

**CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE HIPÓGEO DE LA CUEVA DE ALTXERRI  
POR VERTIDOS INDUSTRIALES Y PROBABLES EFECTOS ADVERSOS SOBRE SU  
ECOSISTEMA SUBTERRÁNEO Y SUS PINTURAS RUPESTRES.**

Pollution of the hypogean environment of the Altxerri Cave by industrial sewages and probable adverse effects on its underground ecosystem and its prehistoric paintings.

**Carlos GALÁN, José RIVAS, Carolina VERA**  
Biosphere Consultancies, Sociedad de Ciencias Aranzadi &  
Dpto. Biomateriales y Nanotecnología Inasmet-Tecnalia  
E-mail: cegalham@yahoo.es  
Enero 2012.



# CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE HIPÓGEO DE LA CUEVA DE ALTERRI POR VERTIDOS INDUSTRIALES Y PROBABLES EFECTOS ADVERSOS SOBRE SU ECOSISTEMA SUBTERRÁNEO Y SUS PINTURAS RUPESTRES.

Pollution of the hypogean environment of the Altxerri Cave by industrial sewages and probable adverse effects on its underground ecosystem and its prehistoric paintings.

**Carlos GALÁN<sup>1,2</sup>, José M. RIVAS<sup>2</sup> & Carolina VERA MARTIN<sup>2,3</sup>.**

<sup>1</sup> Biosphere Consultancies; <sup>2</sup> Laboratorio de Bioespeleología Sociedad de Ciencias Aranzadi &

<sup>3</sup> Departamento de Biomateriales y Nanotecnología, Inasmet-Tecnalia.

<sup>1</sup> Manteo 2, PBaja A. 20013 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Enero 2012.

## RESUMEN

La cueva de Altxerri, situada en Orío (País Vasco), posee un destacado conjunto de arte rupestre Magdaleniense y un ecosistema con raras especies troglobias endémicas del País Vasco o sólo conocidas de esta cavidad.

La cueva tiene 2.508 m de galerías y se desarrolla en una litología poco habitual: calizas y margas rosadas del Maastrichtiense-Danés. Forma parte de un sistema hidrogeológico extenso, con varios sumideros en su cabecera de cuenca. Prospecciones recientes han mostrado que una fábrica de concreto vierte todos sus residuos (industriales y orgánicos) en el sumidero más importante, contaminando de este modo el sistema hidrológico de la cueva.

Se presentan datos sobre las características de los vertidos y se analiza su impacto ambiental sobre las especies cavernícolas y probable afección al medio físico de la cueva, su atmósfera subterránea y sus pinturas rupestres.

Se proponen medidas de monitoreo de parámetros ambientales, evaluación de afecciones a la fauna hipógea y a las pinturas rupestres, así como recomendaciones globales de protección, seguimiento y control.

*Palabras clave:* Hidrogeología, fauna cavernícola amenazada, antropología, contaminación, conservación.

## ABSTRACT

The Altxerri cave, located in Orío (Basque Country), has an outstanding set of Magdalenian prehistoric art and a remarkable ecosystem with rare troglobiont species endemic to the Basque Country or only known of this cavity.

The cave is 2.508 m of galleries develops into an unusual lithology: rose limestones and marls of Maastrichtian-Danian. It is part of an extensive hydrogeological system, with various sinks in the upper basin. Recent surveys have shown that a concrete factory poured all their waste (industrial and organic sewages) in the most important sink, thus polluting the water system of the cave.

Data are presented on the characteristics of the discharge and analyze its environmental impact on cave species and the probable affection to the physical condition of the cave, the cave atmosphere and its prehistoric paintings.

We propose monitoring environmental parameters, evaluations of affections to hypogean fauna and to prehistoric paintings, as well as recommendations of global suitable actions of conservation, pursuit and control.

*Key words:* Hydrogeology, threatened cave fauna, anthropology, pollution, conservation.

## INTRODUCCION

La cueva de Altxerri posee un notable conjunto de grabados y pinturas rupestres de la época Magdaleniense pertenecientes a la denominada escuela franco-cantábrica, por lo que fue declarada Patrimonio de la Humanidad en 2008, junto con otras 16 cuevas situadas en el norte de España.

Las pinturas (descubiertas por miembros del Departamento de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi) y su contexto arqueológico y paleontológico fueron estudiadas sucesivamente por miembros del Departamento de Prehistoria de Aranzadi (Barandiarán, 1964; Altuna & Apellaniz, 1976; Altuna et al, 1995; Altuna, 1996). Algunos datos geológicos y sedimentológicos fueron presentados por Rat & Delingette (1964). Pero estos resultados se centraban en el sector con pinturas rupestres, que comprende sólo los 150 primeros metros de la cueva.

La cavidad forma parte de un sistema hidrogeológico extenso y posee un conjunto de galerías, de 2.508 m de desarrollo y 58 m de desnivel. Breves referencias al sistema de Altzerri fueron publicadas en Galán (1988) y Galán & Etxeberria (1994). En un trabajo reciente describimos en detalle el conjunto de la cavidad y el sistema hidrogeológico del que forma parte, presentando mapas detallados de los mismos en formato digital (Galán, 2011).

En adición, la cavidad resulta notable por poseer un ecosistema subterráneo diverso, con al menos ocho especies troglobias. Siete de ellas son endémicas de Gipuzkoa o del País Vasco y la restante (una especie de crustáceo acuático Stenasellidae, de antiguo origen, propia del Sur de Francia) sólo es conocida en el País Vasco de esta cueva. La cavidad alberga además una población de un potencial nuevo género y especie de coleóptero acuático Dytiscidae, que permanece aún indescrito. Trabajos biológicos adicionales (Galán, 1993, 2006, 2011) han mostrado que la mayor parte de las especies troglobias se encuentran actualmente amenazadas o bajo riesgo de extinción.

Prospecciones efectuadas en 2011 sobre la superficie del afloramiento calizo, tanto sobre la red de galerías de la cueva como en sus prolongaciones al E y W, en busca de nuevas cavidades, han resultado en la detección de vertidos de residuos contaminantes, que afectan de modo continuado al sistema hidrológico de la cueva de Altzerri, a su ecosistema subterráneo, y probablemente también (en un grado que conviene evaluar) a sus pinturas rupestres. Creemos que estas afecciones, las cuales son continuas (no puntuales), están produciendo una acentuada degradación del medio ambiente hipógeo.

Probablemente esta contaminación ha pasado desapercibida hasta la fecha, por el desconocimiento generalizado que existía sobre el sistema de la cueva, donde la atención de los arqueólogos y autoridades administrativas se ha centrado sólo en el sector con arte rupestre, relegando la realización de prospecciones biológicas e hidrogeológicas en el conjunto de la cueva. Sin ser alarmistas, creemos que debe facilitarse el estudio estos otros aspectos a la vez que tomar medidas de protección y control con cierta premura. La conservación de la cueva (con sus pinturas y su notable ecosistema hipógeo) merece estudiar y entender lo que está ocurriendo.

El objeto de este trabajo es exponer los datos obtenidos en las prospecciones recientes, presentar una evaluación preliminar de las probables afecciones, y alertar a las autoridades administrativas para que puedan tomar medidas de protección y conservación adecuadas.

## **MATERIAL Y METODOS**

El trabajo resume los resultados de prospecciones efectuadas durante el 2011 en el entorno exterior de la cueva de Altzerri. Tras la elaboración de un mapa digital del conjunto de la cueva y de un mapa georeferenciado en relación al SIG de Gipuzkoa y a la cartografía de superficie (Galán, 2011), revisamos el afloramiento margo-calizo en superficie sobre la red de galerías de la cueva y en sus prolongaciones al E y W de la misma. La revisión de los sumideros existentes en la cabecera de cuenca, nos llevó a descubrir que una serie de impactos están sucediendo, de modo continuado, desde hace años.

Los más significativos consisten en la alteración del balance hídrico, porque casi la entera totalidad del caudal de la cuenca epígea superior sobre terrenos impermeables, la cual alimenta el sistema, es captada por diversas tomas disminuyendo el input hidrológico. A la vez, de modo concentrado, los desechos industriales y orgánicos de una fábrica de concreto, situada en la proximidad del sumidero principal, son vertidos al acuífero a través de esta cueva-sumidero, con el resultado de que la mayor parte de la alimentación del sistema se circunscribe hoy al ingreso de estos vertidos contaminantes, sólo diluidos por los aportes de la infiltración dispersa de las aguas de lluvia sobre el afloramiento.

Sobre muestras tomadas de los vertidos se efectuaron medidas de pH y análisis químicos de la fase líquida. Tras evaporar el agua de la fase líquida de los vertidos, se obtuvieron residuos sólidos que fueron analizados por espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) o espectroscopía por dispersión de energía (EDS) a fin de determinar su composición cualitativa y cuantitativa por elementos químicos. Se investigó la procedencia de los vertidos: residuos de una planta de elaboración de hormigón, de piscinas de lavado de camiones-tolva que recargan el hormigón y son limpiados en la misma planta, y de todos los efluentes y aguas residuales (aguas negras) de las citadas instalaciones. Como veremos, normalmente se emplean altas concentraciones de ácido clorhídrico para limpiar internamente las tolvas, aportando a su vez subproductos de las operaciones de limpieza de las costras de cemento residual. Los datos obtenidos son analizados presentando una evaluación de conjunto.

Cabe señalar que las fases gaseosas de los vertidos no han sido estudiadas, pero en el sumidero se aprecia olores fuertes a úrea y productos químicos probablemente utilizados como aditivos de los cementos o para su limpieza.

Otras prospecciones sobre la superficie del afloramiento han permitido encontrar a 70 m de distancia de la boca de la cueva de Altzerri y sobre la misma, una probable boca natural de sima, taponada artificialmente por bloques, y que podría constituir una antigua entrada natural a la cavidad, estando situada muy próxima a las bóvedas del piso superior. Estos detalles y datos adicionales en relación a la fauna hipógea serán comentados en los resultados.

