecia), Montmaurin (Francia), Vértesszölös (Hungría), Swanscombe (Inglaterra), "*H. steinheimensis*" de Steinheim (Alemania), Cueva del Príncipe, Altamura, Castel di Guido, Cava Pompi, Casal de Pazzi, Sedia del Diavolo y Ponte Mammolo en Italia, de entre hace 400 y unos 250 Ka. Añade como tipo la singular colección de Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca) con más de cinco mil fósiles de una treintena de esqueletos: un grupo que pereció en un portal de cueva al quedar éste cerrado por un corrimiento y derrumbe de ladera con una lluvia torrencial hace unos 320 Ka o más. Se ha podido hacer un estudio demográfico y se puede apreciar la variabilidad poblacional. Se les clasifica como "*H. heidelbergensis*".

• Demo indeterminado de Asia occidental

Así llama Howell a una agrupación provisional que incluye dos fémures de Gesher Benot Ya'akov (Israel) con menos de 780 Ka; un parietal de Nadaouiyeh (Siria); la mandíbula de la cueva de Azykh ó Azokh al sur del Cáucaso; la cueva de Kudaro-I (Osetia): todos asociados con industria del Modo 2, progresivo.

• Skhul/Qafzeh

Esta denominación reúne dos grupos de 10 y 13 esqueletos con rasgos modernos, enterrados en estas dos localidades kársticas del Monte Carmelo y Galilea respectivamente, datados entre 120 y 80/89 Ka. Con más o menos dudas se pueden añadir otros de la cueva de Tabun, que contenía fósiles con rasgos distintos en diferentes niveles. Llama la atención la morfología netamente moderna, la asociación con industria del Paleolítico Medio o Modo 3, "musteriense", en tiempos iniciales del Pleistoceno Superior, pene-contemporáneos de los de Sungir y KRM en África.

• Neandertal

El "*Homo neanderthalensis*" se definió por una caja craneana de la cueva de Feldhofer (oeste de Alemania). Son muy numerosos los sitios con restos fósiles de esta especie o raza en Europa en el Pleistoceno Superior, desde el último interglacial (raros con más de 130 Ka), y los últimos en el SW de Francia, España, Portugal y Gibraltar con 27 y 25 Ka. Todos con industrias del Modo 3, de las que se describen variantes regionales. Se añaden pocos sitios en el oeste de Asia. Los llamados Neandertales de Levante proceden de cuevas de Shanidar (Kurdistán iraquí), Amud y otras en Israel, y presentan diferencias con los demás neandertales en la anchura y elevación del frontal y el perfil también suavemente redondeado, rasgos más propios de los humanos modernos o cromañoides. Mientras no se demuestre lo contrario, los tendré por mestizos de modernos y neandertales venidos de Europa: sus edades están entre 43 y 70 Ka.

• Cro-magnon y otros modernos del Oeste de Eurasia

Hemos conocido cuadros morfológicos con las novedades de la humanidad actual en paleodemos de África del Sur, Oriental y del Norte, y en el Próximo Oriente asiático con datos en torno a los cien mil años. También en China aparecen formas modernas alrededor de ese dato y ya en el Pleistoceno Medio. Tardan los modernos en extenderse por Europa hasta hace 45 Ka, y no terminan de sustituir a los neandertales hasta pasados otros veinte milenios.

V

En resumen, los tramos en que se conoce mayor diversidad de especies y cambios más notables en la Familia homínida son hace alrededor de 3,4 Ma y hace cerca de 2,0/1,9 Ma. Además, no se puede

valorar la diversidad biológica del género humano ni su historia evolutiva con la actual taxonomía y nomenclatura que se le aplica. La sustitución de los nombres de "especies" en uso por otra nomenclatura que no prejuzgue la interfecundidad o no entre las poblaciones de fósiles es más que urgente. La clasificación en "paleo-demos" de F.C. Howell es un buen modelo, y vale al menos como punto de partida: algunos de éstos necesitan revisión. Por esto considero necesario que se reúna un grupo de trabajo que en una Mesa redonda plantee y encamine esta discusión.

Los demos de Kabwe y de Neandertal están sin duda emparentados: antecesores comunes se ven en Bodo y probablemente en las mandíbulas OH23 y OH22 de Olduvai, del Pleistoceno Medio; pueden haber pasado a Europa no mucho antes de hace 700 Ka los padres del demo de Mauer/Arago, del que descienden el de Atapuerca-Sima Huesos y Neandertal. En África perduran al lado de la estirpe de modernos, en el Sur; en Europa solos hasta tarde en el Pleistoceno Superior.

Para concluir, no me basta el resumen contrastado y crítico de los registros fósiles que conocemos sobre cómo evolucionó la diversidad humana. Me es forzoso formular algunas preguntas que todavía me hago y no conozco respuesta.

La diversidad actual del género humano es notable en varios aspectos, si bien es sólo racial e intraspecífica. En distintas magnitudes es comparable y alcanza diferencias que distinguen especies linneanas en otros grupos animales y son, por tanto, interespecíficas. ¿Depende esto sólo del comportamiento sexual, en la elección de pareja, del tiempo estacional de apareamiento o ilimitado como es en los humanos? ¿Se conoce el gen responsable de estas limitaciones o de su ausencia?

Por otra parte, los tiempos de diversificación en el clado humano, según el registro fósil vienen a coincidir con eventos de graves cambios ambientales. Anterior a la selección entre los diversos es la producción de esa diversidad, que también es ocasional y pide explicación. ¿Es una mera ilusión esa coincidencia, o se explica por las diferentes condiciones geodinámicas favorables o adversas a la fosilización? Los desplazamientos y cambios de recursos vitales causados por dichos eventos ¿cómo alteran los dientes, proporciones del esqueleto, juegos musculares? ¿Estos cambios tienen origen genético, o epigenético? ¿Pueden los, o algunos eslabones de las cadenas génicas ser sensibles directa o indirectamente a cambios ambientales? No puedo dejar de preguntarlo.

Referencias bibliográficas

AGUIRRE, E. "Taxonomía y Nomenclatura en Antropología: ¿claridad o caos?". En: J.E. EGOCHEAGA (Ed.). *Biología de poblaciones humanas: diversidad, tiempo, espacio*. Universidad de Oviedo, Oviedo: pp. 21-41. 2004.

AGUIRRE, E. "Origen del estar de pie y andar erguido". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100 (1): pp. 211-220. 2006.

AGUIRRE, E. *Homo hispánico*. Espasa, Madrid. 2008.

AGUIRRE, E. "Antepasados homínidos del Plioceno (5-2 Ma AP). Éxitos evolutivos". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 102. 2008 (en prensa).

ASFAW, B.; WHITE, T.; LOVEJOY, O.; LATIMER, B.; SIMPSON, S. & SUWA, G. "*Australopithecus garhi*: A New Species of Early Hominid from Ethiopia". *Science*, 284: pp. 629-635. 1999.

BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M.; MARTINÓN-TORRES, M.; BERMÚDEZ DE CASTRO, A.; MUELA, A.; SARMIENTO, S. y LOZANO, M. "Paleodemografía del yacimiento del Pleistoceno Medio de la Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Burgos). *Zona Arqueológica*, 4(3): pp. 10-23. 2004.

BRUNET, M.; GUY, F.; PILBEAM, D. y otros 35 coautores. "A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa". *Nature*, 418: pp. 145-151. 2002.

CONSTANTINO, P. y WOOD, B. "*Paranthropus* paleobiology". *Zona Arqueológica*, 4(3): pp. 136-151. 2004.

HOWELL, F.C. "Paleo-Demes, Species Clades, and Extinctions in the Pleistocene Hominin Record". *Journal of Anthropological Research*, 55(2): pp. 191-243. 1999.

LEAKEY, M.G.; SPOOR, F.; BROWN, F.H.; GATHOGO, P.N.; KLARIE, C.; LEAKEY, L.N. & McDOUGALL, I. "New hominin genus from eastern Africa shows diverse middle Pliocene lineages". *Nature*, 410: pp. 433-440. 2001.

MARTINÓN, M. *Evolución del aparato dental en homínidos: Estudio de los dientes humanos del Pleistoceno de Sierra de Atapuerca (Burgos).* Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela. 2006.

SÉNUT, B.; PICKFORD, M.; GOMMERY, D.; MEIN, P.; CHEBOI, K. & COPPENS, Y. "First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya)". *C.R. Académie de Sciences, Paris. Sciences de la Terre et des planètes*, 332: pp. 137-144. 2001.

TOBIAS, P.V. "History of the Discovery of a Fossilised Little Foot at Sterkfontein, South Africa, and the Light it Sheds on the Origins of Hominin Bipedalism". *Mitteilungen der Berliner Gessellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgechischte*, 19: pp. 47-56. 1998.

ZIMMER, C. "¿Qué es una especie?". *Investigación y Ciencia*, 383: pp. 66-73. Agosto 2008.

REHABILITACIÓN DE ESPACIOS MINEROS

Rafael Fernández Rubio

Dr. Ingeniero de Minas. Catedrático y Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid
Premio Rey Jaime I a la Protección del Medio Ambiente
rfrubio@gmail.com

Introducción

En el año 2007 el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas publicó el libro "*Activos ambientales de la minería española*" (Fernández Rubio, 2007), en el que se compilan muy variados aportes de nuestra minería al conocimiento científico y técnico, y al desarrollo socio-económico y cultural, abordando también la valorización de las aguas de mina y de los espacios mineros. En la elaboración de esta obra conté con las aportaciones de 76 colaboradores y 27 Instituciones y Empresas que, junto a sus contribuciones escritas, aportaron abundante información gráfica de indudable valor.

Esta obra da a conocer múltiples experiencias que pueden servir de ejemplo en sus planteamientos, y ofrece una imagen que contrasta con la negativa y distorsionada que llega de la minería, dificultando la valorización de unos recursos imprescindibles para el desarrollo social, económico, tecnológico e industrial.

Para este artículo agradezco sus aportaciones a: Ángel Luís Alonso Prieto, Juan Gualberto Apodaca Carro, Francisco Arechaga Rodríguez, Juan Carlos Baquero Úbeda, José Benavente Herrera, Miguel Colomo Gómez, Linda Daniele, Juan José Durán Valsero, Javier Fernández Lorca, Aníbal Gil Bueno, José Lorenzo Agudo, Luis Molina Sánchez, Francisco Moral Martos, Kyle E. Murray, Enrique Orche García, Antonio Pulido Bosch, Francisco Rivas Ródenas, Miguel Rodríguez Rodríguez y Ángela Vallejos Izquierdo.

¿Restauración o rehabilitación?

De entrada quisiera marcar posición en una cuestión semántica. En España la legislación minera se refiere a "restaurar", pero entiendo que lo correcto, en el caso de minería, es "rehabilitar" (también

podría ser apropiado "revitalizar" o "reacondicionar"), ya que ni es posible ni es el objetivo devolver el entorno afectado a su situación primitiva, pero sí que lo es darle el uso más favorable, sopesando los aspectos sociales, económicos y ambientales, que enmarcan al desarrollo sostenible.

Para esta rehabilitación es fundamental el diálogo con los moradores del entorno, con los entes locales, y con todas las instituciones que estén dispuestas a aportar contribuciones positivas a este planteamiento. Esto permite a la empresa minera informar con respecto a las acciones correctoras previstas e, incluso, ajustar los objetivos a las necesidades de la sociedad. Con estos apoyos se deben plantear, en los Planes de Rehabilitación, los usos futuros de los espacios mineros, para los que caben muchas alternativas, que pueden ir desde dejar al descubierto las estructuras geológicas de interés didáctico, para su observación, hasta dar empleo naturalista, o forestal, o cultural… al espacio minero.

Esta elección estará condicionada a: tipo de explotación; entorno ambiental y socioeconómico (clima, geología, hidrología, fauna, flora, paisaje, historia, demografía, economía, etc.); características del suelo; intereses de las entidades locales; sostenibilidad de la rehabilitación; costes derivados; etc.

Orientaciones de la rehabilitación

La actividad minera requiere cierta ocupación del territorio, no sólo para la explotación en sentido estricto (subterránea o a cielo abierto), sino también para la ubicación de todas las instalaciones e infraestructuras anexas, así como para el almacenamiento temporal o definitivo de los estériles mineros, y de los residuos de tratamiento del mineral. Esta ocupación tiene que plantearse en el contexto de ordenación del territorio, teniendo presentes todos los condicionantes que impone el buen uso y gestión del suelo y, de manera especial, considerando que se trata de una actividad transitoria, más o menos larga en el tiempo, que requiere prever anticipadamente las mejores ocupaciones posteriores de dicho espacio.

Por ello la actividad minera debe plantearse, desde su inicio, acompañada por un Estudio de Evaluación Ambiental del estado pre-mina (EVA-0), y por un proyecto pormenorizado del estado final, en un proceso de rehabilitación continua, en el que deben anticiparse las acciones a desarrollar tan pronto sea posible.

Para aportar las mejores experiencias en rehabilitación, estamos elaborando un "*Tratado Iberoamericano de Rehabilitación de Espacios Mineros*", abordando en profundidad y metodológicamente las experiencias ejemplarizantes de ese buen hacer en España, Iberoamérica y Portugal, para luego ser difundidas, sin ánimo de lucro, en versión electrónica, con información amplia y contrastada, y con un soporte gráfico de gran valor documental.

Este tratado lo hemos estructurado con unos capítulos generales, y unas temáticas específicas de actuación dentro de ellos. Así, los capítulos generales incluyen la rehabilitación de: instalaciones e infraestructuras, minas subterráneas, minas a cielo abierto, balsas de estériles, escombreras, y un último capítulo de rehabilitación general y multipropósito. Por su parte, dentro de cada uno de ellos, las actuaciones tratan de agruparse, de acuerdo con el enfoque principal, en rehabilitación: agropecuaria, forestal, naturalística, científica y cultural, turística y para el ocio, deportiva y recreativa, urbanística y residencial, e industrial y de servicios.

A la vista de esta diversidad de opciones, se evidencia la necesidad de que los equipos que desarrollen los planes de rehabilitación tengan carácter pluridisciplinar, integrando a ingenieros de minas, agrónomos, forestales, biólogos, geólogos, paisajistas, arqueólogos, arquitectos, artistas, y un largo et-

cétera, ya que las posibilidades de actuación son muy variadas e imaginativas. En todo caso, al analizar las opciones de uso, de un espacio minero, es necesario considerar la capacidad de acogida del territorio.

La rehabilitación minera

La minería, denostada por grupos con amplio eco en los medios de comunicación escrita, oral y visual, como un quehacer depredador, causante sólo de pasivos ambientales, es una actividad absolutamente imprescindible. No obstante, en esos medios de comunicación nos traen a diario, machaconamente, sólo a los pasivos ambientales de la minería. Estos pueden ser auténticos, y en general herencia de un pasado en el que para nada existía concienciación ambiental, otras veces están falseados y manipulados, para tratar de defender espurios intereses. Lo que no es noticia, para esos medios, son los buenos ejemplos del quehacer minero, que haberlos los hay y son muchos. Es lo que, desde hace bastantes años, he denominado "*activos ambientales de la minería*", expresión que, poco a poco, toma carta de naturaleza.

En esa línea tenemos que admitir que hoy no sería aceptable, por ningún pueblo civilizado, prescindir de los aportes de la minería que, para bien, condicionan todo lo que tenemos a nuestro alrededor; decir lo contrario sería mentir. Pero, al mismo tiempo, hay que convencerse de que hacer minería sustentable es sostener a lo que nos sostiene, y por eso la importancia de la rehabilitación de los entornos mineros. Pero antes quisiera hacer algunas consideraciones.

En primer lugar, para la minería, como para cualquier otra industria, en el pasado las exigencias ambientales fueron muy reducidas; en segundo lugar el paisaje minero puede ofrecer los valores culturales que se aprecian en el *Land Art*, combinación de arte, ciencia, antropología y naturaleza. Corriente artística que considera a la minería como una forma de expresión. Así podríamos traer a colación el pensamiento de Ernesto Utrillas, Profesor de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza, para quien "*Restaurar las minas sería como borrar su existencia, supondría tratar de hacer desaparecer nuestro pasado, al que debemos nuestro origen, sería como borrarnos a nosotros*". En paralelo, hago mía la visión del paisaje minero de Tonia Raquejo, Profesora de Teoría e Historia del Arte Contemporáneo de la Universidad Complutense de Madrid, al declarar, frente a la mina, que "*el paisaje así esculpido (tal y como lo vemos ahora) recita una y otra vez la dimensión del esfuerzo humano*". En esta misma dirección se expresa José Luis Albelda Raga, Dr. en Bellas Artes, Profesor del Departamento de Pintura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia, para quien "*Al igual que hay que preservar los bosques primarios por su contribución a la biodiversidad del planeta, así debemos también conservar este paisaje minero…*" Para los que a

Figura 1. Imágenes de la mina de Wieliczka, en Polonia

la minería hemos entregado nuestro mejor saber hacer, percibir estas verdades, expresadas por personas de gran sensibilidad, es respirar un aire fresco y rejuvenecedor.

Esto no nos exime de la necesidad, que hoy se plantea, de poner toda la imaginación en la rehabilitación de los entornos mineros, para disfrutar de un mundo mejor. De esas infinitas posibilidades, que se le ofrecen a la minería, voy a mostrar aquí apenas algunos ejemplos de lo mucho que, con imaginación y voluntad, se está haciendo en esa rehabilitación.

Valorización de minas subterráneas

Cuando en una explotación minera subterránea se agota el mineral, o su aprovechamiento deja de ser rentable, se procede a su clausura definitiva o temporal; pero el hueco minero puede ser útil para multitud de empleos lúdicos, recreativos, culturales, industriales, etc. En este sentido es de destacar que estos huecos reúnen, muchas veces, características favorables para muy diversos usos. Hacer el repaso de todos ellos es tarea imposible, pero sí aspiro a mostrar algunos ejemplos, como exponente de esas posibilidades.

