UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Escuela de
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo

Máster Universitario en Ingeniería de Minas

Trabajo Fin de Máster

Impacto Ambiental de una Mina de Mercurio Abandonada

Autor: María Álvarez Cuartas

Tutor: María Belarmina Díaz Aguado

Oviedo, junio de 2016

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN 3

2. OBJETIVOS GENERALES 5

3. DESCRIPCIÓN DE LA MINA ABANDONADA Y SUS INSTALACIONES 6

3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA 6
3.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA 10
3.3. ZONIFICACIÓN DE LA SOTERRAÑA 14
3.3.1. Escombreras 14
3.3.2. Plataforma e instalaciones industriales 18
3.4. BREVE HISTORIA 23
3.4.1. Labores mineras 24
3.4.2. Labores metalúrgicas 25
3.5. SITUACIÓN ACTUAL Y NECESIDAD SOCIAL DE RESTAURACIÓN 25
3.6. MERCURIO 27

4. CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN 30

5. IMPACTO DE LA EXPLOTACIÓN 35

5.1. DATOS DE LA CONTAMINACIÓN 35
5.1.1. Informe nº1 35
5.1.2. Informe nº2 37
5.1.3. Informe nº3 46
5.1.4. Factores y valores considerados 48
5.2. IMPACTO VISUAL 49

6. IMPACTO AMBIENTAL DE LA SOTERRAÑA 51

6.1. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD MINERA 51
6.1.2. Descripción de la explotación 51
6.1.3. Identificación de los daños derivados de la explotación 52
6.2. ESTUDIO DEL MEDIO 53
6.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS 54
6.3.1. Suelo 54
6.3.2. Atmósfera 55
6.3.3. Aguas superficiales y subterráneas 55
6.4. EIA CUALITATIVO 56
6.4.1. Infraestructuras y zona de plataforma 56

6.4.2. Escombreras *59*
6.5. EIA CUANTITATIVO 62
6.5.1. Infraestructuras y zona de plataforma *62*
6.5.2. Escombreras *70*
6.6. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL 77
7. POSIBLES SOLUCIONES 78
7.1. TRASLADO A VERTEDERO AUTORIZADO 78
7.2. RESTAURACIÓN IN SITU 79
7.3. TRASLADO A UN DEPÓSITO DE SEGURIDAD 79
7.3.1. Depósito seleccionado *80*
7.3.2. Diseño, construcción y control posterior del depósito *84*
7.3.3. Evaluación de impactos de los trabajos de restauración *88*
8. CONCLUSIONES 90
9. BIBLIOGRAFÍA 92
10. ÍNDICE DE FIGURAS 94
11. ÍNDICE DE TABLAS 96
12. ANEXOS 98
12.1. ANEXO A – HOJA MAGNA Nº53 (MIERES) A ESCALA 1:50.000 99
12.2. ANEXO B – MAPA A ESCALA 1:5.000 100

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la existencia de mercurio en el Principado se remonta a tiempos ancestrales, tal y como lo demuestran las labores, herramientas y monedas encontradas en La Peña (Mieres), Lena y Somiedo.

La mayoría de los yacimientos de mercurio existentes en la región se encuentran en el ámbito de la Cuenca Carbonífera Central. En su conjunto, el 67% de los yacimientos e indicios de la Zona Cantábrica encajan en materiales carboníferos, mientras que un gran número de los mismos (63%) lo hacen en sedimentos carbonatados (Gutiérrez Claverol, y otros, 2010).

El Sector de la Cuenca Carbonífera Central es, con diferencia, el de mayor repercusión en cuanto a yacimientos que han explotado menas mercuríferas, que se concentran, fundamentalmente, en la proximidad de fallas de trazado NNE-SSO que recorren todo el borde de occidental de la Cuenca Carbonífera.

Los depósitos minerales presentes se pueden agrupar, básicamente, en dos tipos:

Depósito tipo El Terronal-La Peña

> Ubicado en las proximidades de Mieres, constituye el entorno mercurífero más importante de Asturias.

Depósitos tipo Muñón Cimero

> Ubicado en el municipio de Lena, está formado por la agrupación de los yacimientos de La Soterraña, Villar de Gallegos, Llamo, Mañamuriz, Brañalamosa, Piedracea y Vega del Ciego, encajados todos ellos en rocas carbonatadas carboníferas.

Es en estos últimos depósitos donde se ubica la antigua mina e instalaciones de tratamiento de mercurio que son objeto de este trabajo fin de máster. Aunque existen vestigios de explotaciones romanas, esta mina fue fundamentalmente explotada desde mitad del siglo XIX hasta 1972, siendo entonces una de las principales minas de mercurio de Asturias y España. A través de la bocamina se accedía al pozo Ulpino que comunicaba con las explotaciones inferiores, usando cámaras y pilares como sistema de explotación. La metalurgia del mineral se realizó in situ, en distintos tipos de

hornos, según la riqueza de la mena. Restos de estas instalaciones permanecen aún en la zona.

El presente Trabajo Fin de Máster contiene en primer lugar una descripción de la abandonada explotación, indicando su situación geográfica, la geología de la zona y la descripción detallada de todos los elementos que la componen, así como una breve historia en la que se describe la evolución de la explotación desde sus inicios hasta la actualidad, demostrando la necesidad social de restauración de la misma. Seguidamente se propone una campaña de prospección con la cual quede garantizada la representatividad de las condiciones del lugar, de modo que se refleje la presencia, distribución y concentración de contaminantes a lo largo del emplazamiento.

A continuación se determina el impacto de la explotación, para lo cual se han tomado los datos de tres informes de diferentes autores, de los cuales se incluye un resumen, con el fin de obtener unos datos contrastados sobre la contaminación existente tanto en la propia explotación y en sus alrededores, como en zonas alejadas. El impacto visual es también analizado.

Llegados a este punto ya se puede proceder a evaluar el impacto ambiental de la antigua mina, para lo cual se realiza un estudio del medio y se identifican los daños derivados de la explotación, realizando a continuación una evaluación cualitativa y cuantitativa.

Finalmente se proponen posibles soluciones para mitigar el impacto ambiental producido por la mina abandonada, para lo cual se considera trasladar de los residuos a un vertedero autorizado, realizar una restauración in situ o bien trasladar los residuos a un depósito de seguridad, incluyendo el impacto que tendrían las obras de restauración.

2. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster, es la evaluación del impacto ambiental de una explotación minera de mercurio en estado de abandono y de posible contaminación del medio ambiente. Para ello se han establecido una serie de objetivos parciales:

1. Análisis de datos de la zona, con el fin de determinar el grado de contaminación efectiva en la misma y de conocer el valor de los parámetros de contaminación más significativos.

2. Identificación de los principales impactos ambientales y sobre el medio que produce tanto la mina abandonada como sus instalaciones: antiguos hornos de tratamiento, zona de oficinas y naves, zona de chimeneas y las dos escombreras asociadas a la antigua producción de mercurio: la escombrera superior o escombrera de residuo procedente de tratamiento y obtención de mercurio en los hornos y la escombrera inferior o depósito de escombro de mina, con menor grado de contaminación que la anterior (a priori).

3. Evaluación del impacto cualitativo de las instalaciones, con el fin de determinar el carácter de los principales impactos, de cara a valorar la posible actuación futura en la zona.

4. Evaluación del impacto cuantitativo de las instalaciones, atendiendo a dos índices: el índice de impacto global (Ig) y el índice de impacto ambiental estimado (IAE), con el fin de cuantificar los efectos negativos producidos en la zona.

5. Una vez que se comprueba el elevado impacto debido al estado de abandono y a la alta contaminación, se ha elaborado una sencilla propuesta de restauración, barajado y comprando dos posibles alternativas.

6. Igualmente se analiza el impacto ambiental que tendría la restauración, mínimo frente a los beneficios que se obtendrían.

3. DESCRIPCIÓN DE LA MINA ABANDONADA Y SUS INSTALACIONES

El proyecto se ha centrado en una antigua mina de mercurio, conocida como “mina La Soterraña”, que está situada en el municipio de Lena y que es actualmente (una vez restaurada la mina de Almadén, que era la mayor de Europa de estas características), la mayor instalación abandonada de mercurio en Europa y pendiente de restaurar. Además, no es la única de su tipo, pues a una distancia relativamente cercana se encuentran las instalaciones del Terronal, también de mercurio. Por tanto, el análisis de esta zona sería a extrapolable a otras similares.

3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA

Las instalaciones de la antigua fábrica y mina La Soterraña se sitúan en el concejo de Lena (Figura 1), a 30 km de la capital del Principado de Asturias (Oviedo) a 650 metros sobre el nivel del mar, limitando al norte con el concejo de Mieres, al sur con la provincia de León, al este con el concejo de Aller y al oeste con los concejos de Riosa y Quirós (Figura 2). Las coordenadas de la ubicación de la mina son: 43°11'34" N 5°50'36" O.

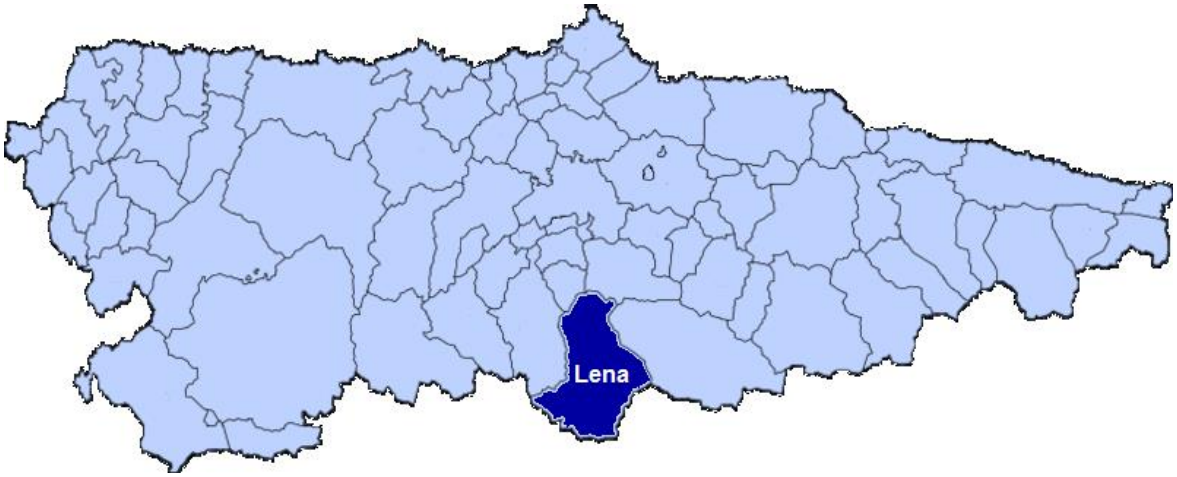


Figura 1. Lena, Asturias (Asturias Información, 2016).

Figura 2. Subdivisiones del concejo de Lena (Buelga, 2016).

Las instalaciones de la mina La Soterraña se encuentran a 500 metros aproximadamente del pueblo lenense *Muñón Cimero* (Figura 3), más concretamente, en la ladera suroeste del monte *Campusas*.

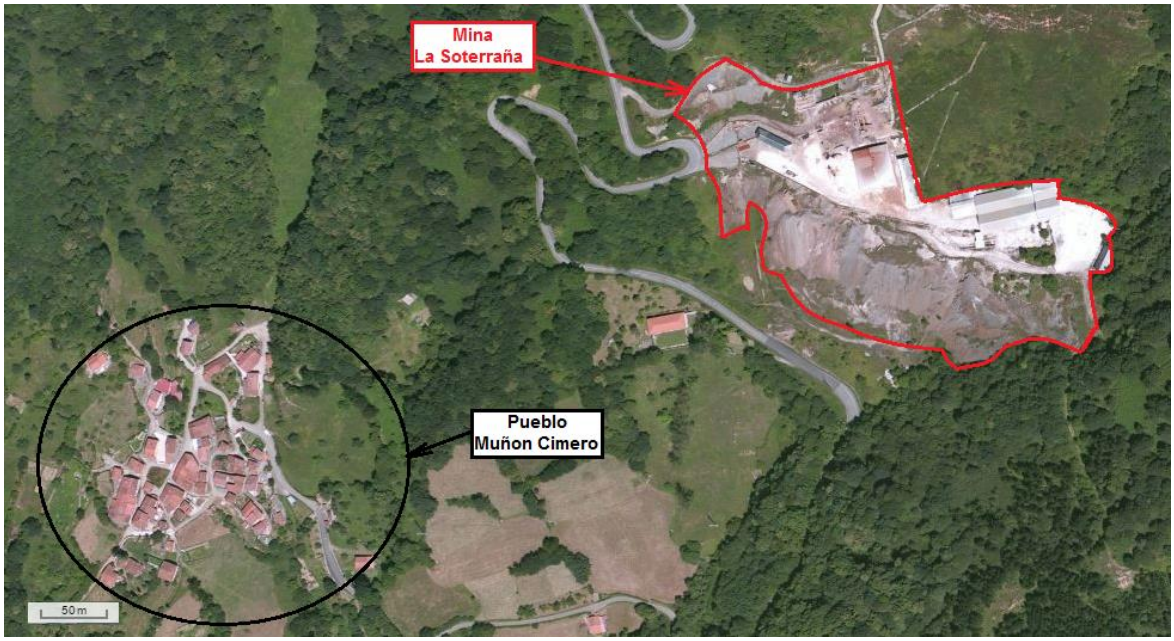


Figura 3.Ubicación de la mina y del pueblo adyacente. (Modificado de: (Google Earth, 2016)).