## RESULTADOS

### El sistema de Altxerri.

La red de galerías de la cueva de Altxerri se extiende 785 m en planta entre la boca y el fondo de la cavidad (Figura 1). El afloramiento margo-calizo del Maastrichtiense-Danés forma una banda de 70 m de potencia media, la cual adopta la forma de una "U", cóncava hacia el N y con buzamiento general hacia el Sur. Queda confinada a N y S entre materiales impermeables del Paleoceno-Eoceno y del Cretácico tardío, respectivamente (Figura 2).

En este dispositivo, el buzamiento de la serie margo-caliza es variable, experimentando deformaciones sobre cortas distancias, pero en general manteniéndose perpendicular a la dirección del eje de la banda. Así, en la rama E la dirección del buzamiento es SE, en el centro es S, y en la rama W (de azimut N-S) prácticamente W. De igual modo la inclinación de las capas varía, pasando de unos 65° en la proximidad de la boca, a 25° en la parte media de la cueva, para aumentar de nuevo a entre 45° y subvertical en la rama W (zona de sumideros). La estratificación de la caliza, en bancos delgados (de 30-50 cm de espesor), y la presencia de intercalaciones margosas, determinan una gran plasticidad de la serie margo-caliza, con variaciones y deformaciones a pequeña escala a lo largo de la banda.

La red de galerías de la cueva (de 2,5 km) se desarrolla a varios niveles a lo largo de 58 m de desnivel. Los superiores son fósiles y los inferiores semiactivos, existiendo un proceso actual de hundimiento del drenaje por debajo de la galería principal. Una descripción detallada de la cavidad fue presentada en un trabajo previo (Galán, 2011). La boca de la cueva (cota 0, se localiza a 25 m snm), mientras que la galería principal discurre a menor cota, finalizando en un sifón en la cota -21, prácticamente a igual cota que el cauce epígeo del arroyo Altxerri (a 4 m snm). La zona de surgencia, difusa, queda enmascarada bajo el relleno aluvial del valle (Ver Figuras 1 y 2).

El valle situado al W de la cueva (Azarizulota) discurre a una cota 70 m más alta que el valle de Altxerri, situado al E. Al alcanzar las calizas sus aguas se infiltran en el subsuelo de modo progresivo, existiendo en su parte N final una cueva-sumidero que interrumpe la continuidad del cauce, constituyendo de este modo un valle ciego. Las aguas infiltradas se concentran siguiendo el buzamiento en la caliza compacta y derivan hacia el E a lo largo de la banda calcárea, hacia las cotas de borde más bajas de la unidad, en el valle de Altxerri, el cual constituye el nivel de base local para el acuífero de la cueva. La emergencia es difusa y se produce en la proximidad de la boca, estando oculta por el plano aluvial Cuaternario que rellena el fondo del valle. Un esquema de las direcciones del drenaje subterráneo es presentado en la Figura 2. Obviamente, la red de galerías de la cueva ha sido excavada por la circulación del colector principal de la unidad en el tramo de caliza más compacto. Los distintos niveles de galerías (fósiles y activas) corresponden a sucesivas fases de hundimiento del drenaje y excavación de conductos (Galán, 2011).

Cabe destacar que en esta evolución, cuando el nivel del mar estuvo más bajo, probablemente el fondo del valle de Altxerri estaría situado a una cota 30-40 m más baja que en la actualidad, y, como es frecuente en el karst, las líneas de drenaje tienden a hundirse en la proximidad de la zona de surgencia (Bakalowicz & Mangin, 1980), por lo que puede haber antiguos conductos actualmente colmatados, y que ocultan la continuidad de galerías anteriores. El sifón de la cota -21 (punto más bajo de la red hoy accesible) indica la posición del nivel piezométrico actual, en correspondencia con la cota del río epígeo.

### Los sumideros superiores.

El valle ciego superior, entre la confluencia de Azarizulota y la cueva-sumidero que constituye su terminación N (Sumidero Altxerri), discurre subhorizontalmente a 70 m por encima del nivel de la surgencia del sistema en el talweg del río Altxerri. Las aguas se infiltran progresivamente en este recorrido sobre la rama W de la banda margocaliza, de disposición S-N y buzamiento W de ángulo alto. Los aportes de esta cuenca epígea constituyen más de la mitad del caudal hídrico que ingresa al sistema.

En el fondo de la cueva de Altxerri (cota interna +28 = 53 m snm) existe una chimenea de 6 m de alto por la cual ingresa a la cavidad una cascada (59 m snm) que constituye el inicio del curso subterráneo de la cueva. En superficie, sobre este punto (70 m snm), se presenta el primer sumidero (difuso) en la confluencia de Azarizulota (donde se une otro pequeño arroyo lateral). Apenas un espesor vertical de 10 m separa ambos puntos. Otros salones laterales, que ascienden hasta la cota +37 (= 62 m snm), están igualmente a muy corta distancia de la superficie externa.

Desde la confluencia de Azarizulota hacia el N, río abajo, el caudal epígeo experimenta pérdidas progresivas por infiltración sobre margas, aunque en condiciones normales gran parte del caudal alcanza la cueva-sumidero N. En este tramo en superficie se aprecia una alternancia de margas y calizas margosas, estando excavado el sumidero N en calizas compactas. Un recorrido a lo largo del valle muestra que actualmente existe toda una serie de tomas de agua que mediante depósitos, mangueras y bombas, extraen la totalidad del agua para derivarlo hacia la planta de concreto cercana (Figura 3) y algunas también para caseríos, dejando en seco la cueva-sumidero N. Una pérdida en una de las

conducciones se infiltra unos 100 m antes del sumidero habiendo generado dos embudos de colapso entre las margas, el mayor de los cuales desciende 6 m de desnivel hasta finalizar en obstrucción por derrubios (Figura 3).

La cueva-sumidero N (Sumidero Altxerri) presenta una amplia boca horizontal (4 m de diámetro), por donde ingresaba el antiguo cauce, y una claraboya superior, que desde superficie forma una sima de -8 m (Figura 4). En la unión de ambas un resalto vertical da paso a una galería descendente, en oscuridad, de 20 m, la cual se obstruye por colapso de bloques. Al lado de la entrada hay también unas galerías laterales pequeñas.

Así, la totalidad del drenaje de la cuenca epígea se infiltra en la serie margocaliza, para derivar hacia el acuífero de Altxerri. La cueva-sumidero N constituye la terminación (fondo o punto más bajo, a 60 m snm) del valle ciego. El valle se interrumpe en este punto, donde una elevación topográfica lo separa de su continuidad al N del Alto de Orio.

### **Vertidos en la cueva-sumidero.**

Nuestras prospecciones recientes, con la intención de encontrar continuaciones en la cueva-sumidero, mostraron que en la parte alta de la claraboya desemboca una tubería de gran diámetro (50 cm), la cual vierte en cascada a la cueva las aguas residuales de la planta de concreto o cementera situada en el alto (Figura 5).

Las prospecciones en la cavidad no se pudieron efectuar dado que su atmósfera está contaminada, con fuertes olores químicos y olor a úrea, a la vez que el caudal del vertido salpica toda la zona de ingreso a la parte oscura. Las aguas del vertido son de color amarillento (amarillo a marrón), con espuma. En parte han depositado una especie de colada estalagmática de consistencia plástica, de color entre blanco-amarillo y ocre (Figuras 4 y 5).

Buscando el origen de la tubería de vertido, remontamos el fondo del valle ciego, para ver que esta procedía de una especie de balsas de decantación para el lavado de camiones-tolva de la cementera (Figura 6). En una explanada próxima habría más de 40 camiones. Según pudimos averiguar los camiones son lavados externa e internamente sus tolvas, para desprender los residuos de concreto que quedan en ellos. Las balsas parecen tener instalaciones para tratamiento (químico) de las aguas residuales. A la tubería también se unen los residuos industriales de la planta de hormigón, tolvas, silos de almacenamiento, y las aguas negras (fecales y del alcantarillado) del conjunto de las instalaciones de la planta de concreto. En adición, las pequeñas pérdidas de hidrocarburos de los camiones y maquinaria utilizada, pasan también al acuífero. Así como los productos químicos utilizados como aditivos en la fabricación del concreto; ácidos usados en la limpieza de los restos de hormigón de las cubas; los aceites, líquidos hidráulicos, desengrasantes y decapantes utilizados para labores de mantenimiento; y los propios productos químicos usados para tratamiento y depuración de los residuos.

El resultado es un doble impacto: la eliminación del input hidrológico natural del valle epígeo (cuyas aguas son captadas para la planta de hormigón) y el ingreso concentrado y continuado de los vertidos residuales de la misma (industriales, químicos y orgánicos). Para averiguar el grado y la naturaleza de la contaminación que ingresa al acuífero kárstico, decidimos que lo más práctico era analizar directamente los vertidos tal como salen del final de la tubería colectora al ingresar a la cueva-sumidero. Y para ese fin tomamos muestras (Figura 6). Es oportuno señalar que en las visitas efectuadas al sumidero siempre caían vertidos, es decir, el caudal es continuo; aunque apreciamos variaciones de caudal (mayor o menor cantidad de líquidos) y variaciones en su aspecto y olor (desde fuertes olores y colores amarillentos hasta aguas algo más claras y menos olorosas), variaciones que deben deberse al sistema de operación y drenaje del sistema de tratamiento de residuos y vertidos.

### **Características de los vertidos.**

#### **(1) Análisis por espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) de la fase sólida.**

De las primeras muestras tomadas de los vertidos, de fuerte olor y color amarillento, decidimos analizar primero su composición por elementos químicos. Las medidas con pHmetro daban un pH neutro, por lo que pensamos que revestía mayor interés analizar su fase sólida. Una submuestra fue calentada sobre papel albal para evaporar el agua con rapidez y del residuo sólido fueron analizadas partículas en 6 puntos distintos, mediante un microanalizador por dispersión de energía (EDS). La técnica se basa en espectroscopía por fotoelectrones de rayos X, en la que el microanalizador explora el espectro emitido por la muestra previamente bombardeada por rayos X, dando así, en base a las energías de enlace, un cuadro detallado de su composición cuantitativa por elementos químicos.