Hace años, trabajando en Polonia, tuve la oportunidad de conocer en detalle el interior de la mina Wieliczka, situada próxima a Cracovia. Los orígenes de esta explotación de sal del Mioceno se pierden en la Prehistoria (si bien las labores subterráneas se inician en la segunda mitad del Siglo XIII), alcanzando hoy 327 m de profundidad, y más de 300 kilómetros de galerías.

En el interior de esta mina, declarada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad (1978), es muy llamativa la existencia de un sanatorio subterráneo a 135 m de profundidad (The Wieliczka Salt Mine Underground Rehabilitation and Treatment Centre), para el tratamiento de dolencias alérgicas, en el que se atiende a los pacientes todos los días de la semana excepto los domingos. Se ubica en la magnífica sala del Lago Wessel, bien equipado para fisioterapia, y con un microclima específico creado por el lago y caracterizado por su pureza bacteriológica, y la presencia en el aire de importantes cantidades de cloruro de sodio, magnesio y calcio. El tratamiento médico incluye ejercicios para controlar y mejorar el sistema respiratorio, siendo especialmente indicado para infecciones de nariz, senos, garganta, laringe, bronquios, asma, alergias, dermatitis, obesidad, etc.

Muy interesante es, sin duda, la simultaneidad de la explotación minera actual de la sal con el empleo turístico de la mina, donde el visitante puede recorrer las antiguas galerías de los pisos superiores, contemplando la compleja tectónica plástica de las formaciones salinas, junto a las neoformaciones de sal (estalactitas, estalagmitas y abundantes cristalizaciones de halita de total transparencia), que alternan con las grutas y geodas tapizadas de cristalizaciones; pero también las helictitas y eflorescencias desarrolladas sobre el maderamen de entibaciones mineras, las surgencias interiores de salmueras saturadas, etc.…

La visita permite conocer todos los sistemas de soporte de la roca, desde las entibaciones de madera en galerías de siglos pasados (a veces afectadas por las presiones deformadoras de la sal), hasta esos elevados pilares que soportan grandes cámaras, cual castillos de naipes de sólido maderamen, piezas maestras de la carpintería minera; pasando por sólidos muros construidos con cubos de sal y, todo este recorrido, con la contemplación de esculturas talladas por los mineros, en siglos pasados, sobre la roca de sal.

Pero la visita nos lleva, también, a contemplar templos subterráneos tallados en grandes cámaras, donde los artistas han esculpido toda la imaginería en sal, como la estatua de San Francisco de Asís, o la

capilla de San Antonio, excavada en sal verde y decorada con numerosas estatuas y bajorrelieves en su altar mayor, con el púlpito de San Pedro y el relieve del presbiterio con su Cristo crucificado, o las estatuas en sal del rey Augusto II, o del monje orando… y la capilla de la beata Kinga, patrona aquí de los mineros, entre grandes cristales de sal de roca, con las tallas en sal gema de la Adoración de la Cruz, Resurrección, Huida a Egipto, Santa Cena, Bodas de Caná, Virgen con el Niño,… todo ello de una delicadeza y perfección increíble, iluminado con fantásticas lámparas de cristales de sal, de absoluta transparencia, que penden de los techos,…

La Sala de Varsovia, producto de la extracción de veinte mil toneladas de sal, a más de 120 m de profundidad, mide en su base 54 m x 17 m, con 9 m de alto. En sus paredes aparece un oso esculpido en sal entre 1818 y 1821, y la estatua en sal de un minero tallada en 1961. La decoración interior de esta sala, en la que se celebran conciertos, banquetes, congresos y conferencias, renovada entre el 2003 y el 2004, incluye magníficos candelabros, y un gran bajo relieve esculpido por cinco artistas de Wieliczka. Una platea de roble decora el suelo, y en una esquina se pueden adquirir bocadillos y algunas bebidas en un bar.

Pero hoy también, en esta mina, se pueden admirar las construcciones de madera de siglos pasados, conservadas perfectamente en la extremadamente seca atmósfera de la mina, e incluso esos lagos de agua salada a saturación, navegables dentro de la mina, o ese antiguo despacho de correos en su interior, o la cafetería perfectamente equipada, con techos en sal y suelos y paredes en madera.

El museo es, sin duda, uno de los mayores atractivos, y donde podemos seguir toda la historia de la explotación de la sal, con sus equipamientos e instrumentos, incluyendo sus bariteles que giraban movidos por caballerías.

No es de extrañar así que entre los visitantes de esta mina (más de un millón al año), se encuentren reyes, jefes de estado, humanistas, diplomáticos, artistas, poetas… con nombres como: Nicolaus Copernicus, Johann Wolfgang Goethe, Alexander Humbolt, Frederick Chopin, Dmitri Mendelejev, Sarah Bernhardt, Karol Wojtyła, Bill Clinton y otras celebridades.

Otro ejemplo extraordinario de rehabilitación de mina de sal lo tenemos en Austria, en la mina Halstatt, en las proximidades de Salzburgo, donde destaca su sala Hörnerwerk, con su gran lago salado, y el acompañamiento de música antigua, con una exhibición de la minería prehistórica, alrededor del mundialmente conocido como "Hombre conservado en sal". También la cámara de cristales de sal Edlersberg, en cuyo fondo se escuchan las olas del mar, para recordar el origen de la sal y los lagos salados. Pero, además, visitando esta mina, no podemos olvidar que, precisamente el periodo comprendido entre el siglo VIII y el IV a. de C. se conoce como "Era Hallstatt", por los ricos hallazgos arqueológicos de este entorno. Actualmente la mina está en producción mediante disolución *in situ*, con una producción anual de 800.000 toneladas de sal.

En nuestro país son cada día más las antiguas explotaciones mineras subterráneas equipadas para su visita turística, y para conservar el patrimonio geológico-minero-industrial. Todo ello con gran aceptación social, generando empleo y riqueza, y paliando parcialmente el trauma de la clausura de la actividad minera. Excelentes ejemplos los tenemos en Río Tinto (Huelva), Almadén (Ciudad Real), El Entrego (Asturias), Escucha (Teruel), El Soplao (Cantabria), y muchas otras antiguas explotaciones mineras.

Así, por ejemplo, la mina Nieves, fue una explotación subterránea de sal (1912-1990), hoy abierta al turismo, excavada en pleno núcleo del diapiro de la Montaña de Sal (Cardona, Barcelona). A través del Valle Salino, donde se explotaron las sales sódicas, potásicas y magnésicas, desde el Neolítico hasta la actualidad. Hoy podemos acceder a las galerías de esta mina, para sumergirnos en el cromatismo de sus

pliegues geológicos y en su variada mineralogía, junto a los métodos de explotación y su historia, y donde la sal antigua y la de neoformación, a través de estalactitas y estalagmitas de muy diferentes formas y colores, ofrecen un entorno singular. Todo ello se completa con la vista al Parc Cultural de la Muntanya de Sal, instalado por el Ayuntamiento de Cardona.

En el ámbito de la restauración turística son muchos los ejemplos que se pueden citar. En Extremadura destaca la mina La Jayona (Fuente del Arco, Badajoz), antigua explotación subterránea de hierro, con once niveles con una longitud de 600 m, cuya rehabilitación para visitas turísticas ha quedado engrandecida con la declaración de Monumento Natural (1997). La visita a esta mina es de gran interés, por sus manifestaciones geológicas, y por la vegetación y fauna que se desarrollan en sus cantiles y roquedos.

Otra utilización sugerente, de los huecos mineros subterráneos, es el emplazamiento del restaurante Cuevas Romanas, en el interior de unas antiguas explotaciones romanas de caliza, en la falda de Sierra Morena, a 5 minutos de Córdoba. Se caracteriza por su valor arqueológico, ya que estas canteras, de época romana, descubiertas en 1929, fueron explotadas por cámaras y pilares. En su gran sala, y en diversas galerías que integran el conjunto, se pueden apreciar las marcas de herramientas de cantería, el desgaje de bloques de piedra y las huellas del fuego de candiles de aceite, de los mineros que allí trabajaron. Su piedra sirvió para construir diferentes monumentos de la Córdoba romana.

Por estar más al alcance del dominio público, no me ocupo de la utilización de estos huecos mineros para almacenamiento de residuos e, incluso, de la utilización para almacén industrial, de los que existen ejemplos muy bien diseñados, en diferentes países.

Valoración de minas a cielo abierto

Una vocación clara, para algunas minas de superficie, es su empleo para almacenamiento de residuos. En este contexto, de acuerdo con el tipo de residuos a almacenar, se requieren características

Figura 2. Detalle de la recuperación de la explotación de la mina de granito de Braga, convertida en campo de fútbol.

específicas del emplazamiento, en especial en relación con su comportamiento hidrogeológico y geotécnico, así como trabajos de acondicionamiento y preparación del hueco, con recogida y derivación de aguas de escorrentía superficial, y regularización e impermeabilización del hueco, si existe riesgo de afección a acuíferos.

Éste es el uso que se está dando a la antigua mina de carbón La Extranjera, en el entorno de Puertollano (Ciudad Real), con el interés que ofrece una mina a cielo abierto, en las proximidades de una ciudad, para la gestión de residuos urbanos; para albergar "puntos limpios", con los correspondientes contenedores para recepción, tratamiento y recuperación de residuos domiciliarios especiales; y para la ubicación de un Centro Municipal de Gestión de Residuos Inertes y una Planta de Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición.

Muy frecuentemente la vocación de estos huecos es agroforestal y naturalística, con gran diversidad de opciones y frecuente empleo multiuso, que presta el máximo interés a estas actuaciones. Los empleos que se pueden citar son muchos. Un buen ejemplo de utilización agrícola es el de las minas de Tolsa, al sur de Madrid y en La Sagra (Toledo). Se trata de "minería de transferencia" de sepiolita y bentonita, con creación transitoria de huecos que, posteriormente, son rellenados y revegetados, para ser reintegrados a la previa actividad agrícola. El yacimiento, con disposición marcadamente horizontal, en forma de lentejones más o menos grandes, se localiza en un área muy parcelada, en fincas de aprovechamiento agrícola (cereal, forraje o leguminosas). Una vez seleccionada el área de laboreo, y tras alcanzar acuerdos con los propietarios, de alquiler temporal de las parcelas, se replantean los linderos de las fincas, y se define la morfología original; se preparan accesos, excavan cunetas, acondicionan caminos, y la tierra vegetal se apila en acopios de poca altura, para evitar su compactación. El desmonte de estériles se realiza con retroexcavadoras de tamaño mediano y el transporte con dúmpers.

Tras alcanzar la cota del mineral, éste se arranca con los mismos equipos y se lleva a acopio, o se carga directamente sobre camiones con destino a fábrica. A partir de ese momento el hueco ya se puede rellenar en su totalidad, con materiales de minería de transferencia; a continuación se reincorpora el suelo vegetal, en una capa de espesor uniforme, igualando discontinuidades y favoreciendo un comportamiento homogéneo de la parcela, en cuanto a productividad. El desbroce y aireado de la tierra, con arado superficial, mejora su aptitud agrícola.

A continuación se revegeta el suelo, se restablecen los linderos, y se devuelve al propietario para la reanudación del aprovechamiento agrícola. Ese propietario, si lo desea, ha participado en la posible adopción de medidas correctoras, para mejorar el aspecto y terminación de las fincas, antes de ser devueltas. Acompañando a estas mejoras, la empresa realiza tareas diversas, de forma sistemática, como conservación de caminos y pistas de acceso, saneamiento de cunetas, mantenimiento de desagües, etc.

Un caso interesante de rehabilitación lo ofrece la cantera de Guatiza (Teguise, Lanzarote), donde se explotaron materiales extrusivos lanzados al aire por el volcán (lapilli, conocido aquí como picón, rofe o granzón), de colores negros y rojizos, que se utiliza tradicionalmente como cubierta protectora del suelo cultivable, contra la erosión, al tiempo que incrementa y conserva su humedad, por condensación nocturna y por limitación de la evaporación, sirviendo de termorregulador. En esta cantera se ha construido un Jardín de Cactus, última obra espacial diseñada por César Manrique, y concluida en 1991, que alberga más de diez mil ejemplares de plantas cactáceas, crasas y cactiformes, de más de mil cuatrocientas especies distintas, procedentes tanto de Canarias como de muchos países. Todo ello en un marco de belleza original y exclusiva, concebido con intención estética y recreativa, aprovechando las bermas de la explotación minera.

Los taludes de los bancales aparecen cubiertos con muros de material volcánico, formando gradas en las que se sitúan los cactus sobre suelo cubierto de picón. En la parte baja, con materiales de mayor consistencia, se incluyen monolitos naturales basálticos, a modo de esculturas o "*cactus de roca*" que complementan el diseño del parque. También se incorporan estanques con peces, para dar frescura al ambiente. La instalación se complementa con bar-cafetería con terraza, apoyado en la berma, y tienda de recuerdos, en edificios de original diseño, con paredes forradas exteriormente con la misma piedra volcánica, todo ello englobado en un paisaje agrario externo, con gran presencia de chumberas (nopales o tuneras en el archipiélago), al haberse cultivado, durante más de un siglo, esta xerófita, utilizada como soporte de la cría de cochinilla, para obtener el tinte natural conocido como carmín o grana.

Un caso interesante, por su eficiencia y por los resultados alcanzados, ha sido la conversión en explotación agraria de una cantera en el Clotet, Alicante, utilizada para obtención de caliza en la fabricación de cemento. Los trabajos realizados por la empresa Cemex, han hecho posible la creación de una explotación agrícola, con 110 hectáreas y más de 85.000 frutales, tras la regeneración de los terrenos, creando nueva riqueza tras la obtención de la materia prima, con utilización exclusiva de agua reciclada, para riego y uso industrial, y creación de un cinturón verde que rodea la fábrica.

En el ámbito de la rehabilitación turístico-cultural destaca frecuentemente el interés geológico o paleontológico de la "ventana" abierta por la excavación minera, ofreciendo singularidades verdaderamente excepcionales, y aportando un acervo cultural de extraordinario interés, que merece la pena preservar como puntos singulares de interés geológico. Podríamos hablar de los pliegues visibles en los frentes de explotación de carbón de As Pontes (A Coruña), o la exhumación del karst tropical fósil en las minas de Cerro del Hierro (Constantina, Sevilla).

En este mismo marco se incluyen los fantásticos "paneles", sobre una superficie de unos 50.000 m^2, con las icnitas de dinosaurios del Garumniense en las minas de Berga (Barcelona), del Grupo Endesa, que constituyen el muro de las capas de carbón, y que la empresa ha cuidado de preservar y poner en valor en los taludes de la explotación a cielo abierto. Pero no sólo se trata de las huellas de grandes dinosaurios cuadrúpedos, con zancadas de 2,5 metros, y más precisamente de Titanosauridae, que son los únicos saurópodos conocidos del Cretácico Superior, también son los nidos con huevos y los propios huesos de dinosaurios. Esta aportación minera está considerada como el afloramiento de icnitas más importante del Cretácico Superior europeo, y el primero en el mundo con huellas de pisadas de estos dinosaurios, lo que justifica que se haya declarado Espai d'Interés Natural.

Por todo ello, la rehabilitación de la mina se diseñó con el objetivo de resaltar y poner en valor las huellas, y mostrar el proceso de explotación del carbón. Fue aprobado por el Departament de Medi Ambient de la Generalitat y por los municipios implicados. Desde entonces estos municipios del Alto Berguedá concibieron una alternativa económica para la zona, basada en el aprovechamiento turístico, cultural y de ocio de dichos recursos, con el proyecto de una Ruta Minera de Montaña, constituyendo el Consorci Ruta Minera.

Otra posibilidad de uso es la deportiva, de la cual existen variados ejemplos. Podemos señalar el empleo de los taludes mineros para la práctica de escalada, al constituir verdaderos rocódromos, muy útiles para este deporte, en distintos tipos de roca (granito, caliza, arenisca, conglomerado, etc.), con vías de escalada de diferentes grados de dificultad. En estos emplazamientos se ubican, con frecuencia, escuelas de escalada o actividades de promoción deportiva, gracias a su fácil acceso, y al inmejorable marco para entrenamiento y aprendizaje de esta práctica deportiva.

También tenemos ejemplos de canteras utilizadas para deportes de masas, como es la cantera de granito de A Pedreira, en la que se construyó el Estadio Municipal de Braga (Portugal), con capacidad

para más de 30.000 espectadores sentados, inaugurado como "la Joya de la Corona" en el Campeonato de Europa de Fútbol, del 2004, celebrado en Portugal.

El proyecto, obra del arquitecto Souto de Moura y del ingeniero Furtado, ha permitido sacar gran provecho a la rehabilitación ambiental. El estadio dispone sólo de gradas laterales, según el eje mayor del campo de fútbol, con un sistema de cables, de grada a grada, que sirve para tensar su estructura, dejando abiertos los espacios correspondientes a las porterías. En uno se ofrece el espectáculo de los frentes de la cantera, en sus tonalidades variadas, mientras que en el otro se abre al paisaje verde de la inmensa planicie del río Cávado, salpicada de moradas. La diferencia de cotas ha sido aprovechada para dar acceso al estadio por encima, a nivel de la montaña no excavada, y por abajo, a nivel del campo. Por otra parte se ha sabido jugar con el hormigón, para crear juegos de formas, que se encajan en la roca que lo cobija. Bajo el campo se ha construido una enorme sala, para albergar exposiciones o dar cobijo a espectáculos diversos, al tiempo que sirve de tránsito a la grada opuesta.

De rehabilitación multiuso podríamos definir las actuaciones realizadas en las canteras de s'Hostal, en Ciutadella (Menorca), donde, desde la cultura megalítica (periodo tayalótico) hasta la actualidad, se explotan areniscas calcáreas del Mioceno (marés), para extraer y tallar bloques de uso ornamental. La actividad minera cesó en 1994, y un grupo de personas de alta sensibilidad constituyó la Asociación Lithica, que ha llevado adelante el proyecto de rehabilitación, poniendo en valor uno de los principales monumentos etnológicos del patrimonio histórico menorquín, donde la roca se hace magia y armonía.

