

## **¿ESTAMOS DESAPROVECHANDO NUESTRO PATRIMONIO NATURAL? HACIA UNA ESTRATEGIA INTEGRADA PARA EL USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS DE LA GEODIVERSIDAD**

GEMA FERNÁNDEZ MAROTO \*\*; VIOLA BRUSCHI \*\*; MATTHEW W. DOUGHTY \*\*; PATRICIO MARTÍNEZ CEDRÚN \*\*; JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ LÓPEZ \*\*; JUAN REMONDO TEJERINA \*\*; ANTONIO CENDRERO UCEDA \*

\* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Valverde 22, 28004 Madrid.

\*\* DCITIMAC, Facultad de Ciencias, Universidad de Cantabria

### **INTRODUCCIÓN**

Desde hace tiempo se señala que es necesario aprovechar mejor el potencial de los recursos naturales y minimizar los impactos ambientales derivados de su explotación. La actual crisis ha puesto aún más claramente de manifiesto la necesidad de aplicar soluciones que ayuden a desarrollar estrategias sostenibles para el aprovechamiento de los distintos recursos. Dichas soluciones deberían implicar la introducción de prácticas que mejoren la eficiencia económica, social y ambiental del uso de los recursos objeto de explotación, así como la identificación, rehabilitación o puesta en valor de recursos naturales subutilizados o degradados.

Es imposible desarrollar las actividades humanas, especialmente aquellas que afectan al uso de recursos no renovables, sin producir algún tipo de impactos ambientales. Esos impactos, por pequeños que sean, pueden afectar a la capacidad del medio para proporcionar bienes y servicios para las personas. Es importante señalar que el concepto de impacto ambiental carece de sentido si se prescinde de la consideración de los efectos sobre las personas. Los cambios ambientales no son en sí buenos ni malos para el planeta, simplemente implican modificaciones del mismo. La Tierra ha experimentado repetidos y muy profundos cambios a lo largo de su historia, y esos cambios han dado lugar en todos los casos a condiciones (incluyendo especies, clima y procesos) distintas, pero no peores ni mejores. No se considera que esos cambios,

en épocas anteriores a la aparición de nuestra especie, constituyan un deterioro ambiental, incluso si se trata cambios tan drásticos como el debido al impacto meteorítico del tránsito Cretácico-Paleoceno. La situación del planeta no era menos ni más sostenible después de dicho impacto que, por supuesto, fue devastador para muchas especies, pero al mismo tiempo propició el desarrollo de los mamíferos y la aparición de nuestra especie.

Los cambios que están teniendo lugar en la actualidad se deben en gran medida a las actividades humanas, lo cual no quiere decir que sean mejores ni peores para el planeta que los producidos por causas naturales. Sin embargo, eso no significa que no deban ser motivo de preocupación. Todo lo contrario, ya que muchos de esos cambios terminan afectando de manera negativa a las personas, reduciendo la capacidad del medio para cumplir distintos tipos de funciones de utilidad para éstas, lo que nos puede llevar a situaciones menos sostenibles. Es decir, el concepto de sostenibilidad está estrechamente ligado al mantenimiento de condiciones del entorno que permitan que este proporcione servicios a los seres humanos. Por ello, si deseamos hacer nuestras actividades más sostenibles, resulta aconsejable plantear estrategias que, reconociendo que una cierta alteración del medio es inevitable cuando utilizamos los recursos que contiene, busquen la forma de reducir los efectos negativos de esas alteraciones y, al mismo tiempo, de compensar lo anterior acrecentando otras capacidades del medio para proporcionar bienes o servicios.

Esta presentación intenta hacer un pequeño aporte en ese sentido, desde el ámbito de las Ciencias de la Tierra, basada en distintos trabajos realizados en Cantabria, encaminados a mejorar las estrategias de explotación de ciertos recursos naturales. El abordaje que se presenta no es exclusivamente científico, sino que, basándose en conceptos y métodos del ámbito científico, se realizan evaluaciones y propuestas que entran en ámbitos de naturaleza más cualitativa, relacionados con aspectos sociales y económicos.

## RECURSOS NATURALES Y RECURSOS DE LA GEODIVERSIDAD

El concepto de “recursos naturales” abarca un conjunto muy amplio y diverso de elementos integrantes del medio. Podemos considerar recursos naturales (lo que sigue no es una propuesta de definición formal): *todos aquellos elementos materiales existentes en el medio natural, que pueden servir para el mantenimiento de la vida y el desarrollo de las actividades productivas de las personas, o para proporcionar satisfacciones de tipo no material.* Si se desea que las actividades humanas se desarrollen de manera más sostenible, habrá que tratar de que la capacidad del medio para satisfacer ese conjunto de necesidades se mantenga o, a ser posible, se acreciente.

Existen distintos criterios a considerar para clasificar los diferentes tipos de recursos naturales, criterios que, a su vez, tienen que ver con características que condicionan la posibilidad de utilizar dichos recursos de manera sostenible. Podemos hablar de recursos consumibles y no consumibles. En el primer caso el uso implica consumir una cierta cantidad del recurso correspondiente (energía, alimentos, materias primas, agua), mientras que en el segundo la utilización no da lugar a consumir una parte del elemento material correspondiente, aunque sí puede implicar su deterioro (paisaje, playas, espacios naturales). Por otro lado, tenemos la clásica y bien conocida distinción entre recursos renovables (madera, pesca) y no renovables (combustibles fósiles, minerales).

El concepto de geodiversidad, inspirado como es lógico en el de biodiversidad, es bastante reciente, pues el uso de ese término parece datar de 1991, de una presentación oral de M. Stanley durante una reunión

internacional sobre conservación geológica (**Burek y Potter, 2002; Carcavilla, 2006**). Se han propuesto distintas definiciones para ese término, entre las cuales señalamos la de **Gray (2004)**: “*the natural range (diversity) of geological (rocks, minerals, fossils), geomorphological (landforms, processes) and soil features. It includes their assemblages, relationships, properties, interpretations and systems.*” Sin pretender entrar en una discusión terminológica, esta formulación del concepto muestra que tanto los minerales como el patrimonio geológico serían parte de los recursos de la geodiversidad, la cual incluye recursos consumibles (materias minerales de distinto tipo) y no consumibles (elementos patrimoniales).

Los recursos geológicos (recursos de la geodiversidad) en los que habitualmente se piensa son recursos consumibles y no renovables. Estos incluyen, por un lado, recursos escasos, de alto valor unitario (precio por unidad de masa o de volumen) y agotables, tales como los combustibles fósiles o las materias primas minerales. Por otro lado, están los recursos abundantes, de bajo valor unitario y, en la práctica, inagotables, como por ejemplo muchas rocas utilizadas como materiales de construcción. Los problemas que se plantean en relación con el uso sostenible de los primeros tienen que ver sobre todo con la cantidad (agotamiento del recurso), aunque también con la calidad (contaminación y deterioro ambiental). En el caso de los segundos la cantidad (abastecimiento) no representa un problema, pues es frecuente que su demanda previsible en tiempos muy dilatados sea varios órdenes de magnitud inferior a las reservas conocidas y fácilmente accesibles. Los principales problemas en este caso se relacionan con la calidad; es frecuente que existan limitaciones relacionadas con la protección del medio que afecten a la explotación de materiales potencialmente útiles.

Pero, de acuerdo con lo mencionado más arriba, la geodiversidad también incluye importantes recursos no consumibles, de tipo patrimonial. En este sentido, conviene señalar dos definiciones propuestas para patrimonio geológico (nuevamente, sin ánimo de que esto se considere como una propuesta formal de definición):

*“El conjunto de recursos naturales, no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas*

*del terreno, o yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos, que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y de los procesos que la han modelado, con su correspondiente valor científico, cultural, educativo, paisajístico o recreativo". Cendrero (1996, 2000). "El patrimonio geológico es el conjunto de los recursos naturales geológicos que poseen valor científico, cultural y/o educativo, y que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente, y d) el origen y evolución de la vida". (definición de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España; Guillén y del Ramo 2004).*

Evidentemente, los problemas que plantea el uso sostenible de estos recursos de tipo patrimonial están relacionados con la calidad de los mismos, no con su consumo.

## LAS FUNCIONES DEL MEDIO

Ahora bien, el medio natural no solo contiene recursos, sino que también cumple toda una serie de funciones en relación con las personas. Esas funciones son: A) fuente de recursos (ya citada); B) sumidero de residuos; C) soporte de actividades y proveedor de servicios ambientales. Dentro de estos últimos podemos considerar el caso especial del mantenimiento de la "naturalidad", como rasgo que determina la calidad de muchos recursos de tipo patrimonial y que representa una base importante para la satisfacción de necesidades no materiales. Es frecuente que el aprovechamiento de cada una de esas funciones dé lugar a conflictos con las otras, pero no debemos olvidar que todas ellas son necesarias para alcanzar la deseada sostenibilidad de nuestras actividades. Esto es, no sería sostenible una estrategia que diera siempre prioridad a una de esas funciones con respecto a las otras, por bien intencionada que dicha estrategia pueda parecer desde el punto de vista ambiental.

El caso de los recursos geológicos no renovables ilustra muy bien los conflictos que se derivan de la utilización de esas funciones del medio. La explotación de esos recursos, a través de la minería, normalmente implica una serie de impactos que afectan a la capa-

cidad del medio para cumplir otras funciones y proporcionar servicios ambientales. Entre esos impactos cabe señalar: deterioro paisajístico y de elementos patrimoniales; degradación de suelo, vegetación y fauna; contaminación de aire, agua y suelo; alteración de masas y cursos de agua; explosiones y vibraciones; molestias por transporte pesado; etc. Esos efectos son bien conocidos y, como consecuencia de ello, hay en todo el mundo una creciente oposición social a cualquier tipo de explotación minera. Sin embargo, nuestras sociedades no pueden prescindir de la minería. Una simple mirada a nuestro alrededor nos permitirá ver multitud de objetos, estructuras o instalaciones (edificios, infraestructuras, equipos electrónicos, vehículos, instalaciones eléctricas, electrodomésticos, material deportivo o para actividades al aire libre, etc.) para cuya existencia ha sido preciso realizar algún tipo de explotación minera.

Por tanto, parece necesario buscar fórmulas que ayuden a lograr que la explotación de los recursos consumibles de la geodiversidad se pueda compatibilizar con la protección y disfrute de los recursos no consumibles y con el cumplimiento del conjunto de las funciones antes citadas. Desde el ámbito científico se pueden aportar algunas ideas que contribuyan a la búsqueda de soluciones. Una posibilidad es adoptar un nuevo concepto de recursos para la geodiversidad, considerando esta como un conjunto integrado. Eso ayudaría a establecer estrategias de explotación de recursos con valor de mercado que minimicen los efectos ambientales negativos y permitan potenciar otros recursos sin valor de mercado, tratando de que, en conjunto, el balance ambiental sea positivo. En este marco, la sostenibilidad se podría buscar no solo a través de medidas de evitación o corrección de impactos sino, además, por medio de estrategias de compensación. Esto es, poniendo en práctica medidas que mejoren, potencien o pongan en valor recursos degradados o subutilizados. Esta puede representar una solución más fácilmente abordable y más sostenible que las habitualmente utilizadas, de corrección, puesto que con frecuencia es posible compensar con creces el impacto o deterioro causado en un lugar o sobre ciertos elementos o funciones, con mejoras en otros, mientras que es prácticamente imposible evitar los impactos en su totalidad.