Dicho pueblo es el más cercano a la antigua mina, aunque también existen otros pueblos en los alrededores (Figura 4); en un radio de entre 800 y 1000 metros se encuentran los pueblos *La Iglesia* y *Reconcos*, y ya más alejados, a unos 2 km aproximadamente, se sitúan los pueblos *La Muela, Culquera de Abajo, Retrullés* y *La Fabariega.*

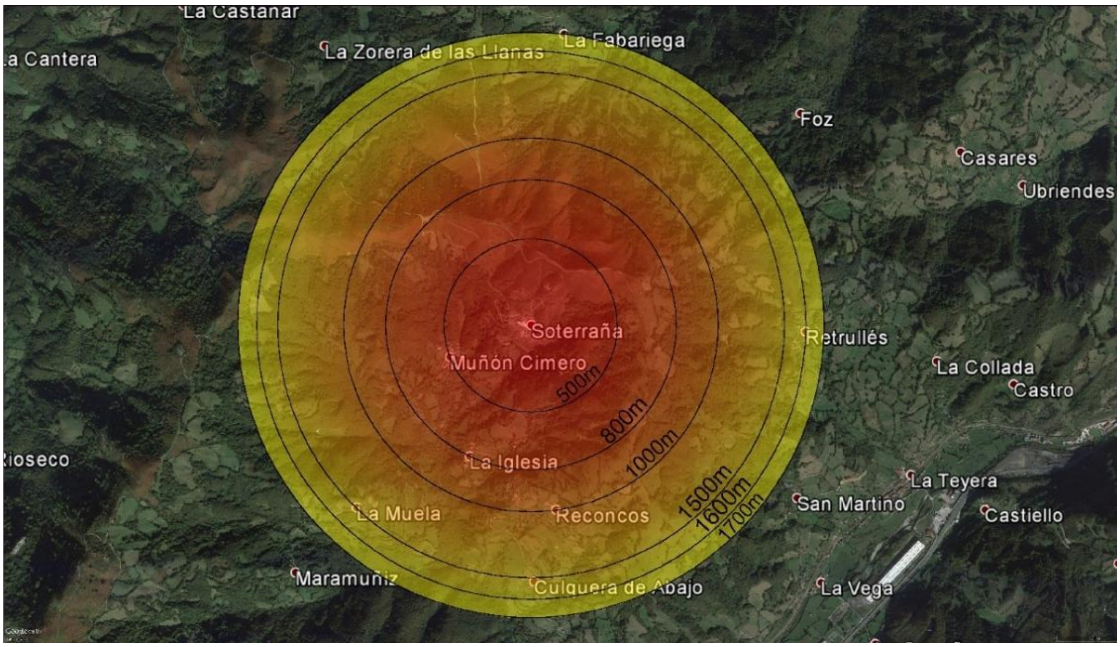


Figura 4. Pueblos de los alrededores de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016)).

La población es relativamente escasa en esta zona ya que según el Instituto Nacional de Estadística el número de habitantes en los núcleos más cercanos son los recogidos en la Tabla 1 (Nomenclator 2015), además de existir una vivienda aislada a 35 m de la explotación:

PUEBLO	Nº de habitantes
Muñón Cimero	14
Culquera Abajo	7
La Iglesia	11
Soterraña	4
La Muela	1

Tabla 1. Número de habitantes por pueblo.

Estos núcleos se encuentran a media ladera y/o otras subcuencas del arroyo Muñón. Sin embargo, la población de Pola de Lena, capital del concejo de Lena, se encuentra a aproximadamente 4 km en línea recta desde La Soterraña (Figura 5) y cuenta ya con 10.000 habitantes, con lo que si se incluye esta población en el ámbito del impacto, aumenta considerablemente el grado de afección.

Figura 5. Distancia entre La Soterraña y La Pola (Modificado de: (Google Earth, 2016))

En cuanto a la flora, esta zona se caracteriza por poseer una vegetación compuesta de hayedos, castaños y acebales, además de amplias praderas junto con pastizales de altura de tipo comunal, destinadas al mantenimiento del ganado vacuno y algo del caballar y lanar. En los alrededores de las instalaciones de la mina existen masas forestales bien conservadas, considerándose un hábitat de interés comunitario no prioritario, bosque cantábrico de Quercus pirenaica (Código UE 9230). Existe un ENP (Espacio Natural Protegido) y Red Natura 2000 a más de 8 km de distancia y humedales a más de 5 km de distancia.

Entre su fauna destacan los corzos, rebecos, jabalís y algunas especies en peligro de extinción como el urogallo, el águila real y el lobo.

El río más importante del concejo de Lena es el *río Lena*, en el que confluyen los ríos *Huerna* y *Pajares*. Este río junto con el Aller son los principales afluentes del *río*

Caudal, y forman la llamada *cuenca del Caudal*. El arroyo Muñón tributario del río Lena se encuentra expuesto a la contaminación de La Soterraña en su cabecera.

Se trata de una zona muy accesible ya que en algunas zonas se encuentra a tan solo 1 m de distancia de la carretera comarcal AS-231, que conecta Pola de Lena y Riosa, y no existe ninguna valla de protección ni señalización disuasoria de acceso a las instalaciones y escombreras de la mina.

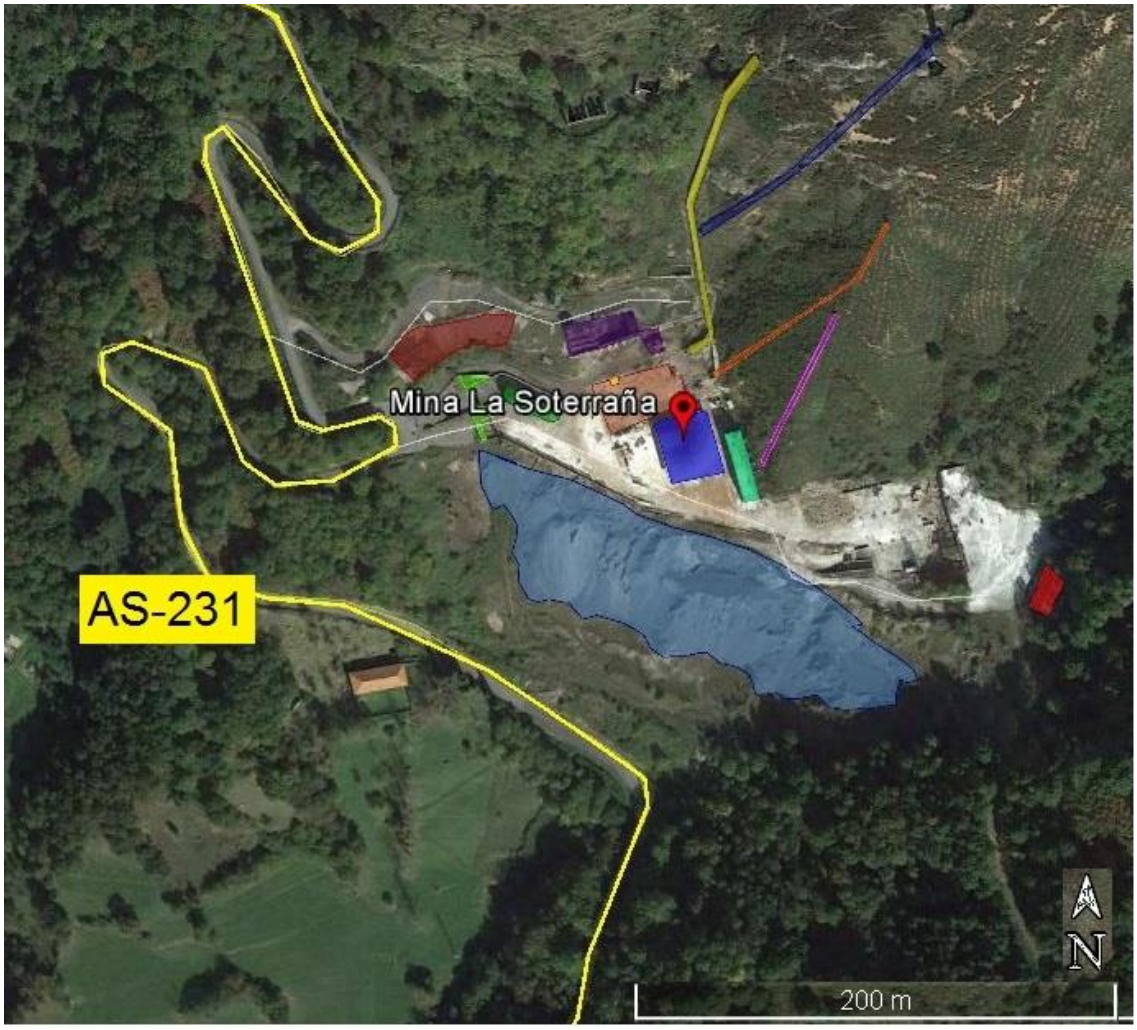


Figura 6. Trazado de la carretera comarcal AS-231 en la zona de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016))

3.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

En la Cordillera Cantábrica se distribuyen diversas mineralizaciones de mercurio, principalmente de carácter epitermal, en relación con fracturas y rocas intrusivas tardihercínicas, repartiéndose en distintos niveles estratigráficos desde el Cámbrico

hasta el Carbonífero superior. En la mayoría de los casos se asientan sobre materiales carbonatados, aunque ocasionalmente también encajan en areniscas, brechas silíceas o niveles lutítico-carbonosos.

En las mineralizaciones de la Zona Cantábrica se han diferenciado cuatro tipos de paragénesis (Figura 7), siendo la que aparece en Muñón Cimero la siguiente: Cinabrio-rejalgar-oropimente, y ocasionalmente con fluorita, cobres grises y Hg nativo. (Luque, y otros, 1989)

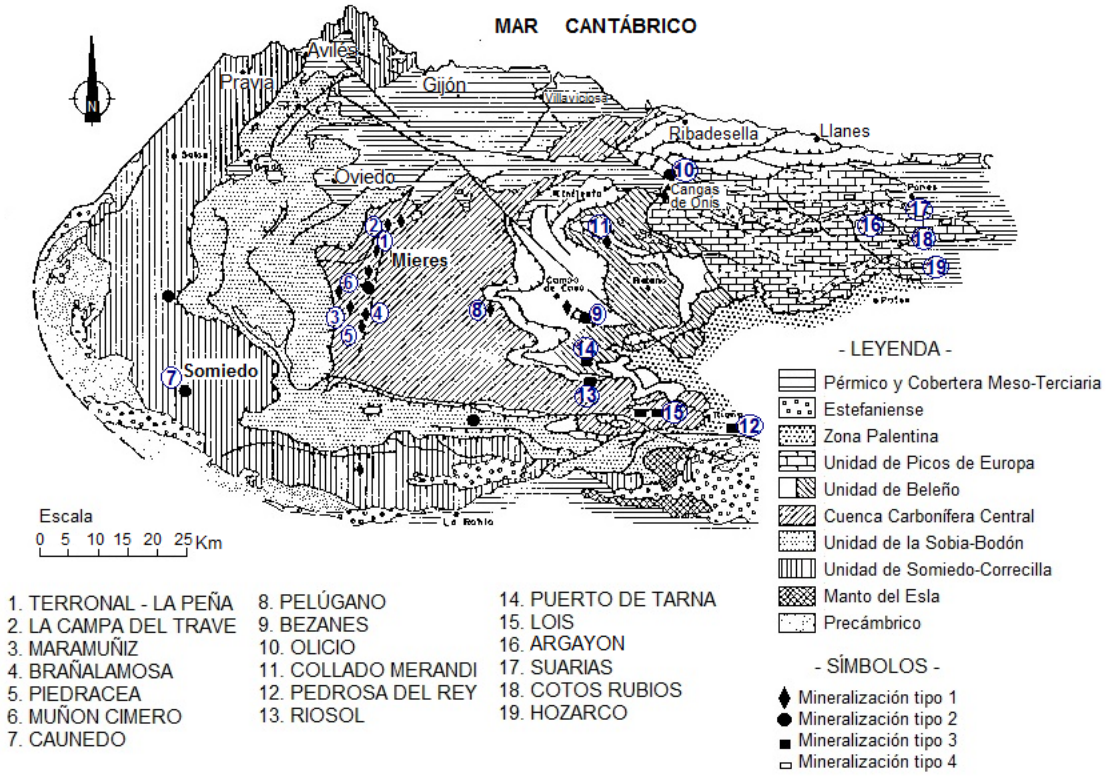


Figura 7. Distribución de las principales mineralizaciones de Hg de la Zona Cantábrica. (Luque, y otros, 1989)

En esta paragénesis el cinabrio se presenta con carácter macroscópico, en filoncillos, agregados granulares o impregnaciones dispersas en la roca encajante, habiéndose depositado en zonas de elevada porosidad a partir de soluciones hidrotermales de temperaturas entre 100 y 150ºC, condiciones de moderada o alta salinidad (10-25% eq.ClNa) y presiones comprendidas entre 200 y 600 bar (Loredo, y otros, 2008).

Se puede concluir por tanto que la minería se llevó a cabo a través de un yacimiento hidrotermal de baja temperatura, que está alojado en calizas muy fracturadas con dispersión en areniscas y lutitas de edad carbonífera.

Más detalladamente, la paragénesis de este depósito mineral está constituido por el cinabrio (HgS), oropimente (As_2S_3), rejalgar y pararrejalgar (AsS), As enriquecido en pirita y marcasite (FeS_2), y arsenopirita (FeAsS), en una ganga de cuarzo y calcita (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011)

La Soterraña se ubica al sureste de la Hoja 53 del MAGNA (Anexo A). En la siguiente Figura 8 se muestra la ubicación de la mina sobre dicha Hoja con mayor detalle:

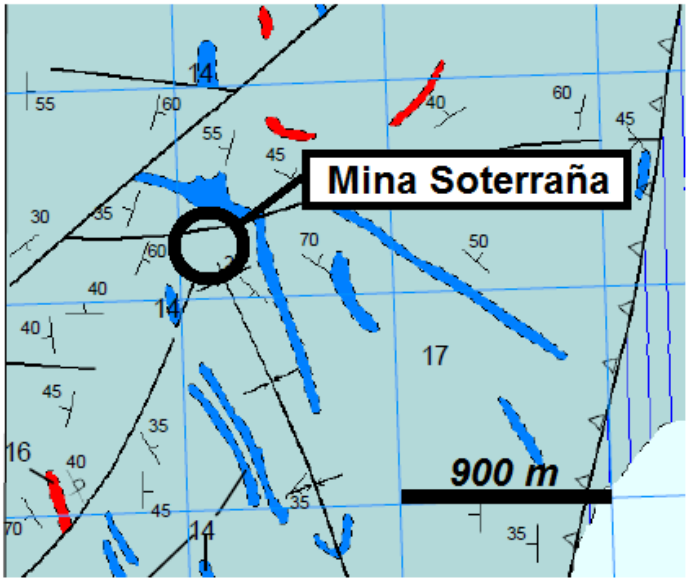


Figura 8. Ubicación de la mina. (Modificado de: (IGME, 2016))

Puede observarse, según la parte de la leyenda mostrada en la Figura 9, que La Soterraña se encuentra en el Sistema Carbonífero Superior Westfaliense, ubicada sobre pizarras, calizas y areniscas (Subhullero de Riosa).