Esta Asociación, tiene su sede en la propia cantera, e incluye en sus actividades desde el estudio y difusión de las canteras entendidas como arte (esculturas en negativo), hasta su utilización multidisciplinar: talleres y cursillos; aprovechamiento de su microclima, protegido de los vientos y propicio para la conservación y reproducción de flora y fauna menorquina; conciertos y actividades culturales, como cine, danza y fiestas temáticas. Las condiciones acústicas son inmejorables, tanto para los que escuchan dentro de la cantera, como para los que no quieren verse afectados fuera de ella.

Se trata de un conjunto de pequeñas canteras, que constituyen espacios adecuados para depósitos de agua, con suelo y paredes de piedra, que ahorran cimentaciones y muros, pero también para bodegas abovedadas (celler), cubiertas por un suelo de tierra, que evita el impacto visual y proporciona protección térmica perfecta para el almacenamiento de vinos. Otras posibilidades de aprovechamiento, de estas canteras, en las que la roca se corta con hilo adiamantado, son: pistas de paddle o tenis; rocódromos; espacios para la práctica de rappel y tirolina; etc. Igualmente la propuesta se extiende a su empleo para actividades generadoras de ruido o polvo, teniendo en cuenta que las paredes actúan como pantalla acústica: pista de trial; discoteca de verano al aire libre; talleres de artesanía de la piedra;… En el recinto también se encuentra un circuito botánico, que incluye un vivero para producción de plantas autóctonas.

La rehabilitación de una antigua cantera de caliza, que se explotó desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, ha permitido la construcción del Teatro-Auditorio de Cuenca, como espacio multiuso próximo a la ciudad, inaugurado en abril de 1994, en un acto presidido por S.M. la Reina Sofía. El proyecto es obra del arquitecto José María García de Paredes, que diseñó también el Auditorio Nacional de Madrid y el Palau de la Música de Valencia. El aprovechamiento de espacios está muy logrado. Por una amplia escalera se accede a la plaza mirador, de grandes dimensiones, en la que se alza la fachada principal acristalada, que permite la contemplación del impresionante espectáculo del casco antiguo de la ciudad, sobre el espectacular tajo. La claridad es la nota dominante de este teatro-auditorio, con amplios y luminosos vestíbulos. Sus dos salas constituyen, igualmente, espacios acogedores y cómodos, a la vez que funcionales,

diseñada una para la celebración de congresos, actos institucionales, conferencias, conciertos de cámara o sinfónicos, teatro, ópera, zarzuela, ballet, etc. y la otra, con disposición semicircular, muy adecuada para simposios, seminarios, ponencias y conciertos de cámara. La amplia dotación de espacios permite utilizar el edificio para exposiciones de cuadros, colocación de vitrinas, stands, etc. Es así que la utilización de esta antigua cantera, aporta a la ciudad las facilidades de un gran equipamiento.

Otro ejemplo de rehabilitación de una cantera de caliza (explotada desde la década de 1940 hasta 1991), lo tenemos en Dalhala (Suecia), convertida ahora en magnífico auditorio al aire libre, con 4.000 asientos y una acústica espectacular. Poco después del cese de la actividad minera, Margarita Dellefords, renombrada cantante de ópera, comisionada para la búsqueda de una localización adecuada para espectáculos de ópera en verano, en Suecia, visitó la cantera ubicada en la región central de Suecia. Tan pronto se encontró delante de ella descubrió que era lo que buscaba; bajó al fondo de la cantera, hasta el agua, y no pudo resistir la tentación de comenzar a cantar la ópera Tosca.

Los diseñadores de esta transformación han encontrado el lugar perfecto para las óperas enmarcadas en la mitología de Richard Wagner. La adaptación ha costado un millón de dólares, y en 1994 se ofreció aquí el primer concierto. Los visitantes acceden a través de un camino, y al cruzar el bosque Rättvik, inesperadamente, se abre ante ellos la cantera rehabilitada, en una visión impresionante. Las gradas se

Figura 3. Auditorio en la antigua mina de caliza de Dalhala

enmarcan entre rocas, frente a un tranquilo lago de agua verde. La acústica permite que muchas óperas se realicen sin micrófonos, y el público debe permanecer en silencio total, ya que cualquier ruido se vería amplificado, e interferiría con el espectáculo; es lo que han dado en denominar "*acústica verde*", que la valoriza especialmente para conciertos sinfónicos, ópera y otros espectáculos. Dalhalla atrae ya más de 100.000 visitantes al año, y se ha estimado que supone anualmente una renta adicional de turismo de trece millones de dólares.

Junto a estos ejemplos, en los que el hombre ha realizado la rehabilitación, tenemos otros en los que ha sido la naturaleza la que ha valorizado el entorno minero. Un ejemplo de gran interés histórico y belleza paisajística, lo ofrecen las antiguas minas romanas de Las Médulas (León), con intensa minería aurífera en los primeros siglos de nuestra era. Este contexto ha sido declarado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad (1997), y con anterioridad el conjunto arqueológico-minero fue declarado Paisaje Cultural (1931).

Esta minería intensiva, probablemente entre las de mayores dimensiones del Imperio Romano, se inició en el último tercio del siglo I después de Cristo, cuando la Legio VII romana, estacionada en tierras leonesas, actúa de pacificador de mineros, esclavos y libres, aportando ingenieros, responsabilizándose de labores de prospección; construyendo canales para traer el agua y balsas donde acumularla, etc. con su mayor apogeo en la época del Emperador Trajano. Aquí la intervención minera, a lo largo de dos siglos y medio, moviendo cien millones de metros cúbicos de tierras, ha quedado enmarcada en un espectacular paisaje, en el que se mezcla el rojo de los aluviones del Mioceno, en picachos y cortados verticales, con los verdes y ocres de la densa vegetación de castaños y robles, y el azul y blanco de cielo y nubes.

Guardando algunas semejanzas, en cuanto a paisaje espectacular, podemos hablar de la rehabilitación moderna de las antiguas minas de hierro de Cabárceno en la sierra de Peña Cabarga (Cantabria), explotadas a lo largo de más de 2.000 años, con intensidad variable, y donde el mineral correspondía a un enriquecimiento por disolución kárstica de las rocas carbonatadas del Aptense Superior, con óxidos

Figura 4. Imagen actual de las minas de hierro de Cabárceno

e hidróxidos de hierro. La extracción del mineral, especialmente desde la Edad Media hasta la primera mitad del siglo XX, se realizó con métodos artesanales, dando trabajo a miles de mineros que, con pico y pala, exhumaron un magnífico karst tropical, desarrollado en pasadas épocas geológicas, con sus pasillos y corredores laberínticos, con alturas de varias decenas de metros, creando una selva de rocas que la imaginación humana no hubiese sido capaz de modelar.

Aquí vive ahora y se reproduce una variada fauna, en treinta amplios espacios, que encuentra protección, refugio y alimento, en régimen de semilibertad, rodeados de una vegetación que da vida y color a una naturaleza increíble. Entre estos animales se pueden citar a muchos antílopes africanos, jaguares, jirafas, leones, tigres siberianos y de bengala, leopardos, hienas, bisontes, elefantes, hipopótamos, rinocerontes, dromedarios, llamas, cebras, avestruces, etc., junto a la fauna de Cantabria, con lobos, ciervos, corzos, rebecos, jabalíes y la reserva más importante de osos pardos de España. Completan este espacio excepcional, varios lagos, implantados en lo que fueron explotaciones de hierro a cielo abierto, que acogen a una variada avifauna, y donde se puede practicar la pesca. Igualmente se cuenta con restaurantes y cafeterías, tiendas de recuerdos, y un reptilarium con una especializada colección de serpientes.

Sin agotar, ni mucho menos, los ejemplos de rehabilitación de minas a cielo abierto, quisiera citar al Parque das Mangabeiras, diseñado por Roberto Burle Marx, e inaugurado en 1982, al pie de la Serra do Curral, en lo que fue una mina del famoso Cuadrilátero Ferrífero. Con sus 337 hectáreas este parque público, propiedad de la Municipalidad de Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), se integra plenamente en el entorno urbano, constituyendo la mayor área verde de la ciudad, dedicada a la conservación ambiental, y escogida por la población como símbolo de Belo Horizonte. En este parque se puede disfrutar de diferentes y atractivas rutas: de las aguas, de la foresta y del Sol, que son punto de encuentro de millares de personas, y centro de innumerables actividades culturales, pero también hábitat para muchas especies vegetales y animales. En este marco el Papa Juan Pablo II celebró su misa para los jóvenes y estudiantes (1 de julio de 1980), y extasiado con la vista que se contempla desde su mirador exclamó: ¡Qué Belo Horizonte!

Rehabilitación de escombreras

Un buen ejemplo de previsión de lo que va a ser la rehabilitación, de los depósitos de estériles, lo ofrece la mina Las Cruces (Sevilla), en la que se ha diseñado un Plan de Rehabilitación basado en un proceso continuo de tratamiento progresivo, desde el comienzo de la excavación, y simultáneo con el desarrollo de la explotación, planteado de manera que las escombreras tengan morfología naturalizada, integrada en el paisaje, con alturas limitadas y pendientes suaves.

Este relieve posibilita los futuros usos del suelo, una vez concluida la operación minera, dentro del marco del desarrollo sostenible. El espacio rehabilitado ofrecerá las máximas posibilidades para futuros usos alternativos, con recuperación y mejora de la biodiversidad (reintroducción de flora autóctona, vegetación riparia en cauces desviados, etc.). En todo caso el espacio a rehabilitar se ha diseñado con las máximas posibilidades para futuros usos alternativos, de manera que se puedan implantar las acciones seleccionadas sobre las 1.100 ha del área abarcada por las actuaciones.

El Plan de Rehabilitación se ha orientado hacia el uso naturalístico, con vegetación autóctona, posibilidad de complementariedad con otros usos, y creación de un hueco de 60 Hm^3 de capacidad, utilizable como embalse para agua, almacenamiento de residuos inertes, etc.

Muchos ejemplos se pueden presentar de estas actuaciones, como es el caso de la implantación agrícola en las escombreras de la mina de lignito negro de Ayosa en el Val de Ariño (Teruel), de ENDESA, región biogeográfica caracterizada por un clima semiárido y estepario. Sobre la actual escombrera exterior, se dispone un recubrimiento de tierra vegetal procedente de zonas explotadas, y se procede a la revegetación, adaptada a la agricultura tradicional, conservando las peculiaridades paisajísticas, e implantando vegetación natural arbustiva-arbórea en los taludes. En los terrenos restaurados, además de cereal, se

realizan plantaciones de aromáticas, frutales, olivar y viñedo, demostrándose la idoneidad de los mismos para estos cultivos, haciendo partícipes de los resultados y experiencias a los agricultores de la zona.

Sin salirnos de las actuaciones de ENDESA, podemos destacar el magnífico ejemplo de rehabilitación realizado en la escombrera exterior de la mina de As Pontes de García Rodríguez (A Coruña) que, al final de su etapa de apile, se ha convertido en un montículo de casi 1.200 hectáreas, que acumulan setecientos veinte millones de metros cúbicos de estéril, el mayor depósito artificial de tierra que existe en España.

En un 65 % de su superficie se ha implantado arbolado con especies autóctonas (tanto de crecimiento lento como algo más rápido); un 21 % se ha dedicado a pastizal; un 12 % a matorral autóctono y un 2 % a superficies de agua (charcas, lagunillas y canales de borde), todo lo cual ha dado lugar a un nuevo biotopo, rico y variado en hábitat, que no ha pasado desapercibido a la fauna natural, que lo ha colonizado progresivamente pero con rapidez. Es así que se ha conseguido, en la escombrera, una rica zoocenosis, de gran valor ecológico, dado el sorprendente grado de biodiversidad alcanzado, y el elevado número de especies presentes, habiéndose restablecido y mejorado los procesos y funciones ecológicas, acogiendo muy importantes efectivos poblacionales de numerosas especies, con densidades de población superiores a las existentes en áreas naturales protegidas. En suma, se ha conseguido desarrollar un magnífico ejemplo de "vida sobre estéril", de gran valor en cuanto que su flora ha sido capaz de desplegarse con gran dinamismo.

Valorización del agua de mina

El Grupo Endesa, a través de Encasur, realiza una rehabilitación muy bien planteada en su mina de de hulla sub-bituminosa de Puertollano (Ciudad Real). Dentro de ella, y en relación con el agua, destaca la creación de una charca de alto valor ecológico.

En esta actuación, y para evitar problemas derivados de la proximidad del río Ojailén, con riesgos de inundación de labores, y la consiguiente contaminación de las aguas, se procedió a su protección, en el borde septentrional de la explotación. Con posterioridad, se construyó una pequeña balsa de decantación, para aguas de escorrentía de terrenos restaurados, de unos seiscientos metros cuadrados; construida aprovechando en parte un brazo del antiguo río Ojailén, al pie de la suave ladera que forman los terrenos restaurados. Desde el inicio la balsa no recibió prácticamente sedimentos, ya que la ladera se trataba de manera inmediata, tras el depósito de los materiales, construyendo terrazas abancaladas y revegetando su superficie para evitar la erosión.

Con el tiempo, esta balsa se ha convertido en una charca con apariencia muy natural, con aguas claras y mucha vegetación en los bordes, soporte para una fauna rica, interesante y variada, que le confiere alto valor ecológico. Esta incorporación de espacios de agua, a los terrenos rehabilitados, supone un incremento de flora y fauna y, en suma, de biodiversidad. Enriquecimiento que se produce porque aparecen plantas acuáticas, y diferentes especies de fauna (peces, anfibios, insectos, etc.), cuyo medio de vida es acuático. También porque el agua es fundamental para aportar alimento a casi toda la macrofauna terrestre, lo que le permite asentarse y aumentar su población, y porque los humedales se convierten en punto de caza para muchos animales del entorno, como numerosas aves y algunos mamíferos. Es así que en esta charca, y a través de sus observatorios, se han catalogado taxones con diferente nivel de protección: "Vulnerable", "Rara", "En Peligro", "Casi Amenazada", alguna de esta fauna bioindicadora de la buena calidad del agua.

En otros casos lo que se ha desarrollado, tras la actividad minera, son sistemas acuáticos de gran valor ecológico, como por ejemplo el humedal de la Cañada de Las Norias, en el Campo de Dalías (provincia de Almería). Aquí, para aportar suelos adecuados, para los miles de hectáreas de invernaderos bajo

Figura 5. Detalle del aspecto de las escombreras de Puertollano, Ciudad Real

plástico, se realizó una extracción masiva de arcillas y limos rojos, que dio lugar a extensas excavaciones a cielo abierto, hoy inundadas con aguas subterráneas, una vez abandonada la actividad extractiva, dando lugar a humedales permanentes en áreas endorreicas, al ir ascendiendo paulatinamente el nivel del agua, por aportes subterráneos y retorno de agua de regadío.

Se trata principalmente de dos grandes áreas húmedas independientes, en el sector central del Campo de Dalías. Este humedal tiene ahora un notable interés medioambiental, por lo que ha sido incluido en la Convención de Ramsar (1971). Los ornitólogos han identificado aquí, desde 1988, más de 165 especies avícolas, entre acuáticas y terrestres, de las que cerca de 60 nidifican en el humedal. Numerosas son especies invernantes y muchas otras son aves migratorias de paso. Entre las especies nidificantes destacan cuatro amenazadas globalmente, que han encontrado en este humedal uno de sus escasos puntos donde se reproducen con éxito.

Otro caso es la laguna de Tarelo (Sanlúcar de Barrameda, Cádiz), humedal artificial de 18 ha de extensión y algo más de 10 m de profundidad máxima, consecuencia también de una antigua explotación de arena, que se extrajo con fines agrícolas, para mejorar los suelos de las marismas. Este humedal está ahora protegido por la Junta de Andalucía, a través del Inventario de Espacios Naturales de Andalucía.

Semejante es el caso de la laguna Eucaliptal, en el Paraje Natural de la desembocadura del Guadalhorce (Málaga), antigua gravera para extracción de áridos para la construcción, que hoy es una super-

ficie de agua, de 67 ha, de gran interés ornitológico, por ser utilizada como lugar de escala hacia áreas de invernada, con gran número de especies de aves acuáticas. Asimismo, la gradación de salinidad, entre las diferentes lagunas, con influencia marina y continental, incrementa la biodiversidad del ecosistema.

Algunas de estas lagunas, sobre explotación minera, se utilizan también como cotos. Es el caso de la Laguna de la Colonia de Santa Inés (Málaga), desarrollada en un antiguo tejar para cerámica, en arcilla del Plioceno, que hoy se utiliza para cría y captura de cangrejo de río, introducido artificialmente y que prolifera sin problemas.

Son así muchas las explotaciones de áridos, en proximidades de cauces, que han dado lugar a lagunas de gran interés, siempre que se realicen en las adecuadas condiciones hidrológicas, por lo que no se justifica la negativa a estas actuaciones, si se proyectan adecuadamente.

Igualmente en estos huecos mineros inundados se han creado piscifactorías, para practicar pesca deportiva, lo que suponen su valorización. Es el caso de antiguas canteras de granito en Alpedrete (Madrid), donde es posible capturar ejemplares que, tras realizar su medición y peso, uno puede degustar en su casa.

Otra posibilidad de valoración de estas acumulaciones de agua, en huecos mineros, son las derivadas de su empleo para decantación de sólidos en suspensión de aguas de escorrentía, laminación de avenidas, acumulación de aguas de tormenta, etc.

Igualmente estas lagunas pueden y suelen prestar valiosos servicios en caso de incendios forestales, como puntos de aprovisionamiento de agua, tanto para vehículos motobomba como para helicópteros extintores. Este ha sido el caso, en diversas ocasiones, de las balsas de agua de la explotación de la mina Emma, de Encasur-Endesa en Puertollano (Ciudad Real). Todo ello sin olvidar que estas balsas tienen utilidad en episodios de sequía, para riegos de apoyo a plantaciones, y para aportar agua a la cabaña ganadera, en situación de emergencia por sequía.

