

RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO NATURAL: UNA VISIÓN DESDE LA GEOLOGÍA APLICADA.

Lluís Pallí Buxó

La Constitución española establece en su artículo 45 "el derecho de todos los ciudadanos a disponer de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo". Asimismo impone la obligación, a los poderes públicos "de velar por la utilización racional de todos los recursos naturales y defender y restaurar dicho medio".

Forma parte integrante de este medio ambiente el sensible medio geológico, al cual me referiré de ahora en adelante. Las distintas actuaciones que sobre él se realizan darán respuestas, tanto positivas como negativas, que habrá que prever o en su caso corregir.

El ser humano a medida que ha evolucionado hacia una mejora de sus condiciones de vida y se ha independizado progresivamente de la naturaleza, ha ido interfiriendo con los procesos naturales; ha modificado su entorno, y a la larga ha creado situaciones que en un futuro le pueden ser desfavorables.

La acción antrópica sobre el medio natural a lo largo de los últimos siglos ha sido tan intensa que hoy en día un pretendido paisaje natural es, más bien, un paisaje humanizado. La actividad humana ha ido aumentando con el paso del tiempo, hasta el punto que en la actualidad el agente geomórfico más importante es el hombre. Él es el único capaz de comprimir miles de años de evolución normal de los cambios geológicos a tan sólo días. Y ello con la intención de producir bienes y sacar provecho para satisfacer las necesidades de la cada vez más elevada población mundial.

Los avances técnicos y científicos han comportado que la capacidad agresiva de los seres humanos haya llegado al extremo de poner en peligro el medio natural.

La explotación exhaustiva e incontrolada de los recursos que nos ofrece la naturaleza ha llegado a producir efectos dañinos, tanto primarios como secundarios, que de forma acusada afectan al medio geológico y a su patrimonio, (entendiendo como tal, todo valor singular, único e irreplicable), y cuya pérdida en la mayoría de los casos es irreparable. La transformación de una naturaleza hostil en un medio acogedor para el hombre; la obtención de recursos de distinta índole; la proliferación de redes de comunicación viaria; la construcción de ciudades y urbanizaciones; el progreso en definitiva, conduce a una degeneración del medio natural que repercute directamente en los propios seres humanos. En cierto modo los efectos negativos que la actividad antrópica ejerce sobre este medio son considerados, por parte de cierta sociedad, como el peaje que hay que satisfacer para conseguir un beneficio mal entendido y un provecho inmediato.

Ante este conflicto, los geólogos debemos definir y acotar los efectos problemáticos que resulten de estas actividades e intentar encontrar caminos para minimizarlos y eliminarlos. Todo ello para lograr una buena gestión ambiental, global e integrada, dirigida a un desarrollo sostenible del territorio.

Si bien es cierto que en algunos casos la regeneración del medio es un proceso que se desarrolla de forma natural, en el caso específico del medio geológico es muy lento, a menudo imperceptible a la escala humana.

De aquí nace el concepto de restauración, como un conjunto de actuaciones técnicas que se encaminan a devolver o restituir al medio degradado las condiciones y características que tenía en su estado inicial.

Cuando la restitución no es posible o no se adecua a los intereses del hombre, se plantea la rehabilitación o recuperación del medio, que comporta un cambio en el uso del mismo.

El restaurador debe plantearse si el estado primitivo que pretende restituir es realmente "natural" o simplemente responde a un uso antrópico previo. En este sentido es perfectamente justificable la tendencia a recuperar las zonas degradadas de forma que su estado final sea distinto al inicial. La restauración se encamina pues, a hacer útil o a adecuar el medio a los intereses del hombre, entendidos estos desde un punto de vista amplio, y no atendiendo sólo a lo inmediato.

El patrimonio natural geológico se ha visto modificado por diversas intervenciones, planificadas unas veces y sin ningún control en otras, y luego recuperado o rehabilitado, intentando restablecer en lo posible su primitivo estado de presentación o apariencia original. De entre sus numerosos campos de actuación destacaré algunos ejemplos significativos, aglutinados en las diez agrupaciones siguientes:

1.- Parques y zonas mineras

La restauración y rehabilitación de amplias zonas afectadas por antiguas actividades mineras es en la actualidad una práctica relativamente frecuente.

Un modelo destacable corresponde al Parque Natural de Cabárceno, en Cantabria. La extracción ininterrumpida de mineral de hierro, desde la época romana hasta 1989, ha permitido la exhumación, en la vertiente meridional de Peña Cabarga, al sur de la bahía de Santander, de un modelado kárstico original. El material explotado, arcillas ferríferas, se encontraba rellenando huecos y depresiones que ocultaban una verdadera "Ciudad Encantada" de más de 270 hectáreas de superficie. Una vez extraídos los depósitos superficiales que la ocultaban, se puso de manifiesto una topografía de detalle con una amplia y densa red de pasillos y callejones, consecuencia del ensanchamiento por disolución de un buen número de diaclasas. Se ponía así al descubierto todo un conjunto de formas cónicas y piramidales, a veces truncadas, con alturas que llegaban a superar los 20 m y que recordaban un karst tropical en torres.

Finalizada la explotación minera se planteó la recuperación de este espacio de indudable valor geológico como lo demuestra el hecho de haberse incluido como Punto de Interés Geológico de Cantabria- y paisajístico. Tras el estudio de varias alternativas se decidió la realización de un parque naturalista al aire libre, construyendo una red de caminos asfaltados para la visita turística en vehículos de motor. El saneamiento y limpieza de algunos taludes y la construcción de las infraestructuras necesarias para albergar distintas especies zoológicas y botánicas, completaron las actuaciones ejecutadas, las cuales totalizaron varios miles de millones de pesetas, sufragadas en parte por el Gobierno de Cantabria.

En otros espacios similares se han planteado o realizado actuaciones de este tipo. El Cerro del Hierro, en la sierra norte de Sevilla y el Parque Geominero de La Unión (Murcia), ambas explotaciones mineras abandonadas, son buenos ejemplos.

Del mismo modo, la restauración exitosa de las minas de carbón a cielo abierto de Saldes, en la vertiente del Pedraforca (Barcelona). Iniciada en 1983, comportó la estabilización de taludes, la reinstauración de perfiles morfológicos originales y la mejora del relieve en general.