Como es evidente, los grados de libertad para la puesta en marcha de este tipo de estrategias son limi-

tados en el caso de los recursos geológicos de alto valor unitario, que se encuentran en lugares determinados para los que con frecuencia no hay alternativas. Por el contrario la abundancia y amplia distribución de los recursos de bajo valor unitario facilita la selección de los lugares de extracción más adecuados desde el punto de vista ambiental. Además, en cuanto a extensión y volúmenes afectados por las explotaciones, estos materiales representan la gran mayoría de la actividad minera en casi todos los países, y por tanto de los impactos de la misma.

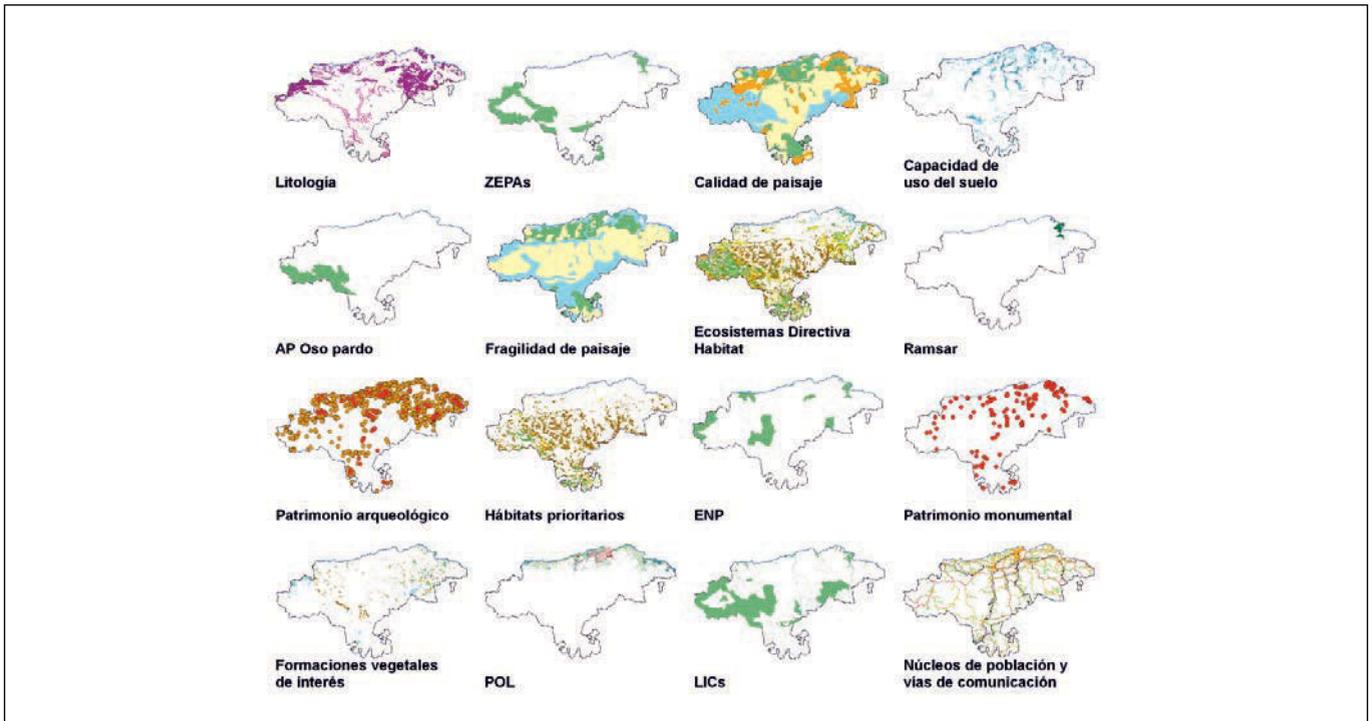
### UNA POSIBLE ESTRATEGIA

Las ideas anteriores se ilustran a continuación a través de una estrategia de ese tipo diseñada para la ordenación de la minería de áridos de trituración en Cantabria (**Bruschi, Doughty et al., 2011**), por iniciativa del gobierno de la comunidad autónoma, encaminada a cubrir la demanda prevista en un horizonte de 30-50 años, de acuerdo con criterios de sostenibilidad. En esta comunidad, aproximadamente el 90% de la actividad minera estaba constituido, en el momento de diseñar la estrategia, por la extracción de calizas, sobre todo para su trituración y utilización como áridos. Por su carácter reservado, no se presentan aquí detalles sobre parte de los datos o resultados obtenidos, sino que se solamente se comentan los criterios aplicados y el procedimiento seguido. La citada estrategia contempla las siguientes fases: 1) Identificación de yacimientos con recurso de calidad adecuada y con reservas suficientes (satisfacción de la demanda). 2) Selección de emplazamientos con reservas suficientes en zonas ambientalmente poco sensibles (evitación de impactos). 3) Diseño de técnicas y planes de explotación ambientalmente respetuosos (minimización preventiva de impactos). 4) Identificación de zonas degradadas para rehabilitación (corrección compensatoria). 5) Inventario, evaluación, protección y puesta en valor de recursos no consumibles de la geodiversidad (compensación). Naturalmente, todo lo anterior tiene que plantearse sobre la base de alguna fórmula de financiación.

Para la selección inicial de los emplazamientos con mejores posibilidades para la ubicación de explotaciones, se aplicó un procedimiento bien conocido y ampliamente utilizado, de tipo multicriterio (**Cen-**

**drero et al., 1992, 1993; Janssen, 2001; Wäger, 2007**). Se identificó en primer lugar un conjunto de factores de capacidad (condiciones necesarias o deseables) e impacto (condiciones limitantes o excluyentes) que se pudieran aplicar a todo el territorio de la comunidad. A continuación se recopilaron datos ya existentes o se obtuvieron datos nuevos y se adaptaron o se construyeron las bases de datos correspondientes, para su posterior tratamiento por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los factores considerados fueron: *Capacidad*: calidad y volumen de la roca; distancia a centros de consumo/exportación. *Impacto*: áreas protegidas por algún tipo de norma o convenio; zonas pobladas y corredores de comunicación; suelos de alta calidad; vegetación de interés; fauna; paisaje; planeamiento regional o municipal; patrimonio arqueológico, monumental, natural; hidrología.

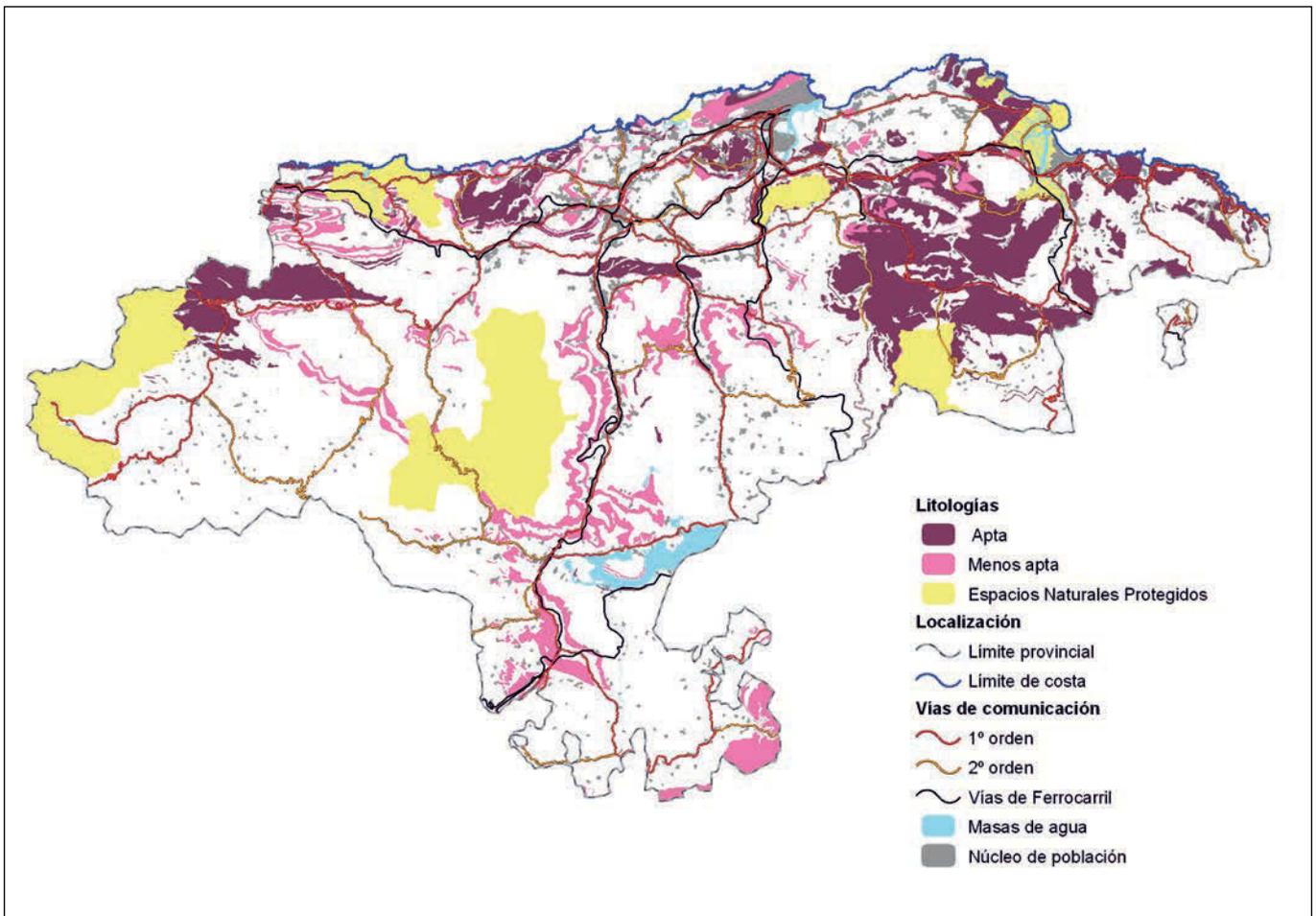
En un primer análisis, aquellos factores sobre los cuales existían o se pudieron obtener en un plazo razonable datos para el conjunto de la comunidad, se representaron en forma de mapas en los que se muestran las distintas unidades o condiciones de cada uno de ellos, y que de forma esquemática se ilustran en la **figura 1**. A continuación se identificaron las unidades o condiciones favorables y desfavorables para el desarrollo de la actividad, en relación con cada uno de los factores citados. Cualquier unidad que presentara una condición considerada como no favorable, para uno solo de los factores indicados, se eliminó en esta fase. Para ello se siguió un procedimiento SIG de superposiciones sucesivas, considerando tres conjuntos de criterios, en función del rigor con el que se aplicarían las restricciones ambientales. Esos criterios se denominaron: A) máximo rigor en las restricciones ambientales, considerando no apta toda unidad en la que un elemento pudiera experimentar algún deterioro, independientemente de que esa restricción estuviera o no recogida en la normativa vigente; B) aplicación estricta de la normativa vigente, manteniendo una exigencia alta de protección ambiental; C) restricciones ambientales menos estrictas, aplicables al caso de que se acuda a explotaciones subterráneas (estas, evidentemente, implican impactos menores sobre ciertos factores). En el **cuadro 1** se resumen los criterios aplicados. En la **figura 2 A** se muestra el resultado de la superposición de dos factores, uno de capacidad (existencia de roca caliza potencialmente explotable) y otro



**Figura 1.** Bases de datos utilizadas para la selección inicial de áreas potencialmente favorables para la extracción de áridos. ZEPA: zona de especial protección de aves; AP: área de protección; ENP: espacios naturales protegidos; POL: plan de ordenación del litoral; LIC: lugar de interés comunitario; Ramsar: zonas incluidas en el convenio Ramsar para protección de humedales.