Con estas perspectivas se tienen que contemplar los lagos finales, en las cortas de mina, una vez realizada su clausura, cuando su agua es de calidad, constituyendo un activo ambiental, por su aporte a la biodiversidad, especialmente en cuanto a flora y fauna, pero también por la posibilidad de almacenamiento de agua para diferentes usos. Para ello se requiere planificar las operaciones mineras, y su clausura, de forma y manera que se consiga la mejor calidad del agua en el hueco minero y su entorno.

Un caso bien estudiado, ya iniciado, es el futuro lago de la mina de As Pontes de García Rodríguez (A Coruña), que tendrá una lámina de agua de 811 hectáreas, perímetro de 15 km, profundidad máxima de 200 m, y unos 540 millones de metros cúbicos de agua almacenada.

Como colofón a este esbozo de posibilidades de recuperación de entornos mineros quiero mencionar dos ejemplos, de rehabilitación hidrológico-ambiental, que conozco en profundidad. El primero corresponde a las minas de lignito de Cottbus-Nord y Jänschwalde (Alemania), que explota Laubag, para abastecer una gran central térmica, y en las que se pone especial énfasis en cuidar los aspectos ambientales, destacando los relativos al agua y a la rehabilitación del entorno. Se trata de minas en las que hay que desmontar un recubrimiento, relativamente importante, de materiales no consolidados, sobre las capas de lignito sensiblemente subhorizontales, que se extraen selectivamente. Los materiales de recubrimiento se apilan sistemáticamente, en una minería de transferencia, conforme avanza la explotación. El agua drenada mediante sondeos perimetrales profundos, y el agua recogida en el fondo de corta (tras ser sometida a

un proceso de clarificación muy eficaz), se emplean en un 50 % para la producción de vapor y la refrigeración, el otro 50 % es vertido a los ríos Spree y Schwarze Elster. La calidad de esta agua permite la cría de peces en piscifactoría, al tiempo que alimenta a lagos con condiciones ideales para la vida de gran número de aves acuáticas (garzas, gaviotas, cisnes, cigüeñas,...).

El otro caso es la antigua mina de carbón a cielo abierto de Rother Valley (Reino Unido), en la que se ha realizado una muy buena rehabilitación multiuso. La mina fue explotada por la National Coal Borrad (1976 a 1981), sobre una superficie de 300 ha, y de ella se extrajeron 1,7 millones de toneladas de carbón de alta calidad.

Tras una amplia consulta pública, para definir el destino final del área minera, se diseñó el aprovechamiento post-mina, cubriendo tres objetivos prioritarios: crear cuatro lagos y un terreno circundante, donde desarrollar una amplia variedad de actividades recreativas, basadas en el uso del agua y el terreno; desarrollar diferentes tipos de hábitat, para acoger a las numerosas especies animales que habitan o migran a la zona; y contar con un sistema eficiente de control de avenidas, para proteger los entornos urbanos e industriales aguas abajo. Con estas bases, al finalizar la extracción de carbón, se impermeabilizó la excavación, mediante una capa de arcilla compactada, de un metro de espesor, y se llenó con agua limpia, bombeada desde un río, situado a 2,5 km de distancia. Se plantaron 480.000 árboles y arbustos, y se restauraron los edificios más emblemáticos, para albergar las instalaciones del parque. Apenas transcurridos dos años, tras finalizar la explotación minera, el parque fue inaugurado, y desde entonces recibe un número creciente de visitantes, que supera los 750.000 al año. El costo total del proyecto ascendió a cuatro millones de libras, de las cuales la Countryside Comission aportó un millón como subvención, el Consejo de Deportes aportó cincuenta mil, y el resto fue contribución de los Consejos Locales.

Se ha construido un Centro Náutico, perfectamente integrado ambientalmente, diseñado con los mismos materiales y apariencia de los edificios con más de 100 años de antigüedad. Igualmente se ha construido un Centro de Deportes Acuáticos, implantando un sistema de esquí acuático por cable fijo, con velocidad que puede variarse, y que puede ser utilizado simultáneamente por ocho esquiadores, permitiendo realizar este deporte a bajo costo, y con mínimo impacto ambiental. Por otra parte, en el lago principal desarrollan sus actividades muchos clubs locales, incluyendo buceo, exhibiciones de maquetas de barcos, competiciones de pesca, etc. En 1996 se inauguró un campo de golf de 18 hoyos, con financiación privada.

Muchas otras actividades tienen acogida en este parque: áreas recreativas para niños; cuatro campos de fútbol; un campo de *volleyball*; cursos de orientación, con amplia variedad de circuitos; ski sobre hierba en la ladera de una antigua escombrera; circuitos para bicicletas, libres de coches (dos de ellos sobre terreno llano y caminos compactados, ideales para niños, y el tercero con elevaciones de hasta 60 metros, y zonas encharcadas en la época lluviosa, especial para motocross); circuitos peatonales; áreas para barbacoas; cafetería; centros de información; tiendas de artesanías…

En los lagos se ha puesto especial énfasis en ofrecer un hábitat ideal para muchas especies de aves acuáticas, y uno de ellos está especialmente preservado para fauna salvaje, con sus orillas plantadas con vegetación apropiada, y zonas pantanosas en las que los peces desovan, las aves instalan sus nidos y los batracios completan un biotopo ideal, al tiempo que la vegetación protege frente a la erosión y favorece la sedimentación de los sólidos en suspensión. Este lago incluye una isla para anidar las aves, protegidas de cualquier depredador. Un cuidadoso control del nivel del lago provee las mejores condiciones; por ejemplo, durante la migración otoñal, se rebaja algo el nivel del agua, para hacer aflorar fangos, ricos en

pequeños invertebrados, de los que se alimentan las aves; en primavera se eleva ligeramente el nivel del agua, para dar lugar a numerosas pequeñas islas donde las aves anidan, a resguardo de los zorros que habitan en la reserva. Con todo ello la rehabilitación de este espacio minero ha dado lugar a un variado mosaico de paisajes y hábitat diferentes: humedales, lagos, praderas y bosquetes.

Por otra parte el sistema de lagos juega un papel muy importante en el control de las avenidas. Una serie de canales, situados adecuadamente, permiten derivar las aguas hacia los lagos, con la simple elevación de compuertas, lo que permite controlar hasta la crecida centenaria (un millón de metros cúbicos); sistema que ya ha sido experimentado, con éxito, en situaciones de emergencia, consiguiendo a continuación evacuar en dos días las aguas de inundación almacenadas, para volver los lagos a su situación normal.

Referencias

Fernández Rubio, R. 2007. Activos ambientales de la minería española. Cons. Sup. Col. Ingenieros de Minas. Madrid. 415 pág.

Fernández Rubio, R. 2007. Rehabilitación de espacios mineros. XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Conferencia de Clausura. Oviedo. 14 pág.

Fernández Rubio, R. 2008. El agua de mina: un activo ambiental. VII Simposio del Agua en Andalucía. IGME. Baeza. 24 pág.

PLANIFICACIÓN DE LA CIUDAD Y DEL TERRITORIO PARA UNA MAYOR SOSTENIBILIDAD

Fernando de Terán

Arquitecto urbanista
Catedrático de Urbanismo. Universidad Politécnica de Madrid
Medalla de Oro de Urbanismo de la Comunidad de Madrid
Miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando
Premio Rey Jaime I en Urbanismo, Paisaje y Sostenibilidad

Introducción

I

Más de la mitad de la Humanidad ha adoptado la forma de vida urbana.

La ciudad es el ecosistema creciente, en que viven miles de millones de hombres.

La forma actual de la ciudad produce una destructiva alteración de la biosfera.

La urbanización mundial está afectando insosteniblemente al marco biofísico.

II

¿Se pueden cambiar las características de la forma actual de vida urbana?

¿Se puede conseguir que la urbanización siga criterios de sostenibilidad?

Estamos en una situación altamente problemática.

La solución es también altamente problemática.

Referencias

- Castells, M: *La era de la información.* Alianza Editorial. Madrid. 1997.

- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: *Libro Verde del Urbanismo y la Movilidad Urbana.* Madrid. 2008.

- Comisión de Medio Ambiente. Alto Consejo Consultivo en I+D de la Presidencia de la Generalitat Valenciana: *Estrategia Mediterránea de Desarrollo Sostenible*. Valencia. 2006.

- Comisión des Communautés Européennes: *Europe 2000. Les Perdpectives de Developpement du territoire communautaire.* Luxembourg. 1991.

- Commision des Communautés Européennes: *Schéma de developpement de l´espace communautaire.* Luxembourg. 1997.

- Comunidad de Madrid: *Congreso Regiones Capitales. Planificación y Desarrollo Sostenible de las Regiones Capitales Metropolitanas.* Madrid. 2007.

- Fariña J. Y Pozueta, J.: *La movilidad en los tejidos residenciales del suburbio disperso.* En *urban nº 2.* Madrid. 1998.

- Frey, H.: *Designing the city. Towards a more sustainable urban form.* Spon. London. 1999.

- Hough, M.: *Cities and Natural Process.* Routledge. London New York. 1995.

- Indovina, F.: *La cittá difusa* . Dest. Venezia. 1990.

- Inoguchi, T.: *Cities and the Environment. New Approaches for Eco-Socities.* United Nations University Press. 1999. .

- Lund, N.: *Collage Architecture*. Ernst and Sohn. Berlín. 1990.

- Meadows, D. H. y Randers, J.: *Beyond the limits: Global collapse of sustainable future.* Earthscan. London. 1992.

- Ministerio de Medio Ambiente: *Sostenibilidad y territorio. Desafíos para la Sostenibilidad en España.* Madrid. 2007.

- Ministerio de Vivienda: *Atlas de las Áreas Urbanas de España. 2006.* Madrid. 2007.

- Koolhaas, R., Boeri, S., Sanford, K. Tazi, N. y Obrist, H. U.: *Mutaciones*. Actar. Barcelona. s. f.

- Soja, E. W.: *Postmetrópolis. Critical Studies of Cities and Regions.* Blackwells. Oxford. 2000.

- Terán, F. de: *Medio siglo de pensamiento sobre la ciudad.* Academia de Bellas Artes de San Fernando. Madrid. 2002.

- En torno a Madrid. Génesis espacial de una región urbana. Comunidad de Madrid. Madrid. 2006.

- United Nations: *World Population Prospects, World Urbanization Prospects: the 2003 revision.*

- Vegara, A. y Rivas, J. L. de las: *Territorios inteligentes*. Metrópolis. Madrid. 2004.

I – Una situación altamente poblemática

La concentración de seres humanos en un espacio limitado, acompañada de acciones de transformación y acondicionamiento, para convertirlo en una forma de *habitat* artificial, ventajoso frente al medio natural, es siempre una ingerencia en el orden natural, tanto más agresiva con él, cuanto mayor sea la población concentrada y su capacidad tecnológica de transformación.

En general, la alteración del orden natural de la biosfera por la acción humana, ha sido a lo largo de la historia, un hecho consustancial con el desarrollo de la civilización. Este desarrollo puede verse, en efecto, como una secuencia de procesos de adaptación transformadora y de extracción y explotación de recursos, seguidos de procesos de abandono de residuos y desechos. Cuando esa acción es de intensidad limitada y está espacialmente muy repartida, las condiciones naturales no sufren deterioro durable, gracias a la capacidad de incorporación de adiciones y de absorción, eliminación y regeneración del propio medio, para restituir el equilibrio ecológico preexistente. Eso ocurre, efectivamente, cuando no existen grandes concentraciones de población, al mismo tiempo que la capacidad agresiva de las tecnologías que se utilizan, es también reducida.

La situación es diferente cuando se producen grandes aglomeraciones de población, que exigen la disposición concentrada de enormes cantidades de bienes de consumo (empezando por el agua), lo cual aumenta considerablemente la necesidad de adaptaciones transformadoras del entorno territorial, de extracción y explotación de recursos, y la producción de ingentes cantidades de desechos. Si, además, la tecnología se ha perfeccionado multiplicando su eficacia, la velocidad de la acción y su agresividad, ocurre que la capacidad de incorporación, de absorción, de eliminación y de regeneración natural no es suficiente para restituir el equilibrio y se produce el deterioro del medio.

Esa es la situación actual. Como se preveía con asombro y alarma en los años sesenta, medio mundo vive en ciudades en los años 2000. Estamos en un mundo en el que la población humana, que en los últimos 200 años ha experimentado una vertiginosa aceleración en su crecimiento, ha ido concentrándose en aglomeraciones cada vez mayores. Y éstas, en las últimas etapas de su desarrollo, han acabado mostrando claramente, el reverso negativo de la imagen que las ciudades habían acumulado a lo largo de la historia, como crisoles del bienestar y de la cultura. Desgraciadamente, pueden ser vistas ahora, en cambio, como los artefactos más activa y profundamente transformadores de lo natural, más creadores de huella ecológica y más generadoras de impactos con efectos perturbadores y deteriorantes que existen en el planeta, con resultados más o menos graves según la eficacia en la aplicación de tecnologías, dedicadas ahora a paliar esos efectos y con resultados que, en gran medida, son contrarios a las formas deseables del desarrollo sostenible, ya que son altamente consumidoras de recursos escasos y limitados, de forma que comprometen el desarrollo de las generaciones futuras.

Existen desde antiguo, antecedentes que ya lo anunciaban. Podrían citarse, en la Antigüedad, la total deforestación irreversible de Islandia, para construir sus poblaciones y su flota, los efectos que sobre la red hidrográfica regional, producía el sistema de presas y acueductos de las ciudades romanas (Roma llegó a tener veintitrés para atender el alto consumo de una población acostumbrada a la termas) o, mas cerca de nosotros, el caso que ha pasado a la historia con el nombre de *el Gran Hedor*, la horrible pestilencia que no abandonó a Londres durante dos meses del año 1865, porque se colapsó la capacidad regeneradora del Támesis, a causa de la cantidad de los vertidos directos de una ciudad que ya pasaba del millón de habitantes y que tenía contaminado su subsuelo con lo que no vertía al río.

Pero la situación actual no tiene comparación posible con esos antecedentes, con más de la mitad de la población humana concentrada en ciudades de muchos millones de habitantes (muchas pasan de los diez millones) y con un ritmo de crecimiento que asegura que algunas pasarán de los veinte en el año 2025. Pero lo más grave, es que en esa fecha, al menos dos tercios de esa población urbana (que podría llegar a los 5.000 millones) viviría en las ciudades de los países pobres (Tokio será la única ciudad rica que figurará entre las diez más grandes) y va a ser difícil que exista en ellos, la capacidad económica que se

necesitaría para utilizar la adecuada tecnología, que pudiera evitar los efectos que tales aglomeraciones están produciendo ya. (1)

Hay casos sorprendentes, como el de Lagos en Africa (más de diez millones de habitantes actualmente, que serán cerca de veinticinco en 2015) o Bombay en India (más de quince millones hoy y más de veinticinco en 2015), donde no se dan las infraestructuras, ni los sistemas, ni las organizaciones, ni los recursos necesarios para sostener una población muy inferior a la actual, y que a pesar de ello, sobreviven y se multiplican exuberantemente, gracias al funcionamiento de sistemas precarios, marginales, informales e ilegales, difícilmente comprensibles desde la visión tradicional de la ciudad occidental.

También es sorprendente lo que está ocurriendo en el del Delta del Río de las Perlas, en la República Popular China, donde un grupo de cinco ciudades próximas, que suman ahora doce millones de habitantes, se prepara activamente para acoger treinta y seis millones en el año 2020, destruyendo velozmente las condiciones naturales y culturales preexistentes, gracias al paradójico florecimiento sin restricciones (dentro del comunismo) del capitalismo más desarrollista que se haya conocido.(2)

Estas son las más recientes manifestaciones de la continuación hipertrófica (con ritmos de crecimiento demográfico que hasta ahora no se habían dado) de aquel proceso que fue inicialmente potenciado por la Revolución Industrial en el mundo occidental: el crecimiento de población, acelerado entonces por el desarrollo económico y los avances médicos y sanitarios, empezó a acumularse en las ciudades a causa, fundamentalmente, de las formas de organización que fue adoptando la sociedad capitalista y su sistema de producción. Basado al principio sólo en la industria, y luego en ella y en el sector terciario, condujo inexorablemente a la gran ciudad de modelo urbano concentrado, que se fue formando desde la segunda mitad del siglo XIX y ha llegado a nuestros días, acompañada del conocido y denunciado conjunto de problemas que ese modelo ha ido creando dentro de sí misma y a su alrededor. Admirada, ensalzada con complacencia y propuesta como modelo deseable, o por el contrario, denostada y rechazada con temor, la gran ciudad concentrada ha venido siendo contemplada con cierto carácter de inevitable destino final, sacrificando incluso, muchas veces a la ciudad histórica tradicional con alteraciones tendentes a facilitar el funcionamiento dentro de ella, del mayor número posible de automóviles.

Pero lo que caracteriza a la situación actual es que, junto con la permanencia de ese modelo en la herencia recibida, y su vigencia en los impetuosos crecimientos del Tercer Mundo, se está produciendo en los países más desarrollados, un cambio de modelo urbano, que parece corresponderse con la deriva que está experimentando la organización del sistema capitalista. Se trataría de una nueva fase del desarrollo de éste, que produce su propia forma de organización del espacio, basada ahora en lo que se ha llamado el "triunfo de los flujos sobre los lugares", para identificar esa peculiar y novedosa organización económica y social, que sustenta al más avanzado sector terciario y al ocio, basada en la movilidad y la información. (3)

Organización que en lo espacial se caracteriza por estar ligada a la alta concentración de ciertas actividades en determinados sitios (de ahí la permanencia y auge del rascacielos) al mismo tiempo que se produce el desparramamiento de las demás actividades y la vivienda, en forma dispersa, invadiendo y transformando el territorio. Lo cual es posible, tanto por la agilización de la movilidad y la multiplicación de la accesibilidad, gracias a la proliferación de las infraestructuras de transporte, como por la generalización de las nuevas formas de información y comunicación. Y, por supuesto, gracias a la disponibilidad y libre consumo, de energía abundante y barata que permite mantener todo ese costoso artefacto en funcionamiento.