De igual forma el proyecto de recuperación del futuro parque de la Arboleda (Vizcaya) contemplaba el estudio y análisis actual de su zona minera así como el diseño general y las directrices a seguir para su posterior gestión.

Asimismo la Junta de Castilla y León ha elaborado un Plan Director para la protección integral de las antiguas minas de oro romanas de las Médulas, en León. También, restauradas y recuperadas, son hoy visitables las minas neolíticas de sílex-variscita-turquesa y digisto de Can Tintoré en Gavá (Barcelona), las más antiguas de Europa excavadas en galería; y la montaña de sal de Cardona (Barcelona) declarada en su día Patrimonio de la Humanidad por la Unesco.

2.- Cavidades kársticas

Algunas técnicas de geología aplicada pueden ofrecer apoyo a la gestión y mantenimiento de ciertas cavidades subterráneas habilitadas al turismo.

En las cuevas de Carlsbad y Cottonwood, en Nuevo Méjico (E.E.U.U.) y en las de Valdemino y Castellana (Italia) son hechos destacables, entre otras actuaciones, los casos de restauración artificial de gran número de espeleotemas fracturados así como la limpieza de fondos de "gours" enterrados por obras realizadas durante la puesta a punto de la cavidad. En España también se han realizado acciones de este tipo en la Cueva de Ardales (Málaga) y en la Cueva de las Ventanas (Granada). De igual forma es interesante mencionar la recuperación de una cavidad, con restos de pinturas rupestres de gran valor, mediante la restauración de la cantera donde se situaba su boca de entrada. Tal es el caso de la Cueva de Maltravieso, situada en las afueras de la ciudad de Cáceres, al sur de esta localidad. Descubierta en 1951, corresponde a un karst estructural, originado por corrosión y con una alimentación autóctona por infiltración gravitacional del agua de lluvia. La entrada a la cueva se abre en la pared frontal de una antigua cantera, la cual durante muchos años fue utilizada como escombrera y vertedero. A la vez la propia cueva era sometida a una intensa degradación por visitantes incontrolados, pese a la existencia de una verja en la entrada, que la mayoría de las veces se encontraba forzada. Entre febrero y octubre de 1987 la Diputación Provincial de Cáceres restauró la zona de la cantera y la superficie externa situada por encima de la cueva. Con ello se logró que una de las escasas cavidades kársticas urbanas españolas se encuentre plenamente integrada al entorno de la ciudad, sirviendo para su uso recreativo y cultural.

A veces las cavidades kársticas han quedado protegidas gracias a la adición de elementos constructivos artificiales en sus bocas de entrada. La ermita de San Bernabé ha sido edificada en uno de los accesos al sistema kárstico de Ojo Guareña (Burgos), una de las mayores cavidades de la Península Ibérica, con más de 100 kilómetros conocidos y topografiados. Su construcción ha impedido el fácil ingreso en la cueva y ha evitado actos vandálicos tan comunes en muchas cavidades españolas. De esta manera se han protegido los espeleotemas y los valiosos restos arqueológicos (pinturas y huellas de pisadas del hombre prehistórico impresionadas en el barro) que se encuentran en su interior.

Capítulo aparte merece la habilitación-integración de grandes cavidades naturales, tipo galerías, para ciertas infraestructuras lineales (carreteras o ferrocarriles). En la región del Delfinado (Francia) se dan diversos tramos de carretera que aprovechan, a lo largo de



su trazado, la existencia de vacíos subterráneos kársticos para evitar los grandes costos que suponen la construcción de un túnel. Iluminación artificial y arcones supletorios en áreas de descanso, invitan al automovilista a parar y gozar de las bellezas geológicas.

En España, recientemente se ha suscitado alguna polémica al descubrirse grandes cavidades naturales en la construcción de un túnel ferroviario en Oropesa (Castellón). Mientras unos denunciaban la destrucción de las cavidades y los espeleotemas que contenían, abogando por una entera recuperación y restauración de estos y un desvío de la obra proyectada, otros en cambio pedían la plena integración de este patrimonio a la obra pública y que fuese visible mediante iluminación. Desgraciadamente, por desconocimiento o miedo, el final de estos casos excepcionales suele ser una potente capa de hormigón que sella todo el contorno de la obra proyectada. También en Italia y Croacia se ha empezado a recuperar, mediante restauración, las grandes cavidades kársticas utilizadas durante la Segunda Guerra Mundial como hangares para aviones.

3.- Infraestructuras viarias

Existe la impresión generalizada de que la construcción de carreteras y ferrocarriles sólo afecta al patrimonio natural geológico por los fuertes impactos que provocan los taludes abiertos en su trazado. Si bien esta sensación es válida en parte, no lo es menos que, a veces, este patrimonio queda más perjudicado por el sólo hecho de su desconocimiento. En otras palabras, los planificadores de infraestructuras lineales ignoran, en su mayoría, este patrimonio. Y si en el mejor de los casos es conocido e inventariado, suele no estar protegido bajo ninguna de las figuras legales existentes. De ahí que cuando se plantean diversas vías de comunicación, no se tengan en cuenta las potencialidades geológicas, desconocimiento de las cuales pueden ocasionar senos problemas, graves retrasos en la ejecución y costos añadidos.

Un ejemplo paradigmático de lo expresado, lo constituye el de la Autovía de Levante, que une Madrid con Valencia, a su paso por las llamadas Hoces del río Cabriel. Este paraje junto con el denominado "Los Cuchillos", es uno de los más extraordinarios ejemplos de morfología fluvio-kárstica de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, un auténtico punto de interés geológico y geomorfológico. Hasta el momento en que el Gobierno Central proyectó la realización de la mencionada autovía, carecía de protección alguna. El proyecto de dicha carretera, en el tramo correspondiente al embalse de Contreras, presentaba teóricamente serios problemas geotécnicos ya que se podían dar en él grandes deslizamientos, insalvables a un costo aceptable. Para solventar estas dificultades se optó por acercar el trazado a las Hoces y Los Cuchillos. De inmediato grupos de científicos y ecologistas se mostraron radicalmente en contra. El Gobierno Autónomo de la Comunidad, por la vía de urgencia, declaró la zona como espacio natural protegido entrando en conflicto frontal con el Gobierno Central. Tras numerosas controversias se eligió finalmente una alternativa diferente que implicaba la construcción de viaductos sobre el vaso del embalse. Las dificultades geológico-geotécnicas y la protección del patrimonio natural se habían situado en un mismo plano y la Administración debía aportar soluciones para evitar ambos problemas.