CRITERIOS RESTRICTIVOS		A	B	C
VEGETACIÓN ACTUAL				
Directiva Hábitat completa		X		
Directiva Hábitat prioritarios		X	X	X
Formaciones vegetales de interés en Cantabria	Robledal eutrofo	X	X	X
	Hayedo xerófilo	X	X	
	Hayedo basófilo	X	X	
	Encinar	X	X	
	Madroñal	X	X	
PLAN DE ORDENACIÓN DEL LITORAL				
Áreas de protección ambiental		X	X	X
Área Periurbana		X	X	X
Áreas de Interés Paisajístico		X	X	
Espacios Naturales Protegidos		X	X	X
Protección de Infraestructuras		X	X	X
Protección de Riberas		X	X	X
Protección Ecológica		X	X	X
Protección Litoral		X	X	X
Protección Costera		X	X	X
Protección Intermareal		X	X	X
Sistemas Generales Territoriales		X	X	
Suelos Urbanos y Urbanizables con Planes Parciales Aprobados		X	X	X
Unidades Singulares		X	X	X
CAPACIDAD DE USO DE LOS SUELOS	A	X	X	
	B	X		
ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS (todas las figuras)		X	X	X
DISTANCIAS A NÚCLEOS DE POBLACIÓN				
2.000 metros		X		
1.000 metros			X	
500 metros				X

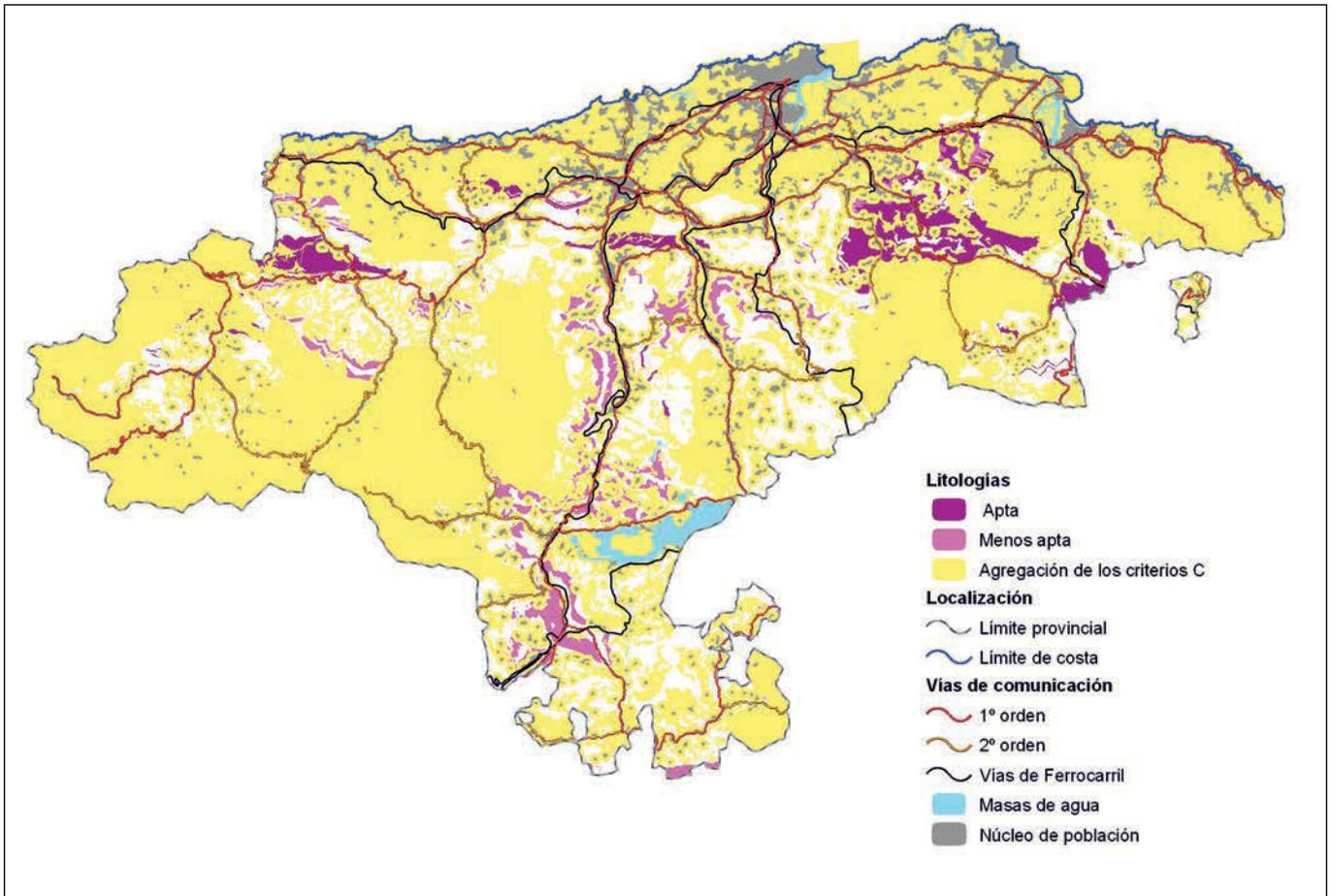
**Cuadro 1.** Criterios de selección aplicados a los diferentes factores, de acuerdo con las opciones consideradas.



**Figura 2A.** Ejemplo de superposición de dos criterios, uno de capacidad (existencia de calizas de calidad adecuada) y otro de impacto (espacios naturales protegidos).

TAMAÑO (km <sup>2</sup> )	Sin incluir el Planeamiento Municipal		Incluyendo el Planeamiento Municipal	
	Nº POLIGONOS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	Nº POLIGONOS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
<b>CRITERIOS A</b>				
>2	-	-	-	-
1-2	1	1.691.525	-	-
<1	311	13.858.538	17	2.518.863
<b>Total</b>	<b>312</b>	<b>15.550.063</b>	<b>17</b>	<b>2.518.863</b>
<b>CRITERIOS B</b>				
>2	25	114.839.018	2	11.116.470
1-2	17	22.535.970	7	10.176.119
<1	691	43.942.005	123	15.616.503
<b>Total</b>	<b>733</b>	<b>181.316.993</b>	<b>132</b>	<b>36.909.092</b>
<b>CRITERIOS C</b>				
>2	34	267.503.339	8	39.114.660
1-2	31	46.248.780	17	24.485.194
<1	1.153	78.098.274	215	20.664.906
<b>Total</b>	<b>1.218</b>	<b>391.850.394</b>	<b>240</b>	<b>84.264.760</b>

**Cuadro 2.** Resumen de la superficie que cumple los distintos grupos de criterios establecidos.



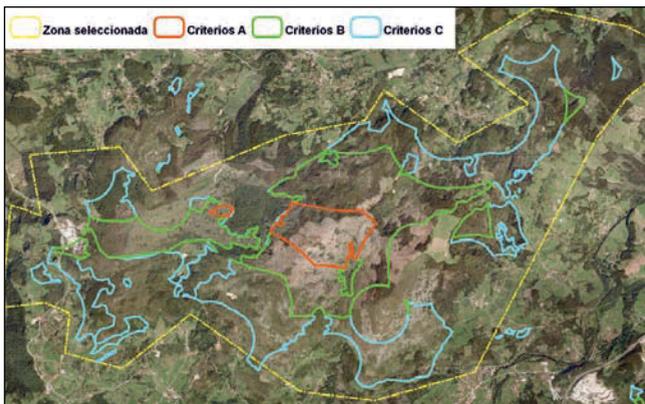
**Figura 2B.** Identificación inicial de zonas potencialmente aptas de acuerdo con los criterios C (explotación subterránea).

de impacto (espacios naturales protegidos) La **figura 2 B** muestra el resultado de la aplicación del conjunto de los factores, de acuerdo con los criterios C). El resultado de la aplicación de los tres grupos de criterios, en esta primera fase, se resume en el **cuadro 2**.

En la segunda fase, para la selección de los emplazamientos más adecuados entre los anteriormente identificados, se procedió a aplicar criterios adicionales. En primer lugar, de los polígonos identificados en la fase 1 se eliminaron aquellos que reunían alguna de las siguientes condiciones: tener extensión inferior a 25 ha; estar alejados de las principales vías de comunicación; encontrarse en entornos en los que existen cuevas o yacimientos arqueológicos (entendiendo que en estos macizos, aunque se evite afectar a dichos yacimientos, es probable la existencia de otros, aún no conocidos, que podrían verse dañados por las explotaciones). En los polígonos así seleccionados se realizaron análisis adicionales, estableciendo entornos de

exclusión para la protección de los siguientes factores: patrimonio arqueológico declarado Bien de Interés Cultural (BIC); otro patrimonio arqueológico; patrimonio subterráneo; patrimonio histórico y monumental; aguas minerales o termales; lugares de importancia comunitaria fluvial (LIC); árboles singulares; lugares interés geológico (LIG); protección de la fauna; aguas subterráneas. También se tuvieron en cuenta las restricciones contenidas en el planeamiento municipal existente. Tras la aplicación de este nuevo conjunto de criterios, que tiene por finalidad evitar la ubicación de explotaciones en zonas que presenten algún elemento ambientalmente sensible, se identificaron 17 polígonos potencialmente aptos. La **figura 3** muestra el resultado de la aplicación del conjunto de los criterios citados a uno de dichos polígonos.