No es que esto sea totalmente nuevo, ya que en esa dirección venía apuntando desde hace décadas, el modelo urbano norteamericano apoyado en la irrupción masiva del vehículo privado, caracterizado por los extensos *suburbios* compuestos por viviendas unifamiliares, dotadas de uno o más coches por familia. Lo que es nuevo es que la constante exaltación del *american way of life* haya generalizado la apetencia del modelo de *vivienda soñada* en todo el mundo, incluido por supuesto, nuestro propio país, y con ello, haya contribuido poderosamente al cambio del modelo urbano.

Por tanto, en este momento, lo que se está produciendo en el mundo, es una situación claramente dual, correspondiente a dos fases de un proceso. Aunque no puede saberse si la parte del mundo que está ahora en la primera fase, tendrá una segunda fase igual a la que sigue ahora la parte del mundo que está en ella. Por una parte, en los espacios de menor desarrollo económico, un explosivo crecimiento demográfico en fase de concentración, da lugar a enormes aglomeraciones que difícilmente pueden seguirse llamando ciudades. Mientras que, en los sitios de desarrollo económico avanzado, la ciudad tradicional, que ha disminuido notablemente el ritmo de su crecimiento demográfico, pero que no sólo no ha frenado nada su crecimiento espacial, sino que ha multiplicado su consumo de espacio, ha pasado a dispersarse por el territorio, invadiéndolo y ocupándolo indiscriminadamente, en un proceso de disolución de lo tradicionalmente urbano que, por otra parte, produce la desaparición de las condiciones preexistentes de lo rural y lo natural, ya que lo que aparece no es ni campo, ni naturaleza, ni ciudad. El horizonte general que se apunta, sería un heterogéneo magma sobre el territorio, en el que las grandes infraestructuras, los grandes contenedores edificados, los elementos singulares del medio natural que todavía permanezcan perceptibles y reconocibles, constituirían los hitos visuales referenciadores de un nuevo paisaje, en el que la edificación configuraría levemente, fragmentos imprecisos de distintas clases de espacio, caracterizándose el *collage* resultante por su discontinuidad y su heterogeneidad. (4)

Todo ello configura una realidad física (y también social, por supuesto) muy compleja, cuyo conocimiento global se nos hace bastante inasequible, cuya evolución se nos hace imprevisible y cuyo entendimiento se nos vuelve cada vez más difícil. De ahí la importancia de ese esfuerzo de investigación e interpretación, realizado en un periodo reciente, por urbanistas y científicos sociales, al que hay que agradecer que nos esté ayudando a comprender lo que ocurre y puede ocurrir, con aportaciones esclarecedoras que nos están permitiendo construir una nueva visión de la ciudad y del territorio. Se trata de la obra de los grandes investigadores actuales (Hall, Castells, Friedmann, Saassen, Soja, Gram., Sechi,…) que nos han introducido en el panorama conceptual de la *postmetrópolis*, la *exópolis*, la *global city* o la *cittá difussa*, en el que ahora nos movemos, asumiendo que algo le ha sucedido a la ciudad a finales del siglo xx, diferente a todo lo que le había pasado anteriormente en la historia. (5)

En cualquier caso, puede comprobarse que si la ciudad compacta comportaba serias amenazas para el mantenimiento de las condiciones de equilibrio del marco biofísico, en el territorio en que se asentaba, lo cierto es que este nuevo modelo de ciudad dispersa o difusa, puede tener y está teniendo ya, efectos más perniciosos y destructivos para el mismo, aparte de añadir otro tipo de inconvenientes de orden social, para el desarrollo de la vida humana, debidos a las distancias a recorrer, a la fragmentación espacial, a la segregación social, a la falta de cohesión y a la desarticulación que ello crea, y otros de tipo económico, por el encarecimiento que supone, tanto en la construcción de redes infraestructurales tan extensas y ramificadas capilarmente, como en la llegada y el mantenimiento de los servicios. (Está comprobada la completa inviabilidad económica del transporte público, en esa urbanización dispersa de bajas densidades).

En primer lugar, este modelo de ciudad supone un enorme aumento de la superficie ocupada, con transformación del suelo, que cambia no sólo de uso y de naturaleza (de rural a urbano, con pérdida de espacios naturales y áreas agrícolas) sino, consecuentemente, también de condiciones materiales, al adquirir pavimentaciones (impermeables), redes de servicios y edificaciones. Simplemente esa transformación, en la escala a la que se está produciendo, constituye ya un impacto de unas dimensiones hasta ahora desconocidas.

Pero la cosa adquiere toda su importancia cuando se consideran las otras transformaciones que la urbanización de esas extensiones exige (agua, evacuación de residuos, electricidad, gas, accesos viarios, ferroviarios y aéreos, …) y la cantidad de energía que esos gigantescos entes urbano-territoriales necesitan para seguir funcionando y para seguir manteniendo el alto grado de movilidad interna y de interrelaciones con el exterior en las que se apoyan. Por eso son grandes succionadoras de recursos, generadoras de explotación y expulsoras de toda clase de desechos inservibles, en grandes cantidades, altamente contaminantes y deteriorantes, como es por ejemplo, la alta contribución a la producción de CO2 y de todos los gases causantes del efecto invernadero.

No se piense que ésta es una situación que no atañe todavía gravemente a este país. En los últimos treinta años, las ciudades españolas grandes y medias han aumentado considerablemente su extensión superficial, con proliferación de redes infraestructurales y generalización de la vivienda unifamiliar. *Se ha repetido a menudo que España es un país de urbanización tardía y de metropolización reciente, y que lo más llamativo es cómo se ha difundido en muy pocos años por el territorio español la urbanización dispersa o difusa. El largo periodo de bonanza económica desde mediados de los años noventa del siglo pasado caracterizado por crecimiento económico ininterrumpido, está siendo acompañado de un boom inmobiliario sin precedentes que entraña una también desconocida, por su extensión su intensidad, artificialización del territorio, muy consumidora de espacio y destructora de patrimonio (Troitiño, 2004: 37). No es que la vivienda unifamiliar fuese deconocida en España, aunque sí, como en todo el ámbito mediterráneo, poco abundante; la gran diferencia es que las pequeñas piezas, casi minúsculas, de ciudad-jardín de la primera mitad del siglo xx no guardan relación alguna de magnitud con la dispersión residencial masiva y el estilo "universal" que se están propagando en los últimos años. (6)*

Las cartografías realizadas por el Observatorio para la Sostenibilidad en España en 1987 y 2000 permiten medir de modo preciso el rápido crecimiento de la llamada superficie artificial (SA) debida fundamentalmente a la urbanización, cuya intensidad adquiere caracteres explosivos en determinados espacios geográficos, como en el caso de la Comunidad de Madrid, con una media cercana a las 2000 has al año, que corresponde a una tasa de crecimiento del 4% . Lo que se corresponde a su vez, con la pérdida de la misma superficie de uso agrícola. Alicante, Murcia y Valencia dan tasas medias de crecimiento anual de la SA, que van del 2´1% de Valencia, al 6,03 de Murcia, pasando por el 5% de Alicante.

Todo ello se corresponde con las nuevas superficies sustraidas al medio rural y ocupadas por esa urbanización dispersa del nuevo modelo espacial, que ha tenido una implantación fulgurante en España. De lo cual se ha podido decir con conocimiento de causa: *Los procesos dispersos de ocupación del espacio en baja densidad en las regiones urbanas, metropolitanas, periurbanas y turísticas, suponen aumentar exponencialmente la movilidad, sobre todo a través del automóvil privado, y por tanto, construir nuevas infraestructuras de transporte, generalmente de alta velocidad, … Las nuevas vías de circulación suponen barreras para la circulación de las especies, rompen los hábitats y corredores ecológicos, aumentan las resistencias al paso de los organismos y las especies …* Y concluir que por eso, la ocupación indiscriminada del territorio, *da lugar a situaciones de insostenibilidad física, económica, ecológica y paisajística*.(7) Todo

lo cual, como es obvio, descansa en la alta movilidad alcanzada gracias al incremento del parque de vehículos (sólo entre 1990 y 2003 aumentó en algo más del 60%) que ha alcanzado los índices de motorización de los más avanzados países europeos.

2- Una solución altamente problemática

La situación actual, altamente problemática, que acaba de describirse en sus aspectos físicos de hecho, no quedaría totalmente completa, sin aludir a que en ella se están produciendo elementos culturales nuevos, de reciente incorporación, que generan actitudes y visiones de la propia situación, que empiezan a formar parte de la misma y pueden llegar a influir en ella y condicionarla. Con los nuevos conocimientos que vamos teniendo de los hechos, contemplamos ahora de modo diferente los fenómenos y ello nos ayuda a configurar nuestra forma de enfocarlos y sobre todo, de enfocar una posible acción ante ellos. Ahí es donde emerge destacadamente, con un grado de reconocimiento que se va generalizando, el llamado "paradigma medioambiental", base de las propuestas de "desarrollo sostenible", apoyándose en el peso que ha ido adquiriendo toda la dimensión ecológicamente agresiva y perturbadora del proceso de desarrollo económico, al que, como hemos visto, corresponde el modelo de desarrollo urbano que se está produciendo.

Porque ahora, cada vez son menos defendibles, las dudas y reticencias anteriores, así como las acusaciones de alarmismo injustificado. Porque el deterioro es ya mucho más evidente e indisimulable. Y por eso se va admitiendo, que se plantea con urgencia, la necesidad de disminuir los impactos de la urbanización sobre el medio natural, de conservar los valores del mismo mediante su preservación rigurosa y de impulsar la adopción de formas de organización espacial que puedan reducir el consumo de suelo y la invasión del territorio y que minimicen el actual despilfarro de recursos y el trastorno del equilibrio ecológico.

Por eso ahora, cada vez más generalizadamente, se reconoce llegado el momento de un deseable *ecourbanismo* y se liga expresamente la planificación urbana y territorial con la sostenibilidad. Y por eso, también se ha entrado en una fase de restricciones normativas y de preconización de "buenas prácticas", que empiezan en la propia arquitectura. Entendiendo que los edificios, en su construcción y en su mantenimiento, consumen energía que proviene de fuentes que destruyen recursos y lo envenenan, se ha intensificado la investigación sobre la llamada "sostenibilidad arquitectónica" y sobre la "arquitectura bioclimática", con la producción y uso de nuevos materiales de construcción y la incorporación de energías renovables, con dispositivos de absorción de CO2 y producción de oxígeno, con recogida y reciclado de aguas y con un estudio de la organización de todo el edificio, de modo que no sólo sea menos exigente de consumo de energía, sino que incorpore formas de autoabastecimiento. Se ha llegado, incluso, a la construcción de edificios que producen más energía de la que consumen.

Del mismo modo, hay abiertas en todo el mundo, líneas de investigación en relación con la "ciudad sostenible" y se está produciendo una extensión de las llamadas "buenas prácticas", que se procura sean difundidas y conocidas con premios y reconocimientos. Capítulo fundamental es el dedicado a las formas de tratar la circulación, responsable de la proliferación infraestructural, de la congestión, de la contaminación atmosférica y del deterioro físico de la ciudad y del territorio, de acuerdo con lo que también se ha llamado "movilidad sostenible": eliminación en determinados espacios, restricción de la privada y aumento del transporte público, peaje urbano, regulación de estacionamiento, potenciación de los recorridos peatonales y de carril-bici, etc.

Pero este tema conduce al más general de la planificación de la ciudad, con disposiciones tales como organizar las áreas de vivienda y actividad en torno a las estaciones del transporte colectivo, poner estacionamientos disuasorios, introducir cambios en la morfología arborescente y capilarizada (reconduciéndola a la reticular) de la red viaria, propiciar la mezcla de actividades y usos del suelo (vivienda, comercio, servicios e incluso industria limpia de bajo impacto ambiental) reduciendo distancias entre ellos, y… ¡volver a la ciudad compacta que reduzca el número de viajes generado por la vivienda unifamiliar en áreas extensas de baja densidad! Todo lo cual está siendo tenido en cuenta en la práctica actual de la planificación urbanística habitual.

Ahí se inscribe también la poderosa corriente que incluye en esa práctica planificadora, la rehabilitación de la ciudad antigua, que se ha revelado como una forma muy satisfactoria de *habitat*, recuperando sus espacios deteriorados, sustituyendo usos y actividades, renovando su aspecto, peatonalizando fragmentos, creando plazas, jardines y lugares atractivos. Hay experiencias muy hermosas y concluyentes al respecto, en las que la mejora de la calidad ambiental de la ciudad antigua ha supuesto una exitosa revitalización verdaderamente importante.

Y, por supuesto, está también la renovada atención a la ordenación del territorio, reclamada ahora por la agresión (y regresión) producida en las áreas de valor agrícola, paisajístico o ecológico. En este tema es unánime el acuerdo sobre la conveniencia de introducir articulación y estructura en esos desarrollos inorgánicos que se están produciendo, favoreciendo compactaciones y concentraciones de población y de servicios para propiciar una organización polinuclear. Con independencia de las normas locales, de los planes urbanísticos y de las medidas que se ensayan en cada ciudad o en cada país, merece la pena señalar que existen al respecto, algunas directivas generales.

En la Unión Europea, cabe recordar que la *Estrategia Territorial Europea*, acordada por los ministros responsables de la ordenación del territorio en 1999, (con el fin de ir hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE) así como en la *Comunicación de la Comisión sobre una Estrategia Temática para el Medio Ambiente*, plantea la necesidad de volver a un modelo de ciudad compacta organizada policéntricamente en el territorio y advierte de los graves inconvenientes de la urbanización dispersa: impacto ambiental, segregación social, desorganización funcional e ineficiencia económica por los elevados costos energético, de construcción y mantenimiento de infraestructuras y de prestación de servicios públicos.

Ya antes, la Carta de Alborg, aprobada en la Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles de 1994 por 80 autoridades locales europeas, 253 representantes de organismos internacionales, gobiernos nacionales e instituciones científicas, adquirió el compromiso de desarrollar planes de acción a favor de la sostenibilidad. Y la Conferencia de Lisboa en 1996 acordó el proceso llamado Agenda Local 21 especificando los puntos clave del programa a desarrollar localmente. Por otra parte, en 2001 se publicó el *Libro Blanco del Transporte (2001-2010)* de la Unión, recogiendo criterios y directrices para una política común que empieza por recomendar la necesidad de limitar el tráfico motorizado en las ciudades.

Existe pues, como vemos, una clara conciencia de la situación problemática en que se está produciendo la urbanización y de la necesidad de actuar para corregirla, y existe también una acción ya en marcha para ello. Podría decirse que se han sentado ya las bases, los objetivos y los presupuestos conceptuales y metodológicos de un cuerpo doctrinal para el desarrollo de la práctica de un urbanismo sostenible y que esa práctica está funcionando. Pero lo cierto es que si se compara la magnitud del problema, con la correspondiente a la respuesta adoptada, no hay más remedio que constatar una tremenda desproporción.

Porque si bien es verdad que existen esa conciencia y esa experiencia, no lo es tanto que sea tan general como sería necesaria, ni suficientemente operativa.

En realidad, puede constatarse fácilmente que no está tan avanzada, en la opinión pública general, la convicción de que las formas actuales del desarrollo urbano no sean sostenibles. Es parecido a lo que ocurre con el tema del calentamiento global, sobre el que siguen existiendo incredulidades y reticencias, cuando no insensatos intereses, lo que lleva a que algunos países no lleguen a aprobar el Protocolo de Kyoto. Por ello, mucho de lo que acabamos de señalar, en relación con el problema urbano, se queda en declaraciones de principios y de buenas intenciones. O en una práctica muy reducida cuantitativamente, realmente poco significativa. Porque no existe suficiente comprensión, ni presión social, ni decidida voluntad política.

¿Cómo avanzar? ¿Cómo aumentar el acuerdo general sobre lo que se debe hacer? ¿Y cómo lograr que se acepte el precio que habría que pagar? Porque ese precio no sólo implica la asignación y dedicación de recursos económicos importantes, sino que requiere la disposición de mecanismos jurídicos y administrativos de inevitable carácter coercitivo, a favor de unos principios entre los cuales figura especialmente el que se refiere a la limitación del derecho de uso indiscriminado del suelo por su propietario, para impedir que haga un uso inconveniente de él. Y no todo el mundo está dispuesto a que se pague ese precio, ni todo el mundo está de acuerdo en lo que es conveniente o inconveniente.

Entramos así claramente en el terreno ideológico y político de la cuestión. Cuando se defiende quitar al suelo cualquier limitación de uso, cualquier determinación, cualquier control, alegando que el mercado es quien le asigna el uso más conveniente, se hace desde una opción ideológica, frente a otra opción ideológica, según la cual no se puede renunciar al control social del uso del suelo, de acuerdo con valores y criterios de bien público y bienestar social, por lo que se impone una cierta corrección del mercado. Es la eterna discusión entre liberalismo y regulación, dentro de la que siempre se ha movido la planificación del desarrollo urbano. Veamos muy esquemáticamente, cómo se ha producido al respecto la experiencia histórica y cual es la situación actual.

La aparición del urbanismo moderno puede separarse de una relativa superación del *laissez faire*, a finales del siglo XIX y principios del XX, por normas reguladoras de la salubridad pública y de la construcción de la vivienda. Y la teoría urbanística, salvo algunas excepciones como la de Le Corbusier, se pronunció desde el principio contra la hipertrofia urbana, a favor de la desconcentración y del equilibrio entre ciudad y campo. Toda una primera fase histórica de elaboración de planes urbanísticos, hasta la mitad del siglo XX, se desarrolló sobre el rechazo del crecimiento de la gran ciudad y planteando estrategias para detenerlo, desde Ebenezer Howard hasta los primeros planes reguladores de Londres, París o Madrid en los años cuarenta, pasando por la etapa del "desurbanismo" soviético en los treinta.