Resumidamente, la espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) se basa en técnicas espectroscópicas sobre la energía dispersada por las nubes de electrones de los átomos y moléculas de la muestra, sometida a rayos X. Es una técnica de análisis de superficie capaz de suplir la composición química de las primeras capas atómicas bajo la superficie de una muestra sólida. Se estima que la profundidad analizada queda comprendida entre 2 y 10 nm. Tras la irradiación de la muestra con rayos X, los átomos excitados de su superficie emiten electrones de baja energía

denominados fotoelectrones. El análisis permite determinar la energía de enlace de los fotoelectrones detectados, que son característicos para los átomos y orbitales de los diferentes elementos químicos. El espectro XPS suministra así información cualitativa y cuantitativa de todos los elementos presentes así como la determinación de su estado de oxidación, átomos enlazantes y grupos orgánicos.

Los porcentajes en que cada elemento químico está presente en la muestra suministran información para determinar su mineralogía en el caso de muestras sólidas en estado natural. En este caso se analiza el residuo sólido que queda de soluciones muy complejas, tras evaporar el agua, por lo que los resultados si bien indican cuáles son los elementos químicos mayoritarios, requieren analítica adicional para caracterizar los vertidos.

Los resultados, espectros y tabla de datos cuantitativos (% en peso), son presentados en la Figura 7. Se determinó la composición mediante submuestras representativas, según su abundancia apreciable en el residuo. Se analizaron 4 submuestras de distintas partículas amarillas, otra de cristallitos blancos y otra de partículas amarillas y blancas. Pueden verse las variaciones entre submuestras en la tabla de resumen de datos de la Figura 7. En promedio, los porcentajes (en % en peso) en que aparecen los distintos elementos químicos son los siguientes: C 12,44; O 39,51; Na 1,34; Al 25,97; Si 2,14; S 5,06; Cl 0,77; K 2,56; Ca 4,15; Fe 6,07. Tras el O, destaca una muy elevada cantidad de Al, C, y Fe; cantidades importantes de S y Ca; y cantidades menores de K, Si, Na, y Cl.

En las soluciones debe haber una importante cantidad de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, compuestos de S, y oxi-hidróxidos de distinto tipo. Debido al rápido calentamiento, la materia orgánica fue oxidada y volatilizada, principalmente como CO<sub>2</sub>, por lo que el C detectado debe ser parte de compuestos inorgánicos.

Lo más significativo a nuestro entender, dada la fuente de procedencia de los vertidos, es el muy elevado valor del Al y el Fe en la fase sólida, elementos estos abundantes entre los componentes del cemento. De los elementos detectados con esta técnica, especialmente el Al es muy nocivo como contaminante y su toxicidad afecta a las condiciones de vida de la mayoría de los organismos, particularmente en el medio acuático. Muchos compuestos de Fe tienen también una toxicidad elevada. Existe abundante información al respecto sobre la elevada toxicidad que presentan en concentraciones altas el aluminio, cadmio y metales pesados para los seres vivos (Bosnak & Morgan, 1981; Lewis, 1996; Nayak, 2002; Williams, 1999). Tanto el Al como el Fe incrementan su toxicidad cuando se presentan en soluciones acuosas en forma de hidróxidos y formando complejos con especies de bajo peso molecular y/o compuestos orgánicos (Nesse & Garbossa, 2001; Crichton et al., 2002), aunque el efecto tóxico depende mucho no sólo de la disponibilidad del metal sino de la identidad química de la especie de aluminio reactiva y de la capacidad de otros ligandos para interferir en la hidratación de los iones metálicos (Harris et al., 1996).

Las concentraciones de S y Cl pueden indicar el empleo de ácidos para neutralizar los vertidos, ya que normalmente los residuos de cemento sin tratar poseen un pH básico muy elevado, y normalmente son neutralizados con ácido clorhídrico. Parte del contenido de S puede indicar la presencia de bacterias productoras de compuestos de este elemento. Otros compuestos volátiles pueden haber desaparecido al calentar la muestra y evaporar el agua.

Debido a que los vertidos que pasan a las aguas subterráneas de Altxerri presentan significativas concentraciones de Al, Fe, C, S, Si, óxidos, hidróxidos, y carbonatos, resulta de todo ello un efecto inhibitor sobre la vida acuática. Pensamos que este factor ha resultado limitante sobre todo para la vida acuática y ello explicaría el declive extremo de las formas acuáticas troglóbias y troglófilas, que pueden haber resultado extintas, a tenor de los resultados obtenidos en los muestreos de 2005. Así mismo pueden influir en la escasez observada de otras especies terrestres.

Como conclusión preliminar, estos análisis sugieren que la mayor toxicidad para los seres vivos de estos vertidos reside en su muy alto contenido en aluminio y hierro. Para tratar de obtener un cuadro más claro, tomamos muestras para efectuar análisis químicos de los principales parámetros de las aguas, con metodología convencional.

## **(2) Análisis químicos de la fase líquida.**

En dos salidas sucesivas tomamos nuevas muestras de los vertidos. En ambos casos las características organolépticas de los líquidos eran de coloración más clara y con menos olor que las primeras veces. Debido a las variaciones observadas (y a que no podíamos saber con antelación en qué momentos las concentraciones serían altas), optamos por efectuar análisis sólo de los parámetros ambientales principales, aunque teniendo en mente que habitualmente las concentraciones de contaminantes pueden ser varias veces más elevadas. También cabe mencionar que la falta absoluta de financiamiento para realizar estos análisis, limitó la obtención de datos microbiológicos y químicos más detallados (entre ellos sobre la presencia o ausencia de metales pesados, como el cromo), que nos hubiera gustado documentar. La analítica básica obtenida de la fase líquida incluye los siguientes parámetros:

**pH:** 7,20

**SST (sólidos en suspensión):** 32 mg/l

**DQO:** 100 mg/l

**Conductividad:** 1580  $\mu$ S/cm (microSiemens/cm)

**Turbidez:** 7,32 NTU

**DBQ5:** 58 mg/l

El pH neutro obtenido indica que los vertidos han sido sometidos a tratamiento con ácidos, ya que usualmente los residuos del cemento dan valores básicos muy elevados (pH 12 o más) (Sawyer & McCarty, 1996; Newton, 2008).

La conductividad eléctrica en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. Los valores obtenidos (1.580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indican un grado moderado de contaminación química. Los valores normales para aguas de montaña son del orden de 1-3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y los del agua potable normalmente quedan comprendidos entre 500 á 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pueden alcanzarse valores mayores en aguas naturales mineralizadas, con muchas sales en solución, lo cual no es el caso para la zona de estudio, por lo que se considera que los vertidos contienen iones que afectan a su potabilidad. Los valores superiores a 640  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indican que se trata de aguas duras, ricas en carbonato de calcio (aunque parte del Ca puede ser sustituido por Na). En sistemas continentales de agua dulce, los valores por encima de 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indican que el agua no es adecuada para la vida de muchas de las especies de peces e invertebrados (APHA, 1998; Rodier, 1981; Servagro, 2010). Las descargas de efluentes industriales y aguas residuales suelen aumentar mucho la conductividad debido al aumento de la concentración de cloruros, nitratos, sulfatos, u otros iones.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión de tamaño coloidal. Se mide en NTU = unidades nefelométricas de turbidez (Nephelometric Turbidity Units). Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más opaca parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. La OMS (Organización Mundial para la Salud) ha establecido que la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, siendo la calidad óptima aquella por debajo de 1 NTU (CCME, 1987; NRC, 2005). Igualmente, el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud establece que para agua potable la turbidez debe ser inferior a 5 NTU (Servagro, 2010). Aparte del aspecto estético (aspecto opaco, de agua sucia), la turbidez representa un impacto negativo para los seres vivos ya que las partículas suspendidas ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos (incluyendo pesticidas usados en el agro) (GAARD, 2007; Watkins, 2004).

La DQO ó Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la totalidad de la materia oxidable, tanto orgánica como mineral. Se mide en mg/l ó ppm. Es el resultado de una oxidación química en húmedo por medio de una mezcla sulfo-crómica en caliente (APHA et al, 1995; USEPA, 1983). Guarda cierta relación con la DBO5, siendo esta última una variable fracción de la primera (en desechos poco biodegradables, como hidrocarburos, se dan las relaciones más bajas). En aguas poco contaminadas deberá ser inferior a 50 mg/l. Nuestras muestras alcanzan el doble de este valor (en condiciones “claras”), por lo que indican una contaminación de grado medio.

La DBO5 ó Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días, es la cantidad de oxígeno usado por la actividad respiratoria de los microorganismos que utilizan la materia orgánica del agua residual para crecer y para metabolizar a partir de ella y de otros microorganismos sus componentes celulares. La DBO5 se mide en mg/l ó ppm de  $\text{O}_2$  consumidos durante un período de 5 días a 20°C en oscuridad. El test de la DBO5 fue propuesto por el hecho de que en Inglaterra (y en general) ningún curso de agua demora más de 5 días en desaguar. La DBO5 es la medida por excelencia utilizada por las agencias reguladoras en todo el mundo para medir el impacto de la contaminación causada por las aguas residuales (APHA, 1998; APHA et al, 1995; CCME, 1987; Rodier, 1981; Watkins, 2004).

Las aguas no-contaminadas tienen valores por debajo de 20 mg/l. Se considera que un agua residual está levemente contaminada cuando la DBO5 tiene valores entre 20 y 100 mg/l; una contaminación de grado medio se da para valores de entre 100 y 500 mg/l; y son muy elevados por encima de 500 mg/l. Nuestros datos en condiciones “claras” corresponden por tanto a un grado leve de contaminación, pero puede sobrepasar estos límites en condiciones de mayor turbidez y más alta concentración de los contaminantes vertidos. A su vez es un claro indicador de la ocurrencia de microorganismos que participan en la degradación de la materia orgánica presente.