En un paso siguiente se procedió a seleccionar, entre los polígonos anteriores, un número reducido de macizos con reservas suficientes para el horizonte tem-



**Figura 3.** Resultado del análisis detallado de uno de los polígonos inicialmente seleccionados de acuerdo con los tres tipos de criterios.

poral considerado, de acuerdo con los siguientes criterios: distribución geográfica equilibrada; volumen máximo explotable y calidad de la roca; situación con

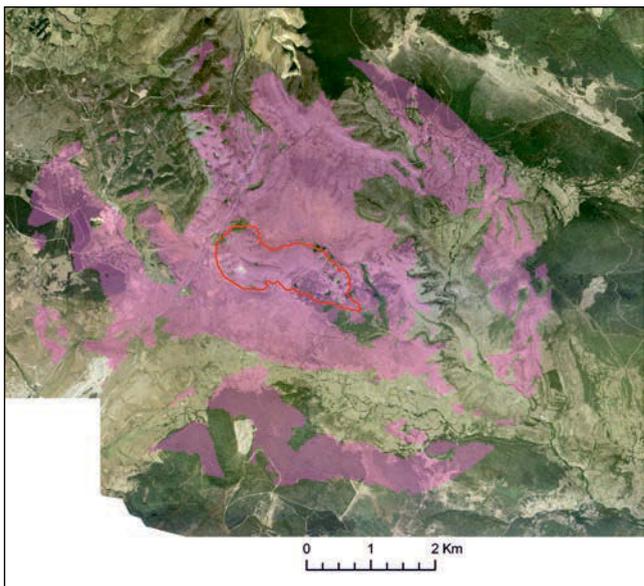
respecto al sistema de comunicaciones; naturaleza del entorno socioeconómico o existencia de conflictos potenciales; efecto visual potencial. El **cuadro 3** muestra los resultados del análisis de la composición química y propiedades físico-químicas determinadas en esta fase para evaluar la calidad de la roca para su uso como árido. Para la consideración inicial del efecto visual potencial, se acudió a determinar dos parámetros: área de visibilidad del macizo (AV, km<sup>2</sup>) y población afectada (PA, n° de habitantes en el entorno). Se consideraron entornos con radios de 2 y 5 km. Se definió la Magnitud del Efecto Visual (MEV) como:  $MEV = AV \cdot PA$ ; lo que permite hacer comparaciones preliminares entre macizos, sobre una base cuantitativa, con respecto a la visibilidad de una posible cantera. En el **cuadro 4** se presentan los datos relativos a la extensión de los polígonos incluidos en la selección, así como la estimación inicial del volumen de roca explotable y la MEV de cada macizo.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS								
CO <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
49,8-64,4	30,8-53,3	0,27-21,75	0,05-2,89	0,08-1,75	0,07-23	0,01-0,24	0,01-0,46	0,03-3,21
Densidad aparente	Densidad relativa	% Absorción	Porosidad aparente		% Estabilidad frente al sulfato		Desgaste de Los Angeles	
2,699-2,755	2,735-2,833	0,547-1,029	0,81-1,7		0,92-1,286		35-41,98	
ESTIMACION DE LA MAGNITUD DEL EFECTO VISUAL								
MEV = Área de visibilidad x personas afectadas (km <sup>2</sup> · hab)								
2.000 metros				47.322				
5.000 metros				603.916				

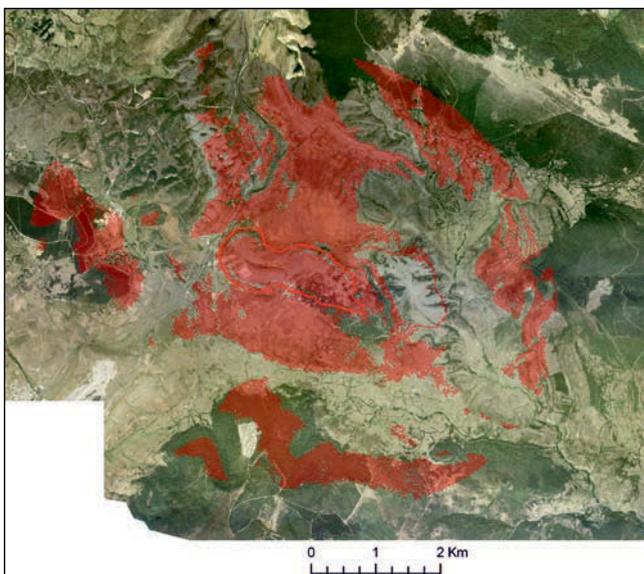
**Cuadro 3.** Ejemplo de las propiedades físico-químicas determinadas para la evaluación inicial, así como de la MEV, para uno de los macizos analizados.

	MACIZO	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	MEV (km <sup>2</sup> · hab)
CRITERIOS A	3	1.268.188	149.086.125	603.916
	11	278.698	46.638.562	199.565
	15	237.069	11.853.450	449.867
	17	780.552	15.212.500	1.862.578
		<b>2.678.145</b>	<b>230.964.887</b>	
CRITERIOS B	3	7.144.273	776.343.937	603.916
	11	3.213.591	519.698.250	199.565
	15	2.075.654	103.782.700	449.867
	17	6.654.488	102.967.187	1.862.578
		<b>22.496.618</b>	<b>1.690.336.886</b>	
CRITERIOS C	3	16.462.143	1.742.052.938	-
	11	6.545.449	1.061.290.688	-
	15	12.420.569	621.028.450	-
	17	18.352.419	287.295.625	-
		<b>77.762.240</b>	<b>5.493.873.576</b>	

**Cuadro 4.** Superficie, volumen estimado y MEV (5.000 m) de 4 macizos seleccionados, de acuerdo con los criterios A, B, y C. Para el cálculo de volúmenes, en los macizos jurásicos se supone un aprovechamiento del 50%, y en los carboníferos y cretácicos, del 90%. La MEV no es aplicable para los criterios C (explotación subterránea).

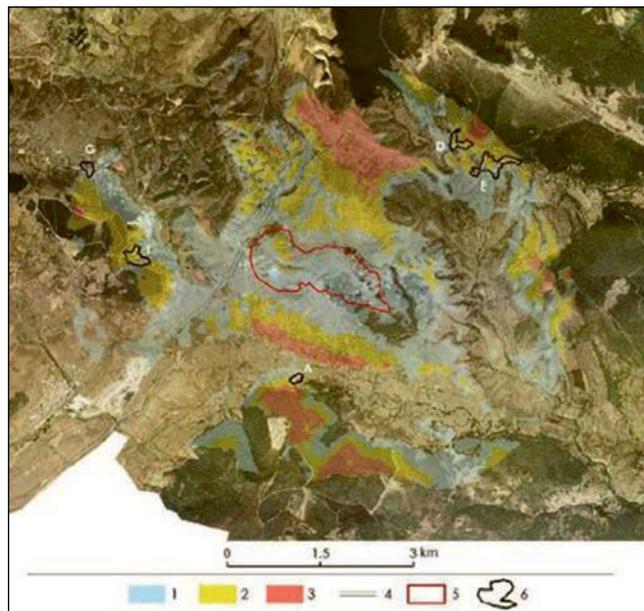


**Figura 4A.** Perímetro de una hipotética cantera y su área de visibilidad dentro de un radio de 3 km. Los valores de los parámetros relacionados con la visibilidad serían: AV=13,29 km<sup>2</sup>; PA=142 habitantes; MEV=1887,18 km<sup>2</sup> hab.



**Figura 4B.** Visibilidad para la misma cantera, simulando la existencia de una barrera visual de arbolado de 15 m de altura. Los valores de los parámetros relacionados con la visibilidad serían en esta situación: AV=7,07 km<sup>2</sup>; PA=142 habitantes; MEV=1003,9 km<sup>2</sup> hab.

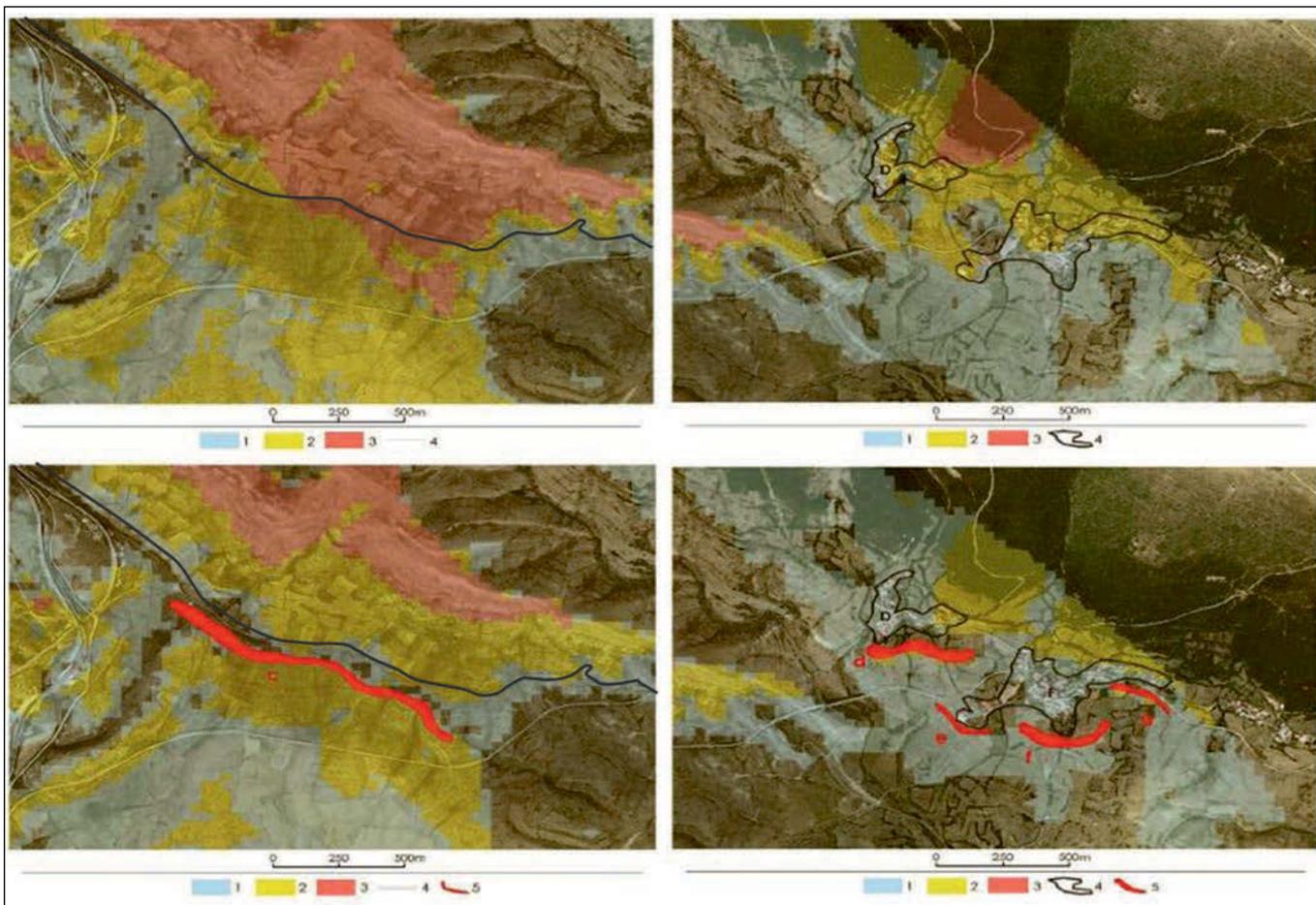
En los macizos seleccionados se llevaron a cabo análisis económicos y ambientales detallados de distintos modelos y técnicas de explotación. Se consideraron tres tipos de explotación en cada caso: tradicional a cielo abierto, mixto y subterráneo. Se anali-



**Figura 5.** Grado de visibilidad de la cantera simulada, dentro de un radio de 5 km. 1: área dentro de la cual sería visible <23% de la explotación. 2: visibilidad del 24-48%. 3: visibilidad del 49-71% (no hay valores más altos). 4: autopista. 5: perímetro de la hipotética cantera. 6: núcleos de población afectados.

zaron los costes y los efectos ambientales así como las medidas de mitigación y sus costes. Igualmente se hizo un análisis de las distintas alternativas de transporte desde la cantera hasta los puntos de distribución o de consumo, teniendo en cuenta igualmente los costes económicos, los efectos ambientales y las medidas de mitigación. Una descripción más detallada de esos aspectos queda fuera del ámbito de esta contribución. Lo que puede resultar de interés, por su relación con los temas de patrimonio que se tratan más adelante, es comentar someramente la forma de abordar la consideración de los efectos visuales de una hipotética cantera, así como de las posibles medidas de mitigación de los impactos visuales, lo cual se hizo a través de la aplicación de técnicas de simulación (Otero et al., 2004; 2012).