Otro ejemplo significativo aunque de mucha menor envergadura se dio en la construcción de la Autovía Nacional I que conecta Madrid con Burgos. El proyecto de trazado pasaba justo por encima de un pequeño pliegue tumbado, conocido popularmente como pliegue "Zaleski" por generaciones de geólogos de la Universidad Complutense de Madrid, debido a una pintada existente sobre él de dicha marca comercial. Este ejemplo de pliegue era considerado como un punto geológico de gran interés didáctico. Por ello se inició una campaña en pro de su defensa, incluyendo artículos y cartas en los principales medios de comunicación. La solución fue fácil y el coste mínimo; la carretera fue desdoblada, dejando el pliegue en el centro, y hoy es visible perfectamente desde la calzada.

4.- Áreas degradadas por residuos

Existen numerosas zonas en España que se encuentran altamente contaminadas, por vertidos procedentes de actividades industriales o mineras, actividades éstas que en la mayoría de los casos, se encuentran abandonadas o con problemas para su continuidad. El pasado apogeo minero y siderometalúrgico tuvo su contrapunto ambiental en las fuertes repercusiones sobre el medio. Y ello fue debido a los efectos que originaron las labores de producción y transformación, como consecuencia de los grandes movimientos de tierra, apilamiento de residuos contaminantes, drenajes ácidos y lavados de mineral, con graves impactos sobre las aguas superficiales y subterráneas, así como la alteración del relieve. Esta situación de deterioro ambiental, que se ha prolongado hasta nuestros días, aún después de haber transcurrido muchos años desde el cese de los trabajos, unida al actual estado de las explotaciones o de sus polígonos de transformación industrial, abandonadas en su mayor parte y sin recursos económicos para emprender las medidas correctoras necesarias, ha incidido para que la Administración empiece a actuar fijándose como meta, el mejorar la calidad ambiental de diversas zonas.

Con el fin de lograr este objetivo se ha iniciado una actuación en la margen derecha del río Tinto, ya en la confluencia con la ría de Huelva. Se ubica en las marismas del Pinar, sector de la marisma del río Tinto, situado junto al casco urbano de Huelva, muy próximas a las marismas del Odiel, declaradas Reserva de la Biosfera por la Unesco. En una superficie de 1200 ha. con 12 km de largo y 1,5 km de ancho se depositaron, durante más de 25 años, residuos industriales y urbanos los cuales dieron lugar a un vertedero que, por su superficie, volumen y tipos de residuos acumulados (cenizas de pirita 7 M Tm, fosfoyesos 12 M Tm y lodos de cenizas 2 M Tm) lo hacen único en el mundo.

En 1990 la Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Andalucía decidió restaurar este espacio. El objetivo era corregir el fuerte impacto visual, de carácter negativo, provocado por los residuos allí acumulados que habían convertido la zona en un paisaje artificial, carente de todo vestigio de vida, así como evitar una progresiva y continua contaminación del agua de la ría en las proximidades.

Descartada, por inviable, la idea de retirar los residuos, se optó por colocar sobre ellos un tapiz vegetal y crear todo un conjunto de colinas y lagunas artificiales. El resultado ha sido dispar, dependiendo de la naturaleza de los depósitos de residuos subyacentes. En la actualidad, sin embargo, continúan los vertidos en la ría de Huelva, aunque existe un plan de reducción de aportes industriales a una tercera parte para el año 2000.

Una actuación parecida se ha iniciado, con resultados desiguales, en la bahía de Portman (Murcia).

5.- Espacios costeros

La industria turística ha incidido en la extensa franja costero española y ha producido, en todo el litoral, una degradación ambiental peculiar, más intensa que en el resto del territorio. Esta industria, a menudo ligada a procesos urbanizadores incontrolados, ha ocupado, con todo tipo de construcciones, áreas de alto valor morfológico-natural, y ha afectado gravemente a zonas de playa, calas, acantilados, deltas, rías, estuarios y dunas, entre los espacios más importantes. De este modo a los agentes y procesos naturales se les ha añadido la acción antrópica la cual, en numerosas ocasiones, es la que más ha afectado a la dinámica litoral, hasta el extremo de que la mayor parte de las veces las obras de defensa se han tenido que plantear como remedio a actuaciones humanas desafortunadas. Existen muchos ejemplos de actuaciones nefastas: deficiente regulación de ríos y torrentes o represamiento de cauces con la consiguiente

interceptación del flujo de sedimentos hacia las playas; extracción directa de áridos de los lechos para utilizarlos en la construcción; eliminación de arena de la anteplaya para alimentación artificial de otros sectores; destrucción de campos dunares por masiva edificación junto al litoral; construcción de puertos y urbanización de paseos marítimos deficientemente planeados; colocación de diques y espigones en la costa mal proyectados o innecesarios; pérdidas de superficies de ribera por vertidos industriales y urbanos (recordemos el caso paradigmático de las acciones tendentes a la progresiva recuperación de la bahía de Santander que en los últimos años ha representado costes millonarios) y así un listado sin fin de agresiones a este escaso recurso que es la franja costera.

Ampliaré este apartado incidiendo en tres aspectos:

a) la regeneración de playas

La disminución e incluso desaparición de playas es un problema generalizado que ha provocado desequilibrios a gran escala en muchos sectores del litoral español.

Los ríos, principal estructura natural que alimentaba de arena la orilla del mar, han dejado de cumplir parcialmente su función. La cantidad de sedimentos que deberían arrastrar hasta las playas ha variado mucho, a causa de la extracción masiva de arenas de sus lechos con fines comerciales, sobre todo para la construcción; a la acumulación en presas, donde la arena, por colmatación, pone en peligro su funcionalidad; a la construcción de infraestructuras para evitar riadas, mecanismo natural por el cual tradicionalmente llegaba la arena hasta la desembocadura de los ríos; y a la urbanización caótica de ciertos puntos que ha anulado una serie de pequeños torrentes y rieras que afluían encauzadamente y nutrían el grosor de las playas. A estas causas principales de déficit de aportes sólidos a la línea de costa se le añadió, hasta mediados de los años ochenta, una política equivocada de construcción de instalaciones portuarias, espigones, diques y otras obras menores, que impedían el arrastre natural de la arena destinada a reponer la que perdían las playas como consecuencia del oleaje inducido y de las corrientes de deriva.