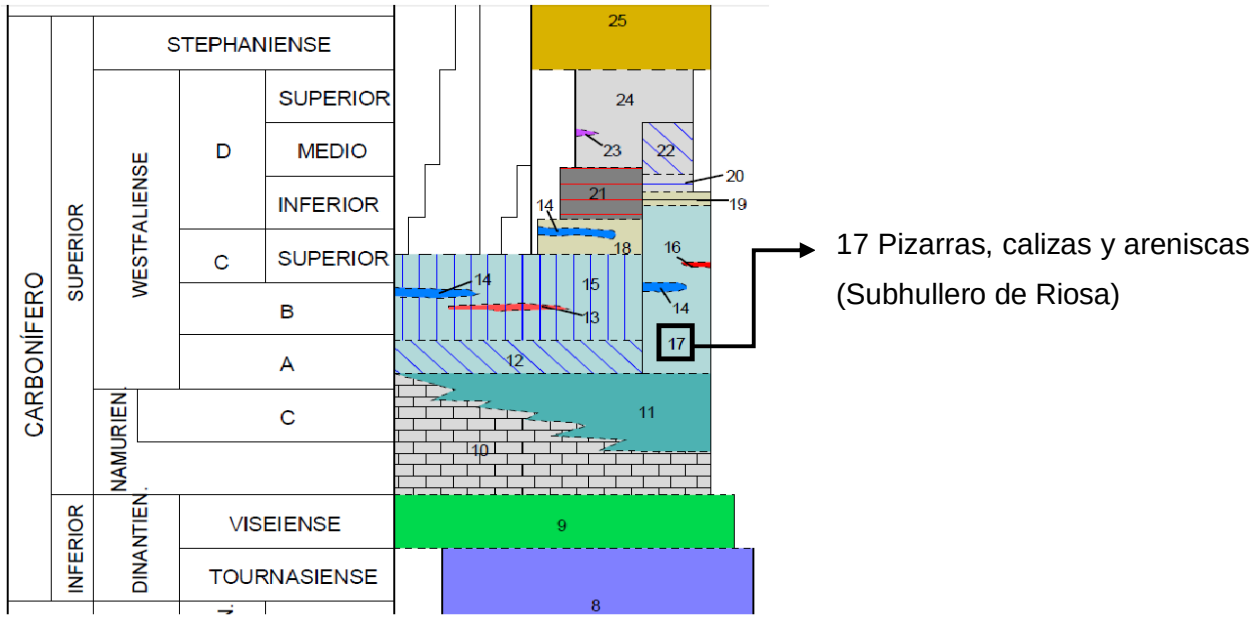


Figura 9. Leyenda del Carbonífero correspondiente a la Hoja 53. (Modificado de: (IGME, 2016))

El Sistema Carbonífero representa el 80% de los afloramientos del total de la Hoja, alcanzando una potencia máxima de 6000 m, siendo la gran mayoría de origen marino. Dicho Sistema se divide en dos series: la Inferior, de 3000 m de espesor, se considera improductiva, siendo la Superior, de 2800 m de espesor, en la que se encuentran todos los paquetes hulleros. (Velando, y otros, 1975).

De estructura compleja, la mineralización está constituida por un anticlinal de dirección N-S, afectado por dos sistemas de fallas en su flanco occidental: uno de dirección NE-SO y otro transversal E-O (Falla del Aramo).

La principal asociación mineral aparece en masas irregulares de calcita encajadas en niveles carbonatados del Grupo Lena, presentando las mayores concentraciones aquellas calizas más afectadas por la tectónica, o cuando impregnan un nivel de carbón situado en los tramos calcáreos a muro (Gutiérrez Claverol, y otros, 2010). Se trata de calizas tipo “mound”, de wakestone a mudstone, depositadas en ambientes de plataforma restringida, en condiciones inter o supramareales. (Fernández Albarrán, 1997).

3.3. ZONIFICACIÓN DE LA SOTERRAÑA

Debido a la extensión de la zona y al distinto tipo de instalaciones presentes, se ha zonificado esta mina y sus instalaciones en:

3.3.1. ESCOMBRERAS

En una ladera, en las inmediaciones de la mina, se encuentra una escombrera (Escombrera 2) cuyo volumen se estima en unos 65.000 m^3, abarcando un área de 26.000 m^2, que contiene estéril, mineral de baja ley y residuos metalúrgicos. Existe una segunda escombrera (Escombrera 1) cuyo volumen es mucho menor, ocupa un área de aproximadamente 4.000 m^2 (13.000 toneladas), pero contiene residuos del proceso de fabricación de mercurio (de la zona de hornos), los cuales son mucho más contaminantes y peligrosos para el medio ambiente.

Figura 10. Escombreras de La Soterraña (Modificado de: (Google Earth, 2016)).

Las escombreras presentan además problemas de inestabilidad derivados en gran medida como consecuencia de la socavación mecánica que ha dejado taludes subverticales, siendo además favorecido por la erosión hídrica, con la presencia de algunas cárcavas profundas. Por otra parte, el movimiento del terreno sobre el que se asienta la escombrera, constituido por arcillas, puede comprometer la estabilidad de la estructura. (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

La escombrera de mayor volumen (Escombrera 2) se localiza en la cabecera del arroyo Muñón tributario del río Lena, el cual es afluente del río Caudal (cuenca del río Nalón), pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico. El agua de escorrentía es canalizada desde el pie de la escombrera hacia el arroyo Muñón.

Existe revegetación natural en la parte inferior del talud donde la extracción de material ha perfilado zonas llanas o taludes más suaves. Además, existen varios sondeos piezométricos, y un inclinómetro en la ladera situado aguas abajo.

Figura 11. Vista frontal de la Escombrera 2 (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

El talud original de la escombrera no se reconoce debido a la extracción de material, y como resultado se observan varios bancos y la presencia de taludes subverticales (Figura 12).

Los residuos son mayoritariamente escorias de granulometría variable que van desde tamaño grava a bloques de 8-9 cm aproximadamente. Puntualmente se observa la presencia de lodos de lavadero.

Las arcillas sobre las que se asienta la escombrera están actualmente deslizando, este proceso es actualmente vigilado con un inclinómetro.

Además, la extracción de material (socavación mecánica) ha generado taludes inestables con deslizamientos locales y existen varias cárcavas profundas (varios metros).

Figura 12. Vista en detalle de una cárcava en el talud. La extracción de residuos ha generado taludes subverticales (Vadillo Fernández, y otros, 2014)

Al pie de la escombrera existe un drenaje (Figura 13), y las zonas más llanas situadas en la parte inferior de la estructura se encuentran parte del año encharcadas con colonización de equisetos (plantas helófilas). El nivel freático se encuentra en el cuerpo de la escombrera, a unos 2 m de altura desde el pie de la estructura.

Figura 13. Drenaje situado al pie de la escombrera (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

En la zona de estudio existe una sismicidad inferior a 0,04 g y hay sobrecarga por algunas de las instalaciones mineras abandonadas (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

A continuación se muestran de forma esquemática los perfiles transversales de la escombrera, tanto del lado Oeste como del lado Este:

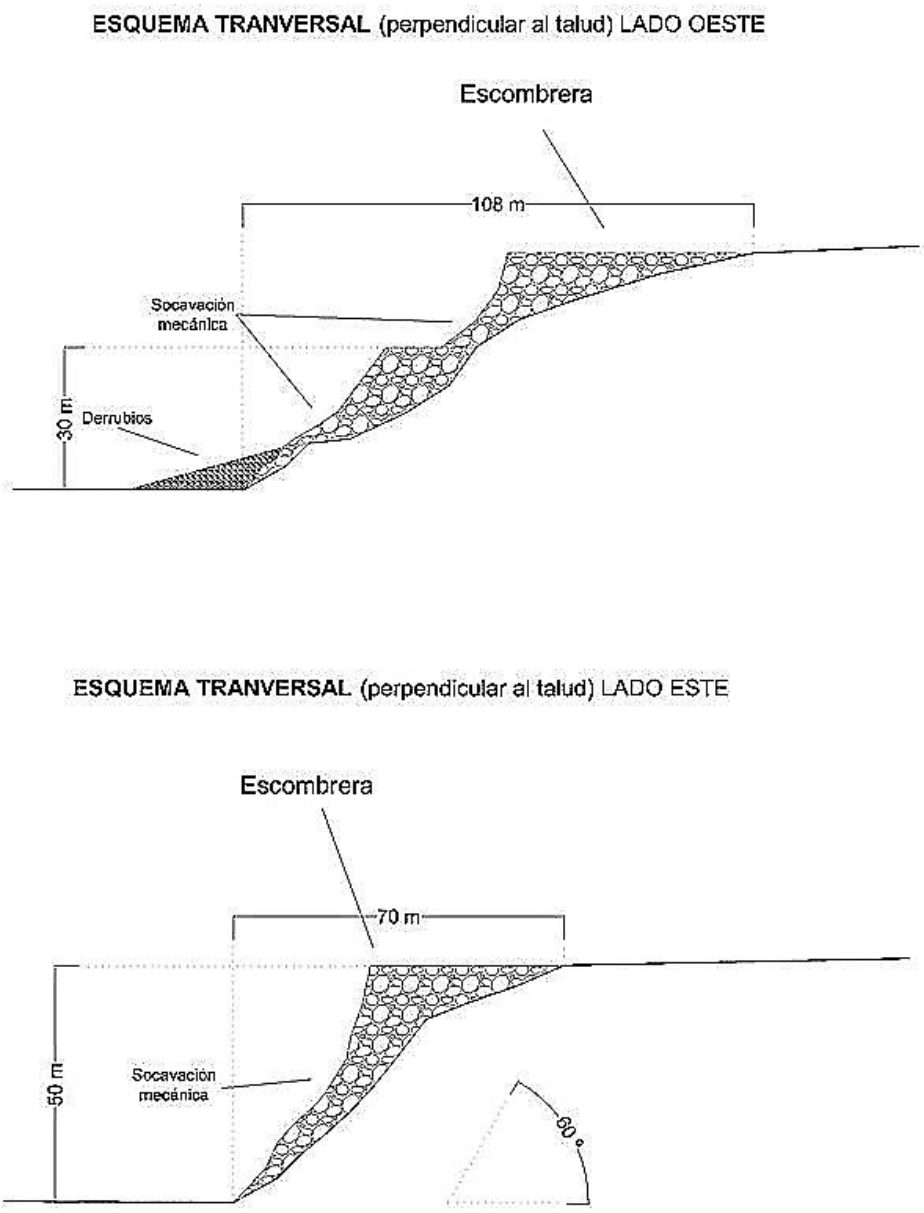


Figura 14. Esquemas transversales del talud (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

3.3.2. PLATAFORMA E INSTALACIONES INDUSTRIALES

Parte de las instalaciones la conforman los edificios abandonados, algunos de ellos parcialmente derruidos, correspondientes a edificios de oficinas, edificios destinados al procesamiento metalúrgico, junto con otros edificios empleados para otros usos. En la siguiente Figura 15 se pueden observar las distintas instalaciones presentes.

Figura 15. Instalaciones de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016)).

La plataforma principal ocupa un área aproximada de 18.000 m^2. Además, sobre la ladera se encuentran las chimeneas construidas con material de obra sobre el terreno y empleadas en su día para el procesamiento del mineral (Figura 16), las cuales están también parcialmente destruidas.

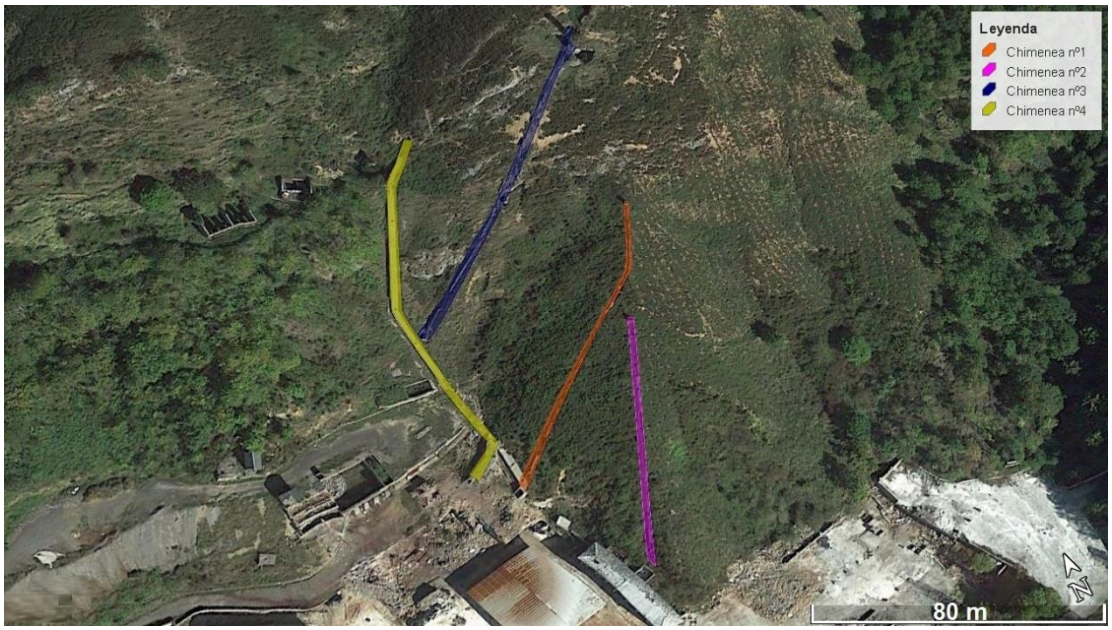


Figura 16. Chimeneas sobre la ladera. (Modificado de: (Google Earth, 2016)).