### **Interpretación de resultados.**

La interpretación de resultados de los análisis de aguas debe partir del conocimiento del origen y del destino que se le va a dar al recurso. Los requisitos de un análisis así como los parámetros interpretativos dependen en gran parte de estos aspectos básicos. En nuestro caso, el origen es conocido, procediendo los vertidos de los efluentes industriales y orgánicos de una cercana planta de concreto. Estos pasan directamente al endocarst, sin permitir ningún tipo de filtrado o autodepuración como cuando atraviesan las capas del suelo, y constituyen actualmente más de la mitad de los aportes hídricos al acuífero del sistema de la cueva de Altxerri.

Su destino final, dado que las aguas subterráneas emergen en la regata de Altxerri, que a su vez tributa al río Oria en su desembocadura, probablemente sólo incrementan en grado moderado la contaminación de cuenca baja (agro ganadera y efluentes de caseríos) que ya presenta la regata externa. Pero en su tránsito, estos vertidos afectan al acuífero kárstico, al ambiente hipógeo de las galerías de la cueva, al ecosistema cavernícola, e incluso pueden estar afectando (a través de su atmósfera y microbiota) a las pinturas rupestres, pudiendo contribuir a su degradación a

largo plazo. Por lo dicho anteriormente y considerando lo difícil que resulta efectuar una interpretación ajustada, nos centraremos en los parámetros medioambientales más significativos.

Los análisis hechos de la fase líquida y los residuos sólidos no muestran la existencia de componentes tóxicos (aunque los puede haber), pero sí de componentes no deseables (principalmente óxidos e hidróxidos de Fe y Al), alta carga iónica, moderada carga orgánica, DQO media y DBO5 moderada.

La DQO expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO5, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la presencia de un oxidante fuerte como los dicromatos. La fijación química se debe al oxígeno consumido por los cuerpos reductores sin intervención de organismos vivos, lo que es común en los efluentes industriales. El valor de la DQO obtenido en condiciones "claras", de 100 mg/l, indica una contaminación de grado medio, que puede incluir sustancias no biodegradables.

La DBO5 expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica de los compuestos orgánicos degradables existentes en el líquido residual, bajo ciertas condiciones de tiempo y temperatura. Es así una característica cuantificable del grado de contaminación del agua por sustancias biodegradables y expresa los requerimientos de oxígeno por parte de los microorganismos participantes. El valor obtenido en nuestro caso, de 58 mg/l, sugiere que se trata de un agua residual levemente contaminada. Indirectamente muestra la presencia de bacterias y microorganismos en el agua. Aún cuando a efectos de potabilidad hay cierta tolerancia a bacterias aerobias, se exige un estricto control en bacterias de origen fecal y microorganismos parásitos o patógenos, lo que requiere estudiar en detalle sus características microbiológicas (analítica que está faltando).

En nuestro caso, nos parece más importante aún conocer el efecto sobre los seres vivos que habitan en el ecosistema de la cueva y, en especial, sobre la fauna troglobia y las poblaciones bacteriales que intervienen tanto en la red trófica como en procesos de alteración de los sustratos de roca. A este respecto, los requerimientos de potabilidad para consumo humano pueden ser mucho menos estrictos que los necesarios para la supervivencia y conservación de las poblaciones troglobias y de bacterias quimioautótrofas que existen en el ecosistema de Altzerri.

Aunque como vertido industrial no parece ofrecer un grado de contaminación elevado, no ocurre lo mismo en cuanto a su potabilidad para consumo humano y mucho menos aún para los seres vivos del ecosistema de Altzerri, de más estrictos requerimientos, por lo cual su peligrosidad sobre los mismos puede representar un efecto adverso de alta peligrosidad para la supervivencia de este conjunto de especies y la conservación del ecosistema de la cueva como sistema integrado (Tercafs, 1988). El simple desbalance químico y microbiológico puede así producir la extinción de poblaciones de las especies troglobias, introduciendo desequilibrios que se propagan a través del sistema de la cueva, con efectos que actualmente y a largo plazo son desconocidos, y que conviene estudiar.

El ingreso directo de aguas contaminadas a un acuífero kárstico (permeable por fisuración) no permite su autodepuración, como a través de suelos, porque tales aguas subterráneas no son filtradas y a lo sumo se diluyen sus contaminantes en el conjunto de recursos hídricos del acuífero. En adición, las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero kárstico puede llegar a ser de cientos de años (a tenor de las características de los sistemas anexos en la zona saturada del acuífero y su dinámica) (Bakalowicz & Mangin, 1980), lo que hace muy difícil su purificación. Así, cuando la contaminación se produce, es mucho más difícil de eliminar sus efectos que en las aguas superficiales. No obstante, existen ejemplos de áreas kársticas devastadas por vertidos contaminantes que han podido ser recuperadas (Lewis, 1996). Todo ello depende del tipo y grado de la contaminación, del quimismo de las aguas, de la supervivencia diferencial de los distintos taxa y de si existen en el sistema biotopos y poblaciones que hayan resultado poco afectadas por los desbalances microbiológicos introducidos.

Lo más importante a destacar -en nuestra opinión- es que este tipo de vertido, aunque pudiera presentar características aceptables para ser recibido por un colector industrial, en ningún caso debe ser vertido directamente a un karst, y mucho menos a un sistema kárstico tan circunscrito como el de la cueva de Altzerri, que encierra valores tan notables como su fauna troglobia endémica (un patrimonio genético único) y su conjunto de pinturas y grabados rupestres Magdalenienses, declarados patrimonio de la Humanidad.

### **Afecciones al ecosistema subterráneo.**

La cueva de Altzerri alberga un ecosistema de gran interés para la biodiversidad del País Vasco y, a su vez, para la biodiversidad global del planeta, ya que incluye un conjunto de especies endémicas del País Vasco, Gipuzkoa, o incluso restringidas a esta cavidad.

La fauna troglófila, antes numerosa, incluía una variada representación de formas terrestres, a la vez que una numerosa población acuática de crustáceos *Echinogammarus berilloni* (Amphipoda: Gammaridae). Lo que sugiere la presencia anterior de importantes recursos tróficos en las aguas subterráneas, probablemente incluyendo muchas otras especies de micro-crustáceos (ostrácodos, copépodos, etc.). La fauna troglobia incluye un conjunto notable,

entre los cuales han sido identificados los siguientes taxa terrestres: *Neobisium vasconicum*, *Troglohyphantes alluaudi*, *Trichoniscoides cavernicola*, *Mesoiulus cavernarum*, *Lithobius anophthalmus*, *Pseudosinella subterranea*, *Speocharidius breuili*. Los troglobios acuáticos (= stygobios) incluyen al isópodo *Stenasellidae* de antiguo origen *Stenasellus virei* y a una indescrita especie de coleóptero acuático *Dytiscidae* que probablemente constituye un género nuevo para la Ciencia (Galán, 1993, 2006).

Un análisis más detallado sobre la fauna troglobia de la cavidad fue presentado en Galán (2011). En dicho trabajo se destacaba que 8 de las 9 especies citadas eran endémicas y la restante (*Stenasellus virei*) es una forma relictada del Sur de Francia y sólo conocida en el País Vasco de esta cavidad, por lo que reviste un gran interés para rastrear relaciones paleo y biogeográficas, mostrando el emparentamiento de la fauna troglobia vasca con la de la zona norepirenaica francesa.

Cabe destacar que cada especie troglobia endémica del país representa un patrimonio genético único en el globo, el cual debemos preservar para las generaciones futuras. El medio hipógeo es así mismo más extenso que las simples cuevas a escala humana y sus ecosistemas se extienden en el volumen de roca: son así sistemas tridimensionales (Danielopol & Griebler, 2008), formados por una trama compleja de redes de microfisuras, diaclasas, galerías, simas, salas, sifones, sumideros, surgencias, horizontes del suelo y acuíferos kársticos, de todos los tamaños imaginables, interrelacionados y en conexión con el ambiente exterior. La razón de la Conservación biológica es preservar la biodiversidad. Debido a que los troglobios tienen rangos de distribución estrechos (alto grado de endemismo) y bajo tamaño poblacional, el riesgo de extinción de especies es muy alto ante impactos antropogénicos desfavorables (Gilbert & Deharveng, 2002; Danielopol et al, 2003).

En Galán (2011) se indicaba que las poblaciones troglobias de la cueva habían experimentado una declinación significativa en los últimos 40 años, siendo su abundancia actual del 22% de la existente en los años 1970's, estando por tanto en situación de amenaza. Pero este dato es sólo el promedio para el conjunto de especies troglobias. Las especies acuáticas *Stenasellus virei* y *Dytiscidae n.sp.* no se han vuelto a encontrar en los años 2000's y, a la luz de la detección de los vertidos contaminantes, queremos también exponer que la población troglófila de *Echinogammarus berilloni* no fue detectada en la última prospección efectuada en la cueva en 2005, pese a que se trata de una especie fácil de ver (de 12-14 mm de talla) y pese al empleo de cebos atrayentes.

Por ello, a la luz de los datos actuales, consideramos que pueden haber resultado extinguidas las tres especies acuáticas citadas (tal vez subsistan unos pocos ejemplares ocultos en gours apartados del drenaje principal). Creemos también que las formas terrestres de pseudoescorpiones *Neobisium vasconicum* y coleópteros *Speocharidius breuili* se encontrarían, dado su escaso número en los últimos muestreos, bajo acentuado peligro de extinción. Ninguno de los taxa troglobios está fuera de una situación de amenaza. Y probablemente también otros troglófilos especializados o que ocupan los niveles superiores de la red trófica en el ecosistema de la cueva.

El impacto de los vertidos sobre el ecosistema cavernícola (unido a la disminución del input hidrológico procedente de la cuenca epígea superior, no-contaminada) puede haber actuado diezmando las poblaciones acuáticas e introduciendo desbalances en el conjunto, tal vez por intercambios de fases gaseosas que afectaron a la atmósfera subterránea y por introducción de microorganismos que alteraran el equilibrio dinámico previo. El desbalance en la biomasa y abundancia numérica de las distintas especies pudo propiciar desbalances tróficos y ecológicos en el conjunto del sistema de la cueva.