De este modo cada verano las autoridades competentes se han visto obligadas a regenerar artificialmente miles de toneladas de arena, sobre todo en las llamadas zonas turísticas, con éxitos dispares, debido a la disparidad entre la aplicación de métodos clásicos de ingeniería de costas y la falta de conocimientos de la dinámica geológico-natural de los sistemas costeros. En los casos que esta aglutinación no se ha dado, se han cosechado sonoros fracasos y se han tenido que repetir las actuaciones con los costos añadidos que ello supone. Fuengirola y Torremolinos (Málaga), Punta Umbría (Huelva), La Manga (Múrcia), Salou (Tarragona) y L'Escala (Girona) son ejemplos claros de estas discrepancias.

En el Maresme, litoral de la costa norte de Barcelona, el antiguo MOPU inició, a finales de 1986, con una inversión de más de mil millones de pesetas, toda una serie de actuaciones con el objetivo de recuperar la fisonomía que había tenido este tramo de costa en los años sesenta. El déficit de aportes de arena del río Tordera por una parte y los más de 90.000 m³ de sedimentos que se calculaban quedaban inmovilizadas anualmente por los rompeolas de los nuevos puertos de Arenys de Mar y El Masnou, habían originado la pérdida de entre 20 y 25 m de anchura de playa en una longitud de más de 60 km. Además las playas situadas al sur de estos dos puertos perdían toda la arena y para su defensa se veían totalmente ocupadas por un peine de espigones perpendiculares o por un frente de escollera longitudinal. El equilibrio dinámico que se había mantenido durante muchos años había cambiado radicalmente por efecto de las acciones humanas.

Las actuaciones de regeneración consistieron en aportar más de 2 millones de m³ de arena previamente aspirada de los fondos marinos cercanos a la costa. Si bien en principio los resultados parecían óptimos, diversos temporales ocurridos al año siguiente, en primavera y otoño, pusieron en duda su efectividad ya que las playas regeneradas

perdían arena y se reducían en un 50 %. Buena parte del sedimento desaparecido volvía otra vez a su lugar de procedencia o sea a formar bancos y barras de arena sumergidos, a 200 m de la línea de costa. Se demostraba así que su remoción y desplazamiento artificial para ayudar a formar la playa había eliminado la protección natural que tenía la preplaya de los embates de las olas, lo que permitía a éstas llegar ahora con más facilidad y fuerza a la costa.

Otra parte del sedimento se desplazaba paralelamente a la línea de costa, quedaba atrapado por las numerosas barreras artificiales - puertos y espigones- y llegaba incluso a taponar periódicamente la bocana del puerto de El Masnou.

Desde entonces otros puertos deportivos (El Balis, Mataró, Premià de Mar y Puerto Olímpico de Barcelona) se han añadido a este tramo de costa con lo que el problema se ha agravado.

¿Hay alguna solución? Quizás sí y podría venir de la mano de la técnica de regeneración de playas denominada Beach Management System la cual simula un proceso natural. En efecto dicho procedimiento se fundamenta en el principio de que la ola rompiente arrastra sedimentos en el flujo y sólo parcialmente removiliza en el reflujó ya que parte del agua se infiltra en la arena, retorna subterráneamente y por tanto no tiene capacidad de arrastre. Se trata por tanto de procurar que la zona de rompiente no se encuentre saturada lo que se logra mediante una tubería porosa enterrada a poca profundidad en la arena y un bombeo del agua que se le acumula. De esta manera el balance entre flujo y reflujó es positivo lo que se traduce en un aporte continuo de sedimento que no puede ser removido de nuevo y consecuentemente la playa se ensancha.

b) los paseos marítimos.

El paseo marítimo fue la estructura ideal para defender las playas de la expansión urbanística. Pero con los años, cierta tipología de paseo se ha convertido en el origen o catalizador de muchos procesos recesivos de las costas.

Por condiciones estéticas, para lograr una mejor visión de la playa y el mar. o por necesidades impuestas por el propio terreno, surgió una tipología de paseo marítimo que se apoyaba en muros verticales o casi verticales. En una playa, este tipo de estructura, es un elemento potencialmente desestabilizador de la misma. Sin entrar a considerar otros posibles impactos medioambientales de los paseos, como podrían ser el efecto barrera o la ocupación, fijación o detracción de áreas arenosas, el muro, siempre que esté a salvo de la acción directa del mar, no representa ningún problema. Pero cuando el oleaje alcanza la pared sufre un efecto multiplicador, al reflejarse la onda, con lo cual la capacidad de puesta en movimiento de sedimentos se ve incrementada. Ello da lugar a un fuerte proceso erosivo que puede suponer la rápida desaparición de extensas áreas arenosas además de poder provocar el hundimiento y vuelco del muro con el consiguiente daño a las estructuras o infraestructuras que se apoyan en el mismo. En resumen la presencia de elementos verticales en las playas es un riesgo potencial ya que su alcance por parte del oleaje puede ser el origen del inicio de un proceso erosivo o el catalizador del ya existente. El impacto puede ser a medio o a largo plazo.

Numerosas zonas del Levante español han sufrido este mal planteamiento en sus paseos marítimos. Citar todos los puntos conocidos haría la lista interminable. Sin embargo y afortunadamente se ha rectificado a tiempo y hoy en día la restauración de la primera línea de mar, en cuanto a paseos marítimos se refiere, se hace con buenos criterios de salvaguarda. Merece especial atención, entre otras, la actuación que hoy se lleva a cabo en el paseo marítimo de Orillamar, en la Coruña. Con una longitud de 14 km, desde la capital hasta la cala de Bens, una vez terminado será el más largo de Europa. En la actualidad ya se han terminado los 4 km que rodean la parte antigua de la Coruña. Se

han recuperado zonas de gran atractivo que se habían deteriorado; se han creado zonas de esparcimiento; se ha protegido el dominio público y se han resaltado puntos de indudable interés geológico.

c) las dunas postplaya.