A continuación se describen brevemente cada una de las instalaciones y se adjuntan una serie de fotografías (Panoramio, 2016):

Instalación nº1: Edificio de oficinas. Ocupa un área de 180 m^2 aproximadamente.

Instalación nº2: Nave tendejón de estructura metálica. Ocupa un área de 730 m^2 aproximadamente.

Instalación nº3: Almacén. Ocupa un área de 240 m^2 aproximadamente.

Instalación nº4: Edificio de carpintería. Ocupa un área de 140 m^2 aproximadamente.

Instalación nº5: Zona donde se encontraban los hornos de procesamiento del mineral. Ocupa un área de 800 m^2 aproximadamente.

Instalación nº6: Otras zonas de edificios semi-derruidos ladera arriba. Ocupa un área de 480 m^2 aproximadamente.

- Muros/Entrada: Entradas de acceso a la mina y muros perimetrales.

- Bocamina: Ubicación de la bocamina.

3.4. BREVE HISTORIA

El cinabrio fue uno de los minerales más buscados en tiempo de los romanos, fundamental para la amalgama del oro y del que se obtenía el bermellón (un colorante rojo muy apreciado en el Imperio que se usaba en pintura), tintes, decoraciones, usos medicinales, decoración e incluso para maquillaje. Se extraía en condiciones muy duras en túneles y pozos muy reducidos, donde era preciso trabajar tumbado o en cuclillas en medio de polvo venenoso y su toxicidad ya era conocida por los antiguos, que obligaban a quienes lo manejaban a tapar su rostro para protegerse; por ello los mineros eran siempre esclavos rebeldes, condenados a trabajos forzados o a muerte.

El momento de mayor auge de la minería del cinabrio tuvo que darse entre la segunda mitad del siglo I y el principio del II, antes del parón que sufrió la economía del Imperio y que se prolongó en el siglo III acarreando el cierre de todas las minas ante la imposibilidad de transportar los minerales por unos caminos que habían dejado de ser seguros. Tras ello, hubo que esperar siglos para que se volviese a hablar de mercurio en la Montaña Central.

En 1843 se creó la Unión Asturiana, para la explotación de todos los minerales que pudiesen ofrecer alguna rentabilidad en Asturias, entre ellos el cinabrio, y al año siguiente se iniciaron las actividades de la Asturiana *Mining Company* en Lena y Mieres, que adquirieron varias concesiones en las proximidades de Muñón Cimero e instalaron un horno de cámaras para su destilación en Mieres en 1848.

En 1878 se fundó Minas de La Soterraña, filial de la antigua Anglo-Asturiana, que también se centró en la zona de Muñón Cimero, donde construyó una planta para tratar los contenidos de arsénico y del mercurio. Los mineros del Caudal siempre consideraron el mercurio como de segundo rango con respecto al carbón, cuando no como un último recurso, debido a la peligrosidad que entrañaba y que todos conocían. (Memoria Digital de Asturias, 2016).

La minería del mercurio tuvo por tanto mucha menos relevancia social y no tuvo el desarrollo de las de carbón, aunque la producción de éstas últimas nunca llegaron a la producción global de las de mercurio. En la década de 1960 la producción de mercurio en Asturias y León llegó a superar los 11.000 frascos, por lo que, contando la producción de las minas de Almadén (Ciudad Real), Asturias y León llegaron a ser los sextos productores de mercurio del mundo occidental. (Luque Cabal, 2008).

Del lado de los empresarios, la rentabilidad también era mucho más aventurada, de manera que la explotación del cinabrio siempre estuvo afectada por los altibajos marcados por el mercado internacional y, sobre todo, por los conflictos bélicos.

Finalmente, las normativas sobre medio ambiente acabaron acorralando a un sector cuyo desarrollo traía implícitos graves riesgos para la salud y el medio ambiente (Memoria Digital de Asturias, 2016).

La principal actividad minera en las instalaciones se desarrolló por tanto durante treinta años y hasta el año 1972, momento en que cierra la instalación y caduca la concesión minera y con ella el derecho minero de la misma. En ese momento, la empresa titular quiebra, desmantelándose posteriormente las instalaciones de beneficio y producción y quedando en su lugar restos del desmantelamiento y superficies con elevada contaminación en arsénico y mercurio.

Posteriormente, Siderfluor S.A. compró estas instalaciones en 1994 para desarrollar la actividad de fabricación de briquetas de espato flúor, actividad que cesó totalmente en 2010.

3.4.1. LABORES MINERAS

Las labores mineras se centraron principalmente por debajo de la cota 650. A través de la bocamina se accedía al pozo Ulpino que comunicaba con las explotaciones inferiores a cota 624, prosiguiendo mediante tres planos inclinados hasta la 341 mediante rampas, planos o pozos intermedios. Todo ello siguiendo un complicado sistema de comunicación en el interior de la mina que hacía laborioso y costoso la extracción del mineral, hasta la construcción del citado pozo. (Fernández Albarrán, 1997).

El sistema de explotación utilizado en la mina ha sido mediante cámaras y pilares, el cual solía emplearse en la mayoría de las explotaciones de la zona. Este sistema era el más sencillo y económico dada la coherencia de la roca y solo en algunas ocasiones ha sido necesario realizar sostenimientos o rellenos con el fin de recuperar pilares mineralizados.

La ventilación se realizaba mediante aspiración, para lo cual fue necesario realizar un pozo secundario, colocando el sistema de ventilación en el pozo principal aspirando el aire a lo largo de toda la mina.

El transporte del mineral se realizaba mediante vagonetas tiradas por animales, y las escombreras se ubicaban en las inmediaciones de las instalaciones sobre la ladera, lo que favorece la escorrentía y por tanto el lavado de los elementos que en ellas se encuentres.

3.4.2. LABORES METALÚRGICAS

La concentración del mercurio a partir de los minerales de la mina se hacía por medio de muflas metálicas de hierro fundido para las menas ricas superiores al 5% en mercurio, o en hornos para los minerales pobres.

Los dos tipos de hornos empleados para esta recuperación han sido los hornos de recortas, los cuales eran los adecuados para el tratamiento de los minerales pulverulentos, y los hornos de cuba, que se empleaban para tratar los minerales.

Con el fin de aumentar la eficiencia de la explotación, en 1957 se instaló un horno rotativo con capacidad de entre 25 a 40 toneladas al día. (Fernández Albarrán, 1997).

3.5. SITUACIÓN ACTUAL Y NECESIDAD SOCIAL DE RESTAURACIÓN

El estado de la mina de La Soterraña ha causado gran controversia desde su abandono (1972) debido al gran impacto visual que ha dejado y al mal estado en que se encuentran las escombreras y las instalaciones. Debido a ello, han sido muchos los intentos por parte de los pueblos vecinos de proceder a su descontaminación.

Ya en el año 2008 los vecinos del valle de Muñón Cimero se unían para luchar contra la contaminación de La Soterraña, constituyendo una plataforma (*"Plataforma de La Soterraña"*) con el fin de solicitar toda la información relacionada con el estado de los suelos en el Valle y de pedir responsabilidades políticas. La problemática llegó incluso a la Unión Europea de manos de IU, que interpeló a la Comisión de Peticiones.

No fue hasta el año 2010 cuando se dio el primer paso para la descontaminación, cuando la empresa EMGRISA elaboró, por encargo del Ministerio de Medio Ambiente,

el Proyecto de Recuperación Ambiental de la antigua fábrica y minas de mercurio de La Soterraña.

Los primeros resultados de los estudios de la zona fueron contundentes. Se determinó que había más de 20.000 m^2 afectados por mercurio y arsénico. Dicho proyecto, además del derribo de las instalaciones y el traslado y tratamiento de los residuos tóxicos, también incluía el sellado de escombreras, canalización de las aguas y revegetación de la zona.

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino acometió en 2011 la primera fase de descontaminación de la mina de mercurio. Fue un primer paso que contó con una inversión de 395.536,55 € y en el que se realizaron penetrómetros a pie de escombrera para revisar la estanqueidad. Otra de las tareas era la de la demolición de las chimeneas de ladera y de las zonas de proceso de hornos y condensadores, incluyendo accesos y clasificación de los escombros generados para su gestión externa o interna.

Los residuos peligrosos y orgánicos, según el proyecto, se cargarían y se transportarían para su tratamiento mediante gestor autorizado. A la vez, se extraería el fuel de los tanques de hormigón y limpieza de estos, para su posterior demolición.

Sin embargo, en 2013 la Consejería de Fomento paralizaba el desmantelamiento de la mina, dado que las empresas que trabajaban en la zona carecían de autorización para gestionar residuos peligrosos. (Basteiro, 2014).

Tras todos estos años los vecinos de Muñón Cimero siguen reclamando que se declare la antigua mina como zona contaminada e insisten que, con voluntad política, se podrían encontrar los fondos necesarios para eliminar este peligroso foco de contaminación.

El Ayuntamiento de Lena también ha mostrado siempre su apoyo a los vecinos y su preocupación ante la contaminación de la zona, e incluso se llegó a proponer que la zona se convirtiera en un área recreativa y de ocio, para hacer de La Soterraña un ejemplo a nivel nacional de la recuperación.

En 2014 el Gobierno del Principado de Asturias ha iniciado un expediente de declaración de suelo contaminado del conjunto minero de Soterraña (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

En julio de 2015 se abordaba en Pleno extraordinario la aprobación “del apoyo al proyecto de recuperación de la explotación abandonada a través de la gestión integral y novedosa de residuos, Life HGTerranean como propuesta en el marco Life 2015”.

Por otra parte, en agosto de 2015 saltó la alarma en la zona debido a que un empresario de la chatarra estaba extrayendo material de la mina, de modo que se estaba removiendo en el ambiente todo el polvo impregnado de mercurio, y además se estaba transportando todo ese material en camiones sin tapar, lo que implica el esparcimiento de polvo impregnado del metal pesado.

También cabe destacar los problemas que han surgido en la zona en agosto de 2015 debido a la propuesta de realizar tres trazados de líneas de AVE, los cuales incluyen un túnel subterráneo que pasaría por debajo de la mina, lo que puede ser muy perjudicial debido al peligro que hay en que los contaminantes que en ella se alojan se esparzan aún más con la realización de dichos túneles.

El trazado de la vuelta ciclista se encuentra cercano a estas instalaciones abandonadas, lo que hace que, junto con otros factores, tenga un alto impacto social.

Finalmente, y considerando que en unas instalaciones similares aunque de menores dimensiones, Minas el Terronal en Mieres, se está actualmente desarrollando un proyecto LIFE en cuanto a la posible descontaminación del terreno con algunas especies arbóreas, se plantearía aplicar las conclusiones obtenidas hasta la fecha en las instalaciones de Minas de la Soterraña (Grupo IOM, 2015).

Los habitantes de la zona siguen manteniendo la esperanza de que se lleven a cabo actuaciones en un futuro próximo. La necesidad de estas actuaciones queda perfectamente comprobada en este documento.

3.6. MERCURIO

El mercurio como metal no es contaminante, lo más tóxico son sus vapores, que se producen al quemar el metal.

Como valores de referencia, se consideran las concentraciones medias de mercurio en los suelos del mundo entre 0,01 a 0,5 mg/kg, dependiendo de las características de las rocas sobre las que se desarrollan los suelos (Álvarez, y otros, 2005).

El mercurio se presenta en pequeñas concentraciones en todo tipo de rocas. Algunos valores representativos de mercurio en los diferentes tipos de materiales de la corteza se recogen en la siguiente Tabla 2.

Material	Rango de concentraciones (µg/kg)
Rocas ígneas	5 - 250
Calizas	40 - 220
Areniscas	<10 - 300
Esquistos	5 - 3250
Suelos	20 - 150

Tabla 2. Concentraciones de Hg en diferentes tipos de materiales (Álvarez, y otros, 2005).

El mercurio es el único metal que se presenta líquido a la temperatura ambiente. Es sumamente volátil. Por otra parte, tiene una alta capacidad para formar compuestos orgánicos e inorgánicos.

Al ponerse en contacto con un ambiente acuático, el mercurio se transforma en metilmercurio, un potente neurotóxico que se acumula por medio de la cadena trófica en los peces y en los humanos y fauna silvestre que de ellos se alimentan. De modo que va aumentando su concentración en los seres vivos a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. Se cree que el metilmercurio es uno de los seis peores contaminantes del planeta.

Además la peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.

Las principales fuentes de contaminación por mercurio son las naturales debido a los desprendimientos o el desgaste de la corteza terrestre, y la causada por el hombre en los procesos industriales, que es la más importante y la que causa el 75% de las contaminaciones.

La intoxicación por mercurio sobre el ser humano pueden provocar la pérdida de piezas dentales y de uñas, temblores, mareos, pérdida de memoria, hinchazón de hígado e intestinos, dolores de cabeza, etc. Los límites están en 10 microgramos de mercurio en sangre.

4. CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN

A fin de reflejar la presencia, variación de distribución y concentración de contaminantes a lo largo del emplazamiento de las antiguas instalaciones mineras de La Soterraña, se ha planteado una campaña de muestreo que garantice la representatividad de las condiciones del lugar.

Fase 1: Revisión de la información

En primer lugar, se debe realizar una revisión de la información bibliográfica del emplazamiento a fin de recopilar los datos más relevantes y las actividades llevadas a cabo en el mismo, lo que permite reducir errores posteriores.