Pero ya en los sesenta hubo que renunciar a esa utopía, contraria al desarrollo de unas tendencias inscritas, al parecer, en la evolución natural de la sociedad moderna. Con independencia del régimen político (la monarquía democrática inglesa, el totalitarismo soviético o la dictadura española) no hubo suficiente convicción o fuerza política para imponer las directrices de esos planes y evitar el gran crecimiento de Londres, Moscú o Madrid, que multiplicaron su población y ampliaron sus extensiones superficiales. Se pasó así a una segunda fase.

En ella ya no se rechazaba el crecimiento, ni se trataba de detenerlo. Se asumía como inevitable y se trataba de organizarlo en un amplio territorio circundante. Ejemplos insignes de ello fueron la *Estrategia del Sureste de Inglaterra*, como nuevo plan de Londres (que conservó el anillo verde del plan anterior, pero

ya no como cierre de la ciudad) y el *Esquema Director de la Región de París* (que gracias a una mantenida voluntad política, ha modelado realmente la realidad posterior, en uno de los más logrados procesos de *geografía voluntaria*). Para Madrid (desbordado por el *desarrollismo* como tantas ciudades españolas) no hubo forma de aprobar la interesante propuesta denominada *Madrid 2000*.

Y ahora puede decirse que estamos en una tercera fase, que en lo físico se caracteriza, como hemos visto, por la explosión de la ciudad y por su dispersión difusa por el territorio, rompiendo barreras, invadiendo el espacio natural y desarticulando toda estructura. En ella, la planificación urbanística y la ordenación territorial siguen planteando objetivos de coherencia espacial y de organización funcional, con voluntad de dotar de articulación a esos espacios para convertirlos, como recomienda la Estrategia Territorial Europea, en organizaciones policéntricas. Planteando también el salvamento del espacio natural no ocupado. Pero, a decir verdad, con una limitada convicción, al constatarse la escasa voluntad política de intervención, en una situación en la que, en las últimas décadas, la mayor parte de los países han optado por orientaciones políticas decididamente liberales, convencidos de las ventajas que, para su desarrollo económico, comporta ese sistema. ¿Entonces, para qué hacer planificación si no se va a aplicar?

En esta situación, la planificación urbanística, con su tradicional ambición de ordenación del territorio, de equilibrio entre ciudad y naturaleza, tiene un terreno de juego bastante reducido. Me parece que su situación es como la del médico al que no se le permite utilizar sus conocimientos, ni administrar medicamentos al paciente, y se le obliga a asistir sin intervenir, al curso natural de la dolencia. Por eso, sin renunciar a los planteamientos ambiciosos, con la ilusión de que puedan ser útiles algún dia (ahí estaría, por ejemplo, el actual estudio de la actualización del Plan Territorial de la Región de París, y otros muchos bienintencionados intentos europeos por no tirar la toalla, como en el caso del reciente Plan de Roma) su acción se ha reconducido hacia un tipo de intervenciones parciales sobre el espacio urbano, fragmentarias, espacialmente acotadas, que resultan más viables por su rentabilidad económica. Las hay verdaderamente importantes urbanísticamente, por su extensión y profundidad, capaces de influir decisivamente en el futuro de la ciudad.

En ese sentido, son conocidos los casos de los centros de Berlín, de Copenhague o de Melbourne, recuperados para el peatón con expulsión casi total del transporte privado y reconversión hermosa y espectacular del ambiente y de la población (830% ha crecido en diez años la del centro de Melbourne). Y más espectacular puede ser aún la transformación de Londres alrededor del Támesis, operación que en una década, ha cambiado el aspecto de una ciudad en la que apetece pasear y hacer vida en la calle, con la atmósfera limpia.

Entre las ciudades españolas, en general muy mejoradas en sus espacios interiores, son especialmente interesantes las experiencias de Bilbao (espectacular transformación de la Ría de lóbrego puerto industrial en parque fluvial y eje lúdico y cultural) y de Barcelona (apertura al mar de una ciudad que vivía a espaldas de él).

No cabe duda de que son éstas, unas experiencias magníficas, de resultados altamente satisfactorios para la calidad de vida en las correspondientes ciudades, las cuales han aumentado gracias a ello, su atractivo y su potencial económico. Pero ¿puede asegurarse que el balance sea positivo en relación con el problema de la sostenibilidad? Por de pronto, un dato significativo, a falta de comprobaciones sistemáticas: Londres (en la lluviosa Inglaterra) necesita más agua que la que le proporcionan todos los canales actuales, por lo que está en construcción una enorme planta desalinizadora en el estuario del Támesis, cuyo próximo funcionamiento requerirá ingentes cantidades de energía.

No me gusta hacer el papel de aguafiestas, ni hablar de la botella medio vacía cuando otros la ven medio llena. Estoy muy contento de lo bien que están Londres, Bilbao y Barcelona y yo mismo estoy trabajando en la mejora de Madrid, en ese polémico proyecto de remodelación del Paseo del Prado, que supone una reducción del 30% de la circulación rodada y un considerable aumento de la superficie peatonal y del arbolado.

Pero sin necesidad de pensar en la situación mundial, me basta con ver lo que está pasando en esa ciudad, para saber que las cosas no van muy satisfactoriamente. Como se reconoce incluso internacionalmente, (8) en los últimos veinte años, Madrid se ha convertido en una de las regiones urbanas más dinámicas de la Unión Europea, tanto en pujanza económica como en actividad sociocultural y puede llegar a ser motor económico y centro de innovación del Sur de Europa. "Sin embargo, este intenso desarrollo socioeconómico se ha sustentado en un modelo de expansión físico-espacial, que ha dado lugar a un aumento considerable de la huella ecológica en el territorio circundante que, por lo tanto, amenaza su sostenibilidad". (9)

Porque ello se está produciendo sin planificación alguna, a pesar de que la Ley de la Comunidad prescribe, desde que fue aprobada en 1984, la elaboración de un Plan Regional de Estrategia Territorial que no va a hacerse nunca, a juzgar por las actitudes políticas del gobierno autonómico, cuya presidencia ha proclamado claramente: "Tenemos un modelo liberal que está dando excelentes resultados. Máxima libertad y mínimo intervencionismo". (10) Y para que quede claro el origen de mi preocupación, deseo dejar constancia de que no soy socialista militante, ni soy ecologista militante, aunque sí me apunto a esa opción ideológica ya aludida, según la cual no se puede renunciar al control social del uso del suelo, en función de criterios de bien público (que en este caso coinciden con la defensa de un desarrollo urbano sostenible).

Lógicamente sólo puedo terminar ahora, formulando el deseo de que esta opción gane adeptos, para que, desde ella, pueda recuperarse la posibilidad de lo que enunciaba el título de esta intervención: la planificación de la ciudad y del territorio, para una mayor sostenibilidad. Por eso parece oportuna esta cita final de unos admirados compañeros de preocupaciones:

Realmente el camino hacia la sostenibilidad no es fácil, estará jalonado de inercias sociales y resistencias economicistas, y sufrirá la ausencia de liderazgo político.

No, para que la quimera de la sostenibilidad pueda ir abriéndose camino en la toma de las grandes decisiones políticas y en nuestras actividades cotidianas, será necesario un gran esfuerzo colectivo y solidario. (11)

Notas

(1).- Naciones Unidas. División de Población: *World Population Prospects, World Urbanization Prospects: the 2003 revision.*

(2).- Bernard Chang y otros: *Pearl River Delta.* En *Mutaciones*. Actar. Barcelona. S.f.

(3).- Manuel Castells: *La era de la información. La sociedad red.* Alianza Editorial. 1997. Madrid.

(4).- F. de Terán: *Medio siglo de pensamiento sobre la ciudad.* Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. 2002. Madrid.

(5).- Pueden verse al respecto, las referencias contenidas en: F. de Terán: *Resurgam. Invocación para recuperar el urbanismo y continuar el planeamiento*. En *urban, nº 1*. 1997. Madrid.

(6).- Gómez Mendoza, J.: *La ocupación del suelo.* En *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas de España.2006.* Madrid 2007.

(7).- Gómez Mendoza; J.: Idem.

(8).- Hall, P.: *Planificación y desarrollo sostenible de las Regiones Capitales Metropolitanas.* En: *Congreso Regiones Capitales. Madrid, Mayo 2006.* Publicación de la Comunidad de Madrid. Madrid. 2007.

(9).- Fernández Güell, J. M.: *Condiciones para abordar la ordenación territorial de una región urbana dinámica: el caso de la Comunidad de Madrid.* En : *I Congreso de Urbanismo y Ordenación del Territorio.* Publicación del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2008.

(10).- Aguirre, E.; *Regiones Capitales. Inauguración.* En la publicación citada en la nota 8.

(11).- Rubio, J.L., García Novo, F., Baldasano, J.M. y Martín Mateo, R.: *Estrategia Mediterránea de Desarrollo Sostenible.* Publicación de la Generalitat Valenciana. Valencia. 2006.

LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD APLICADA A PEQUEÑA ESCALA: LA RED VALENCIANA DE MICRORRESERVAS DE VEGETALES

Emilio Laguna Lumbreras

Generalitat Valenciana, Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda
Centro para la Investigación y Experimentación Forestal (CIEF)
Avinguda Comarques del País Valencià, 114. 46930 Quart de Poblet, Valencia.
laguna_emi@gva.es

Abstract

The conservation of biodiversity at low scale: the Valencian network of plant micro-reserves (Valencian Community, Spain)

The establishment and evolution of the Plant Micro-reserves Network of the Valencian Community (Spain) is explained. By mid 2008, the Valencian Community holds 273 PMRs legally declared, the most dense network of small botanical reserves worldwide. Populations for ca. 70% of the Iberian endemic flora living in the Valencian Community has been catched by this network. During the last years, the Valencian model has been exported to other Spanish regions and European and Mediterranean countries.

Keywords: *Micro-reserves, Endemic plants, Valencian Community*

Resumen

Se explica el establecimiento y evolución de la red de microrreservas vegetales (MRF) de la Comunitat Valenciana (España). A mediados de 2008 la Comunidad Valenciana alberga 273 microrreservas legalmente protegidas, constituyendo la red más densa de pequeñas reservas botánicas del planeta. La red contiene poblaciones de en torno al 70% de la flora endémica ibérica presente en la Comunidad Valenciana. A lo largo de los últimos años, el modelo valenciano ha sido exportado a otras regiones españolas y países europeos y del Mediterráneo.

Palabras clave: *Microrreservas, Flora endémica, Comunitat Valenciana*

Al Dr. Juan Peña Llopis (1976-2007),
colaborador de la red valenciana de
microrreservas vegetales y entusiasta
estudioso de la flora singular valenciana

Introducción. Marco conceptual

La palabra 'microrreserva' significa literalmente 'pequeña reserva'. En términos de conservación de la naturaleza, hace mención de modo genérico a reservas naturales de pequeña dimensión, con independencia del nombre con el que se les exprese en términos normativos en función de la legislación de cada territorio; así, muchas de las zonas de los diferentes países europeos que bien podrían considerarse como microrreservas, están legalmente protegidas como reservas naturales, monumentos naturales, etc. -v. Laguna, 2001a. Como contrapunto a esta visión técnica, se ha venido extendiendo el uso de la 'microrreserva' como figura jurídica, con nombre propio en el ámbito legislativo. El ejemplo pionero que abrió la puerta al empleo de esta figura legal es el de la red de microrreservas vegetales de la Comunitat Valenciana, al que se dedica el presente texto. Como se indica más adelante, este modelo han sido adaptado en otros territorios en función de sus necesidades de protección, gestión y marcos normativos particulares, hasta el punto que hoy podemos decir que las 'microrreservas' no son un concepto homogéneo, sino una familia de tipos de espacios protegidos en continuo crecimiento y diversificación.

Las microrreservas responden a la necesidad de establecer una proporcionalidad entre el objeto de protección y las normas que la regulan. La naturaleza no se expresa necesariamente a través de grandes unidades territoriales, como las que resultan protegidas mediante la mayoría de parques naturales o nacionales; por el contrario, son muchos los ejemplos de unidades paisajísticas de dimensiones mínimas -p.ej., islotes, lagunas temporales, etc.- o de ecosistemas que poseen suficiente grado de funcionalidad y autorregulación con tamaños relativamente reducidos -lo que denominamos como 'microhábitats'-, que resultan merecedores de protección legal. Wilson (2002) ha indicado, por ejemplo, la opción de que enclaves de dimensiones mínimas, incluso de escasos decímetros cuadrados, puedan ser objeto de formas específicas de protección; de hecho debe considerarse que una parte sustancial de la biodiversidad del planeta corresponde a pequeños organismos que se mueven en espacios muy reducidos o que son netamente sésiles -como ocurre con la mayoría de vegetales y hongos- (Wilson, 1986), lo que parece afectar muy especialmente a los táxones biológicos endémicos, de distribución natural muy restringida. Previamente, Gómez-Campo (1981) ya había expresado la conveniencia de proteger pequeños enclaves para el caso de la flora silvestre, proponiendo el término 'minirreserva', que constituye el antecedente sustancial de las actuales microrreservas. Como ejemplo, dicho autor proponía el caso del paraje de 'La Encantada' (Villarrobledo, Albacete), cuyos valores han sido detallados por Gómez-Campo & Herranz (1993), y que a la postre sería protegido de modo más reciente como microrreserva por el gobierno autonómico castellano-manchego.

La conveniencia de dar especial prioridad a la protección de la flora endémica en territorios altamente biodiversos y 'hotspots' de la diversidad vegetal ha sido señalada en trabajos como el de Cowling & McDonald (1998); otro tanto debe indicarse para las especies raras o relícticas, no necesariamente endémicas (Domínguez & al., 2003). Sin embargo, la escasa coincidencia entre necesidades de protección de

flora y redes de espacios protegidos -basados habitualmente en la declaración de pocos enclaves pero de gran superficie- parece ser un problema generalizado, según han analizado Castro & al. (1996) en el caso español; en parte, este problema ha venido derivando de las propias estructuras jurídicas, como puede verse en las revisiones realizadas para Europa por Klemm (1997) y Klemm & Shine (1996), y quizá también provenga de la importancia y prioridad que a nivel social, en todos los países, se ha dado a la conservación de organismos que necesitan grandes extensiones territoriales para asegurar su supervivencia, tal y como ocurre con muchas de las especies de aves o mamíferos más emblemáticos. En todo caso, a lo largo de las últimas décadas se ha generado una importante profusión de trabajos que plantean a nivel mundial el dilema de la elección entre grandes y pequeños espacios protegidos (Cabeza & Moilanen, 2001; Jarvinen, 1982; Lessica & Allendorf, 1992; Nantel & al., 1998; Reznicek, 1987), o su más que razonable compementariedad (Falkner & Stohlgren, 1997; Kati & al., 2004; Laguna & al., 2004a). La necesidad de ajustar la citada proporcionalidad entre objetos de protección y esfuerzos técnicos y legales necesarios para ello (v. Margules & Pressey, 2000; Margules & Usher, 1981) conlleva casi inequívocamente una solución mixta, en la que las redes de grandes espacios se complementen con otras, más densas y numerosas, de reservas naturales a pequeña escala (Laguna & al., 2004a).

La Comunitat Valenciana constituye un territorio particularmente rico en diversidad vegetal (Laguna & al., 1998), siendo una de las pocas regiones españolas en las que converge más de un 'hotspot' mundial de biodiversidad (v. Davis & al., 1994), concretamente la cordillera Bética y el macizo de Javalambre; igualmente, forma parte del núcleo de alta diversidad vegetal del Sur y Este de la Península Ibérica destacado por Médail & Quézel (1997). Destaca su elevada proporción de plantas endémicas, con 355 táxones hasta grado de subespecie considerados como endemismos ibéricos e ibero-baleáricos (Laguna & al., 1998), lo que constituye el 11,3% de la flora vascular del territorio autonómico listada por Mateo & Crespo (2003); además, hasta 60 de los anteriores táxones son exclusivos de dicha Comunitat Valenciana, lo cual confiere a la flora un papel relevante en la política regional de conservación biológica (v. Laguna, 1991). En el caso de la flora rara no endémica, la disposición de sus abundantes alineamientos montañosos -de Oeste a Este- ha favorecido la existencia de numerosos refugios poblacionales para la flora del Terciario e inicios del Cuaternario durante los periodos glaciares, tanto en lo relativo a plantas de óptimo eurosiberiano como a los relictos paleosubtropicales y de las primitivas laurisilvas ibéricas (v. Laguna & al., 1998). Esta riqueza, unida a otros elementos más abajo indicados, movieron a la formulación de una nueva figura legal de conservación, la 'microrreserva vegetal', más popularmente conocida como 'microrreserva de flora'.

Génesis de la red de microrreservas

El término 'microrreserva' se propuso por primera vez, como figura susceptible de tener un significado jurídico propio, en el documento programático 'La Comunidad Valenciana en la Europa Unida' (Laguna, 1991), donde se planteaba la posibilidad de establecer a medio plazo una red de pequeñas reservas biológicas temáticas, dedicadas en este caso a la flora silvestre, como opción para garantizar la conservación de una o más poblaciones de cada una de las plantas vasculares endémicas valencianas, así como de una parte sustancial de su flora rara no endémica propia de hábitats naturales. La figura de protección a desarrollar por el gobierno regional -Generalitat- se planteaba tras constatar a partir de numerosos estudios previos que la mayoría de tales especies singulares, ya fueran endémicas, raras o amenazadas, tendían a concentrarse selectivamente en determinados tipos de hábitats, de reducidas dimensiones (Laguna, 1994, 1999). Igualmente, se constataba que determinados microhábitats, como los roquedos verticales o

los afloramientos yesíferos, llegaban a estar habitualmente dominados por especies endémicas, a menudo amenazadas a escala macroterritorial (v. Laguna, 1996; Laguna & al., 2004b). En el diseño de esta futura red de refugios genéticos de flora silvestre se intentaron canalizar además 4 planteamientos técnicos importantes:

1) Que los terrenos naturales de dominio o utilidad públicas, gestionados por la Generalitat Valenciana, eran suficientes por su extensión y diversidad para poder dar cabida a la protección de poblaciones para todas o casi todas las especies elegidas (Laguna, 1991, 1995), por lo que el modelo de nuevo espacio protegido podía diseñarse sobre la base de una red de terrenos mayoritaria o exclusivamente públicos.