Las dunas litorales son unos espacios de recreo complementarios de las playas detrás de las cuales están situadas. Aunque son edificios frágiles, juegan un importante papel de protección. Así, evitan que el agua del mar inunde las tierras que se extienden detrás de ellas (en los Países Bajos las dunas forman parte del sistema de defensa de los polders); impiden que la arena rebase el espacio estrictamente costero y amenace con cubrir los asentamientos; rompen el viento y detienen el agua salada permitiendo que el bosque se aproxime a la orilla del mar (Landas francesas, Doñana y Salou); y constituyen un obstáculo en la contaminación de las capas freáticas de agua dulce por el agua del mar salada.

Aunque el deterioro de una duna puede ser debida a causas naturales, lo más frecuente es que la destrucción tenga un origen antrópico. Su desaparición ha sido completa allí donde la arena ha sido explotada en beneficio de la industria de la construcción y allí donde han sido arrasadas para crear parcelas de tierra cerca del mar. Asimismo la excesiva presencia de peatones y de vehículos de todo tipo sobre ellas ha degradado rápidamente la vegetación de plantas psamófilas, y ha hecho migrar hacia el interior la arena liberada. También los múltiples senderos de acceso a la orilla son otras tantas brechas que fragilizan las dunas ya que el viento se cuela por ellas, convirtiéndolas en amplios corredores que las trocean y a partir de las cuales la arena se escapa. Así es como han quedado profundamente desfigurados los cordones de dunas de la mayor parte de la costa catalano-levantina.

Actualmente han surgido corrientes de defensa y/o restauración, ya que se ha demostrado que la reserva de arena que suponen, hace las veces de volante de seguridad y constituye una pieza esencial en el equilibrio de las playas.

Un ejemplo a destacar es la restauración que se verificó en las muy deterioradas dunas de la playa de Empuries (Girona) con motivo de la llegada de la llama de los Juegos Olímpicos de Barcelona. La descomposición de estas acumulaciones eólicas había sido causada por el desvío de parte del curso bajo del río Fluviá, principal aportador de arena, así como de las actuaciones antrópicas posteriores no muy afortunadas.

La restauración consistió en la plantación artificial de especies psamófilas. excelentes fijadoras de arena, siguiendo las curvas de nivel y alineadas perpendicularmente al viento marero dominante, procurando que. en la disposición final, la densidad de los granos de arena, fuese menor del lado del mar para lograr una mejor distribución. Se utilizó como abono barros residuales de estaciones depuradoras y se protegieron las plantas jóvenes con alfombras de ramajes para frenar el viento susceptible de arrancarlas. Se instalaron redes de malla fina para acumular las partículas de sedimento; se colocaron cercas para la protección de pisadas y se canalizó el paso de peatones mediante itinerarios obligados, con pasarelas fijadas sobre pilotes, encima de las dunas.

Hoy se ha convertido en un espacioso jardín donde es posible contemplar diversas morfologías de depósito eólico.

6.- Conos y cráteres volcánicos

Los conos y cráteres volcánicos son morfologías que siempre han llamado la atención cuando están bien conservados. Sin embargo sus estructuras singulares han

sido, en la mayoría de los casos, modificadas por la extracción a que se han visto sometidos sus materiales componentes, aptos todos ellos para numerosas aplicaciones.

En las Islas Canarias, estas morfologías son, obviamente, dado el origen de las mismas, mucho más frecuentes. Pero también lo es su explotación. El "picón", nombre al que se conoce a la agrupación de varios tipos de escorias, lapilli y tobas, es el material más aprovechado debido a su fácil extracción, directamente de los diversos conos, y a sus abundantes usos. También son apreciadas diferentes rocas del tipo traquita, fonolita y basalto, utilizadas todas ellas para ornamentación. Sus respectivos aprovechamientos han incidido en el deterioro de las variadas morfologías volcánicas, algunas de las cuales han finalmente podido ser protegidas de la destrucción gracias al acoplamiento de figuras extrañas a ellas como la habilitación de depósitos de agua en los cráteres.

Actualmente se está debatiendo el llamado "Proyecto Tindaya" del escultor Eduardo Chillida. Se pretende con él, el poder conjugar los intereses mineros (extracción de la piedra de Tindaya, una de las rocas ornamentales más apreciadas y valoradas de las islas Canarias), con la protección del patrimonio natural (restitución externa del cono volcánico una vez explotado) y con la defensa de la herencia cultural (salvaguarda de los yacimientos prehistóricos existentes), mediante criterios artísticos, vaciando la montaña y creando una cámara subterránea de forma cúbica en su interior, de decenas de metros de altura. Nadie, por ahora, ha planteado los problemas geológico-geotécnicos que una actuación de este tipo pueda conllevar sobre el material heterogéneo. Sin embargo la idea está lanzada y hay que esperar que se conjuguen los numerosos aspectos e intereses para poder intuir el resultado final que una obra de este tipo pueda acarrear en cuanto a la futura rehabilitación del lugar.

En la España peninsular, aunque en menor proporción, también existen edificios volcánicos bien conservados, ya sea en el campo de Calatrava, en el cabo de Gata o especialmente en la llamada región de Girona. Algunas actuaciones realizadas en ciertos sectores de esta última, han supuesto una salvaguarda para el futuro. En este sentido es de destacar el esfuerzo ejecutado en la creación del Parque Natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa, lugar donde se conjugan más de 35 conos y coladas lávicas, casi todos ellos en muy buen estado de conservación. El valor excepcional de este territorio ya fue reconocido por el Parlamento de Cataluña, el año 1982, al aprobar por unanimidad la primera ley de protección de la comunidad catalana, con el objetivo concreto, hoy en día ya alcanzado, de interrumpir las actividades mineras de extracción en todo el sector. Estas remociones habían incidido particularmente en el volcán Croscat, el más grande de la Península Ibérica de actividad estromboliana (posee una altura de 160 m y su cráter, en forma de herradura, 600 m de longitud y 350 m de anchura) y en sus tres conos adventicios.

Al tratarse del depósito homogéneo de mayores dimensiones de lapilli (o "greda" como localmente se denomina) de toda la región, el Croscat fue objeto de explotación minera a cielo abierto desde 1979. Las extracciones que supusieron un 30% de la superficie total del cono, seccionaron este volcán a modo de pastel y abrieron taludes que superan los 100 m de altura y los 500 m de longitud.