Fase 2: Reconocimiento de campo

Para diseñar un adecuado plan de muestreo, se han de identificar las áreas de potencial contaminación.

Tras la caída de la producción de mercurio en la década de los 70, se produjo el cierre de las minas que hasta entonces habían estado en activo. El abandono de las actividades mineras se produjo prácticamente sin llevar a cabo ningún control que evitase la dispersión de mercurio y otros elementos tóxicos al medio ambiente.

En el caso que nos ocupa, se da la circunstancia de que el emplazamiento de las instalaciones mineras se encuentra próximo a núcleos de población. Hay que añadir que, por tratarse de una zona rural, los suelos son aprovechados como pastos, por lo que se sigue produciendo la dispersión de contaminantes, mercurio entre ellos, por diferentes vías de migración.

Fase 3: Objetivos del muestreo

Con la presente campaña de prospección propuesta se pretende establecer la existencia de posibles riesgos que la pasada actividad minera haya podido generar, o siga generando, en el medioambiente y en la salud pública.

Para ello, se han de identificar y localizar las fuentes potenciales de contaminación, a fin de determinar las posibles rutas de migración de los contaminantes y los posibles receptores. Esto genera el modelo conceptual, que constituye la siguiente fase de la campaña.

Fase 4: Modelo conceptual

Las principales fuentes de contaminación en la zona de la explotación se asocian fundamentalmente a los suelos contaminados y a la condensación de mercurio vapor en los orificios de la chimenea.

La escombrera, al no poseer de ningún sistema de retención ni control de la contaminación desde el momento de su colocación, supone una fuente de contaminación directa del suelo, por encontrarse en “contacto mutuo”. Además, se produce una elevada migración de la contaminación mediante la lixiviación de los elementos al terreno. No debe olvidarse que la climatología de la zona, con precipitaciones a lo largo de todo el año, favorece esta migración.

Esta escombrera, que como se ha apuntado no posee ninguna medida preventiva, genera también gran cantidad de polvo.

La producción de vapores de mercurio en la chimenea, elemento muy volátil, ha podido generar la dispersión del mismo y de otros elementos asociados por las zonas boscosas aledañas. A esto hay que sumarle los daños producidos por el paso del tiempo en la estructura, con aparición de fisuras o grietas que favorecen la incorporación de pequeñas gotas de mercurio nativo al propio suelo.

Cabe mencionar también los diversos tipos de horno de tostación, en los que se realizaba la metalurgia del mineral, y que aún existen en la zona, suponiendo por tanto otro foco de generación de contaminación por los posibles restos de mercurio y otros elementos.

No obstante, los niveles de afección por concentración de mercurio en el suelo van aminorándose a medida que aumenta la distancia a la fuente de contaminación. Sin embargo, debe mencionarse que las zonas aledañas a la explotación, por tratarse de suelos con alto grado de enriquecimiento en mercurio, arsénico, etc., presentarán ciertas anomalías naturales.

En cuanto a los posibles receptores de la contaminación, no existe una exposición directa en humanos debido a que las instalaciones se encuentran abandonadas. No obstante, se ha mencionado que en las cercanías a las mismas se encuentran núcleos de población que sí se ven sometidos a una contaminación indirecta, fundamentalmente debida a la migración de la contaminación mediante lixiviación.

A pesar de que las instalaciones se encuentren clausuradas, cualquier persona que acceda a las mismas o a sus proximidades se verá expuesta a la inhalación de partículas o al contacto directo con zonas altamente contaminadas, por lo que se hace necesario acceder al lugar con mascarilla y guantes.

Mención especial merecen los rumiantes u otros animales que puedan en cualquier momento acceder a las inmediaciones, exponiéndose al contacto con suelos con elevados contenidos de elementos contaminantes y a la ingesta de partículas.

Podría decirse lo mismo de la vegetación de la zona, expuesta a la absorción de suelos contaminados.

De este modo, la contaminación llegaría, mediante la cadena trófica, al ser humano.

Fase 5: Prospección preliminar

Con la finalidad de suministrar mayor flexibilidad al plan de muestreo, resulta conveniente realizar una prospección preliminar que proporcione un gran volumen de datos *on site*, lo que reduce el número de muestras a analizar en laboratorio.

Dicha prospección preliminar podría realizarse con un equipo portátil de fluorescencia de Rayos X cuyos niveles de detección estén por debajo de los niveles aplicables, a fin de reducir el riesgo de “falsos negativos”.

Debido a que la distribución de los contaminantes por lo general resulta heterogénea, la gran cantidad de puntos que se obtienen mediante esta técnica facilita la delimitación de la contaminación a una localización determinada, de una forma rápida, precisa y económica.

Es decir, al permitir una toma de decisiones para el muestreo a posteriori en función de los datos obtenidos, se minimizan el número de visitas a la zona y el coste total.

Fase 6: Selección de parámetros a analizar

Los parámetros de interés a analizar se seleccionan en función de la información histórica y de los resultados obtenidos de la fase anterior.

El mercurio es relativamente inmóvil, en cambio el arsénico no lo es, lo que se deberá tener en cuenta a la hora de escoger la malla adecuada. Además, debido a la

existencia de población cercana ladera debajo de la zona de la mina, resulta interesante extender la malla hacia dicha zona.

Lo mismo ocurre con la ladera de la montaña que ha sufrido la influencia de los vapores metálicos emitidos por la chimenea.

Fase 7: Selección del adecuado plan de muestreo

Con el fin de detectar posibles anomalías, se deberá realizar una toma de muestras en aquellos puntos en los que, basándose en información histórica, inspección visual o el juicio profesional del equipo resulten más críticos. Este tipo de muestreo resulta útil para identificar los contaminantes presentes en las áreas más contaminadas, es decir, en aquellos lugares que presenten las condiciones más adversas. Por tratarse de un muestreo crítico no existe aleatoriedad.

Dado que se trata de un muestreo crítico, el área seleccionada deberá ser lo más amplia posible para poder seleccionar puntos específicos y determinar la existencia de anomalías, tanto en las zonas más conflictivas (las chimeneas, la escombrera y la antigua explotación) como en zonas más alejadas, por ejemplo, al otro lado de la carretera, para analizar si el área está contaminada.

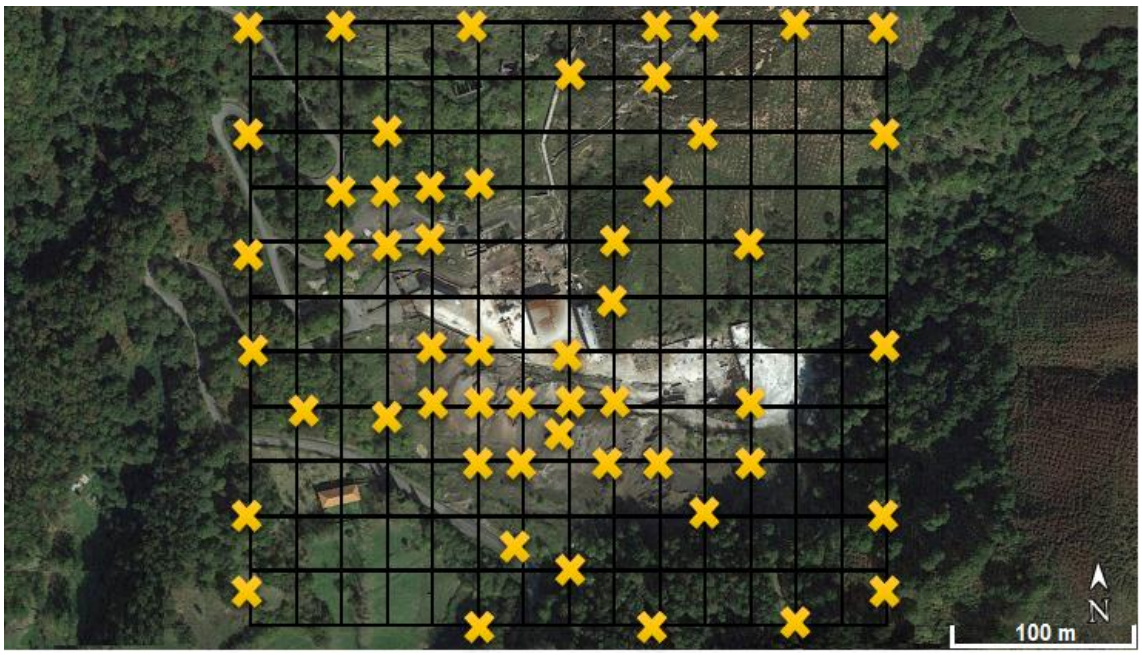


Figura 17. Malla propuesta.

Del mismo modo se deberán tomar muestras de agua superficiales en el arroyo situado aguas abajo de la antigua explotación con el fin de analizar el efecto que haya podido causar la actividad minera sobre las mismas.

5. IMPACTO DE LA EXPLOTACIÓN

La Soterraña es la mayor mina de Hg en Europa no restaurada, su extensión es de unos 50.000 m^2 y ocupa un volumen total de 110.000 m^3 aproximadamente (20.0000$m^3_{instalaciones}$+90.000$m^3_{escombreras}$).

Para determinar el impacto de la explotación resulta imprescindible conocer la presencia, distribución y concentración de contaminantes en la zona.

5.1. DATOS DE LA CONTAMINACIÓN

Con el fin de obtener unos contrastados sobre la contaminación existente tanto en la propia explotación y en sus alrededores, como en zonas alejadas se han tenido en cuenta tres fuentes de información de diferentes autores.

5.1.1. INFORME Nº1

Se han recopilado los datos recogidos en el "Inventario y valuación del riesgo de instalaciones de residuos de industrias extractivas no activas", (Vadillo Fernández, y otros, 2014), en él se encuentran los contenidos totales de metales de los residuos almacenados, los valores obtenidos tanto en ensayos en campo como en laboratorio de pH y CE y las concentraciones en metales tanto de los residuos almacenados como de las aguas del drenaje situado al pie de la escombrera (Escombrera 2):

- Mediante la técnica FRX se han determinado la composición química de los residuos almacenados, constituidos principalmente por escorias procedentes de la tostación del cinabrio y de forma muy puntual por lodos de lavaderos:

FRX	
Elemento	mg/kg
As	14228,72
Zn	445,95
V	202,80
Cr	104,94
Cu	97,09
Pb	91,23

Tabla 3. Composición química (FRX)

- También se han realizado ensayos de campo de lixiviación de los residuos, obteniendo los siguientes resultados:

Ensayo de lixiviación (campo)	
Elemento	mg/kg
As	3,8
Al	0,559
Hg	0,0504
V	0,0059
Cu	0,0038
Zn	0,0036
Pb	0,0007
Cr	0,0002
Mo	0,0002
Cd	0

Ensayo de lixiviación (campo)	
pH	7,46
CE (µS/cm)	104

Tabla 4. Valores obtenidos en el ensayo de lixiviación en campo.

- Los ensayos de lixiviación de los residuos también se han realizado en el laboratorio, obteniéndose los siguientes resultados:

Ensayo de lixiviación (laboratorio)	
Elemento	mg/kg
As	42,59
Hg	0,139
Al	0,0647
V	0,0225
Zn	0,0053
Cu	0,0031
Mo	0,0017
Ni	0,0012
Pb	0,0006

Ensayo de lixiviación (laboratorio)	
pH	7,75
CE (µS/cm)	308

Tabla 5. Valores de pH y CE obtenidos en el ensayo de lixiviación en laboratorio.

- Además, se han realizado ensayos en el drenaje situado al pie de la escombrera (Escombrera 2). Por encima del drenaje existe un vertido puntual de lodos de lavadero; dichos lodos presentaban altas concentraciones en As (22,6 mg/kg). Los valores de pH y CE obtenidos son los siguientes:

Drenaje	
Elemento	mg/kg
As	24,6
Mo	0,023
Hg	0,0197
Zn	0,0145
Al	0,013
V	0,013
Pb	0,0035
Cr	0,002
Cu	0,0018
Ni	0,0018
Se	0,0005
Co	0,0001

Drenaje	
pH	7,78
CE (µS/cm)	738

Tabla 6. Valores de pH y CE obtenidos en los ensayos realizados a las aguas del drenaje.

5.1.2. INFORME Nº2

Con el fin de obtener más datos sobre cuales son elementos que contaminan la zona de estudio, cómo se distribuyen, y cómo podría restaurarse el emplazamiento, se ha recopilado la información presente en el artículo científico "Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area (Journal of Hazardous Materials), 2011".

En este artículo se recoge el estudio realizado en la zona de La Soterraña, en la cual el suelo se encuentra altamente contaminado en As y Hg como resultado de la alteración físico-química de residuos minero-metalúrgicos. En los siguientes párrafos del presente apartado se exponen resumidamente los resultados de dicho estudio, el cual tiene por objeto determinar la viabilidad del lavado del suelo.

Actualmente, la distribución de los contaminantes en toda la zona es causada principalmente por la dispersión mecánica de los residuos, junto con la oxidación y lixiviación de los materiales ricos en As-Hg y también por los procesos de formación de compuestos complejos al reaccionar dichos metales con las partículas del suelo.

Para el estudio se obtuvieron tres muestras de suelo representativas (etiquetadas como S1, S2 y S3, de 50 kg cada una) las cuales fueron recogidas a una profundidad de entre 0 y 35 cm.

Dichas muestras se pasaron a través un tamiz de 2 cm de malla para eliminar los fragmentos de roca, la vegetación y otros materiales no deseados, se homogeneizaron y se almacenaron en bolsas de plástico inertes.

En el laboratorio, las tres muestras se secaron y posteriormente se tamizaron a través de una malla de 4 mm. Los materiales con un tamaño de grano mayor de 4 mm fueron lavados para recuperar las partículas finas. Cada muestra de tamaño de grano menor de 4 mm fue cuarteada para obtener lotes representativos de 4 kg. Estas muestras fueron entonces secadas en una estufa durante 48 horas a 45ºC para evitar la pérdida de Hg.