En la **figura 4A** se muestra el perímetro de una hipotética cantera y su área de visibilidad, dentro de un radio de 3 km, determinada por medio de una herramienta SIG. La **figura 4B** muestra la visibilidad para la misma cantera, simulando la existencia de una barrera visual de arbolado, de 15 m de altura, alrededor de la misma. En ambos casos se indican los valores de AV, PA y MEV. Según se puede apreciar, la citada barrera



**Figura 6.** Simulación de barreras visuales para la reducción de la visibilidad desde una carretera y un núcleo de población, mostrando el grado de mitigación alcanzado con las mismas. Grado de visibilidad como en la figura anterior (1, 2, 3). Lado izquierdo, mitigación en una carretera (4) con una barrera visual de 15 m de altura (5). Lado derecho, mitigación en un núcleo de población (4), con el mismo tipo de barreras (5).

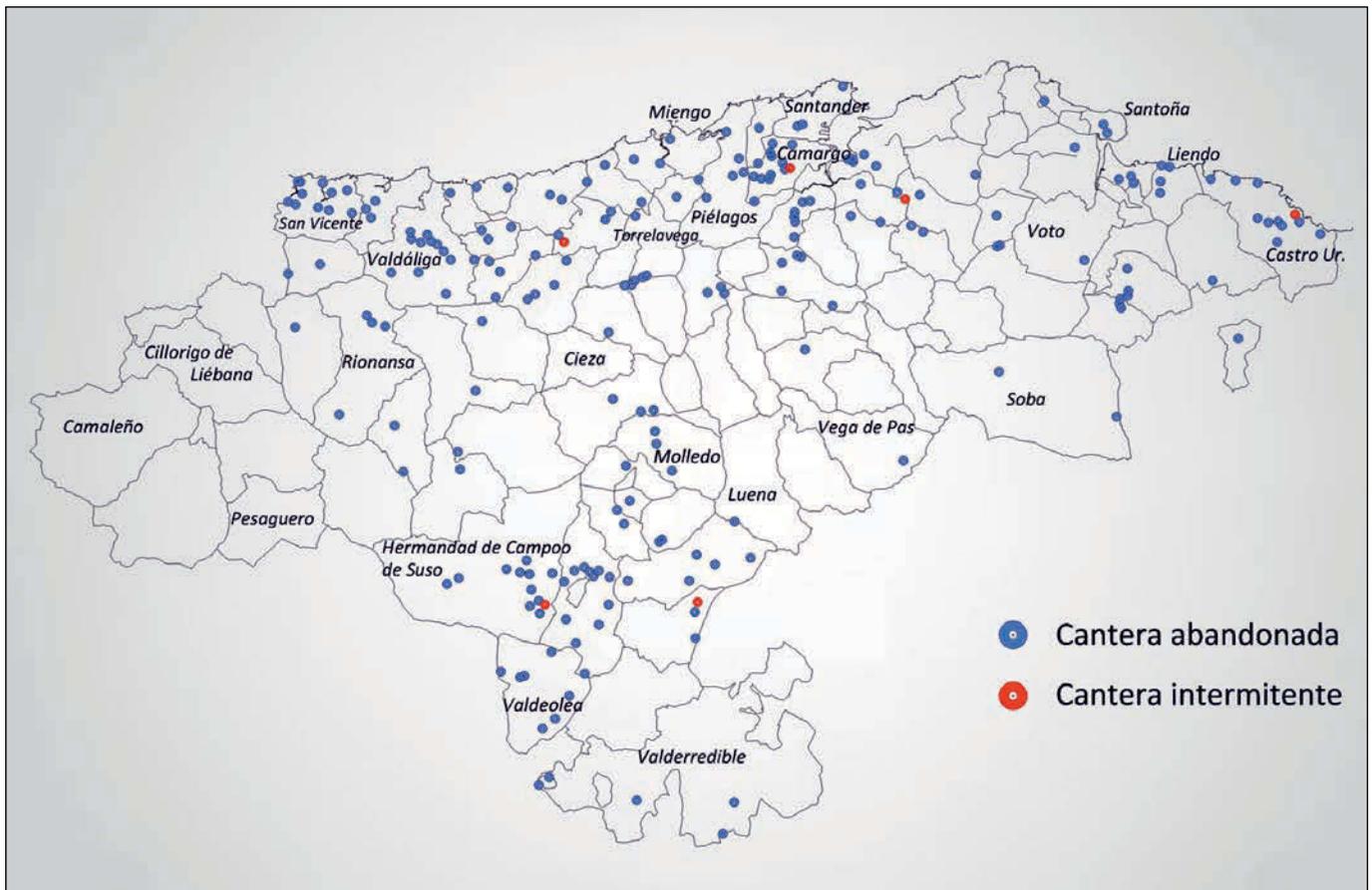
lograría reducir el efecto visual casi a la mitad. Pero para el diseño de la explotación, es conveniente un análisis más detallado, determinando el grado de visibilidad (% de la cantera que sería visible desde un punto) y teniendo en cuenta las zonas más significativas como receptoras de vistas (núcleos de población y carreteras). Eso se representa en la **figura 5**. Igualmente, se pueden simular barreras visuales para esos receptores de vistas, no para el emisor (la cantera) como en el caso anterior, y evaluar su eficacia. La **figura 6** muestra el grado de reducción de la visibilidad que se lograría con barreras de mitigación para un núcleo de población y una carretera.

Lo descrito hasta aquí ilustra una posible forma de abordar la búsqueda de ubicaciones y de procedimientos de explotación que ayuden a identificar

recurso suficiente para satisfacer la demanda prevista, evitando una parte considerable de los impactos que las explotaciones puedan causar sobre el medio y estableciendo procedimientos para mitigar otros. Pero eso no quiere decir que los impactos ambientales de la actividad extractiva vayan a ser nulos. Por tanto, es conveniente buscar formas de compensar esos impactos, para tratar de alcanzar un balance ambiental positivo.

## RECURSOS NO CONSUMIBLES DE LA GEODIVERSIDAD Y COMPENSACIÓN.

La compensación de impactos puede abordarse a través de medidas encaminadas a la rehabilitación y puesta en valor de otros recursos de la geodiversidad.



**Figura 7.** Distribución de las explotaciones abandonadas e intermitentes en Cantabria.

Nº	NOMBRE	MATERIAL	LOCALIZACIÓN	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	CRITERIOS
8	El Sorbal	Caliza	El Dueso (Santona)	46.482	EP, NP, CF, CFV, VN, IV
265		Arenisca	Puentenansa (Rionansa)	5.679	NP, AF, CF, CFV, VN, RI
9	Arrutafá y otras	Caliza	Peñacastillo (Santander)	50.564	EP, NP, CF, IV, RI
16	Dolomítica	Dolomía	Montehano (Escalante)	130.002	EP, NP, CF, CFV, IV
111		Caliza	Ruiseñada (Comillas)	14.369	EP, NP, AF, CFV, IV
141	La Cavada	Caliza	La Cavada (Riotuerto)	9.525	NP, CF, IV, RI
145		Caliza	Canales (Udias)	5.721	NP, AF, CF, CFV
238	Las Canteras	Caliza	Penilla (Santiurde de Toranzo)	24.524	NP, CF, CFV, IV
379	El Encinal	Caliza	Mataporquera (Valdeolea)	89.487	NP, CF, CFV, IV
20	Canteras de Górgolo	Caliza	Pontejos (Marina de Cudeyo)	34.031	EP, NP, CFV
110	Pico Carrasco	Dolomía	Carasa (Voto)	35.582	EP, NP, CF
332		Caliza	Servillas (Campoo de Suso)	23.285	NP, CF, CFV
19	Mazaloma	Caliza	Igollo (Camargo)	36.609	EP, NP
35	San José	Dolomía	Revilla (Camargo)	65.559	EP, NP
222		Caliza	Corrobárceno (Puente Viesgo)	10.626	NP, CF
274		Arena	Somahoz (Los Corrales de Buelna)	140.139	NP, IV
295	La Cantera	Caliza	La Serna (Arenas de Iguña)	37.199	NP, AF

**Cuadro 5.** Canteras potencialmente adecuadas para acciones de restauración, ordenadas de acuerdo con el número de criterios que cumplen. EP: espacios protegidos; NP: núcleos de población; AF: proximidad a áreas potencialmente favorables; CF, distancia a carreteras y ferrocarril; CFV: calidad y fragilidad visual; IV: impacto visual; VN: vegetación natural; RC: riesgo de contaminación; RI: riesgo de inestabilidad.

De esta forma, los perjuicios ambientales derivados del uso de un tipo de recursos pueden equilibrarse a través de mejoras en otros. En el caso que aquí se describe eso se ha planteado a través de dos líneas de actuación: Acciones de rehabilitación de zonas degradadas por actividades extractivas (corrección compensatoria, fase 4 de la estrategia). Protección y puesta en valor recursos no consumibles del patrimonio geológico (compensación por mejoras en otros recursos, fase 5).

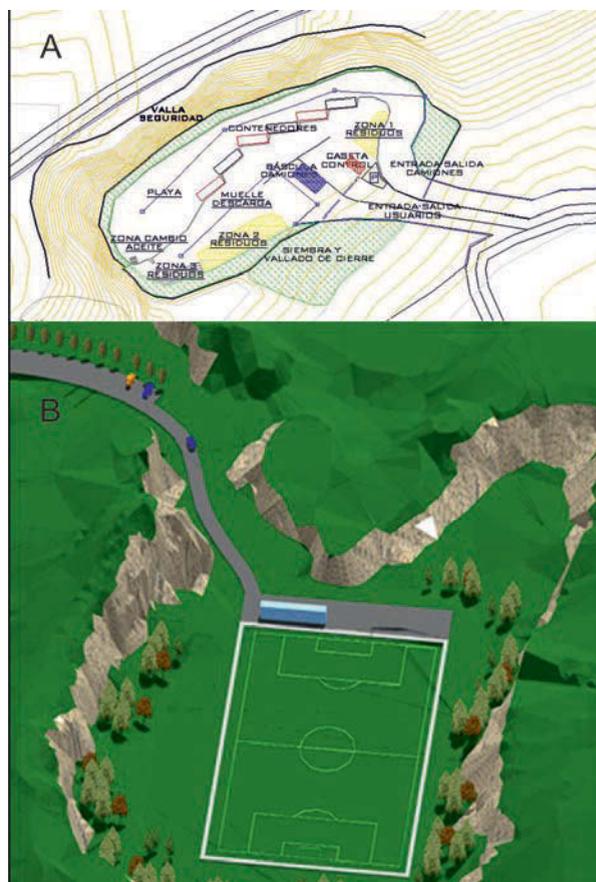
Para la primera de las acciones se realizó un inventario de todas las explotaciones inactivas o intermitentes existentes en Cantabria, elaborando una base de datos sobre las mismas. La **figura 7** muestra la distribución de las citadas explotaciones. A continuación se establecieron una serie de criterios de selección y de prioridad para acometer acciones de rehabilitación. Como criterios de selección necesarios se establecieron: canteras inactivas y con superficie  $>5000 \text{ m}^2$ . Los criterios de prioridad fueron: encontrarse en espacios protegidos de cualquier tipo;  $<2000 \text{ m}$  de un núcleo de población; próximas a áreas potencialmente favorables (selección en Fases 1 y 2);  $<500 \text{ m}$  carretera o ferrocarril; en entornos de alta calidad o fragilidad visual; con alto impacto visual actual; en entornos con predominio de vegetación natural; presentar riesgo de contaminación; presentar riesgo de inestabilidad. Se ordenaron las canteras seleccionadas de acuerdo con el número de criterios de prioridad que cumplían. El resultado se presenta en el **cuadro 5**.