A pesar de las manifestaciones populares, antes y después de la declaración de Parque Natural, para paralizar las actividades mineras, los intereses económicos de la empresa explotadora alargaron el periodo de aprovechamiento de la greda hasta mayo de 1991. En esta fecha, la Generalitat de Cataluña compra los terrenos del volcán Croscat y colindantes y se hace cargo de su restauración.

La rehabilitación-restauración consistió básicamente en la consolidación y puesta a punto de las zonas donde habían tenido lugar las extracciones, con el objetivo de dar seguridad a las zonas destinadas a los visitantes; en la reforestación de las partes restauradas, dejando un corte vertical de arriba a abajo del cono para finalidades

pedagógicas ya que permite una observación perfecta de las distintas capas; y finalmente, en un conjunto de obras de señalización y acondicionamiento de los accesos así como la habilitación de las masías o casas de campo, que se concentran a su alrededor como pequeños museos o puntos de información.

Con el tiempo se ha comprobado que la hidrosiembra no ha sido una acción muy afortunada, ya que los piroclastos han quedado totalmente tapados. Tampoco lo ha sido el corte verticalizado ya que la caída del lapilli, al pie del talud, ha enmascarado su estratificación y ha obstaculizado su verdadera función didáctica.

También se selló el antiguo vertedero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Olot situado en su falda. La porosidad del material volcánico facilitaba la infiltración de los lixiviados al acuífero, provocando un importante problema de contaminación de las aguas subterráneas. (Hago mención de la paradójica situación que tenía lugar cuando los turistas llegaban al pie del volcán y contemplaban atónitos como su cara norte aún humeaba. Naturalmente no se trataba de un fenómeno natural sino de los gases expedidos por la combustión lenta de los residuos).

Todas estas actuaciones llevadas a cabo en el Croscat supusieron el premio FAD'95 de arquitectura e interiorismo en la modalidad de espacios exteriores.

De esta manera se ha logrado transformar una acción negativa (extracción y consiguiente deterioro del cono volcánico) en otra de positiva (aprovechamiento pedagógico del corte como ejemplo de un verdadero museo al aire libre donde es posible apreciar, en una enorme sección vertical, la estructura interna del volcán, sus periodos de actividad, sus diversos materiales expedidos y proyectados y los influjos meteorológicos que tuvieron lugar durante su emplazamiento)

7.- Zonas húmedas

Todo estanque, laguna, marisma, marjal, turbera o cualquier superficie cubierta de agua, ya sea en régimen natural o artificial, permanente o temporal, estancada o corriente, dulce, salobre o salada, incluidas las extensiones de agua marina hasta una profundidad de seis metros en marea baja, recibe el nombre de zona húmeda, según el Convenio de Ramsar de 1971.

Si bien en principio los criterios principales para determinar la importancia internacional de las zonas húmedas eran los relativos a las aves acuáticas por su carácter transfronterizo a causa de las migraciones, en la actualidad se utilizan también, entre otros, criterios geomorfológicos y geológicos. Y ello es debido a que las zonas húmedas absorben las aguas de crecida de los ríos, atenuando su intensidad; aseguran un abastecimiento del agua a lo largo del año; retienen sedimentos; mejoran la calidad del agua; recargan los niveles freáticos; son recursos paisajísticos para el turismo y el ocio y, si son litorales, protegen las costas de la erosión y son aprovechables como explotación de salinas.

En la actualidad más de cien países del mundo figuran como partes contratantes del Convenio de Ramsar el cual tutela la protección de estos espacios. El Estado español figura desde 1982 como miembro de pleno derecho y de momento ha inscrito 35 zonas húmedas en el listado de importancia internacional.

En Cataluña se encuentran el Delta del Ebro y los llamados "aiguamolls de l'Empordà" (Girona).

Estos últimos ocupan toda la franja costera de una llanura encajada en materiales fluviales y de piedemonte. Su relieve es muy suave, con pendientes en general inferiores

al O, 2% desde la cota de 10-15 m al nivel del mar. Antiguamente ocupaban, a modo de llano deltaico, los cursos bajos de los ríos Fluviá y Ter. El inicio de su evolución reciente se remontaría en el momento en que el nivel del mar alcanza su máxima transgresión. A partir de aquí los nuevos distributarios van avanzando hacia el mar formando lóbulos deltaicos y zonas de estanques. La acción del oleaje y de las corrientes de deriva crearían nuevos cordones litorales entre los que se instalarían nuevas zonas lagunares y de marisma, al buscar las aguas continentales su salida al mar.

Este idílico paisaje fue degradado por la acción antrópica; primero se desecaron las zonas húmedas para combatir el paludismo y luego se extendieron las actividades agrícolas -campos de arroz- y ganaderas, modificando totalmente el área. A mediados de los años sesenta aparece otro factor de cambio: la construcción de equipamientos turísticos en la primera línea del mar. La degradación de este paraje seguramente habría continuado hasta la actualidad a causa de la especulación urbanística, si no se hubiese llevado a cabo una amplia campaña de concienciación pública por la pérdida de esta zona de marisma.

Desde 1976, momento en que empiezan las movilizaciones populares, hasta el otoño de 1983 se suceden numerosos conflictos entre la plataforma reivindicativa y la empresa constructora, la cual disponía de la concesión de los terrenos y de la licencia de obras. El Parlamento de Cataluña aprueba finalmente por unanimidad, (Ley 21/1983, de 13 de octubre), la declaración de los "aiguamolls de l'Empordà" como Parque natural y reserva de interés nacional. Ello ha permitido reclasificar los terrenos no urbanizables necesarios y regular las extracciones de agua y las actividades agrícolas y ganaderas para la conservación de esta zona húmeda singular. Al mismo tiempo se ha logrado restaurar un paraje de interés didáctico importante, también desde el punto de vista geológico, por cuanto es posible en él reconocer los distintos ambientes morfolitológicos actuales y subactuales que han concurrido en su formación.

8.- Afloramientos paleontológicos

Los afloramientos paleontológicos, como constituyentes del Patrimonio natural-geológico también pueden ser objeto de medidas de protección especial. Citaré tan sólo tres ejemplos signicativos.