Los lotes representativos de cada muestra (S1, S2, S3) se tamizaron en las siguientes fracciones de tamaños de partícula:

Tamaños de partículas (µm)
<63
63-125
125-250
250-500
500-1000
1000-2000
2000-4000

Tabla 7. Tamaños de tamices empleados en el estudio.

Las muestras representativas se sometieron a análisis químicos mediante ICP-OES y en algunas de ellas se realizaron ensayos de gravedad específica.

Para los análisis químicos, las muestras fueron lixiviadas por medio de una digestión de agua regia (HCl + HNO_3), y se analizaron las concentraciones totales de 19 elementos mayores y traza (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, S, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Mn, As, Sr, Sb, La, Cr y Hg) por Plasma de acoplamiento inductivo-espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES).

El ensayo de gravedad específica se realizó para examinar la relación entre el tamaño de partícula, la densidad y el contenido de contaminantes de las fracciones.

Para ello se utilizó un separador de mineral de laboratorio (C800 Mozle). Este separador, que opera mediante la clasificación gravimétrica, es comúnmente utilizado para evaluar el equipo necesario para el procesamiento de minerales, aunque en este

caso se empleó con el fin de obtener resultados para la recuperación del emplazamiento.

Además, en este estudio se determinó que la molienda puede ser necesaria para liberar los contaminantes de los agregados de la matriz, por tanto, con el objetivo de simular el funcionamiento continuo de circuito cerrado con una carga de recirculación de 250%, se llevó a cabo una prueba en un molino de bolas de laboratorio, en ciclos consecutivos de molienda y tamizado.

La caracterización edafológica reveló un pH ligeramente ácido (6,3), baja conductividad eléctrica (CE = 190 µS/cm) y un contenido bajo de materia orgánica en la parte superior del horizonte (0,75%).

Todos estos datos son consistentes con la información geológica del suelo y con la influencia de los residuos derivados de las actividades mineras y la industria de la metalurgia. Además, los análisis de ICP-OES (Tabla 8), revelaron concentraciones de As y Hg muy altas, y una menor presencia de otros contaminantes como son Pb, Zn o Sb.

Concentracion de los elementos representativos									
Muestra	Elementos traza (mg/kg)						Elementos mayoritarios (%)		
	Hg	As	Pb	Zn	Sb		Al	Ca	Fe
S1	805	32,5	98	98	211		2,86	2,52	3,19
S2	1600	17,1	49	71	111		2,08	5,6	3,09
S3	132	6350	28	46	23		2.8	5,9	2,81

Tabla 8. Concentraciones de los elementos determinadas en el estudio.

Estos resultados también son consistentes con el tipo de mineralización de los minerales tratados en La Soterraña.

En relación con el análisis de tamaño de grano, los resultados para las tres muestras fueron muy similares. En la siguiente Figura 18 se muestra una gráfica que relaciona el tamaño de partícula con el pasante acumulado:

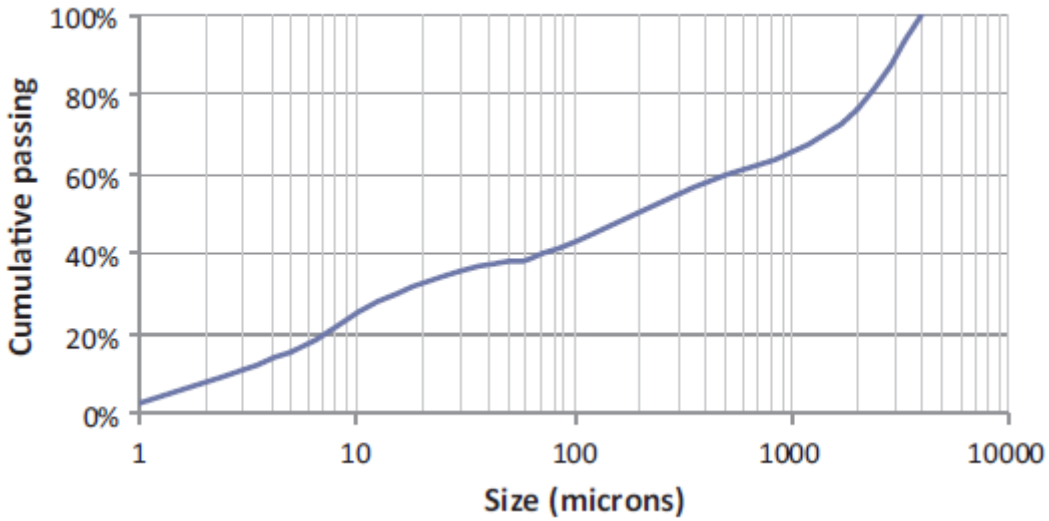


Figura 18. Distribución del tamaño de partícula de la muestra S2.

A la vista de esta gráfica se puede ver cómo el más grueso (500-4000 µm: 39,9%) y fracciones más finas (<63 µm: 38,1%) fueron predominantes, mientras que las fracciones intermedias (250-500 µm: 1,8%; 125-250 µm: 15,7%; 63-125 µm: 4,5%) fueron menos abundantes.

Estos datos son particularmente relevantes dado que la finura del material es uno de los principales factores que impiden un rendimiento aceptable de lavado de suelos para los propósitos de remediación.

Para facilitar el estudio de la relación entre los contenidos de contaminantes y las fracciones granulométricas, se determinó el contenido total de elementos mayores y elementos traza en las diferentes fracciones.

El Hg y otros elementos traza mostraron mayores contenidos en la fracción fina, mientras que el As mostró una distribución un poco más homogénea en todas las fracciones de tamaño de grano (Tabla 9).

Concentracion de los elementos representativos									
Tamaño de partícula (µm)	Elementos traza (mg/kg)						Elementos mayoritarios (%)		
	Hg	As	Pb	Zn	Sb		Al	Ca	Fe
4000-2000	495	15,800	36	60	87		2,9	3,31	3,87
2000-1000	720	18,400	44	70	101		3,25	3,42	3,74
1000-500	1000	21,900	54	80	144		3,1	3,71	3,75
500-250	1920	24,500	65	125	165		2,47	3,62	3,80
<63	2030	27,900	67	125	195		2,95	4,51	3,84
125-63	2520	24,300	68	133	158		3,29	3,77	3,97
<63	4810	26,350	76	155	212		3,31	3,42	4,39

Tabla 9. Concentración de los elementos según el tamaño de partícula.

De los principales elementos, solamente el Fe mostró un patrón similar al del Hg. Por lo tanto, se puede afirmar que la mayor parte de los elementos traza permanecen geoquímicamente asociados con los antiguos minerales de azufre ricos en hierro, que han sido probablemente oxidados en las actuales condiciones del suelo. En cambio, los patrones que siguen Al y Ca son diferentes a los de Hg y As.

En la siguiente Figura 19 se muestran los grupos de elementos principales:

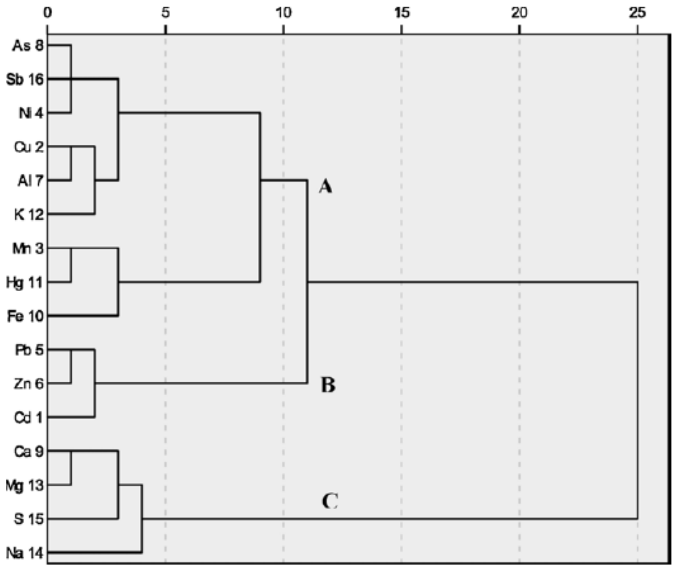


Figura 19. Dendrograma que muestra las asociaciones entre elementos.

Este resultado es congruente y complementario a los estudios mineralógicos y edafológicos, lo que sugiere lo siguiente sobre el comportamiento geoquímico del As y Hg:

Grupo AB: comprende elementos traza, que son principalmente calcopirita (chalcophile) y algunos elementos importantes tales como Fe, Al y K. Este grupo se subdivide en dos subgrupos:

- "A": contiene una clara asociación entre los elementos Fe, Mn, Hg, As y otros elementos de interés (Sb, Ni). En consecuencia, y dados los altos contenidos de materiales ultrafinos en el suelo y la baja cantidad de materia orgánica, el comportamiento del Hg y As parece estar controlado sobre todo por su unión iónica con óxidos-hidróxidos de hierro/manganeso. La presencia de Al y K en este subgrupo sugiere un papel principal de los minerales arcillosos; sin embargo, los datos de DRX sugieren que los filosilicatos tienen poca relevancia.

- "B": incluye la conocida asociación Pb-Zn-Cd, lo que probablemente se halla originado a partir de la meteorización de esfalerita (ZnS, ligeramente enriquecidas en Cd) y galena (PbS).

Grupo C: comprende elementos vinculados a la alteración de las rocas de la ganga (por ejemplo Ca de piedra caliza). Además, la presencia de S en este grupo está vinculado a minerales secundarios, tales como yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), entre otros.

Por otra parte, los resultados obtenidos mediante DRX mostraron que los componentes predominantes en las muestras eran de cuarzo y en segundo lugar, calcita, hematita, ferrihidrita, goethita y maghemita. En cambio, los minerales de arcilla se presentaron en una clara minoría.

Los análisis mineralógicos, y en particular las observaciones de microscopía, revelaron que algunos de los antiguos sulfuros de mineral se encontraban inalterados en las fracciones gruesas, y por lo general estaban cubiertos por minerales de la ganga, que los protegía de los efectos de la intemperie (Figura 20a y b).

Aunque escasos, se encontraron también granos libres de arsenopirita, pirita y calcopirita (Figura 20c). El cinabrio resultó ser el sulfuro más común y también apareció como inclusiones en la ganga (Figura 20d) y como granos pequeños (Figura 20e y g).

La textura resultó ser la típica de un material calcinado, siendo las fracciones por debajo 250 μm las más ricas en óxidos metálicos y oxi-hidróxidos, especialmente hematita (por lo general en combinación con materiales de ganga, Figura 20f) y, en menor medida, de goethita. Estas texturas y morfologías se pueden atribuir al proceso de tostado durante el tratamiento de mineral.

Sin embargo, el rango de temperatura utilizado en los hornos durante los años de explotación de La Soterraña (mucho menor de 700ºC) no fue suficiente para destruir la arsenopirita y la calcopirita. En este aspecto, se puede afirmar que el proceso de tostado llevado a cabo fue deficiente. Por lo tanto, la mineralogía de Hg (principalmente como cinabrio) y As (principalmente relacionado con los sulfuros y óxidos de Fe), que muestran una distribución un tanto irregular dentro de las fracciones granulométricas, dificulta el diseño de un tratamiento de lavado de suelos eficaz. De hecho, en el caso de cinabrio (HgS), el tamaño de liberación óptimo calculado resultó ser menor de 200 μm, lo que se traduce en una clara limitación de cualquier equipo de separación.

Para obtener estos datos, se realizó un complejo estudio de tamaño de liberación compuesto por decenas de micrografías (Figura 20).

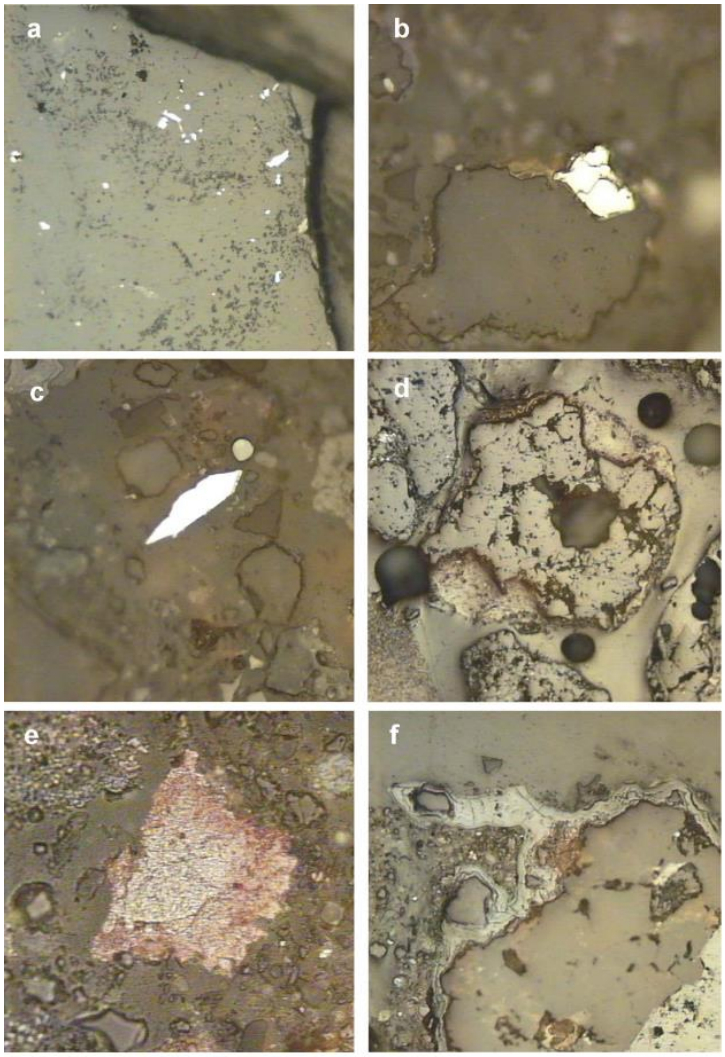


Figura 20. Algunas de las micrografías empleadas en el estudio. (Tomado de: (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011)).