Para todas las canteras así seleccionadas se elaboraron proyectos con propuestas de rehabilitación. Se formularon un total de 21 propuestas, que incluyen acciones de rehabilitación ambiental para la re-naturalización del entorno, o la recuperación y reutilización para distintos tipos de usos, con presupuestos que oscilan entre  $8.000 \text{ €}$  y  $750.000 \text{ €}$  y suman un total de  $3.950.000 \text{ €}$ . Esa cantidad permitiría recuperar la totalidad de las explotaciones inactivas que cumplen las condiciones antes indicadas. La **figura 8** muestra dos de las propuestas elaboradas.

Las acciones anteriores contribuyen a equilibrar la disminución de la capacidad del medio para prestar servicios (impactos ambientales debidos a nuevas explotaciones) con beneficios derivados de la recuperación de dicha capacidad a través de la recuperación

de recursos territoriales previamente degradados por las actividades del sector y para los cuales, por tratarse de explotaciones antiguas, no hay obligación legal de restauración para ninguna empresa. Pero la capacidad de compensación a través de correcciones de este tipo no es grande, ya que el número de explotaciones todavía no rehabilitadas y para las que no existe esa obligación es reducido. La capacidad de compensación es mucho mayor en lo que se refiere a los recursos del patrimonio geológico.

El primer paso para poner en marcha un plan de protección y puesta en valor del patrimonio geológico es la realización de un inventario del mismo y el establecimiento de algún procedimiento para evaluar su calidad o interés (**Bruschi, 2007**). La evaluación es un proceso de emisión de juicios y, por tanto, con una carga importante de subjetividad. ¿Qué criterios podemos seguir para identificar los elementos patri-



**Figura 8.** Dos ejemplos de propuestas de rehabilitación y reutilización. **8A.** Plano de una propuesta para instalación de una planta de recogida y tratamiento de residuos. **8B** Infografía de una propuesta de campo de fútbol.

moniales a proteger y potenciar y para evaluarlos? Esto ha de incluir sin duda el interés científico de los elementos a considerar, pero también otros que tienen que ver con la capacidad de esos elementos para prestar servicios a la población, tales como: interés cultural o educativo, potencial para recreo y turismo, calidad del patrimonio natural, necesidad y urgencia de protección. Es decir, se trata en conjunto de valores intangibles, de apreciación subjetiva, que no se prestan con facilidad a la aplicación de criterios y procedimientos científicos, en los que el grado de objetividad es habitualmente elevado. Pero el hecho de que esos valores sean subjetivos no quiere decir que no sean importantes. En la valoración, protección y puesta en valor del patrimonio geológico nos encontramos ante una tarea que tiene muchas analogías con su equivalente en el ámbito del patrimonio histórico o artístico. En ambos casos estamos ante recursos de alto interés para la sociedad, la cual les confiere valor por razones con frecuencia difíciles de establecer.

En el entorno científico se suele buscar que las opiniones (“interpretación científica”) se basen en datos y en criterios transparentes, que puedan ser sometidos a análisis y evaluación independientes. Es importante garantizar la posibilidad de que distintos operadores puedan reproducir los resultados obtenidos. Se debe por tanto buscar procedimientos que expliciten los datos que se tienen que obtener y los criterios que se van a aplicar. También que dichos criterios se expresen, a ser posible, de forma cuantitativa, de tal modo que las evaluaciones se basen en “medidas” y no en “opiniones de experto”. Esto, naturalmente, no siempre es posible en el caso de los valores intangibles, pero debemos tratar de acercarnos a ello.

En la estrategia que aquí se presenta, el proceso de evaluación de los elementos inventariados ha seguido los pasos siguientes (Cendrero y Fischer, 1997; Rivas et al., 1997; Cendrero et al., 2003): a) identificación de criterios de valoración (cualidades significativas); b) definición de indicadores para medir los criterios; c) establecimiento de rangos de valor para cada indicador; d) integración (modelo de calidad/valor); e) validación independiente.

El inventario de elementos a incluir se realizó a partir de distintas bases de datos recopiladas desde finales de los años 70, así como de la información dis-

ponible en el IGME sobre las hojas del Mapa Geológico Nacional, todo ello completado con reconocimientos de campo sistemáticos. Se construyó una nueva base de datos, en la que para cada elemento inventariado se recoge la información mostrada en la **figura 9**. La valoración se realizó acudiendo a tres grupos de criterios (Bruschi y Cendrero, 2005): a) Calidad intrínseca de los lugares (valor científico); b) Potencial de uso (utilidad social); c) Amenazas y necesidad de protección (urgencia de actuar). Los criterios utilizados dentro de cada categoría se detallan a continuación:

Criterios de calidad intrínseca (valor científico):

abundancia/rareza (A), grado de conocimiento científico (K), utilidad como modelo de procesos (Ex), diversidad de elementos de interés (D), edad geológica (Ag), carácter de localidad tipo (T), asociación con patrimonio histórico-artístico (H), asociación con otro patrimonio natural (N), estado de conservación (C).

Criterios relacionados con el potencial de uso

(utilidad social): actividades que se pueden desarrollar (Act), condiciones de observación (O), accesibilidad (Acc), extensión (E), proximidad a centros de servicios (S), condiciones socioeconómicas de la zona (SE).

Criterios relacionados con amenazas y necesidad de protección (urgencia de actuar):

población en el entorno (I), amenazas actuales o potenciales (Th), posibilidad de recolectar objetos (Co), relación con planeamiento existente (P), interés para la explotación minera (M), régimen de propiedad del terreno (L).

La búsqueda de indicadores que permitan expresar cada criterio ofrece, evidentemente, ciertas dificultades. En algunos casos es posible expresar el criterio por medio de variables cuantitativas. A modo de ejemplos: grado de conocimiento científico (número de artículos científicos que hacen mención al elemento); extensión (m<sup>2</sup>); población en el entorno (N° habitantes en un radio dado). En otros casos no se puede cuantificar, pero sí acudir a variables categóricas de apreciación objetiva (carácter de localidad tipo, actividades que se pueden desarrollar, régimen de propiedad del terreno). Finalmente, hay casos en los que resulta inevitable utilizar variables cuya apreciación implica una cierta subjetividad (estado de con-

1. Situación del EPG			
Nombre de variable	Tipo	Descripción de campo	
CODIGO (hoja 1/50000- nº de serie)	alfanumérico	Numero de hoja 1/50.000 seguido de numero de orden (ejemplo: 82-1)	
NOMBRE	alfanumérico	Nombre del elemento, lugar puntual, itinerario o área.	
LOCALIDAD/MUNICIPIO	alfanumérico	Nombre de la localidad o del municipio	
CODIGO COMARCA	alfanumérico	Código de comarca donde esté situado, según la clasificación establecida, seguido de numero de orden del elemento	
COMARCA	alfanumérico	Nombre comarca según la clasificación establecida.	
OTRA DENOMINACION	alfanumérico	Otro término con el se conozca el sitio o elemento (si procede)	
HOJA 1/50.000	alfanumérico	Numero y nombre de la hoja topográfica del mapa 1/50.000 IGN	
OTRA DENOMINACION DEL LUGAR	alfanumérico	Término con el se conoce el lugar (si procede)	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	X	numérico	Coordenadas geográficas
	Y		
	Z		
COORDENADAS UTM	X	numérico	Coordenadas UTM
	Y		
	Z		
PLANO ACCESO	Imagen	Plano situación general a partir mapa	
FOTOGRAFIA	Imagen	Imagen del sitio	
ESQUEMA	imagen	Esquema del mapa geológico, proceso, o estructura	

2. Identificación del EPG			
Nombre de variable	Tipo	Descripción	
TIPO DE INTERÉS PRINCIPAL	Estratigráfico	Seleccionar el tipo que corresponda entre la lista	Valoración del elemento y lugar por su contenido principal, el que le otorga la máxima expresión o singularidad, entre varias categorías que se exponen en una lista sintética.
	Estructural		
	Geomorfológico		
	Paleontológico		
	Minero		
	Sedimentológico		
	Hidrogeológico		
	Petroológico		
	Geofísico		
	Geoquímico		
Mineralógico			
TIPO DE INTERÉS SECUNDARIO	Estratigráfico	Seleccionar el tipo que corresponda entre la lista	Valoración del elemento y lugar por su contenido secundario o que comparte singularidad con el principal, entre varias categorías que se exponen en una lista sintética.
	Estructural		
	Geomorfológico		
	Paleontológico		
	Minero		
	Sedimentológico		
	Hidrogeológico		
	Petroológico		
	Geofísico		
	Geoquímico		
Mineralógico			
OTRO TIPO DE INTERÉS	Estratigráfico	Seleccionar el tipo que corresponda entre la lista	Valoración del elemento y lugar por su contenido complementario, entre varias categorías que se exponen en una lista sintética. Además de la tipología común en los dos campos anteriores se añaden otras categorías no estrictamente geológicas o tipos catalogación complementaria, no estrictamente de contenido geológico, como son: Paisajístico, Arqueológico, etc.
	Estructural		
	Geomorfológico		
	Paleontológico		
	Minero		
	Sedimentológico		
	Hidrogeológico		
	Petroológico		
	Geofísico		
	Geoquímico		
Mineralógico			
Paisajístico			
Arqueológico			
Usos			
Histórico-Artístico			
DESCRIPCIÓN	texto	Descripción del EPG	
OBSERVACIONES	texto		
PALABRAS CLAVE	alfanumérico	Términos que relacionen el EPG	
FUENTE	alfanumérico	Organismo, entidad o persona que ha recopilado o inventariado el EPG y fecha.	
NOTAS INTERNAS	texto	Anotaciones temporales sobre aspectos del trabajo en curso para el equipo redactor	
BIBLIOGRAFÍA	alfanumérico	Lista bibliográfica escueta (si procede o disponible)	
AUTORES FICHA	alfanumérico	Nombres de/llos redactores	