A este respecto cabe destacar que la mayoría de los troglobios (sean acuáticos o terrestres) son formas de vida anfibia, de tegumentos permeables, capaces de soportar tanto inundaciones del medio terrestre como desecamientos de los cuerpos de agua. La mayoría de ellos se alimenta en alguna de sus fases de vida (larvianas y juveniles) de microorganismos (bacterias, protozoos y subproductos de sus metabolismos) contenidos en las arcillas (incluyendo especies que de adultas son predadores u omnívoros). Por lo que, a pequeña escala, muy distintos procesos microbiológicos (como cambios en la composición de la biota bacteriana) pueden influir en la creación y dispersión de desbalances a través del ecosistema (Galán, 2006; Tercafs, 1988). El resultado observado es la declinación de las poblaciones (o incluso su extinción), siendo necesaria investigación adicional para corroborar este extremo. Lo que a su vez permitiría entender qué factores bióticos y abióticos están actuando en el sistema.

Cabe concluir que el ecosistema de la cueva ha sido y está siendo sometido a fuertes impactos negativos, que han producido una alarmante declinación de las poblaciones troglobias (y algunas troglófilas), todas ellas amenazadas. Es incluso probable que haya que computar, para el país y el planeta entero, la extinción de dos o más especies de alto interés biológico y evolutivo.

### **Afecciones al arte rupestre.**

Nuestro conocimiento en este campo es limitado, ya que no somos especialistas en la materia. Pero desde hace tiempo llamó nuestra atención que las pinturas rupestres de Altxerri, en comparación por ejemplo con las de Ekain, están por demás desdibujadas, y de muchas de ellas sólo se conservan trazos, incluso difíciles de ver. No ocurre lo

mismo con los grabados, aparentemente muy bien conservados, y perfectamente visibles y apreciables. Altxerri es una cueva con arte rupestre que ha conservado sobre todo los grabados, que por el hecho de estar tallados en la roca son más resistentes a condiciones desfavorables de conservación.

En principio parece poco probable que el estado de conservación de las pinturas tenga que ver con los vertidos contaminantes detectados. Pero conviene recordar que el sustrato de espeleotemas y superficies rocosas, y los propios componentes de las pinturas, pueden verse afectados por sutiles procesos geo-microbiológicos de alteración o degradación conducidos o mediados por la presencia de micro-organismos, principalmente bacterias. Cambios en la biota microbial pueden introducir variaciones no-deseadas que afecten al sustrato y al estado de las pinturas.

Desde luego, en el caso de Altxerri, no se trataría de impactos como los experimentados en otras cavidades Europeas con arte rupestre, debidos a la instalación de luces, crecimiento de algas, cambios microclimáticos, incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico, etc., producidos por la masificación de visitas. No es este el caso.

Altxerri ha estado bien conservada y afortunadamente se ha salvado de estos impactos. Aunque cabe señalar que las condiciones atmosféricas y microclimáticas en la actual zona de entrada no son exactamente iguales a las existentes antes de la apertura con explosivos (por una cantera local) de la boca artificial. No sólo la última puerta instalada mantiene una pequeña apertura (donde se aprecian corrientes de aire), sino que la pared de roca externa presenta fisuras donde existe cierto grado de ventilación e intercambio entre la atmósfera externa y la de la cueva. En adición, se desconoce las afecciones que pudieron sufrir las pinturas desde la apertura de la boca en 1956 y las primeras medidas protectoras tras el descubrimiento de las pinturas en 1962. Los arqueólogos que han trabajado en la cavidad pueden tener un claro cuadro de los cambios acaecidos entre 1962 y el presente, y son ellos los que están en mejores condiciones de evaluar y documentar si las pinturas se han degradado en este intervalo.

No obstante, según la información disponible, la cavidad y la zona de pinturas no han sido objeto de un estudio y seguimiento de parámetros microclimáticos, atmosféricos y microbiológicos.

Nuestra recomendación es simplemente que se efectúen estudios de este tipo, con monitoreo a lo largo de varios años, a fin de detectar si están ocurriendo variaciones que afecten a las pinturas.

Planteamos la hipótesis de que, si la disminución del input hidrológico natural y la contaminación por vertidos ha afectado a la fauna acuática y luego se ha extendido a la terrestre, es posible que hayan intervenido reacciones geo-microbiológicas en las aguas, con intercambios entre la fase líquida y la atmósfera subterránea, y con invasión de especies bacteriales alóctonas, asociadas a los vertidos. Es sabido al respecto que cuando existe contaminación orgánica, las bacterias heterótrofas acaban por desplazar y suprimir a las quimioautótrofas que existían previamente en la cavidad (Manson-Willians & Benson-Evans, 1958; Galán, 1993). Tales variaciones en la biota bacterial pueden generar procesos tanto de precipitación y génesis de minerales secundarios, como de alteración y degradación de espeleotemas y sustratos rocosos (Galán & Nieto, 2010). Procesos de este tipo, podrían así estar interviniendo en la degradación de las pinturas, y son difíciles de detectar sin estudios específicos.

En la microbiología de cuevas numerosos trabajos se han dedicado a entender la actividad microbial involucrada en procesos constructores de carbonatos. Pero actualmente hay también un creciente interés en estudiar su acción en procesos destructivos, fundamentalmente porque ciertas moléculas biológicas tienen una suficientemente alta afinidad con los iones Ca<sup>2+</sup> para promover su activa disolución. Estas estructuras incluyen exopolisacáridos (un componente mayor de los biofilms), sideróforos y otros quelantes secretados, e incluso las paredes celulares (Perry et al, 2004; Barton & Northup, 2007). A través de sus procesos metabólicos, las bacterias pueden secretar un gran número de ácidos orgánicos, los cuales disuelven activamente los carbonatos. Inversamente, un número de estructuras microbiales, incluyendo lípidos y fosfolípidos, inhiben la disolución; mientras que los ácidos húmicos derivados del suelo, los cuales forman una significativa porción del carbono orgánico hallado en las aguas de goteo en las cuevas, también inhiben la disolución de calcita. Por todo ello, los factores que gobiernan el control microbial en procesos constructivos o destructivos de la calcita envuelven un complejo balance entre condiciones locales, geoquímica y físicoquímica del ambiente local, y los procesos metabólicos microbiales que predominan bajo tales condiciones (Pohl & Schneider, 2002).

Adicionalmente, las bacterias han mostrado ser activos agentes de disolución de la roca-caja y destrucción por ejemplo de pinturas rupestres en cuevas (Northup & Lavoie, 2001). Muchas bacterias sulfuro-oxidantes producen ácido sulfúrico como producto de desecho, el cual reacciona con la caliza para formar yeso, un mineral que es altamente soluble en agua. Así, bajo determinadas condiciones, la acción bacterial puede atacar y disolver el sustrato de roca.

Concluimos por consiguiente que existe la posibilidad potencial de que los vertidos puedan estar introduciendo pequeñas modificaciones (difíciles de detectar) que a lo largo del tiempo terminen por afectar a la conservación de las pinturas y grabados en la cavidad.

## Prospecciones adicionales de superficie.

A lo largo de 2011 efectuamos diversas prospecciones sobre la banda calcárea en que está instalada la cueva de Altxerri, sobre las prolongaciones del afloramiento al E y W del sector de la cueva, y especialmente sobre y a todo lo largo de la red de galerías. Debido al buzamiento de las capas, existe un variable grado de desplazamiento entre el trazado de las galerías en planta y la posición en que estos estratos intersectan la superficie topográfica externa. Y ocurre lo mismo en cuanto a la delimitación del afloramiento entre superficie y a nivel de la cueva.

Esto ha implicado un detallado trabajo de cálculo, interpretación cartográfica y posicionamiento en superficie. Los barridos sobre la superficie externa se han visto a su vez dificultados por la presencia de maleza, principalmente argomales con zarzas y helechos, así como zonas con plantaciones de coníferas con vegetación baja igualmente enmarañada (Figura 8).

De estas prospecciones se han obtenido datos de interés sobre la red de sumideros en la rama W (ya comentados), entre Azarizulota y la cueva-sumidero Norte, donde se efectúan los vertidos. Datos adicionales sobre la cuenca epígea que drena hacia las calizas. Y un interesante hallazgo en la zona próxima a la boca de la cueva.

Este consiste en el hallazgo de una posible boca taponada existente a 79 m en planta al WSW de la boca, en la cota 61 m snm (Figura 9). Las coordenadas UTM de este punto (según la cartografía digital del SIG de Gipuzkoa: b5m) son las siguientes: N 4.791.185; E 570.245.

El replanteo de este punto sobre la cartografía georeferenciada de la cueva lo coloca exactamente sobre el centro de la sala con la pintura de un gran bisonte en el piso superior de la cueva, en la cota +22 (= 47 m snm). La altura de esta sala supera los 6 m, por lo que la distancia vertical entre la bóveda y la superficie es inferior a 8 m. Dado que el punto corresponde a una pequeña dolina o depresión enteramente rellena de bloques, estimamos que el relleno es del orden de 3 m y que por tanto solo un tramo de sima de 5 m separa la base del relleno de la bóveda.

Esta entrada correspondería a una sima cuyo inicio puede ser vertical u oblicuo y que caería en el centro de la sala, con un desnivel máximo total de  $8 + 6 = 14$  m. Este punto podría por tanto corresponder a una antigua boca por donde podría haber accedido el hombre prehistórico al piso superior, posibilidad sugerida por Altuna (1996) en base a la aparente mayor antigüedad de estas pinturas, distinto estilo y escasa distancia entre las partes altas de este piso superior y la superficie. Nosotros no nos planteamos la desobstrucción de los bloques y apertura de esa potencial boca, porque simplemente pondría en comunicación la sala interna con superficie, generando una ventilación indeseada, que habría que cerrar.

Así, con estos datos, existe la posibilidad de existencia en época prehistórica de dos bocas. La superior, que acabamos de señalar. Y la inferior, que postuló Barandiarán (1964) como proyección y prolongación de un divertículo existente al lado de la entrada artificial, donde cavó una zanja. Barandiarán describe que alcanzó una galería (boca) de 2,5 m de diámetro obstruida por una escombrera con tierra, piedras y estalagmitas. Esta boca interceptaría la superficie a escasos 6 m de la entrada artificial actual, pero cabe mencionar que se desconoce el grado de recorte experimentado en dicha ladera por la actividad de la cantera y, en tal caso, si la traza realmente interceptaba la superficie en época prehistórica.