El uso de separadores de tamaño de grano está limitado para las fracciones más gruesas de 200 μm; por lo tanto, la molienda es necesaria para mejorar el grado de liberación de Hg y As.

La fase de molienda, que normalmente representa el 30% de los costes totales en el procesamiento de minerales, puede ser lo suficientemente importante como para que el proceso sea inviable.

Además, se realizaron pruebas de adhesión y los principales resultados se presentan en la Tabla 10. El consumo de energía específica osciló entre 16,45 kWh/t a 5,82

kWh/t, lo que confirma que cuanto más fino sea el tamiz, mayor será el consumo de energía.

El índice de Bond se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{44.5}{P_i^{0.23} \cdot \mathrm{Gbp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$

Donde:

- P_i (µm): la abertura de malla utilizada.
- Gbp: índice de moliendabilidad del material en molino de bolas (g/rev).
- F80 y P80 (µm): representan el 80% de la abertura del tamiz a través del cual pasa el 80% del producto pasa (de la alimentación fresca y del producto final, respectivamente).
- wi: es el índice de Bond (kWh/T_{corta}).

Una vez obtenido el índice de Bond, el consumo específico de energía W [KWh/t] se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$W = 10 \cdot w_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

Resultados del ensayo para determinar la facilidad de triuturado						
F_{80}	P_1 (µm)	Gbp	P80 (µm)	w_1	w_1	W
(µm)	(µm)	(g/rev)	(µm)	(kWh/T_{corta})	(kWh/t)	(kWh/t)
2957	80	1,1032	72	15,01	16,54	16,45
2973	125	1,8917	109	11,22	12,37	9,69
2917	180	2,2967	154	10,97	12,09	7,5
2951	250	2,8523	194	9,9	10,91	5,82

Tabla 10. Resultados ensayo - trituración.

Dependiendo del tamaño de la liberación, el consumo de energía en las operaciones de trituración se pueden llegar a duplicar de una fracción de tamaño a otra. Este problema se debe considerar al abordar los costos del proceso. En este caso, el punto de corte adecuado sería de 125 μm, por lo tanto, el consumo específico de energía para tener en cuenta es 9,69 kWh/t. Este valor refleja un nivel medio-alto.

El estudio de viabilidad llevado a cabo en este trabajo debe ser completado por un análisis de costo, altamente condicionado por la enorme cantidad de suelo a ser tratado (80.000 m^2) y por otras cuestiones importantes tales como el costo de la molienda y el tratamiento de lavado de efluentes.

En cualquier caso, es posible proponer una primera aproximación para definir las etapas de lavado del suelo, en resumen:

- Las fracciones de tamaño de grano por debajo de 125 μm podrían ser tratadas con hidrociclones debido al demostrado aumento de la concentración de los contaminantes con el aumento de la finura.

- Para las fracciones más gruesas de 125 μm, se debe exigir un proceso de molienda para poder ser seguidamente tratado en hidrociclones. Otras tecnologías complementarias podrían ser útiles en este caso; por ejemplo, una gran cantidad de minerales como pirita, goethita y hematita (unidos a As y Hg) podrían separarse antes de pasar por el hidrociclón por medio de tecnologías de campo magnético. Además, dado que el cinabrio es altamente hidrofóbico, la flotación por espumas puede ser una opción adecuada para obtener rendimientos de recuperación Hg satisfactorios.

5.1.3. INFORME Nº3

Por último, se han tenido en cuenta para evaluar el impacto de La Soterraña los datos recogidos en "*Anomalías de mercurio en suelos de Asturias. Comparación con los niveles de fondo*" (Álvarez, y otros, 2005).

En este documento se recogen, entre otros datos, los resultados de numerosos ensayos realizados en la zona de La Soterraña, y se comparan los valores con el fondo geoquímico local de esta área.

Para ello se ha realizado una toma de muestras superficiales mediante una sonda manual, a profundidades de 0 a 30 cm y con un pHmetro portátil de suelo se realizaron las medidas de pH. Las muestras tomadas se secaron a temperaturas inferiores a 40ºC (para evitar las pérdidas de mercurio por volatilización), a continuación fueron homogeneizadas y cuarteadas.

Las características químicas se determinaron analizando la fracción soluble resultante del ataque ácido de la muestra. La extracción de elementos fue realizada mediante digestión parcial de 0,5 g de muestra en 3 ml 3:2:1 HCl-HNO_3-H_2O a 95ºC durante una hora y dilución a 10 ml con agua. Las concentraciones de mercurio fueron determinadas mediante AAS y el control de calidad se llevó a cabo mediante análisis de rutina de estándares certificados y duplicados de muestras.

La toma de muestras se ha realizado en las zonas no afectadas por la explotación minera ni por las escombreras (con el fin de obtener el valor del fondo geoquímico de mercurio de la zona), y en las zonas sí afectadas. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 11.

	Nº muestras	**Concentración de Hg (mg/kg)**
Suelos no afectados por minería de Hg en el área de La Soterraña	6	2,5
Suelos afectados por minería de Hg en el área de La Soterraña	56	7 ~ 502 *
Zonas urbanas próximas (Mieres)	18	0,5 ~ 25

Tabla 11. Valores de concentración de Hg en diferentes zonas.
** La concentración media de Hg en la zona de La Soterraña se estima en 62 mg/kg.*

Además, se ha determinado que en las zonas afectadas los suelos tienden a ser ácidos, cuyo pH alcanza valores en torno a 4 en la zona de La Soterraña y los contenidos en materia orgánica están comprendidos entre 5 y 12%.

5.1.4. FACTORES Y VALORES CONSIDERADOS

Como conclusión de la información recogida en los dos apartados anteriores, puede afirmarse que el Hg y el As son contaminantes primarios del suelo, sobre todo en las zonas dedicadas anteriormente a actividades mineras y a la industria de la metalurgia. En estas circunstancias, un enfoque de remediación adecuado para reducir el volumen de contaminación es el lavado del suelo, el cual es una técnica de separación física rentable.

Además se ha demostrado que el Hg se concentra principalmente en las fracciones de grano fino (por debajo de 200 μm), en las que está presente en la forma original y como sulfuro unido a oxihidróxidos de Fe-Mn. Mientras que el As es abundante en tamaños de grano finos/medios (por debajo de 500 μm) y se encuentra predominantemente vinculado al Fe.

En el contexto del estudio de factibilidad, se demostró que los rendimientos de separación gravimétrica serían insatisfactorios, y una alternativa interesante, aunque posiblemente cara, constaría de una molienda de las fracciones gruesas a fin de permitir el tratamiento posterior. En este caso, el lavado del suelo estaría claramente condicionado por costos de molienda.

Tras recopilar todos los datos de los tres informes, los valores de concentración de elementos contaminantes considerados para este estudio se recogen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

	[Hg] (mg/kg)	[As] (mg/kg)	pH	CE (μS/cm)	materia orgánica (%)
Suelos no afectados por minería de Hg	2,50	-	-	-	-
Zonas próximas (Mieres)	0,50~25	-	-	-	
Suelos afectados por minería de Hg y escombreras	62	23,20	7~4	190~206	5~12
Drenaje	0,02	24,60	7	738	-

Tabla 12. Valores considerados para el estudio.

5.2. IMPACTO VISUAL

El impacto visual de La Soterraña es acusado, ya que se encuentra en una ladera en una zona alta, de modo que es visible desde otros lugares alejados, tal y como se muestra en las siguientes Figuras:

Figura 21. Vista de La Soterraña desde un monte alejado I (Panoramio, 2016).

Figura 22. Vista de La Soterraña desde un monte alejado II (Panoramio, 2016).

Se ha determinado la cuenca visual, es decir, el conjunto de superficies que son vistas desde las instalaciones de la mina. El estudio de la cuenca visual y los índices que de ella se derivan constituyen una parte importante del conjunto del paisaje visual.

En la siguiente Figura 23 se representan sombreadas en color verde las zonas de los alrededores desde dónde se pueden ver las instalaciones de la mina.

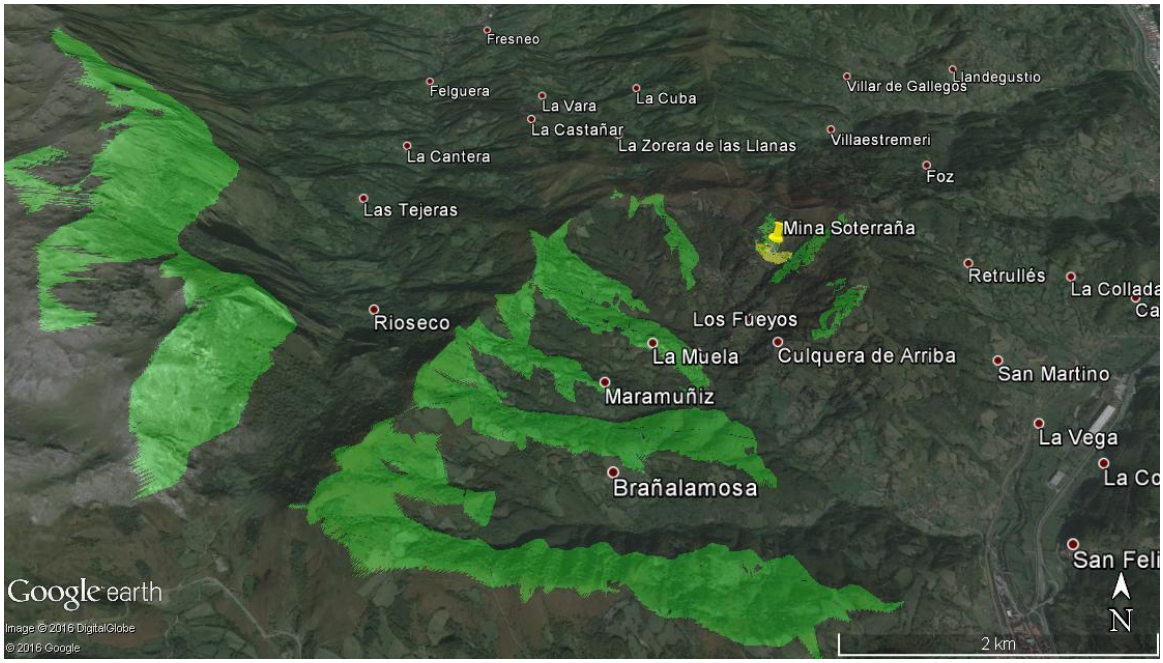


Figura 23. Cuenca visual de La Soterraña. (Google Earth, 2016).

La cuenca visual es bastante amplia, afectando a un área extensa como puede verse en la anterior figura, causando un gran impacto visual.

6. IMPACTO AMBIENTAL DE LA SOTERRAÑA

6.1. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD MINERA

6.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

En el área de estudio se llevaron a cabo durante aproximadamente 30 años labores extractivas de mineral de mercurio, para la metalurgia realizada in situ se empleaban distintos tipos de hornos, produciéndose vapores altamente contaminantes. Los suelos se encuentran afectados por la dispersión mecánica y química de material procedente de las escombreras y en los alrededores de las instalaciones los suelos están constituidos por una mezcla de componentes naturales del suelo y materiales antrópicos, movilizados por el agua y el viento procedentes también de las escombreras (Álvarez, y otros, 2005).

Tal y como se indicaba anteriormente, la paragénesis de este depósito mineral está constituido por el cinabrio (HgS), oropimente (As_2S_3), rejalgar y pararrejalgar (AsS), As enriquecido en pirita y marcasite (FeS_2), y arsenopirita (FeAsS), en una ganga de cuarzo y calcita (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011).

Se incluyen unas imágenes del mineral rejalgar de La Soterraña (Figura 24), el tamaño de la pieza es de 5x3,5 cm, y a su derecha se adjunta una ampliación de la misma pieza en la que se puede ver el mineral con mayor detalle.

Figura 24. Rejalgar (Foro de minerales, 2016).

El rejalgar es un sulfuro de arsénico natural que forma granos y cristales bien moldeados, los cuales son entre rojo y anaranjado con brillo resinoso. Es similar al cinabrio, pero más suave y menos denso.

Estos sulfuros fueron tratados en la planta minera-metalúrgica, donde el mineral se molía y se tostaba para obtener vapor de Hg, el cual es después condensado. Las emisiones de vapores y partículas contaminantes y el vertido de residuos afectan a un área circundante de aproximadamente 80.000 m^2 (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011).

Restos de las instalaciones permanecen aún en la zona (se describen detalladamente en el *apartado 3.3.*) y existen dos escombreras, cuyo volumen total se estima en 90.000 m^3.

Actualmente, la distribución de los contaminantes en toda la zona es causada principalmente por la dispersión mecánica de los residuos, junto con la oxidación y lixiviación de los materiales ricos en As-Hg y también por los procesos de formación de compuestos complejos al reaccionar dichos metales con las partículas del suelo (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011).

6.1.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS DAÑOS DERIVADOS DE LA EXPLOTACIÓN

- Construcción de edificios

La construcción de edificios y de la plataforma principal ha modificado drásticamente el paisaje natural original del lugar, el cual estaba constituido por prados y pastizales permanentes, dedicados a la producción de hierba o pasto y utilizadas principalmente para aprovechamiento ganadero.

- Pozos y galerías subterráneas

La realización del pozo Ulpino y el pozo realizado para la instalación de la ventilación de la mina, así como el entramado de cámaras y pilares que se han excavado en profundidad han dejado un terreno inestable, y con cierto riesgo de subsidencia.

- Escombreras

Las dos escombreras, que suman un total de 90.000 m^3 de residuos, forman unos taludes de gran inclinación, por lo que los problemas de inestabilidad del terreno son importantes, además de la contaminación que provocan al medio al que rodean y sobre el que se asientan debido a que no se encuentran encapsuladas ni aisladas.