1. Valoración			
Categorías	Criterios de Valoración	Valor	Significado
CALIDAD INTRÍNSECA (INTERÉS CIENTÍFICO)	Diversidad de tipos de interés	3	Mayor diversidad
		2	Diversidad media
		1	Menor diversidad
	Abundancia o rareza*	3	Mayor rareza
		2	Rareza relativa
		1	Muy común
Asociado a otro tipo de elemento patrimonial	3	Estrechamente relacionado	
	2	Relacionado	
	1	Poco o nada relacionado	
POTENCIAL DE USO (UTILIDAD SOCIAL)	Accesibilidad	3	Carretera asfaltada
		2	Camino o ruta a pie < 2 km
		1	Ruta a pie > 2 km
	Población del entorno	3	> 10.000 habitantes
		2	10.000 - 2.000 habitantes
		1	< 2.000 habitantes
GRADO DE AMENAZA (NECESIDAD DE ACTUACIÓN)	Amenazas actuales o potenciales**	3	Expectativas de planes con plazos
		2	Expectativas de planes sin plazos
		1	Sin expectativas
RÉGIMEN DE PROPIEDAD	Criterio orientador	3	Público
		2	Indefinido
		1	Privado

Nombre de variable	Tipo	Descripción de campo
PROPUESTAS DE ACTUACIÓN	Texto	Descripción sintética de propuestas de actuación, que remiten en todo caso al documento específico donde se describe la actuación a nivel de anteproyecto, de idea, o de recomendación. Según sea el caso

2. Calificación			
Categorías	Criterios de Valoración	Valor	Significado
VALORACION GLOBAL	La suma de valores de las categorías establecidas dan como resultado para cada EPG una cifra comprendida entre 21, valor máximo y 7 valor mínimo.	Valores entre 21 y 7 separados en 3 rangos y traducidos a escala decimal	21-17: 10-8,4
			16-12: 8,3-4,7
			11-7: 4,6-1
PERTENENCIA A ESPACIO PROTEGIDO	La pertenencia del elemento a un espacio protegido prima la valoración global del elemento de cara a la categoría final.	1	SI pertenece al ámbito de un espacio protegido
		0	NO pertenece a ningún espacio protegido
NOMBRE DEL ESPACIO PROTEGIDO			Nombre del Espacio Protegido
CATEGORIA FINAL DEL EPG	Valor final del EPG	10-8,4	ALTA
		8,3-4,7	MEDIA
		4,6-1	BAJA

Figura 9. Cuadro que muestra los contenidos de la base de datos sobre los elementos patrimoniales de la geodiversidad recogidos en el inventario.

servación, condiciones de observación, amenazas actuales o potenciales). En todos los casos, los criterios citados se pueden expresar de forma numérica utilizando una escala común, por ejemplo de 0-4 (que no debe interpretarse como una medida cuantitativa). Los tres ejemplos siguientes ilustran las situaciones indicadas. *Abundancia/rareza*: 4. un único ejemplo en la

región; 3. de 2 a 4 ejemplos; 2. de 5 a 10 ejemplos; 1. de 11 a 20 ejemplos; 0. >20 ejemplos. *Accesibilidad*: 4. acceso directo por carretera general; 3. acceso por carretera local; 2. acceso por caminos sin pavimentar; 1. Sin acceso por vehículo pero <1 km del más próximo; 0. >1 km del acceso rodado más próximo. *Amenazas reales o potenciales*: 4. área de desarrollo

urbano industrial patente o con proyectos nuevas infraestructuras. 2. área de tipo intermedio, sin proyectos aprobados ni en marcha pero con expectativas para el futuro próximo. 0. área rural y sin expectativas de desarrollo urbano-industrial.

Esto es algo equivalente a lo que, de manera habitual, se hace con las calificaciones en exámenes. Los valores de esas calificaciones numéricas no representan una medida cuantitativa de la “cantidad de conocimiento”, pero sí una expresión útil para evaluar este. A través de esta sencilla operación, las magnitudes heterogéneas por medio de las cuales se expresan inicialmente las distintas variables, se transforman en magnitudes homogéneas, en escala adimensional 0-4. Una vez expresados así todos los criterios, se puede acudir a procedimientos sencillos de agregación ponderada, para obtener un valor integrado que represente la “calidad” o “interés” de cada uno de los elementos inventariados. Se pueden definir a partir de ello una serie de índices parciales que expresen la calidad intrínseca (Q), la utilidad social (U) y la necesidad de protección (P), así como el valor total (V) de cada elemento patrimonial de la geodiversidad.

$$Q = (A \cdot W_a + K \cdot W_k + E_x \cdot W_{ex} + D \cdot W_d + A_g \cdot W_{ag} + T \cdot W_t + C \cdot W_c + N \cdot W_n + C \cdot W_c) / 4$$

$$U = (A_{ct} \cdot W_{act} + O \cdot W_o + A_{cc} \cdot W_{acc} + E \cdot W_e + S \cdot W_s + S_e \cdot W_{se}) / 4$$

$$P = (I \cdot W_i + T \cdot W_t + C O \cdot W_{co} + P \cdot W_p + M \cdot W_m + L \cdot W_l) / 4$$

$$V = Q + U + P / 3;$$

$W_i$  son los pesos o coeficientes de ponderación de cada criterio, expresados en fracciones de 1 ( $\sum W_i = 1$ ). De esta forma, dado que el valor máximo de cada criterio es 4, los tres índices parciales y el índice de valor agregado se expresan en una escala 0-1.

Ese valor puede considerarse como la expresión de un “modelo de calidad”, que expresa de manera numérica (insistimos, no cuantitativa) los valores intangibles antes indicados. Las clasificaciones numéricas así obtenidas se pueden contrastar y comparar con evidencias independientes u opiniones externas, las cuales pueden ayudar a refinar los modelos. Aunque el procedimiento no elimina la subjetividad, sí la reduce de manera apreciable y, posiblemente más importante, hace que el proceso de aplicación y valoración de criterios y su integración para obtener un valor final de calidad sea totalmente transparente y reproducible. Además, se pueden hacer así comparaciones entre distintos elementos patrimoniales de la

geodiversidad sobre bases comunes, aplicadas de manera uniforme. Cualquier operador que acepte los criterios obtendría el mismo resultado. Alternativamente, podría proponer otros criterios, también aplicables de manera inequívoca. Se evita así que la valoración sea la simple expresión de la opinión de un experto. El índice integrado de valor y los índices parciales; de calidad intrínseca, potencial de uso y necesidad de protección ayudan a establecer prioridades y tipos de actuación.

Ahora bien, aunque el tipo de “modelo de calidad” propuesto parezca razonable, conviene contrastar a partir de información independiente los resultados que proporciona. Esta es una práctica habitual en el ámbito científico, pero en este caso presenta ciertas dificultades. En el caso de los modelos que se aplican en distintos campos científicos, que tienden a explicar el funcionamiento de procesos que representan realidades físicas observables, la comprobación es conceptualmente sencilla (aunque pueda ser técnicamente complicada). Se trata simplemente de ver si el proceso real se comporta de acuerdo con lo que predice el modelo, a través de las observaciones, experimentos o medidas correspondientes. Pero estos “modelos de calidad” no reflejan una realidad física, sino el resultado de una evaluación, basada en determinados criterios. Se trataría, por tanto, de ver hasta qué punto dicha evaluación coincide con evaluaciones independientes o con evidencias objetivas de la apreciación social de los elementos patrimoniales analizados. Para lo primero se puede acudir a encuestas entre grupos de expertos independientes, conocedores de la zona donde se haya realizado el inventario y la evaluación y que no hayan intervenido en el proceso descrito. **Bruschi, Cendrero et al (2011)** han realizado este tipo de análisis y han puesto de manifiesto que aunque, como era de esperar, la coincidencia no es perfecta, sí que alcanza un grado notable en la mayoría de los casos.

Otro tipo de comprobación ha sido la aplicación del procedimiento descrito al caso de algunos lugares que representan elementos patrimoniales de la geodiversidad ampliamente conocidos y apreciados por la sociedad en su entorno. En concreto, el Ratón de Guetaria (Guipúzcoa) y el Karst de Cabárceno (Cantabria) (**Fig. 10**). Los valores obtenidos fueron, respectivamente 0,86 y 0,9. Esto es, valores muy pró-



**Figura 10.** Dos lugares emblemáticos tomados como referencia para la validación del método. Izquierda, Ratón de Guetaria (Guipúzcoa). Derecha, Karst de Cabárceno (Cantabria).

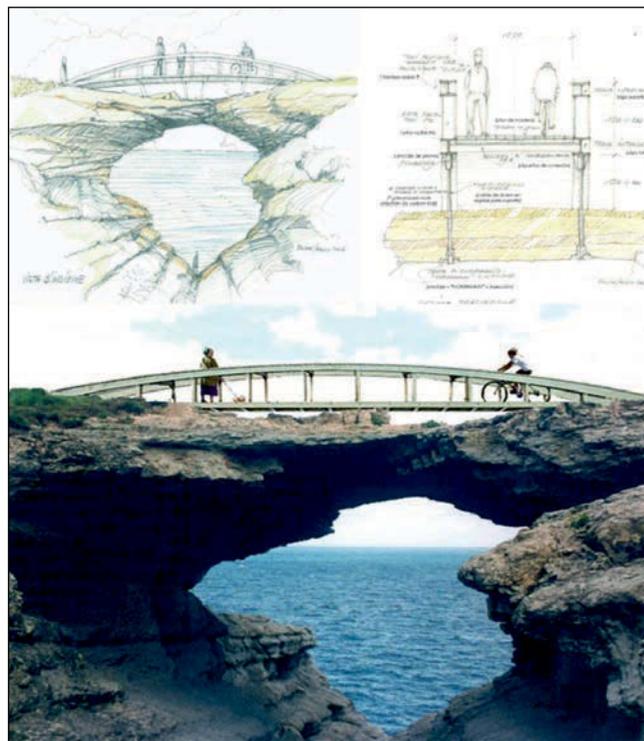
ximos al máximo teórico. Finalmente, una evidencia objetiva del grado de aprecio por parte de la sociedad son las medidas que se haya podido tomar y la inversión económica que se haya podido realizar para la protección, rehabilitación o puesta en valor de esos elementos. El Karst de Cabárceno fue declarado parque natural por el gobierno autonómico en 1989, y se ha realizado en él una inversión que supera los 12 millones de euros, si bien esta cifra ha de considerarse como de significado relativo. Por un lado, la mayor parte de la inversión se realizó hace bastantes años, cuando los costes (en pesetas) eran mucho más bajos que los actuales. Por otro lado y en sentido contrario, solo una parte de dicha inversión se ha dedicado a la rehabilitación y puesta en valor directa del elemento patrimonial indicado; otra parte se ha dedicado a la construcción de un zoológico.

En resumen, las comprobaciones mostradas, aunque no equivalentes a las aplicadas a procesos físicos como los indicados antes, sí muestran que el procedimiento proporciona resultados razonablemente fiables sobre la valoración del patrimonio de la geodiversidad.

## MEDIDAS DE PUESTA EN VALOR

Supongamos que ya sabemos que patrimonio tenemos y que tenemos una valoración aceptable del mismo. ¿Qué podemos hacer, dentro de una estrategia

de compensación, para potenciar los servicios que presta? Las acciones en ese sentido pueden incluir: protección legal; protección física; utilización para actividades de educación y de divulgación o de recreo por parte de la población; promoción del turismo de naturaleza; contribución directa o indirecta al desa-



**Figura 11A.** Propuesta de consolidación para el Puente del Diablo (Santander).



Figura 11B. Información sobre el Puente del Diablo para instalación de paneles divulgativos.