2) Que desde la comunidad científica existía un interés notable en generar una red de seguimiento a largo plazo de la flora silvestre, para analizar las tendencias poblacionales de las plantas singulares y los cambios globales del paisaje (p.ej., los resultantes del abandono del territorio rural, del cambio climático, etc.).

3) Que, desde el sector de los propietarios privados y de los ayuntamientos con terrenos no gestionados por la Generalitat, existía un interés creciente por poder gestionar sus propios terrenos con fines conservacionistas, en particular cuando los dueños de las tierras tenían una fuerte conciencia ambiental (propietarios ecologistas, profesores de enseñanza de ciencias naturales, granjas-escuela, explotaciones de agricultura ecológica, etc.). Este interés no podía ser fácilmente satisfecho, dada la falta de alternativas fáciles desde el ámbito legislativo nacional y valenciano, coincidentes de hecho con la escasez de figuras específicas de promoción en el resto de Europa (v. Shine, 1996); más bien al contrario, la legislación concentraba todo protagonismo y capacidad de decisión en las administraciones, y la capacidad expropiatoria de la que las leyes las dotaban inhibía seriamente el interés de los propietarios para proponer la protección de sus terrenos (Laguna, 2001c, 2005a,c).

4) Que la nueva figura de protección no fuera excesivamente restrictiva sobre las actividades previas de aprovechamiento del medio natural, ya que estaba ampliamente constatado que su abandono podía generar fácilmente la pérdida de biodiversidad o de las poblaciones que se pretendían conservar, si estaban ligadas a etapas sucesionales bajas del ecosistema (v. Webb, 1997), como se había observado en una parte significativa de la flora endémica valenciana (Laguna & al., 1998).

Considerando lo anterior, se diseñó una nueva figura singular de conservación, que en esencia podríamos denominar como una 'parcela protegida de seguimiento y gestión biológicas', cuya finalidad primaria, a diferencia del concepto tradicional de 'reserva natural', no era proteger a ultranza las poblaciones de especies amenazadas -aun cuando su resultado práctico pudiera serlo en muchos casos-, sino asegurar que esos sitios pudieran ser objeto de estudio y concentración de prácticas de conservación ***in situ*** de forma permanente. Por decirlo de un modo más simple, no se pretendía preservar a las especies, sino proteger su estudio y conservación activas (v. Laguna, 2002b, 2004a, 2005a,b,c), asegurando una coordinación mucho más estrecha entre gestión e investigación, aspecto sustancial para el desarrollo de cualquier política de conservación de la flora silvestre (v. Given, 1994).

Para abordar la selección de zonas e inicio del programa de protección se contó con el apoyo del programa LIFE-Naturaleza de la Comisión Europea, que cofinanció el establecimiento de la red a través de 2 proyectos LIFE en los periodos 1993-98 y 1999-2003 (Silva & al., 2008), cuyos resultados fueron siendo monitorizados y ejemplificados progresivamente por diversos grupos externos (v. Akeroyd, 1998; Raeymaekers, 2000; Padilla & Ramón, 1997), considerándolos de especial relieve en el panorama conservacionista español (Domínguez & Sáinz, 2000).

El paso sustancial para el desarrollo de la red fue la aprobación del Decreto 218/1994, de 17 de octubre, del Gobierno Valenciano, por el que se crea la figura de protección de especies denominada microrreserva vegetal (DOGV núm. 2.379, de 03.11.1994, pp. 12.948-12.951), asentando un marco jurídico novedoso a escala mundial para este tipo de reservas naturales. En esencia, las microrreservas pueden definirse como enclaves de hasta 20 hectáreas (ha.) de extensión, ricas en flora singular, donde quedan protegidas permanentemente las plantas y hongos y los sustratos naturales donde viven, pero permitiendo la continuidad de la mayoría de actividades tradicionales previas; tales enclaves se establecen sobre terrenos públicos de gestión de la Generalitat Valenciana, o sobre aquellos privados o municipales cuyos propietarios las aportan de modo voluntario e irreversible, pero comprometiéndose a ser los responsables y protagonistas de las acciones de conservación. La declaración legal se hace mediante Orden del departamento de la Generalitat con competencias ambientales -en la actualidad Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda-, e incluye el plan de gestión de la zona. Los aspectos básicos de esta figura han sido resumidos en respuestas y reglas prácticas en el trabajo de Deltoro & al. (2006a), y sus diferencias respecto de otros modelos de reservas naturales diseñadas para la flora silvestre han sido expuestas por Laguna (2001a y 2002a).

Evolución y estado de la red de microrreservas vegetales

La evolución de la red de microrreservas ha sido tratada en muchos de los trabajos ya citados, y otros más recientes como los de Laguna (2007), donde se detallan aspectos prácticos de interés: metodologías de elección de zonas (paneles de expertos, prospección por SIG, etc.), sistemas de señalización, etc.

Mapa nº 1.- Distribución de la red de microrreservas en el territorio de la Comunitat Valenciana

La declaración de las primeras microrreservas de flora se hizo a finales de 1998, y se ha sucedido a lo largo de 18 órdenes publicadas en el Diario Oficial de la Comunitat Valenciana. A mediados de 2008, el número total de microrreservas vegetales protegidas por la Generalitat Valenciana es de 273, de las que 48 (17,6%) corresponden al modelo de gestión/propiedad privada o municipal, 2 mixtas -municipal y de la Generalitat- y 223 son directamente gestionadas por la Generalitat. El grupo de microrreservas privadas constituye la red más significativa de reservas naturales no gestionadas por una administración autonómica en España, y se ha acompañado de numerosas acciones ejemplarizantes promovidas por sus dueños, como la existencia de una asociación de propietarios privados de microrreservas ('Espacios para la Vida'), la incorporación de algunas de estas zonas a iniciativas singulares de ecoturismo rural, etc. Las 48 zonas protegidas de este grupo o subred pueden dividirse a su vez en 22 municipales -sobre terrenos no declarados de Utilidad Pública, gestionados por los ayuntamientos sin intervención de la administración autonómica-, 9 de ONG y 17 de propiedad privada individualizada. Las microrreservas de este tipo disponen de un modelo de apoyo económico a través de subvenciones que huyen del concepto de subsidio (v. Laguna, 2001c); en este caso se concede una única subvención compensatoria simbólica -de valor muy inferior al del terreno en coste de mercado-, pero se le facilita posteriormente un elevado apoyo económico para las acciones de conservación que deseen realizar, en tanto tales actuaciones se diseñen por especialistas cualificados o entidades científicas.

Globalmente, se trata de la red territorial más densa de reservas botánicas a escala mundial, y sigue aumentando regularmente, aun cuando el ritmo de crecimiento ha descendido en los últimos años a medida que se han ido incrementando los techos de número de especies singulares con poblaciones incluidas en una o más microrreservas. La tabla nº 1 permite ver el ritmo de incremento en el número de zonas declaradas.

Tabla nº 1.- Evolución de la declaración de microrreservas en las 3 provincias de la Comunitat Valenciana (1998-2008)

Provincia	Nº de MR declaradas por año											SUMA
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Castellón	14	0	22	0	0	25	0	0	0	0	14	75
Valencia	0	29	18	16	22	12	0	0	16	1	0	114
Alicante	0	33	23	0	11	5	0	11	1	0	0	84
TOTAL	14	62	63	16	33	42	0	11	17	1	14	273
Acumul.	14	76	139	155	188	230	230	241	258	259	273	273

La superficie protegida por la red es de 1.918,2 ha, lo cual rinde un promedio de 7,03 ha por microrreserva, pero la mayoría de estos espacios se mueven en dimensiones más pequeñas, como puede observarse en las tablas nº 2 y 3.

Tabla nº 2.- Tamaño de las zonas declaradas hasta mediados de 2008

Tamaño (ha)	Nº de microrreservas	Superficie que ocupan (ha)
De 0,1 a 5,0	153	282,4
De 5,1 a 10,0	45	317,4
De 10,1 a 15,0	19	245,5
De 15,1 a 20,0	56	1.072,9
SUMA	273	1.918,2

Tabla nº 3.- Distribución por tamaños de las zonas de 0 a 5 ha (153 microrreservas) declaradas hasta mediados de 2008

Tamaño (ha)	Nº de microrreservas	Superficie que ocupan (ha)
De 0,1 a 1,0	61	36,6
De 1,1 a 2,0	37	52,9
De 2,1 a 3,0	20	49,0
De 3,1 a 4,0	17	62,3
De 4,1 a 5,0	18	81,6
SUMA	153	282,4

En total la red se distribuye por 135 términos municipales -en torno a ¼ del total de municipios valencianos-, guardando proporcionalidad con las zonas de mayor concentración de flora singular (Deltoro & al., 2006b). Las microrreservas de menor dimensión corresponden a menudo a enclaves de fuentes, islotes o secciones de acantilados costeros bajos; como ejemplos orientativos pueden aportarse los de Serra de Serrella-Barranc Fort (0,061 ha), Fuente del Puntalejo (0,063 ha), Illot de la Mona (0,068 ha), Molino de Papel de Castielfabib (0,098 ha), y los acantilados de Les Rotes-A (0,111 ha) o de la Cala Fustera (0,117 ha). La tabla nº 2 muestra la tendencia a un repunte de las zonas de mayor superficie (hasta 20 ha), debido tanto a la conveniencia de extensiones mayores para las microrreservas con vegetaciones forestales maduras -en especial las que requieren mayores zonas periféricas de amortiguación-, como al interés de los propietarios privados, en tanto cobran compensaciones económicas algo superiores al aportar mayores superficies a la red.

La normas de declaración de cada microrreserva establecen una lista de especies priorizadas para el censo o seguimiento regular, así como para la recolección del germoplasma (semillas, esporas, propágulos) a incorporar a bancos específicos de material vegetal de reproducción (Laguna, 2007). En total, los planes de gestión de las 273 microrreservas priorizan 1.288 poblaciones correspondientes a 527 especies, de las que 227 (43%) corresponden a endemismos ibéricos; a su vez esos 227 táxones representan el 64% del conjunto de especies endémicas peninsulares o íbero-baleáricas presentes en la Comunitat Valenciana; estas cantidades se incrementan sustancialmente al hablar de los endemismos exclusivos o

casi exclusivos valencianos, donde el porcentaje de representatividad captado por la red se sitúa en torno al 90%. De las citadas 1.288 poblaciones, 9 corresponden a briófitos, 2 a líquenes, 1 a hongos y el resto a flora vascular.

La representatividad real de la red es muy superior a la ya citada, pues se extiende además a un amplio número de táxones no priorizados para seguimiento -incluyendo otras muchas especies endémicas pero de amplia distribución peninsular-. Al menos 1.625 especies de flora vascular están presentes en una o más microrreservas, lo que implica no menos del 51,6% del elenco de flora vascular valenciana recogido por Mateo & Crespo (2003); obviamente la representatividad sería aún mayor si de dicho elenco (3.150 táxones) se extrae la flora alóctona (550 especies, 8,25% del total).

Junto al grado cuantitativo de representación de la diversidad vegetal regional, debe destacarse especialmente el cualitativo, por cuanto la red ha 'capturado' muchas de las poblaciones más reseñables a escala autonómica, nacional, europea o mundial para especies notables de flora silvestre valenciana. Destaca así la inclusión en la red de la única población mundial de *Limonium perplexum*, y de todas las poblaciones ibéricas -peninsulares o de islotes cercanos a la península Ibérica- nativas de *Medicago citrina* y *Silene hifacensis*, plantas todas ellas adscritas al Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; son significativas las especies para las cuales toda o gran parte de la población regional está incluida en la red, como ocurre con *Marsilea Astrigosa o Asplenium celtibericum,* etc., y los endemismos estrictos o casi exclusivamente valencianos que tienen protegida de este modo buena parte de su población conocida, o al menos las mejores poblaciones viables a escala mundial (p.ej., *Limonium dufourii, Silene diclinis*). En el caso de las especies de la Lista Roja de la Flora Vascular Española y el proyecto Atlas nacional de Flora Amenazada, para el cual Laguna (2004b) apunta la presencia de 80 táxones en tierras valencianas, al menos 55 (el 68,75% del total) tienen poblaciones en la red.

En relación con los hábitats, la red de microrreservas contiene representación, en distinto grado de calidad, de todos los tipos de hábitats mayores de la Directiva 92/43/CEE presentes en la Comunitat Valenciana (hasta 69 tipos diferentes). De ellos 53 (76,8% del total) están priorizados para acciones de conservación en los planes de gestión de las microrreservas.

Además de lo anterior, se ha realizado un amplio número de actuaciones de restauración de hábitats y refuerzo de poblaciones de especies singulares en el marco del proyecto 'Conservación de Hábitats Prioritarios de la Comunidad Valenciana' (v. Laguna et al., 2003a y 2004c), cuyas 226 parcelas experimentales se encuentran solapadas en más de un 45% con la red de microrreservas, y que ha conllevado trabajos de conservación en 17 tipos de hábitats, con actuaciones sintetizadas por Laguna & al. (2003b). Para obtener una idea global de estos resultados y algunos de sus ejemplos más sobresalientes, remitimos al lector al último trabajo indicado, donde podrá apreciarse la elevada diversidad de técnicas utilizadas, muchas de ellas novedosas para España.

Como complemento de todo lo anterior la red de microrreservas es objeto de un amplio número de proyectos de custodia territorial y participación local (Basora & Sabaté, 2006), así como de programas educativos y exposiciones didácticas, y sus actividades tienden a coordinarse con las de tipo académico (p.ej., existe la asignatura de libre elección 'Microrreservas de Flora', ofertada a diversas titulaciones y licenciaturas en la Universidad Politécnica de Valencia).

Extensión del concepto de red de microrreservas

El modelo valenciano se popularizó en el ámbito conservacionista español a raíz de la publicación de sus fundamentos en la revista *Quercus* (Laguna, 1995), iniciándose desde ese momento una amplia

difusión técnica a través de numerosos medios, y traspasando rápidamente las fronteras para colaborar en iniciativas para su adaptación en regiones concretas de Italia, Chipre, Egipto, Rusia (Turuta & al., 2003), Eslovenia (Laguna & al., 2005 y 2006) o Grecia (Thanos & al., 2006, 2007). Se han propuesto redes de gran envergadura siguiendo el modelo valenciano en países como Rumanía (Sarbu, 2001) o Croacia (Radulovic, 2000), pero los avances más significativos se han desarrollado sin duda en Letonia, donde la Ley de Protección de Especies y Hábitats formalizó en el año 2000 la figura de 'microrreserva', que posee especial trascendencia en la planificación forestal y la gestión de especies amenazadas de flora, fauna y hongos (v. Bara, 2003; Denina, 1999; Ek & al., 2002; LFSF, 2005; Moitiekaititiè, 2006). En España, la figura de microrreserva de flora está establecida en Castilla y León mediante decreto desde 2007, y tanto Castilla-La Mancha como Illes Balears tienen reconocida la de 'microrreserva' en sentido más amplio, para todo tipo de organismos biológicos, mediante normas con rango de Ley, respectivamente desde 1998 y 2005. En el caso balear existe además un amplio trabajo técnico en la isla de Menorca, cuyo resultado se resume en la propuesta de zonas a proteger coordinada por Fraga (2005).

El proyecto de la red valenciana de microrreservas de flora está priorizado o recomendado por diversas iniciativas y entidades supranacionales como Planta Europa, el Consejo de Europa, el programa LIFE-Naturaleza de la Comisión Europea, el programa español MAB-UNESCO, Eurosite y Europarc. Paralelamente, la figura de microrreserva ha sido específicamente recomendada en la Estrategia Europea de Conservación de Flora-ESPC 2001-2007 (Smart & al., 2002) y en la Resolución 2.68 del Congreso Mundial de Conservación de la UICN del año 2000 (UICN 2000), y constituye uno de los elementos fundamentales de apoyo del modelo de Áreas Importantes para la Flora (Important Plant Areas, IPA) en la nueva ESPC 2008-2014 (Planta Europa, 2008).

Proyección de futuro

Aunque el modelo de la red se diseñó para priorizar el estudio y conservación de la flora vascular endémica (Laguna, 2001b; Laguna & al., 2001), y por extensión la de las plantas relícticas (Serra & al., 2003), son numerosas las propuestas que apuestan por su validez para otros grupos taxonómicos de interés botánico como los líquenes (Atienza & al. 2001) o los briófitos (Gimeno & al., 2001), o para grupos temáticos completos como los 'Crop Wild Relatives', parientes silvestres de las plantas cultivadas (Laguna, 2004a; Dulloo & al., 2008; Kell & al., 2008); igualmente su utilidad se ha propuesto para la protección en bloque de comunidades vegetales singulares o muy ricas en flora amenazada (p.ej. Cerrillo & al. 2002, para la vegetación gipsícola). A estas cuestiones debe añadirse la creciente recomendación internacional de su empleo, identificando el carácter pionero y ejemplificador de la experiencia valenciana (Hamilton & Hamilton, 2006; Heywood, 2004; Heywood & Dulloo, 2005; Estrelles & al., 2004), que ayudan a incrementar el interés internacional por el conocimiento de esta iniciativa. En consecuencia cabe prever un incremento en la expansión del modelo, al tiempo que se empiezan a plantear nuevos horizontes en la propia Comunitat Valenciana, como los ya citados de la aplicación a plantas criptógamas y hongos, o la del desarrollo experimental de microrreservas marinas.

Agradecimientos

A los programas LIFE y FEOGA de la Comisión Europea, por el apoyo en el desarrollo de actividades de la red de microrreservas de flora. Al amplio equipo de técnicos gestores de flora silvestre de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda y cuantos vienen colaborando en el diseño, aprobación, vigilancia y funcionamiento de la red de microrreservas.