En el mes de junio de 1989 se recuperó un fragmento de tallo de helecho gigante perteneciente al género *Sigillaria* que había aparecido en el verano de 1986 en las explotaciones a cielo abierto de carbón de Santa María de Gordon (León). La pieza en cuestión, de edad estefaniense, apareció en posición de vida. Se trataba de un fragmento de molde de la parte basal del tallo, de 3,20 m de altura y 70 cm de diámetro mayor. Hoy puede contemplarse restaurado y montado en los jardines del Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Robla, tan sólo unos kilómetros al sur del lugar donde se encontró.

A finales de los años ochenta el Ayuntamiento de Teruel recuperó varios puntos de interés paleontológico al restaurar las canteras de yesos situadas al este de la ciudad y conocidas con el nombre de Los Aljezares. Dichas canteras habían sido abandonadas en su explotación y rápidamente convertidas en vertederos de escombros y basuras. Afortunadamente diversas labores de limpieza, explanación y descombro así como las barreras de acceso de camiones han evitado nuevos vertidos y permitido devolver al yacimiento del Turolense medio de Los Aljezares la importancia que desde principios de siglo había tenido.

De igual modo cabe destacar el gran esfuerzo que se lleva a cabo con el rescate y rehabilitación de numerosos yacimientos de icnitas o huellas de dinosaurio tanto en la Rioja como en distintas localidades de la provincia de Teruel, en la cuenca de Isona (Lleida) o en Fumanya (Barcelona).

9.- Espacios urbanos

Aunque es habitual que el hombre substituya "espacios naturales" por "espacios artificiales", ciertas actuaciones urbanas han permitido salvar o restituir parte del patrimonio geológico.

Podrían servir como modelos de rehabilitación "in situ" la cascada travertínica anexionada al proyecto arquitectónico urbano del parque del Palacio de Cristal en Londres o la restauración del espacio alterado por actividades mineras realizadas a cielo abierto en Lezama-Leguizamon, incorporadas a la zona periurbana de Bilbao a través de diversas actuaciones ejecutadas en el periodo comprendido entre 1988 y 1995.

10.- Monumentos naturales

Como ejemplo final de restauración - reposición pido benevolencia para explicar un caso en que he intervenido directamente. Se trata de la llamada "Pedralta", piedra caballera oscilante, de composición granítico-monzonítica, situada en la cordillera Costero Catalana. Declarada en 1972 Paraje Pintoresco, se vino abajo por causas naturales el pasado 10 de diciembre de 1996.

De forma globulosa, sus dimensiones de 6,5x5,5x3,5 m, su volumen aproximado de 34 m³ y su peso alrededor de 90Tm, la caracterizaban como la roca granítica-bamboleante de mayores dimensiones que se localizaba en España.

Presentaba, en la parte superior, diversas pías o cazoletas de erosión, de diferentes edades (60.000 años por término medio); en la parte basal, alvéolos agrupados en Taffone y espeleotemas datados en unos 5.000 años.

La megapiedra se asentaba sobre un apilamiento ordenado de bloques paralelepíedicos (canchal tipo tor) de 10 m de altura en el que es posible identificar la red de fracturas que lo compartimenta.

Su carácter bamboleante, determinado por el hecho de que se apoyaba en dos puntos de pequeña sección, la hacia muy conocida por los naturales del territorio a pesar de ubicarse en plena sierra montañosa. La gente que la visitaba tenia la costumbre arraigada de colocar una botella de vidrio debajo del bloque oscilante . A continuación se hacia mover el bloque empujando con las dos manos y la botella se rompía, aplastada por el enorme peso de la piedra.

Su caída fue un verdadero trauma para los habitantes de las poblaciones vecinas que veían en ella una forma mágica que suscitaba leyendas o interpretaciones fantásticas, y que permitía que tradicionalmente una vez al año se-reunieran a su alrededor para celebrar una fiesta campestre. Por ello no es de extrañar que, una vez caída, sin haber sufrido ningún deterioro, rápidamente se iniciara una subscripción popular para recaudar los fondos necesarios para sufragar los gastos de reposición de este monumento natural a su antiguo emplazamiento.

Los trabajos de reposición abarcarán cinco fases. En la primera se acondicionará el terreno, con actuaciones mínimas, para que dos grúas todoterreno, capaces de poder levantar coordinadamente las casi cien toneladas de la piedra, puedan acceder al lugar de las operaciones. En la segunda se trasladará la piedra hasta el lugar del izado ya que en su caída resbaló y se situó a 30m de la posición original. En la tercera se estudiará y condicionará la superficie de contacto de la piedra y se activará el equipo de medición, seguimiento y prueba de su posicionado para que pueda volver a ser oscilante. En la cuarta fase se izará y depositará la piedra en su base de apoyo, se ensayarán las condiciones de oscilación y se verificaran las correcciones de posicionado necesarias para

conseguir el bamboleo deseado. Finalmente la ultima fase comprenderá la restauración del entorno.

El coste total de todas las operaciones se ha cifrado en cinco millones de pesetas, cantidad que hoy en día está totalmente cubierta.

Las tareas de reposición de la piedra a su antigua ubicación se llevaran a cabo el próximo otoño.

Como consecuencia del conjunto de ejemplos anteriormente expuestos y de la propia experiencia hago una serie de reflexiones finales, a modo de decálogo, sobre la conservación, protección y restauración del patrimonio natural geológico.

1.- La necesidad de conservación, del medio geológico y de su patrimonio es un hecho relativamente reciente que afortunadamente está siendo asumido por un buen número de ciudadanos que sienten la obligación de utilizarlo o de disfrutarlo.

2.- La legislación actual del Estado español -Leyes de Conservación de los Espacios Naturales (1989) y del Patrimonio Histórico (1985) -no cubre de manera satisfactoria las necesidades de protección del patrimonio geológico ante acciones humanas especialmente agresivas. Tampoco el Real Decreto 2994/1982 sobre restauración de espacios afectados por actividades extractivas establece las condiciones óptimas para amortiguar el deterioro del terreno damnificado por explotaciones.