Nosotros proponemos una tercera hipótesis, basada en dos indicios: Primero, que la galería activa inferior discurre en paralelo a la superficie externa hasta el sifón de la cota -21. Segundo, que dado que el fondo actual del valle está colmatado por un relleno de sedimentos cuaternarios, es probable que hace más de 10 mil años, con el nivel del mar más bajo, el fondo del valle ocupara también un nivel más bajo. La tendencia al hundimiento del drenaje en la proximidad de la zona de surgencia (Bakalowicz & Mangin, 1980) sugiere que la galería fósil de la zona de entrada de la cueva podría también haberse prolongado en el pasado, con un descenso pronunciado, hacia el nivel de la zona de surgencia, existiendo una boca-surgencia en esa posición, aunque también podría darse el caso de que esa hipotética galería alcanzara el nivel piezométrico sin comunicar con superficie, como por ejemplo sugiere el esquema de Rat & Delingette (1964; fig. 5), estando la zona inferior del conducto colmatada de sedimentos.

En todo caso, de las tres hipótesis sobre posibles bocas, la que parece más sólida es la de la existencia de una boca superior, cuya posición exacta acabamos de indicar. Lo que no descarta tampoco a las otras. No obstante, no existe inconveniente para que el hombre prehistórico pasara del piso superior al piso de la zona de entrada, o viceversa. El acceso para una persona ágil es factible en escalada libre, a la vez que el simple empleo de unos troncos bastaría para realizar con mayor facilidad estos descensos o ascensos de cortos tramos.

En superficie, donde se encuentra la potencial boca superior, la depresión está rellena de una acumulación de pequeños bloques (de 20-40 cm), mientras que no hay bloques sueltos sobre la ladera. Llama la atención además la disposición semicircular del borde externo más bajo del relleno, donde crece un árbol sobre los bloques (Figura 9), indicando que no se trata de un relleno reciente. La existencia de esa boca refuerza la idea de que reviste interés explorar con técnicas verticales la continuación del piso superior, interrumpido por una sima, ya que podría permitir alcanzar galerías desconocidas, como postulamos en un trabajo previo (Galán, 2011), con la potencialidad de poder hallar figuras rupestres adicionales, o biotopos y enclaves que sirvan de refugio a especies troglodias.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las prospecciones efectuadas sobre el karst de Altxerri llevaron a detectar la contaminación del acuífero kárstico por los efluentes de una planta de concreto que vierte sus residuos industriales en la cueva-sumidero Norte. El sistema hidrológico subterráneo de Altxerri está siendo así contaminado por vertidos industriales, químicos y orgánicos, afectando de este modo al ambiente subterráneo y galerías de la cueva. A ello se une la disminución del input hidrológico natural por tomas para la misma planta. Cabe destacar que en los acuíferos kársticos, a diferencia de los del suelo o intersticiales, no se produce filtrado ni autodepuración de las aguas de los contaminantes que contienen, sino a lo sumo una dilución parcial a medida que se mezcla el vertido con el volumen total de agua del acuífero. Por lo que a mayor distancia del punto de vertido la contaminación se diluye pero no desaparece.

Estos impactos están afectando de modo severo al ecosistema subterráneo, fundamentalmente a las especies acuáticas, con la probabilidad de haber provocado ya la extinción de las poblaciones de al menos dos especies troglobias y una troglófila. De modo algo menos severo han afectado también a las formas más especializadas de troglobios terrestres, a la vez que ha producido una alarmante declinación de la biomasa y efectivos poblacionales en el conjunto del ecosistema, colocando a todas sus especies en situación de amenaza.

La extensión del impacto negativo desde las aguas subterráneas a los ambientes terrestres probablemente va acompañada de cambios en la microbiota bacterial, composición de la atmósfera y microclima hipógeo, de difícil detección. Es sabido que la actividad metabólica microbial incide en procesos constructivos y destructivos de los sustratos rocosos sobre los cuales viven los microorganismos y que, con frecuencia, las bacterias secretan un gran número de ácidos orgánicos (produciendo incluso ácido sulfúrico) los cuales disuelven activamente el sustrato (Northup & Lavoie, 2001; Galán & Nieto, 2010). Por ello puede y debe estimarse, en tanto no haya un estudio específico que descarte esa posibilidad, que la continuación de los vertidos puede estar propiciando la degradación de las pinturas rupestres y los sustratos sobre los cuales se asientan.

Las amenazas sobre este valioso patrimonio natural en biodiversidad se extienden también al conjunto de arte rupestre, declarado Patrimonio de la Humanidad, probablemente por acción indirecta de microorganismos que pueden propiciar su degradación, de modo irreversible. El potencial impacto sobre las pinturas hasta ahora no parece haber sido grave, y por ello no ha sido detectado o ha pasado desapercibido, pero creemos conveniente evaluarlo antes de que sea tarde para ello.

Como recomendaciones de protección y manejo sugerimos a las autoridades administrativas tomar las siguientes medidas: (1) Detener la continuidad de esos vertidos y restablecer el input hidrológico natural. (2) Efectuar estudios geomicrobiológicos y microclimáticos detallados de las aguas subterráneas en el interior de la cueva, y de la atmósfera y ambientes terrestres a lo largo de la misma, especialmente en la zona de pinturas. (3) Efectuar prospecciones y estudios bioespeleológicos más detallados, para conocer el status actual de las poblaciones de las distintas especies cavernícolas, particularmente aquellas troglobias que soportan las mayores amenazas y riesgo de extinción. (4) Propiciar la continuación de las exploraciones subterráneas ya que pueden poner al descubierto nuevas galerías, con el interés potencial de nuevos hallazgos de poblaciones de las especies cavernícolas amenazadas e incluso de nuevos hallazgos de arte rupestre y yacimientos arqueológicos. (5) Declarar Biotopo Subterráneo Protegido el sistema de la cueva de Altxerri (BSP 9, propuesto en: Galán, 2006), con aplicación de las medidas de conservación, recuperación y control en el expuestas, ampliando su extensión en la zona de sumideros. Ello repercutiría no sólo en la conservación de especies endémicas del más alto interés, sino en el conjunto de los ambientes subterráneos, agregando o reforzando las medidas específicas que requiera la conservación de las pinturas y grabados prehistóricos.

Para estas tareas o cualquier información adicional, ponemos a disposición de las autoridades administrativas nuestra experiencia y colaboración. Creemos que la conservación de tan valioso patrimonio arqueológico, biológico y genético requiere de la contribución de todos los actores sociales que puedan contribuir a ello.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores de Biosphere Consultancies y del Laboratorio de Bioespeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi que nos ayudaron en las prospecciones de campo, analítica y/o interpretación de datos. De modo especial a: Marian Nieto, Stefan Gorzula, Walter Sharp, Myriam Zabaleta, Iñigo Herraiz, Piero DiBartolomeo, Lucía Jiménez, Daniel Arrieta y Aize García. A la Dirección de Patrimonio Cultural del Gobierno Vasco por los permisos de prospección concedidos en 2005.

## BIBLIOGRAFIA

- Altuna, J. 1996. Hallazgo de dos nuevos bisontes en la cueva de Altxerri (Aia, País Vasco). *Munibe (Antropología - Arkeologia)*, S.C.Aranzadi, 48: 7-12
- Altuna, J. & J.M. Apellaniz. 1976. Las figuras rupestres paleolíticas de la cueva de Altxerri (Guipúzcoa). *Munibe* 28 (1-3): 5-242.