Referencias

Akeroyd., J. 1998. Micro-reserves 'capture' Valencia's special flora. *Plant Talk* 14: 20-24 y 33.

Atienza, V., J.G. Segarra & E. Laguna. 2001. Propuesta de microrreservas vegetales. Una alternativa para la conservación de líquenes en la Comunidad Valenciana. *Botanica Complutensis* 25: 115-128.

Bara, J. 2003. *Forest Biodiversity Protection. First Phase Report*. National Programe of Latvian Forestry and Related Sectors. Riga.

Basora, X. & X. Sabaté. 2006. *Custodia del Territorio en la práctica. Manual de introducción a una nueva estrategia participativa de conservación de la naturaleza y el paisaje*. Xarxa de Custòdia del Territori y Fundació Territori i Paisatge. Barcelona.

Cabeza, M. & A. Moilanen. 2001. Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 242-248.

Castro, I., J.C. Moreno, C.J. Humphries & P.H. Williams. 1996. Streghtening the natural and national park system of Iberia to conserve vascular plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 121: 189-206.

Cerrillo, M.I., E.D. Dana, H. Castro, M.L. Rodríguez Tamayo & J.F. Mota. 2002. Selección de áreas prioritarias para la conservación de flora gipsícola en el sureste de la península iberica. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 395-408.

Cowling, R.M. & D.J. McDonald. 1998. Local endemism and plant conservation in the Cape Floristic Region. En Rundel, P.W., G. Montenegro & F.M. Jaksic (eds.): *Landscape disturbance and biodiversity in Mediterranean-type ecosystems*: 171-188 Ecological Studies nº 136. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg.

Davis, S.D., V.H. Heywood & A.C. Hamilton (eds.). 1994. *Centres of Plant Diversity, vol. 1: Europe, Africa, South West Asia and the Middle East*. IUCN. Cambridge y Gland.

Deltoro, V. I., J. Pérez-Botella, Ll. Serra, P. Pérez-Rovira, A. Olivares, S. Fos, G. Ballester & E. Laguna. 2006a. *Plant Microreserves: frequently asqued questions*. Documento PDF en Aguilella, A., A. Ibars, E. Laguna & B. Pérez-Rocher (eds.): *Planta Europa, 4th European Conference on the Conservation of Wild Plants. Proceedings*. CD-Rom. Universitat de València y Generalitat Valenciana. Valencia.

Deltoro, V.I, P. Pérez Rovira, G. Ballester, LL. Serra, J. Pérez Botella, E. Rodríguez, C. Fabregat & E. Laguna. 2006b. A preliminary IPA proposal for the Valencia region, eastern Spain. Documento PDF en Aguilella, A., A. Ibars, E. Laguna & B. Pérez-Rocher (eds.): *Planta Europa, 4th European Conference on the Conservation of Wild Plants. Proceedings*. CD-Rom. Universitat de València y Generalitat Valenciana. Valencia.

Denina, I. 1999. *Species conservation action plan for Yellow Lady's Slipper (Cypripedium calceolus L.).* Summary. Latvian Fund for Nature. Riga.

Domínguez, F. & H. Sáinz. 2000. Flora española amenazada: Iniciativas para la conservación de un patrimonio único. *Biológica* 9: 67-70.

Domínguez, F., J.C. Moreno & H. Sáinz. 2003. Rarity and threat relationships in the conservation planning of Iberian flora. *Biodiversity and Conservation* 12: 1861-1882.

Dulloo, M.E., J. Labokas, J.M. Iriondo, N. Maxted, A. Lane, E. Laguna, A. Jarvis & S.P. Kell. 2008. Genetic Reserve location and design. En Iriondo, J.M, N. Maxted & M.E. Dulloo (eds.): *Conserving Plant Genetic*

Diversity in Protected Areas. Population management of Crop Wild Relatives: 23-64. CAB International. Wallingford.

Ek, T., U. Susko & R. Auzins. 2002. *Inventory of Woodland Key Habitats. Methodology*. Latvian State Forest Service & Regional Forestry Board of Östra Götaland-Sweden. Riga.

Estrelles, E., N. Fuentes, J. Prieto, M. Boscaiu, D. Ballesteros & A.M. Ibars. 2004. Threatened Valencian Flora: Initiatives for its conservation. En Smith, R.D. & al.. (ed.): *Seed Conservation: Turning science into practice:* 857-868. RBG Kew. Londres.

Falkner, M.B. & T.J. Stohlgren. 1997. Evaluating the contribution of small national park areas to regional biodiversity. *Natural Areas Journal* 17: 324-329.

Fraga, P. (coord.) 2005. *Proposta de microreserves de flora*. Consell Insular de Menorca. Maó. http://www.cime.es/lifeflora/descargas/microreservas.pdf

Gimeno, C., F. Puche, J.G. Segarra & E. Laguna. 2001. Modelo de conservación de la flora briológica en la Comunidad Valenciana: microrreservas de flora criptogámica. *Botanica Complutensis* 25: 221-231.

Given, D.R. 1994. *Principles and Practice of Plant Conservation*. Chapman & Hall. Londres.

Gómez-Campo, C. 1981. Conservación de recursos genéticos. In Ramos, J.L. (ed.), *Tratado del Medio Natural, vol. II:* 97-124. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Gómez-Campo, C. & J.M. Herranz. 1993. Conservation of Iberian endemic plants: the botanical reserve of La Encantada (Villarobledo, Albacete, Spain). *Biological Conservation 64: 155-160*.

Hamilton, A. & P. Hamilton. 2006. *Plant Conservation: An ecosystem approach.* Earthscan. London.

Heywood, V. 2004. *Critical global review of existing guidelines and methodologies and other relevant literature on in situ conservation of target plant species and of current activities in this area being undertaken by national and international agencies. Final draft consultation*. FAO. Roma.

Heywood, V.H. & M.E. Dulloo. 2005. *In situ conservation of wild plant species. A critical global review of good practices*. IPGRI Technical Bulletin nº 11. International Plant Genetic Resources Institute. Roma.

Kati, V., P. Devillers, M. Dufrêne, A. Legakis, D. Vokou & Ph. Lebrun. 2004. Hotspots, complementarity or representativeness? designing optimal small-scale reserves for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 120: 471-480.

Kell, S.P., E. Laguna, J.M. Iriondo & M.E. Dulloo. 2008. Population and habitat recovery techniques for the in situ conservation of plant genetic diversity. En Iriondo, J.M., N. Maxted & M.E. Dulloo (eds.): *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas. Population management of Crop Wild Relatives*: 124-168. CAB International. Wallingford.

Klemm, C. de 1997. *Comparative analysis of the effectiveness of legislation for the protection of wild flora in Europe*. Nature and Environment series nº 88. Consejo de Europa. Estrasburgo.

Klemm, C. de & C. Shine. 1996. *Legal measures for the conservation of natural areas*. Nature and Environment Series, Nº 82. Consejo de Europa. Estrasbrugo.

Järvinen, O. 1982. Conservation of endangered plant populations: single large reserves or several small reserves?. *Oikos* 38: 301-307.

Laguna, E. 1991. Los recursos de flora y fauna silvestres. En Honrubia, J. (coord.): *La Comunidad Valenciana en la Europa Unida. Vol. I: Nivel de vida, Medio Ambiente y Ordenación del Territorio*: 237-248. Presidencia de la Generalitat Valenciana. Valencia.

Laguna, E. 1994. Introducción. En Aguilella, A., J.L. Carretero, M.B. Crespo, R. Figuerola & G. Mateo: *Libro de la flora vascular rara, endémica o amenazada de la Comunidad Valenciana*: 13-28. Consellería de Medio Ambiente. Generalitat Valenciana. Valencia.

Laguna, E. 1995. Microrreservas de flora: un nuevo modelo de conservación en la Comunidad Valenciana. *Quercus* 118: 22-26.

Laguna, E. 1996. Algunos aspectos sobre el elemento endémico en la 'Flora abreviada de la Comunidad Valenciana'. *Flora Montiberica* 4: 90-95.

Laguna, E. 1999. The plant micro-reserves programme in the region of Valencia, Spain. En Synge, H. & J. Akeroyd, (eds.): *Proceedings Planta Europa 1998,. Second European Conference on the Conservation of Wild Plants*: 181-185. The Swedish Threatened Species Unit and Plantlife. Uppsala y Londres.

Laguna, E. 2001a. *The micro-reserves as a tool for conservation of threatened plants in Europe*. Nature and Environment series nº 121. Consejo de Europa. Estrasburgo.

Laguna, E. 2001b. Conservación de los endemismos de la Comunidad Valenciana: La red de microrreservas. En Gómez-Campo, C. (ed.): *Conservación de Especies Vegetales Amenazadas en la Región Mediterránea Occidental: Una perspectiva desde el fin de siglo*: 149-174. Fundación Ramón Areces. Madrid.

Laguna, E. 2001c. The network of plant micro-reserves, a multifunctional instrument for awareness raising, involving landowners and scientific research. En *Proceedings of the 2nd International Symposium of the Pan-Ecological Network: The partnership of local and regional authorities in the conservation of biological and landscape diversity (Rochefort, Belgium, 18-19 Sept 2000)*: 99-103. Consejo de Europa. Estrasburgo.

Laguna, E. 2002a. Conservación in situ: medidas preventivas y restauración de hábitats. Microrreservas de flora de Valencia. En *Jornadas sobre conservación y gestión de especies amenazadas*: 118-140. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz.

Laguna, E. 2002b. La red valenciana de microrreservas vegetales. *Boletín de la Sección del Estado Español de Europarc* 13: 24-28.

Laguna, E. 2004a. The plant micro-reserve initiative in the Valencian Community (Spain) and its use to conserve populations of crop wild relatives. *Crop Wild Relative*, 2: 10-13.

Laguna, E. 2004b. La flora vascular valenciana en la Lista Roja española. *Toll Negre*, 4: 7-22.

Laguna, E. 2005a. La red valenciana de microrreservas de flora: Concepto y desarrollo (1991-2004). En López Caballero, ed.: *Conservación de la Naturaleza en Extremadura*: 51-60. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Junta de Extremadura. Mérida.

Laguna, E. 2005b. Micro-reserves as a tool for grassland conservation and restoration in the Valencian Community (Spain). En Struchov, A. & J. Kuleshova (eds.): *Facets of Grassland Restoration*: 105-120. The Open Country Series. Biodiversity Conservation Center. Moscú.

Laguna, E. 2005c. Microrreservas, conservación 'in situ' y planes de recuperación de flora. *Recursos Rurais* 2: 81-90.

Laguna, E. 2007. The network of plant microreseves, consolidated experience from the Valencian Community (Spain). *Ensconews* 2: 12-13.

Laguna, E., M.B. Crespo, G. Mateo, S. López-Udias, C. Fabregat, Ll. Serra, J.J. Herrero-Borgoñón, J.L. Carretero, A. Aguilella & R. Figuerola. 1998. *Flora rara, endémica o amenazada de la Comunidad Valenciana*. Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana. Valencia.

Laguna, E., G. Ballester, C. Fabregat, A. Olivares, L. Serra, V. Deltoro, J. Pérez Botella, P. Pérez Rovira & J. Ranz 2001. Plant micro-reserves: a new model of micro protected areas, Spain. *Re-Introduction News* 20: 19-21.

Laguna, E., G. Ballester, A. Olivares, L. Serra, P. Pérez-Rovira, V.I. Deltoro, J. Pérez-Botella & S. Fos. 2003a. Conservation of priority habitats in the Valencian Community, Spain (Project LIFE99 NAT/E/006417). *Ecologia Mediterranea* 29(1): 109.

Laguna, E., V.I. Deltoro, S. Fos, P. Pérez-Rovira, G. Ballester, A. Olivares, LL. Serra & J. Pérez-Botella. 2003b. *Hábitats prioritarios de la Comunidad Valenciana / Priority habitats of the Valencian Community*. Conselleria de Territorio y Vivienda. Generalitat Valenciana. Valencia.

Laguna, E., V.I. Deltoro, J. Pérez-Botella, P. Pérez-Rovira, Ll. Serra, A. Olivares & C. Fabregat. 2004a. The role of small reserves in plant conservation in a region of high diversity in Eastern Spain. *Biological Conservation* 119: 421-426.

Laguna, E., G. Ballester, J. Ranz, C. Fabregat, A. Olivares, L. Serra, J. Pérez Botella, V.I. Deltoro & P. Pérez Rovira. 2004b. Valencian Micro-Reserve experience. A practical approach managing small protected, natural areas. Documento PDF en Laguna, E. (ed.): *Microhabitats Forum 2002-2003*. CD-ROM. Generalitat Valenciana, Conselleria de Territori i Habitatge. Valencia.

Laguna, E., G. Ballester, L. Serra, P. Pérez-Rovira, A. Olivares, V. Deltoro, J. Pérez Botella, S. Fos & C. Fabregat. 2004c. EU-funded project restores threatened plant habitats in Valencia, Spain. *Plant Talk* 35: 14.

Laguna, E., V.I. Deltoro, B. Lipej, M. Kaligaric & A. Sovinc (eds.) 2005. *Diversidad y conservación de los ambientes kársticos: ejemplos valencianos y eslovenos / Pestrost in ohranjanje kraške pokrajine: Primeri iz Valencije in Slovenije / Diversity and conservation of karst landscapes: Valencian and Slovenian examples*. Conselleria de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana. Valencia.

Laguna, E., V.I. Deltoro, L. Serra & P. Pérez Rovira. 2006. Taking microreserves from Spain to Slovenia". *Plant Talk* 43: 18-22.

Lessica, P. & F.W. Allendorf. 1992. Are small populations of plants worth preserving?. *Conservation Biology* 6: 135-139.

LFSF. 2005. *Management of Woodland Key Habitats in Latvia*. Latvian State Forest Service (LFSF). Riga.

Margules, C.R. & R.L. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.

Margules, C.R. & M.B. Usher. 1981. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. *Biological Conservation* 21: 79-109.

Mateo, G. & M.B. Crespo. 2003. *Claves para la determinación de la flora valenciana*. Ed. Moliner 40. Burjassot, Valencia.

Médail, F. & P. Quézel. 1997. Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 112-127.

Moitiekaititè, V. 2006. Conservation diversity of vascular plants and their communities in situ, applying the concept of ecosystem pool. *Ekologija* 2: 1-7.

Nantel, P., A. Bouchard, L. Brouillet & S. Hay. 1998. Selection of areas for protecting rare plants with integration of land use conflicts: A case study for the west coast of Newfoundland, Canada. *Biological Conservation* 84: 223-234.

Padilla, A. & A. Ramón. 1997. Planeamiento ambiental a escala de detalle: Microrreservas de flora en la Comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas* 17: 117-128.

Planta Europa. 2008. *A sustainable future for Europe. The European Strategy of Plant Conservation 2008-2014*. Planta Europa y Consejo de Europa. Salisbury.

Radulovic, G. 2000. *Abstract of Thesis MSc: Natura protection in Croatia with special emphasis on protection of rare and endangered plants*. Central European University. Budapest.

Raeymaekers, G. 2000. Plant conservation. In the beginning of a new era?. *Natura 2000*, 12: 8-10.

Reznicek, A.A. 1987. Are small reserves worthwile for plants?. *Endangered Species Update* 5: 1-3.

Sarbu, A. 2001. *Diversitatae plantelor in contextul strategiei europene da conservare a biodiversitatii*. Association of Botanic Gardens of Rumania. Bucarest.

Serra, L., P. Pérez Rovira, V.I. Deltoro, C. Fabregat, E. Laguna & J. Pérez Botella. 2004. Distribution, status and conservation of rare relict plant species in the Valencian Community. *Bocconea* 16(2): 857-863.

Shine, C. 1996. *Private or voluntary systems of natural habitats' protection and management*. Nature and Environment series Nº 85. Consejo de Europa. Estrasburgo.

Silva, J., J. Toland, W. Jones, J. Elridge, E. Thorpe, M. Campbell & E. O'Hara. 2008. *LIFE and endangered plants. Conserving Europe's threatened flora*. Comisión Europea. Bruselas.

Smart, J., Ch. Imboden, M. Harper & E. Radford (eds.). 2002. *Saving the Plants of Europe. European Plant Conservation Strategy*). Planta Europa, Consejo de Europa y Plantlife International. Londres.

Thanos, C.A., Ch. Fournaraki & P. Gotsiou. 2006. *Plant micro-reserves. Knowlede, protection, pereservation. Endangered, rare and endemic plants in Crete*. NKUA, MAICh and the Forest Directorate of Chania. Chania, Creta.

Thanos C.A, Ch. Fournaraki, K. Georghiou, P. Dimopoulos & E. Bergmeier. 2007. The Establishment, Monitoring and Management of a Pilot Network of Micro-Reserves in Western Crete for the Conservation of European Threatened Plants (CRETAPLANT Project, EU-LIFE). En Rockich, D., G. Moss, C. Yates, K. Dixon & J. Stevens (eds.): *Proceedings, MEDECOS XI Conference, Perth, Australia*: 249-250. Botanic Gardens & Parks Authority, Kings Park and Botanic Garden. Perth.

Turuta, O., V. Ryabtsev, N. Novitskaya & L. Vakarenko. 2003. Protected microhabitats as a part of the Baikal Regional Ecological Network. Documento PDF en Laguna, E. (ed.): *Microhabitats Forum 2002-2003: Electronic Conference on Conservation of Microhabitats and their Biodiversity*. CD-ROM. Conselleria de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana. Valencia.

UICN. 2000. *Resolution 2.68. Conservation of plants in Europe*. Resoluciones del Congreso Mundial de Conservación. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Amán. http://www.iucn.org/amman/content/resolutions/res68.pdf

Webb, N.R. 1997. *Study of biotopes and habitats losing wildlife interest as a result of ecological succession*. Nature and Environment series nº 91. Consejo de Europa. Estrasburgo.

Wilson, E.O. 1986. *Biodiversity*. National Academy of Sciences / Smithsonian Institute. Nueva York.

Wilson, E.O. 2002. *The future of Life*. Alfred A. Knopf Publishers. Nueva York.