Por ello sería aconsejable que, en el desarrollo de las reglamentaciones de dichas leyes y decreto, tanto a nivel estatal como autonómico, se diera máxima importancia a los criterios que son necesarios para que el patrimonio natural geológico quedara debidamente protegido en su totalidad y el medio geológico óptimamente restituído en sus alteraciones paisajísticas y geomórficas. Los esfuerzos deben encaminarse a mantener el medio natural en el mismo estado en que lo hemos heredado y no sólo restaurar las zonas en las que la degradación ha supuesto un gran impacto visual.

3.- El conocimiento previo de las características del medio físico y del patrimonio geológico de una zona resulta fundamental a la hora de planificar las actividades y actuaciones antrópicas a realizar, su correcta gestión y protección y para devolver, en su caso, mediante restauración, la conformación preexistente.

4.- Para la conservación, utilización y en su caso restauración del patrimonio natural geológico será necesario que los profesionales de la geología, en conjunto, se sientan interesados por la temática y adquieran conciencia de su importancia, independientemente de que participen o no en las acciones a desarrollar. La frecuente escasa consideración hacia este tipo de trabajos que se da entre numerosos profesionales, sobre todo en la restauración, es un factor negativo que incide en la óptima culminación de cualquier proyecto específico.

5.- Los inventarios y catálogos de lugares y puntos de interés geológico susceptibles de ser declarados espacios naturales protegidos desde la óptica de la normativa vigente en los niveles estatal, autonómico y local, es una de las medidas más eficaces para evitar confrontaciones entre patrimonio natural geológico y actuaciones sobre el territorio. Estas deben tener en cuenta, a la hora de su diseño, la existencia de lugares de interés geológico, y, en su caso, integrarlos en la realización de los proyectos planteados, protegiéndolos, restaurándolos, o poniéndolos en valor.

6.- La puesta en valor de los recursos no renovables teniendo en cuenta la espectacularidad, expresividad y excepcionalidad de algunas singularidades naturales; el aumento de las posibilidades de acceso a ellos; la mejora de sus condiciones de utilización y en suma, un correcto uso de gestión integrada de algunos lugares seleccionados de muy baja fragilidad, puede ser uno de los caminos adecuados para la divulgación y conocimiento público de la temática geológica, factores desencadenantes para una futura protección por parte de la sociedad.

7.- La máxima difusión e información del patrimonio natural geológico entre la sociedad en general para que capte su verdadero significado, disfrute con su utilización y aprecie su verdadera importancia, estimulará a corto plazo, el apoyo moral y material de las instituciones. La instrucción de ciudadanos a través de la escuela, de los medios de comunicación y otras instancias; el diseño de programas piloto en gestión integrada; la recogida sistemática de datos, la creación de fondos documentales, así como la formación de especialistas en patrimonio natural geológico y en restauración, puede ser una buena estrategia para ayudar a conseguir el amparo que todos deseamos de la comunidad.

8.- Las herramientas de que dispone la Geología Aplicada son variadas y muy útiles para contribuir a la rehabilitación y defensa del patrimonio natural geológico y a la conservación o restauración del medio físico, siendo posible armonizar un desarrollo sostenible con su preservación.

9.- De entre los dos maximalismos tradicionales: el conservacionismo a ultranza -patrimonio geológico lo es todo y por lo tanto todo merece ser conservado indefinida e indiscriminadamente- y el provisionalismo a ultranza -el patrimonio geológico queda subordinado al interés del hombre y por tanto su conservación es totalmente secundaria- la conservación debe buscar su término medio.

10.- La mejor restauración es la que no se nota, la que pasa más desapercibida. Hay que intentar buscar los medios para que este proceso no haga falta. Sin embargo, si ello no es posible, al menos que las actuaciones antrópicas para recuperar el medio tengan la mínima incidencia en éste.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalá, L. (1987).- "Los Aljezares de Teruel. Historia y estado actual". Geogaceta. 3: 61-62.

Bennet, Matthew R. et al. (1996).- "The role of urban geology in earth heritage conservation". Published by The Geological Society, 270.

Castillo, A. (1996).- "Peculiaridades y estrategias de conservación del patrimonio geológico". Geogaceta, 19; 195-197.

Cendrero, A. (1996).- "El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización" in: El Patrimonio Geológico. MOPTyMA; 17-23.

Duran, J.J. et al. (1996).- "Patrimonio geológico y sostenibilidad". II Reunión Nacional de Patrimonio Geológico. SGE. 56-60.

Esteban, V. y Serra, J. (1995).- "Dinámica litoral e impacto ambiental en las costas de Alicante". Tecnoambiente, 48; 55-59.

- Gallego, E. y García Cortés, A.** (1996).- "Patrimonio geológico y espacios naturales protegidos". Geogaceta, 19; 202-206.
- García Cortés, A. et al.** (1992).- "Geological heritage". ITGE, 23p. Madrid
- García, J. C.** (1990).- "Peña Cabarga: un karst singular en peligro". Geogaceta. 7: 148-149.
- Hill, C.A. y Forti, P.** (1986).- "Cave minerals of the world". National Speleological Society; 183-195.
- Jordà, F.** (1988).- "Rehabilitación de un paisaje cárstico urbano: la cueva de Maltravieso (Cáceres)". Geogaceta; 5; 99-100.
- Palacio, J.** (1991).- "Recuperación de una zona minera: el parque público de la Arboleda (Vizcaya)". Tecnoambiente, 2; 59-72.
- Pallí, L. y Roqué, C.** (1997).- "Característiques geomorfològiques de la Pedralta. - Baix Empordà. Girona". Inst. d'Estudis del Baix Empordà,. 16;3-46.
- Paricio, J.** (1990).- "Hallazgo y recuperación de un tallo de helecho gigante en el carbonífero de la cuenca de Ciñena-Matallana (León)". Geogaceta 7; 144-145.
- Paskoff, R.** (1989).- "Las dunas del litoral". Mundo Científico, 95; 958-965.
- Puche, O. y Mazadiego, L.F.** (1997).- "Conservación del patrimonio minero metalúrgico español: actuaciones recientes y propuestas". Tecnoambiente, 69; 39-43.
- Serrano, J. et al.** (1995).- "Proyecto de recuperación de los ríos Tinto y Odiel (Huelva)". Tecnoambiente, 53;53-56.
- Serrano, J.** (1997).- "Recuperación de áreas degradadas por residuos industriales". Tecnoambiente, 68; 62-66.