- Altuna, J.; A. Armendariz; F. Etxeberria; K. Mariezkurrena; X. Peñalver & F. Zumalabe. 1995. Carta Arqueológica de Gipuzkoa. II - Cuevas. Munibe. Suplementos. Dpto. Prehistoria S.C.Aranzadi.
- APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington. 1265 pp.
- APHA et al. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York.
- Bakalowicz, M. & A. Mangin. 1980. L'acuífère karstique: sa définition ses caractéristiques et son identification. Mem. h.ser. Soc. Geol. France, 11: 71-79.
- Barandiarán, J.M. 1964. La cueva de Altxerri y sus figuras rupestres. Munibe, S.C.Aranzadi, 16 (3-4): 91-140.
- Barton, H.A. & D.E. Northup. 2007. Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives. Journal of Cave and Karst Studies, 69 (1): 163-178.
- Bosnak, A. & E. Morgan. 1981. Acute toxicity of cadmium, zinc, and total residual chlorine to epigeal and hypogean isopods (Asellidae). The NSS Bulletin, 43: 12-18.
- CCME. 1987. Canadian Water Tolerances Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa.
- Crichton, R.; S. Wilmet; R. Leggyer & R.J. Ward. 2002. Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells. Jour. Inorg. Chem., 91: 9-18.
- Danielopol, D.L. & C. Griebler. 2008. Changing Paradigms in groundwater ecology-from the living fossils tradition to the new groundwater ecology. Internat. Review of Hydrobiologia, 93(4-5): 565-577.
- Danielopol, D.L.; C. Griebler; A. Gunatilaka & J. Notenboom. 2003. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. Environmental Conservation, 30: 104-130.
- GAARD. 2007. Water Analysis Interpretation. Government of Alberta, Agricultural & Rural Development. Publications. Canada, Alberta.
- Galán, C. 1970. Plano de la Cueva de Altxerri. Escala 1:1000. Archivos Dpto. Espeleología. S.C.Aranzadi. Inf. Ind.
- Galán, C. 1988. Zonas kársticas de Gipúzcoa: Los grandes sistemas subterráneos. Munibe, S.C.Aranzadi, 40: 73-89.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipúzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.
- Galán, C. 2006. Conservación de la fauna cavernícola troglobia de Gipuzkoa. 2. Análisis de las distribuciones de especies troglobias. 4. Demografía, estatus y grado de amenaza de las poblaciones troglobias. 6. Biotopos subterráneos protegidos. Lab. Bioespeleología S.C.Aranzadi. Pag. web aranzadi-sciences.org, Archivos PDF, (2): 11 pp; (4): 8 pp; (6): 23 pp.
- Galán, C. 2011. Descripción del sistema de la cueva de Altxerri, plano digital georeferenciado y notas sobre su fauna hipógea (Orío, Gipuzkoa). Pág web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 15 pp.
- Galán, C. & F. Etxeberria. 1994. Karsts y cavernas de Gipuzkoa. Colección BERTAN, Dpto. Cultura, D.F.Gipuzkoa (Ed.Euskera + Inglés-Francés-Español). (6): 72 pp + 30 pp. 160 Ilustr.color.
- Galán, C. & M. Nieto. 2010. Mycetozoa: curiosas formas de vida en cuevas de Gipuzkoa. Nuevos hallazgos en caliza Urgoniana en los karsts de Aizkorri (Igitegi), Izarraitz (Aixa), y Udalaiz (Montxon koba). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 33 pp.
- Gibert, J. & L. Deharveng. 2002. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. BioScience, 52: 473-481.
- Harris, W.; G. Berthon; J.P. Day; C. Exley; T. Flaten; W. Forbes; T. Kiss; C. Orvig & P. Zatta. 1996. Speciation of Aluminium in Biological Systems. J. Toxicol. Environ. Health, 48: 543-568.
- Lewis, J. 1996. The devastation and recovery of caves and karst affected by industrialization. In: Rea, G. (Ed). Proc. 1995 National Cave Management Symposium, Indiana Karst Conservancy. pp: 214-227.
- Manson-Williams, A. & K. Benson-Evans. 1958. A preliminary investigation into the bacterial and botanical flora of caves in South Wales. Cave Research Group, Great Britain, 8: 11-32.
- Nayak, P. 2002. Aluminium: Impacts and Disease. Environ. Res., 89: 101-115.
- Nesse, A. & G. Garbossa. 2001. Aluminium toxicity in erythropoiesis. Mechanisms related to cellular dysfunction in Alzheimer's Disease. In: C. Exley Ed. Aluminium and Alzheimer's Disease. Elsevier, Amsterdam, cap.13: 261-278.
- Newton, D. 2008. Chemistry of the Environment. Checkmark Books.
- Northup, D.E. & K.H. Lavoie. 2001. Geomicrobiology of caves: a review. Geomicrobiology Journal, 18(3): 199-222.
- NRC (National Research Council) 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2nd revised edition. National Academies Press. Washington, D.C.
- Perry, T.D., Duckworth, O.W., McNamara, C.J., Martin, S.T., & R. Mitchell. 2004. Effects of the biologically produced polymer alginic acid on macroscopic and microscopic calcite dissolution rates. Environmental Science and Technology, 38: 3040-3046.
- Pohl, W. & J. Schneider. 2002. Impact of endolithic biofilms on carbonate rock surfaces in Natural Stone: Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Eds. Siegesmund, S.; Weiss, T. & Vollbrecht, A. Geological Society, London, 205: 177-194.
- Rat, P. & A. Delingette. 1964. Premières données géologiques sur la Grotte ornée d' Altxerri (Aya-Gipúzcoa). Munibe 16: 83-89.
- Rodier, J. 1981. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Ed. Omega, Barcelona.
- Sawyer, C. & P. McCarty. 1996. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill, New York.
- Servagro. 2010. Criterios para la interpretación de análisis de aguas. www4.larural.es/servagro/fertilización/agua/ criterios.htm
- Tercafs, R. 1988. Optimal management of karst sites with cave fauna protection. Environment.Conservation, 15: 149-166.
- USEPA. 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.
- Watkins, S. 2004. Water quality and sanitation. Proceedings Poultry Service Industry Workshop. Banff, AB.
- Williams, R.J. 1999. What is wrong with aluminium. Jour. Inorg. Chem., 76: 81-88.

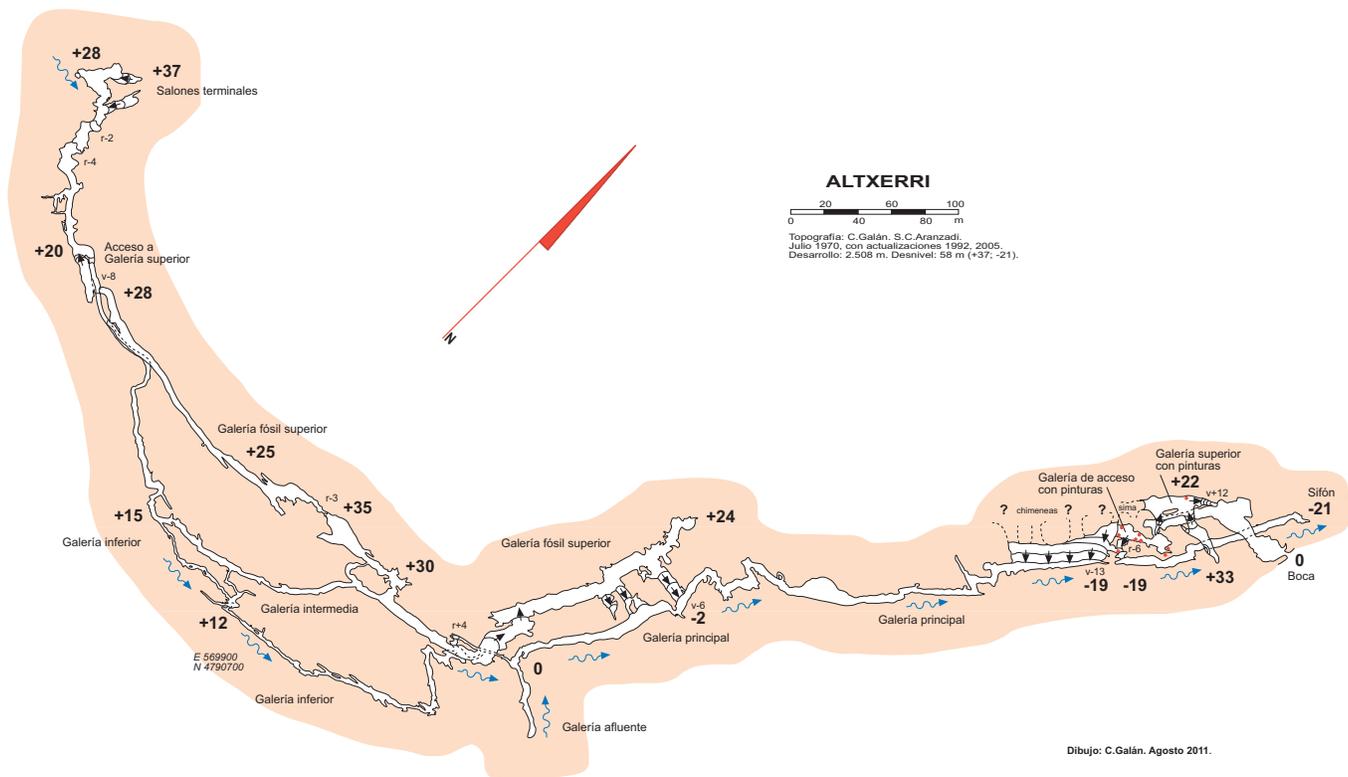


Figura 1. Plano general de la cueva de Altxerri, acotado en planta.

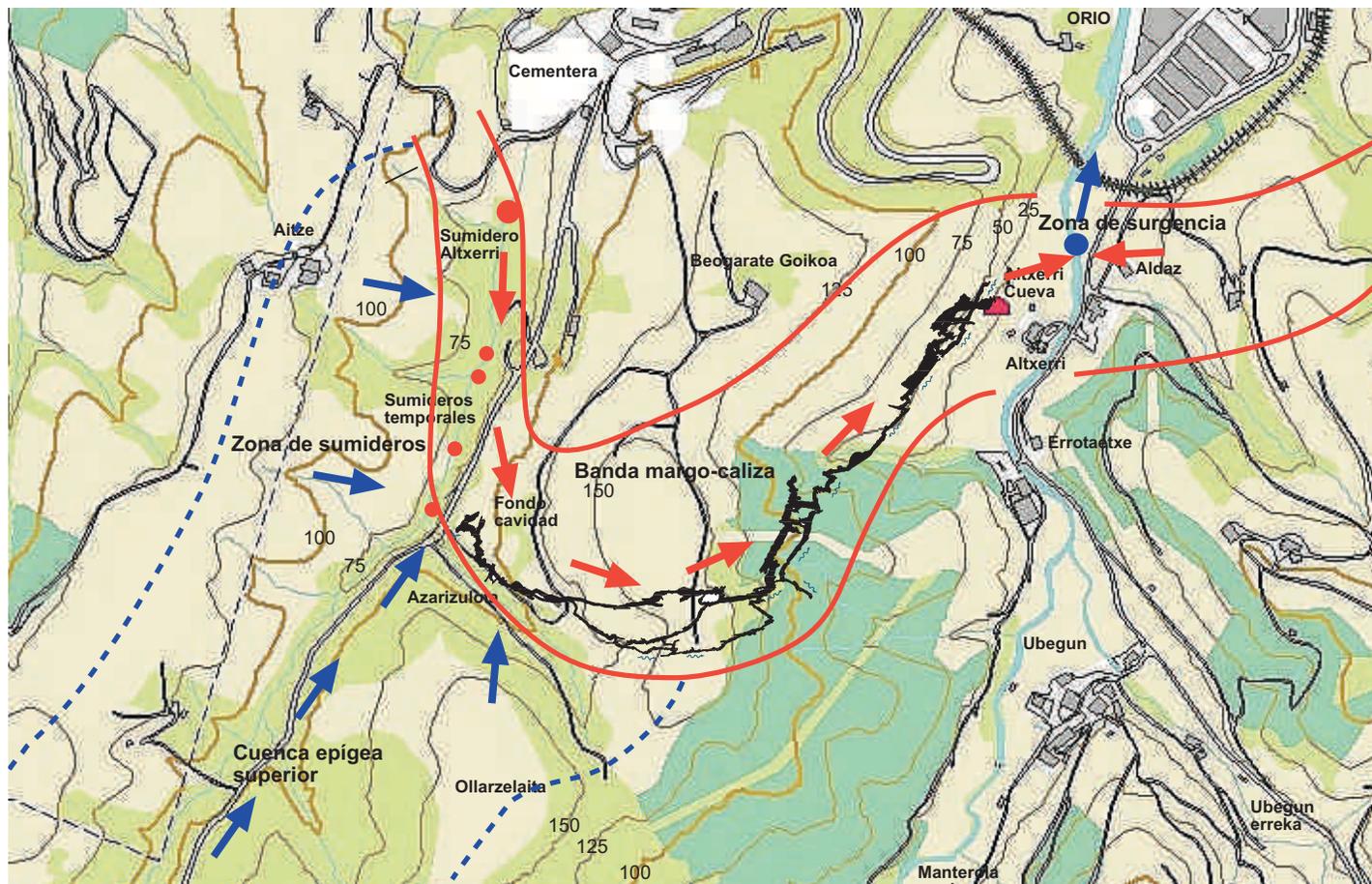


Figura 2. Drenaje subterráneo de la unidad margo-caliza de Altxerri (de edad Maastrichtense-Danés). Las líneas rojas delimitan la banda caliza aproximadamente a nivel de la cueva. Drenaje subterráneo = flechas rojas. En azul, cuenca epigea superior que drena hacia las calizas. Circulo azul = zona de surgencia. En negro: galerías de la cueva.