Figura 12. El Puente del Diablo, tras su derrumbe en 2010, y recorte de prensa sobre el acontecimiento.



**Figura 13.** Ejemplos de acondicionamiento y puesta en valor de elementos patrimoniales de la geodiversidad para uso turístico en Cantabria. Izquierda, cueva de “El Soplao”. Derecha, Karst de Cabárceno.

rollo de actividades económicas. Para ilustrar esto se presentan algunos ejemplos. El Puente del Diablo, en Santander, era una singularidad geológica que constituía uno de los símbolos del entorno de la ciudad, ampliamente mostrado, desde hace más de un siglo, en fotografías de libros, folletos y postales. Ante la necesidad de protegerlo y la conveniencia de incrementar su utilidad social, se hizo una propuesta (Bruschi, 2007) de consolidación (Fig. 11a) y se diseñó documentación de tipo divulgativo sobre el mismo (Fig. 11b). Desgraciadamente, en noviembre de 2010 un temporal produjo su derrumbe, lo que causó una gran conmoción en la sociedad local, tal como muestran las noticias de prensa (Fig. 12). Otros dos ejemplos, en este caso positivos y correspondientes a actuaciones llevadas a cabo hace bastantes años por iniciativa de las administraciones autonómicas, son el ya citado Karst o Parque de la Naturaleza de Cabárceno y la Cueva de El Soplao (Fig. 13), los cuales constituyen importantes focos de atracción turística y dinamización económica de sus entornos, con más de 500.000 y 200.000 visitantes anuales respectivamente. En la estrategia diseñada para el uso sostenible de los recursos de la geodiversidad en Cantabria, se han elaborado 19 propuestas de muy distinta naturaleza para proteger o poner en valor diferentes elementos patrimoniales, con costes que oscilan entre 2000 € y 720.000 € y un monto total de 1.624.000 €

## FINANCIACIÓN

Las acciones para la puesta en valor de los elementos patrimoniales de la geodiversidad requieren financiación. En algunos casos, como alguno de los

ejemplos anteriores muestran, el propio uso del elemento puede dar lugar a actividad económica directa y generar ingresos que contribuyan a amortizar la inversión, pero en otros casos no es así. Por tanto, si se quiere poner en marcha una estrategia integrada que contemple el uso social de estos recursos, como vía para compensar impactos y lograr un balance ambiental positivo, es preciso prever algún mecanismo de financiación.

La explotación de los recursos consumibles de la geodiversidad, para los cuales hay un mercado con precios bien establecidos, puede utilizarse para generar los fondos necesarios para financiar la protección y puesta en valor de los recursos no consumibles, sin precio de mercado salvo en casos especiales. Volviendo al comentario hecho en la introducción, se trata de que la geodiversidad se considere como un todo, planificando de manera conjunta el uso de los distintos recursos que contiene. Existe un precedente que resulta de gran interés en relación con esto, que es el relativo al “1% cultural” en la obra pública. Desde 1985 (Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español) está establecido que se debe dedicar a actuaciones de tipo cultural (recuperación y puesta en valor de patrimonio cultural) el equivalente al 1% del coste de las obras públicas. Esto representa una cantidad muy pequeña para la actividad, pero ha permitido financiar numerosas actuaciones que han contribuido de manera significativa a la mejora del patrimonio cultural del país.

De manera similar, se podría establecer una tasa o gravamen finalista para la explotación de áridos o de otros recursos consumibles de bajo valor unitario. Con

esa tasa se podrían acometer actuaciones de compensación ambiental del tipo de las aquí descritas, encaminadas a aumentar la capacidad de los recursos no consumibles para prestar servicios ambientales. Esto podría ayudar a que los comportamientos de este sector, tradicionalmente percibido socialmente como poco respetuoso con el medio, fueran adoptando pautas de mayor responsabilidad social corporativa. De esta forma, si además de desarrollar las nuevas explotaciones en lugares ambientalmente poco sensibles y de acuerdo con técnicas respetuosas para el medio, el sector minero contribuye a proteger patrimonio y a proporcionar nuevos servicios ambientales, se mejoraría su imagen pública. Se podría reducir así la oposición social a esta actividad y mejorar su viabilidad futura.

Suponiendo un gravamen de 0,5-1 €/Ton de árido producido y puesto en el mercado por las industrias extractivas implicadas, una estimación inicial indica que la repercusión en los costes finales de las obras a las que se destinan esos materiales sería muy escasa (aproximadamente 300 € para una vivienda media y 30.000 €/km para una autopista). Pero, teniendo en cuenta los grandes volúmenes que anualmente se producen, la recaudación podría ser importante. Hay que tener presente que la producción de áridos representa, en España y en la mayoría de los países industrializados, la mayor parte del valor económico de la minería. En el caso de Cantabria, según que se considere la situación antes o después de la crisis y uno u otro valor del gravamen, la recaudación oscilaría aproximadamente entre 10 y  $2 \times 10^6$  €/año. Los fondos así recaudados podrían dedicarse a distintas acciones relacionadas con el aprovechamiento de los recursos de la geodiversidad, que podrían desarrollarse y coordinarse a través de un centro de I+D+i en el que se integrase la Administración Autonómica, la Universidad y las empresas del sector. Las funciones de ese centro podrían incluir: investigación sobre recursos geológicos con potencial para la explotación (rocas ornamentales, materiales de construcción, minerales industriales, energía geotérmica); innovación sobre métodos y técnicas de explotación y tratamiento de los materiales, para aumentar la eficiencia y reducir los impactos ambientales; desarrollo de nuevos productos y materiales, de mayor valor añadido; seguimiento y auditoría de actividades relacionadas con el uso de los recursos de la geodiversidad y emisión, si procede, de

certificaciones de sostenibilidad; investigación sobre métodos, y gestión de acciones de rehabilitación, protección, compensación y puesta en valor del patrimonio, incluyendo las que puedan favorecer actividades económicas. Consultas preliminares con representantes cualificados de las empresas del sector han puesto de manifiesto una postura inicial favorable, pues entienden que un plan de este tipo ayudaría a dar estabilidad al sector y facilitaría su mantenimiento o crecimiento futuro.

## COMENTARIO FINAL

En las páginas anteriores se ha tratado de mostrar la aplicación de algunos criterios y procedimientos de base científica a la resolución de problemas relacionados con el uso de ciertos recursos naturales, de tipo económico y patrimonial, ligados a la geodiversidad. Se ha tratado de poner de manifiesto que los conflictos que habitualmente se plantean entre explotación de recursos mineros y protección ambiental pueden abordarse de otra forma, haciendo que (al menos en parte) los problemas causados por la explotación de los primeros se conviertan en oportunidades para la segunda. Naturalmente, aunque la aportación científica pueda ayudar a diseñar este tipo de estrategias, su aplicación y utilidad reales dependerán del grado de implicación de las administraciones públicas y del sector productivo.

## REFERENCIAS

1. Bruschi, V. **2007**. Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria.
2. Bruschi, V., Cendrero, A. **2005**. Geosite evaluation; can we measure intangible values? *Il Quaternario; Italian Journal of Quaternary Sciences*, 18 (1). 293-306.
3. Bruschi, V., Cendrero, A., Cuesta Albertos, J.A. **2011**. A Statistical approach to the validation and optimization of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage*, 3: 131-149.
4. Bruschi, V.M., Doughty, M., Fernández, G., Martínez Cedrún, P., Fernández, J.M., Cendrero, A. **2011**. Diseño de una estrategia integrada para la utilización

- sostenible de los recursos de la geodiversidad. En: "Minería en áreas periurbanas. Una aproximación multidimensional", del Río, J.L. y de Marco, S.G. (eds.). Universidad Tecnológica Nacional, Argentina: 219-230.
5. Burek, C., Potter, J. **2002**. Local geodiversity action plans. Setting the context for geological conservation. English Nature. Peterborough.
  6. Carcavilla, L. **2006**. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid.
  7. Cendrero, A. **1996**. Propuesta sobre criterios para la clasificación y valoración del patrimonio geológico. En: *El patrimonio geológico*. Serie Monografías, MOPTMA, Madrid: 29-38.
  8. Cendrero, A. **2000**. Patrimonio geológico; diagnóstico, clasificación y valoración. En: *Patrimonio geológico y desarrollo sostenible*; Palacio, J. (ed.). Serie Monografías, Min. de Medio Ambiente, Madrid; p. 23-37.
  9. Cendrero, A., Fischer, D.W. **1997**. A procedure for assessing the environmental quality of coastal areas for planning and management. *Journal of Coastal Research*, 13 (3): 732-744.
  10. Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R., González, D., Mascitti, V., Rotondaro, R. and Tecchi, R. **1993**. Environmental diagnosis for planning and management in the high Andean region; the biosphere reserve of Pozuelos, Argentina. *Environmental Management*, 17(5):683-703.
  11. Cendrero, A., Francés, E. and Díaz de Terán, J.R. **1992**. Geoenvironmental units as a basis for assessment, regulation and management of the earth's surface. En: Cendrero, A., Lüttig, G. and Wolff, F. Ch. (eds.) *Planning the use of the Earth's surface*. Springer Verlag, Berlin - N. York: 199-234.
  12. Cendrero, A., Francés, E., del Corral, D., Fermán, J.L., Fischer, D., del Río, L., Camino, M. & López, A. **2003**. Indicators and indices of environmental quality for sustainability assessment in coastal areas; application to case studies in Europe and the Americas. *Journal of Coastal Research*, 19 (3): 919-933
  13. Guillén, F. y Del Ramo, A. (Eds.). **2004**. *El Patrimonio Geológico: Cultura, Turismo y Medio Ambiente*. Actas de la V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España, Áreas de Geología y Edafología de la Universidad de Murcia y Excmo. Ayuntamiento de Molina de Segura, Murcia, 400 págs. ISBN 84-688-4017-3; D.L.: MU-146-2004.
  14. Gray, M. **2004**. Geodiversity; valuing and conserving abiotic nature. Wiley.
  15. Janssen, R. **2001**. On the Use of Multi-Criteria Analysis in Environmental Impact Assessment in the Netherlands. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10: 101-109
  16. Otero, C., Bruschi, V., Cendrero, A., Iglesias, A., Lázaro, M., Togores, R. **2004**. An application of computer graphics for landscape impact assessment. *Lecture Notes in Computer Science*, 30.44: 779-788.
  17. Otero, C., Machado, C., Arias, R., Bruschi, V., Gomez-Jauregui, V., Cendrero, A. **2012**. Wind energy development in Cantabria, Spain. Methodological approach, environmental, technological and social issues. *Renewable energy*, 40-1: 137-149.
  18. Rivas, V., Rix, K., Francés, E., Cendrero, A. and Brunsden, D. **1997**. Geomorphological indicators for environmental impact assessment; consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, 18(3-4): 169-182
  19. Wäger, P. **2007**. Multi criteria evaluation. Working paper for the COST 356 meeting in Torino, October 10-12. Technology and Society Laboratory, Empa, St. Gallen, Suiza.