**Figura 3.** El valle superior lleva agua hasta la confluencia de Azarizulota, aún en sequía, pero entre este punto y la cueva-sumidero N numerosas tomas de agua y pequeños sumideros dispersos dejan el valle seco. Las circulaciones subterráneas han producido colapsos en las margas de la serie margo-caliza, formando pequeñas simas de hundimiento obstruidas por derrumbe.



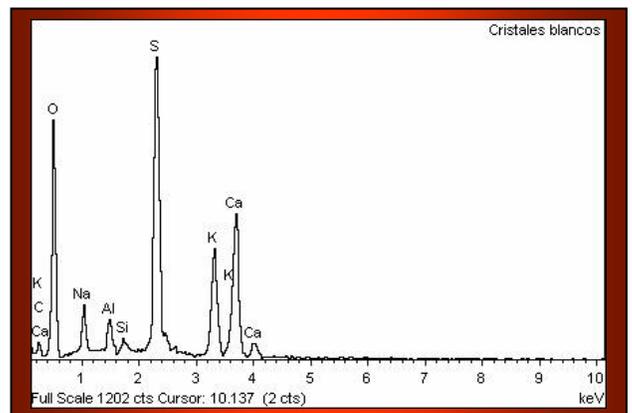
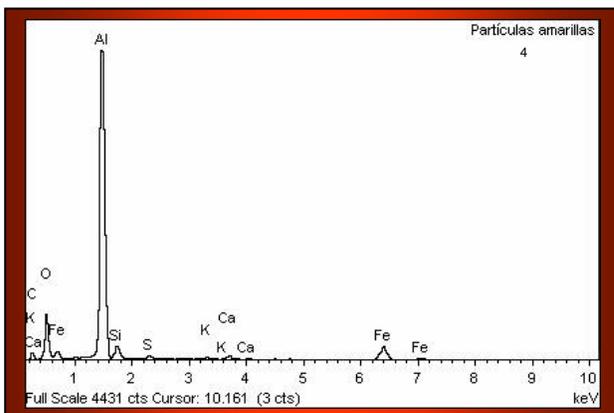
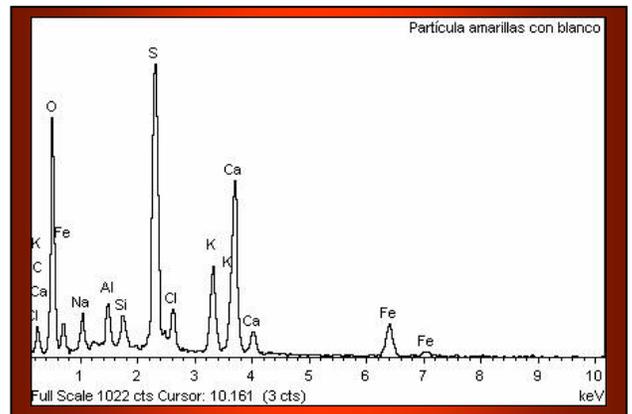
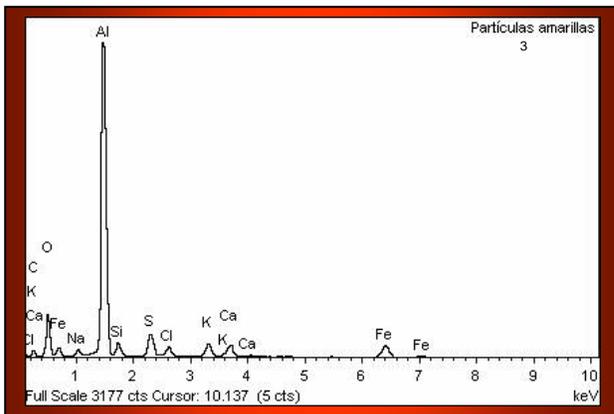
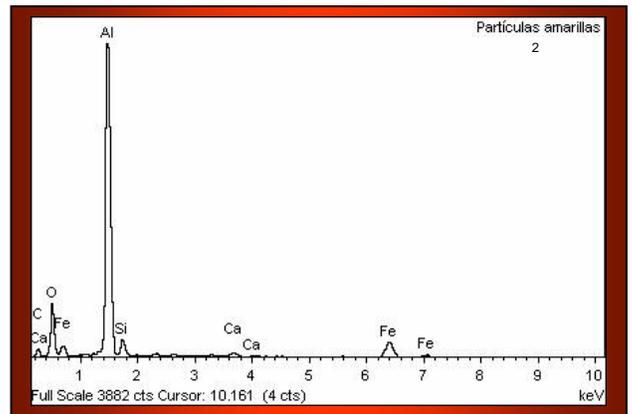
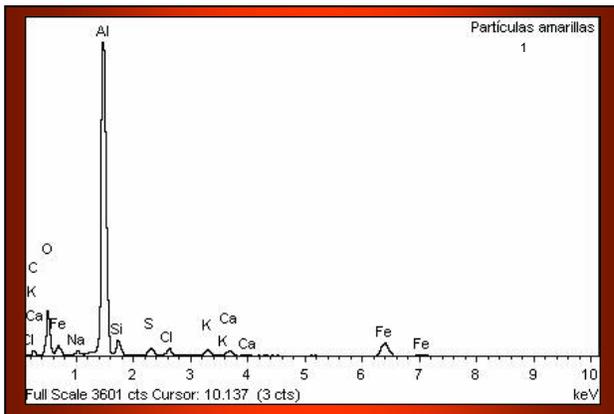
**Figura 4.** Cueva-sumidero N (= Sumidero Altxerri). Detalles de la boca de acceso, zona de entrada y parte alta de la sima-claraboya. Nótese el buzamiento (de 45° W) de las calizas rosas compactas del Maastrichtiense-Danés y la terminación de la tubería que efectúa los vertidos en la parte alta de la claraboya.



**Figura 5.** Cueva Sumidero Norte. Coladas ocre-amarillentas al pie de la chimenea en la cual desemboca la tubería de vertido. Nótese la presencia de espuma y coloraciones más rojizas probablemente debidas a oxi-hidróxidos de hierro.



**Figura 6.** Algunos detalles de la toma de muestras de los vertidos a la cueva-sumidero Altxerri y vista parcial de las balsas de lavado de camiones-tolva de la fábrica de concreto. Nótese el gran diámetro de la tubería que desemboca en la sima-claraboya.

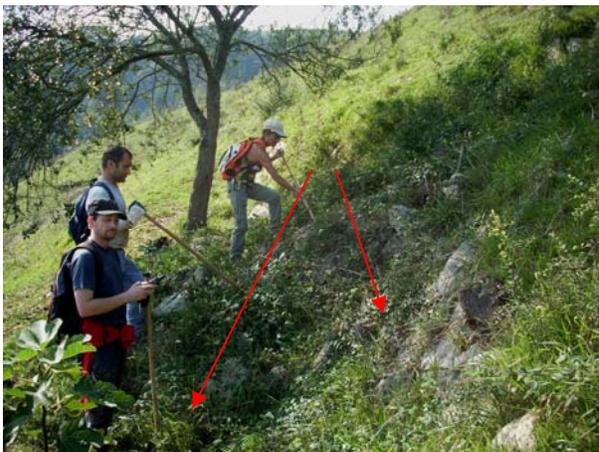


Spectrum	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
Partículas amarillas 1	18,3	30,64	0,76	35,96	2,73	1,13	1,17	0,92	0,97	7,43	100
Partículas amarillas 2	17,23	33,13		36,97	3,08				0,65	8,95	100
Partículas amarillas 3	18,67	29,86	1	33,07	1,96	3,34	1,51	2,41	2,24	5,93	100
Partícula amarillas con blanco	14,16	50,17	2,21	1,46	1,01	10,6	1,94	4,33	9,26	4,86	100
Partículas amarillas 4	6,27	32,09		46,97	3,46	0,65		0,36	0,98	9,23	100
Cristales blancos		61,15	4,07	1,41	0,62	14,62		7,32	10,8		100
Promedios	12,44	39,51	1,34	25,97	2,14	5,06	0,77	2,56	4,15	6,07	100

Figura 7. Analítica EDS. Processing option: All elements analysed (Normalised). All results in weight %.



**Figura 8.** Prospecciones en superficie sobre la red de galerías de la cueva, entre los valles de Azarizulota y Altzerri. Nótese la presencia de amplias áreas con vegetación enmarañada (argomales, helechos y plantaciones de pinos).



**Figura 9.** Depresión rellena de bloques obstruyendo una posible boca superior de la cueva de Altzerri (flechas rojas). Algunos detalles de los rellenos y boca artificial de acceso en la actualidad (las flechas negras indican su posición aproximada, con el río y el caserío Altzerri abajo, sobre el plano aluvial que rellena el fondo del valle).