- Procesamiento del mineral (vapores de mercurio)

Durante las labores de procesamiento metalúrgico del mineral se han emitido durante años vapores de mercurio, los cuales eran llevados a través de las chimeneas desde el condensador de la planta metalúrgica hacia la atmósfera. Estas chimeneas son actualmente una importante fuente de contaminación, ya que en ellas existen roturas y en el terreno donde se asientan (mezcla de suelo y material antrópico) es posible encontrar gotas de mercurio nativo (Álvarez, y otros, 2005).

6.2. ESTUDIO DEL MEDIO

En el área donde se encuentra la explotación existe una anomalía natural de mercurio debido a la presencia de cuerpos mineralizados, estimándose el fondo geoquímico local en 2,5 mg/kg. Sin embargo, dadas las pasadas labores mineras y el estado de las escombreras, también existen importantes anomalías antrópicas, dándose valores de concentración medios en Hg de hasta 845 mg/kg.

Como se ha indicado anteriormente, la flora de esta zona se caracteriza por poseer una vegetación compuesta de hayedos, castaños y acebales, además de amplias praderas junto con pastizales de altura de tipo comunal, destinadas al mantenimiento del ganado vacuno y algo del caballar y lanar, y en cuanto a su fauna destacan los corzos, rebecos, jabalís y algunas especies en peligro de extinción como el urogallo, el águila real y el lobo. Además existen varias poblaciones vecinas afectadas por La Soterraña, siendo las principales Muñón Cimero, La Iglesia, Culquera Abajo, etc., que suman un total de 40 habitantes aproximadamente, aunque, como ya se ha indicado anteriormente, el impacto abarca más de 80.000 m^2 por lo que el número de personas afectadas es mucho mayor.

Es interesante indicar en este estudio los datos de precipitación de la zona dado que la distribución de los contaminantes es causada principalmente por la dispersión mecánica de los residuos: la precipitación media anual en la zona de La Soterraña es

de 1000 l/m^2 y la precipitación máxima (24h) es de 182 l/m^2 (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

6.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

A continuación se evalúan los principales impactos causados por la antigua mina abandonada sobre el suelo, la atmósfera y las aguas superficiales y subterráneas.

6.3.1. SUELO

- Desertización

Deforestación, erosión y pérdida de suelo fértil debido a la construcción de las instalaciones y al área que ocupan las escombreras.

- Modificación del relieve, impacto visual y alteración de la dinámica de los procesos de ladera.

El cambio de relieve implica un aumento de la escorrentía, y consecuentemente la erosión del suelo será mayor.

- Peligros geotécnicos

La desestabilización de laderas por sobrecargas y/o excavaciones, la posible subsidencia por huecos y por las alteraciones en el nivel freático son los principales peligros geotécnicos identificados.

- Pérdida de propiedades físicas

Las mayores pérdidas de propiedades físicas son debidas a variaciones en la porosidad y permeabilidad, por procesos de esponjamiento, compactación, deposición de partículas, por pérdida de la estructura edáfica por compactación, mezcla de horizontes, deposición de partículas, etc.

También puede ser debido a variaciones en el régimen hídrico del suelo por alteraciones en el nivel freático, y variaciones texturales y estructurales. Cabe destacar también la pérdida física de suelo por la acumulación de vertidos (escombreras) y por la construcción de las infraestructuras.

- Contaminación por metales pesados (Pb, Hg, etc.) y metaloides (As)

Esta contaminación puede ser generada por efluentes líquidos y sólidos, produciendo una acidificación del suelo por acumulación y oxidación de sulfuros.

6.3.2. ATMÓSFERA

- Emisiones sólidas

Puede haber una importante remoción eólica de material fino en las escombreras abandonadas.

- Vapores de mercurio

Los vapores de mercurio emitidos antiguamente a través de chimeneas durante el procesamiento metalúrgico del mineral, han sido una importante fuente de contaminación al ser llevados directamente estos vapores a la atmósfera. Debido al mal estado actual de las chimeneas, las cuales presentan roturas, es posible encontrar gotas de mercurio nativo en los terrenos sobre los que se asientan.

6.3.3. AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

- Alteraciones en la dinámica fluvial

Incorporación de partículas sólidas en la corriente, aumento de la carga de fondo y en suspensión, incremento en las tasas de sedimentación aguas abajo.

- Alteraciones en el régimen hidrogeológico

Variaciones en el nivel freático, variaciones en el régimen de recarga y modificaciones en el flujo subterráneo por efectos barrera, drenajes inducidos, infiltración restringida/favorecida, compactación, modificación del relieve y/o deforestación.

- Contaminación por metales pesados y metaloides (As)

En coloides en suspensión o en especies en disolución.

- Variaciones del pH por el drenaje ácido de mina

Se produce por la hidrólisis y oxidación de sulfuros, en especial la pirita:

$$4\ FeS_2 + 14\ O_2 + 4\ H_2O \rightarrow 4\ Fe_2^{+} + 8\ SO_4^{2-} + 8\ H^{+}$$

$$4\ Fe_2+ + O_2 + 4\ H+ \rightarrow 4\ Fe_3^{+} + 2\ H_2O$$

$$4\ Fe^{3+} + 12\ H_2O \rightarrow 4\ Fe(OH)_3\ [\text{"}limonita\text{"}] + 12\ H^{+}$$

6.4. EIA CUALITATIVO

Para la realización de la evaluación de impacto ambiental cualitativa se han evaluado por una parte las instalaciones y zona de plataforma, y por otra las escombreras.

6.4.1. INFRAESTRUCTURAS Y ZONA DE PLATAFORMA

Los impactos más graves sobre la atmósfera son los derivados del tratamiento de minerales, ya que debido a haberse producido vapores de mercurio en la chimenea, se ha podido generar la dispersión de Hg y de otros elementos asociados por las zonas boscosas adyacentes.

Los daños producidos por el paso del tiempo en las estructuras, con aparición de fisuras o grietas en las chimeneas, han favorecido la incorporación de pequeñas gotas de mercurio nativo al propio suelo, pudiendo afectar tanto a la vegetación y a la fauna (que influye directamente sobre la cadena trófica), como a las aguas superficiales y subterráneas.

Las modificaciones fisiográficas producidas con la creación de huecos (explotación por cámaras y pilares) pueden provocar inestabilidades y subsidencias en la zona. Además, puede haber cierto riesgo de inundaciones debido a las infraestructuras y accesos construidos en la zona.

El paisaje se ha visto modificado de forma muy significativa con la construcción de todas las instalaciones, las cuales se encuentran en una zona alta de ladera y generan una amplia cuenca visual.

Teniendo en cuenta todo ello, se ha procedido a evaluar los impactos de las instalaciones y la zona de plataforma mediante las tablas que a continuación se adjuntan.

Simbología

● Actividades genéricamente importantes

○ Actividades genéricamente poco importantes

INFRAESTRUCTURAS Y ZONA DE PLATAFORMA

ACCIONES PRODUCTORAS DE IMPACTOS O ALTERACIONES	PRINCIPALES OPERACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y MODELADOS DE LA ACTIVIDAD MINERA	Elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados por la actividad minera															
		ATMÓSFERA		AGUA		SUELOS		VEGETACIÓN	FAUNA	PROCESOS ECOLÓGICOS	PROCESOS GEOFÍSICOS						MORFOLOGÍA Y PAISAJE
		Composición de la atmósfera	Nivel de ruidos	Agua superficial	Agua subterránea	Características edáficas	Usos del suelo	Especies y comunidades vegetales	Especies y poblaciones animales	Cadenas y redes tróficas	Inundación	Erosión	Sedimentación	Inestabilidad	Sismicidad (vibraciones)	Subsidencia	Modificaciones en el paisaje
1. Exploración e investigación																	
2. Infraestructura	Construcción de edificios y plantas de tratamiento			●	●		●	●	●		○	●	○				●
	Nuevos viales y conducciones			○	○		○	○	○		○	○					○
	Desagues y drenajes																
3. Operación	Perforación																
	Voladura																
	Arranque y carga																
	Transporte de materiales y tráfico de maquinaria																
	Mantenimiento																
	Tratamiento de minerales	●		●	●			●	●	●							○
4. Modificaciones fisiográficas	Creación de huecos				●		●							●		○	●
	Vertido de estériles, escombreras y balsas																

Tabla 13. EIA cualitativo I - Infraestructuras y zona de plataforma.

INFRAESTRUCTURAS Y ZONA DE PLATAFORMA																															
Elementos, características y procesos ambientales susceptibles de ser afectados por la mina abandonada La Soterraña		Características de los impactos															Dictamen							Valoración					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9	10			11		12				13	
		Beneficioso	Adverso	Directo	Indirecto	Sinergia		Temporal	Permanente	Localizado	Extensivo	Próximo a la fuente	Alejado de la fuente	Reversible	Irreversible	Recuperable	Irrecuperable	Medidas correctoras	Probabilidad de ocurrencia A/M/B			Afecta a recursos protegidos Si/No		Magnitud				Ausencia de impactos significativos	
						SI	NO											SI	NO	A	M	B	SI	NO	C	M	S	C		
Atmósfera	Composición de la atmósfera																														
	Nivel de ruidos																														
Agua	Agua superficial		X	X			X		X	X		X		X		X			X		X							X		
	Agua subterránea		X	X			X		X	X		X			X	X			X		X							X		
Suelos	Características edáficas		X	X			X		X	X		X			X	X			X		X							X		
	Usos del suelo		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
Vegetación	Especies y com. vegetales		X		X	X			X		X	X			X	X			X	X								X		
Fauna	Especies y pobl. animales		X		X	X			X		X	X			X	X			X		X							X		
Procesos ecológicos	Cadenas y redes tróficas		X		X	X			X		X	X			X	X			X	X								X		
Procesos geofísicos	Inundación		X		X		X	X		X		X		X		X			X		X						X			
	Erosión		X	X			X		X	X		X		X		X			X								X			
	Sedimentación																														
	Inestabilidad																														
	Sismicidad (vibraciones)																														
	Subsidencia																														
Paisaje	Estructura		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
	Carácter global		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
Usos del suelo	Potencialidad		X	X		X			X		X	X			X	X			X	X								X		
Población	Molestias		X	X	X		X		X		X	X		X		X			X	X								X		

Tabla 14. EIA cualitativo II - Infraestructuras y zona de plataforma.

La evaluación cualitativa de las infraestructuras y de la zona de plataforma es en la mayoría de los casos crítica (“C”), siendo puntualmente severa (“S”). Por tanto, se evalúa el impacto ambiental causado por las infraestructuras y por la zona de plataforma como un impacto de magnitud crítica.

6.4.2. ESCOMBRERAS

En cuanto a las escombreras, los mayores impactos que causan sobre el medio ambiente son los debidos a las emisiones sólidas a la atmósfera, provocadas por la remoción eólica de material fino presente en las escombreras, afectando directamente a los suelos adyacentes, vegetación y fauna (influyendo en las cadenas tróficas), y en las aguas superficiales y subterráneas.

Además la escombrera de mayor extensión (Escombrera 2) posee una gran inestabilidad, por lo que los residuos contaminantes existentes en ella llegan a alcanzar arroyos próximos e incluso pueden llegar a afectar a la carretera AS-231 cuyo trazado se encuentra en algunas zonas a tan solo un metro de distancia.

Al no existir ningún sistema de retención ni control de la contaminación de las escombreras, supone una fuente de contaminación directa al suelo, por encontrarse en “contacto mutuo” con él.

Se produce también una elevada migración de la contaminación mediante la lixiviación de los elementos al terreno y la climatología de la zona, con precipitaciones a lo largo de todo el año, favorece esta migración.

La presencia de las escombreras ha modificado el paisaje gravemente, ya que ocupan un área muy extensa (especialmente la Escombrera 2, la cual llega a alcanzar una altura de 50 m). Además, ambas se encuentran en una zona alta de ladera y generan una amplia cuenca visual.

Teniendo en cuenta todo ello, se ha procedido a evaluar los impactos de las escombreras mediante las tablas que a continuación se adjuntan.

Simbología

● Actividades genéricamente importantes

○ Actividades genéricamente poco importantes

ESCOMBRERAS

ACCIONES PRODUCTORAS DE IMPACTOS O ALTERACIONES	PRINCIPALES OPERACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y MODELADOS DE LA ACTIVIDAD MINERA	Elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados por la actividad minera															
		ATMÓSFERA		AGUA		SUELOS		VEGETACIÓN	FAUNA	PROCESOS ECOLÓGICOS	PROCESOS GEOFÍSICOS						MORFOLOGÍA Y PAISAJE
		Composición de la atmósfera	Nivel de ruidos	Agua superficial	Agua subterránea	Características edáficas	Usos del suelo	Especies y comunidades vegetales	Especies y poblaciones animales	Cadenas y redes tróficas	Inundación	Erosión	Sedimentación	Inestabilidad	Sismicidad (vibraciones)	Subsidencia	Modificaciones en el paisaje
1. Exploración e investigación																	
2. Infraestructura	Construcción de edificios y plantas de tratamiento																
	Nuevos viales y conducciones																
	Desagues y drenajes																
3. Operación	Perforación																
	Voladura																
	Arranque y carga																
	Transporte de materiales y tráfico de maquinaria																
	Mantenimiento																
	Tratamiento de minerales																
4. Modificaciones fisiográficas	Creación de huecos																
	Vertido de estériles, escombreras y balsas	●		●	●	●	●	●	●	●	●			●			●

Tabla 15. EIA cualitativo I - Escombreras.

ESCOMBRERAS																																
Elementos, características y procesos ambientales susceptibles de ser afectados por la mina abandonada La Soterraña		Características de los impactos																Dictamen							Valoración					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10			11		12				13	
		Beneficioso	Adverso	Directo	Indirecto	Sinergia		Temporal	Permanente	Localizado	Extensivo	Próximo a la fuente	Alejado de la fuente	Reverisible	Irreversible	Recuperable	Irrecuperable	Medidas correctoras		Probabilidad de ocurrencia A/M/B			Afecta a recursos protegidos Si/No		Magnitud				Ausencia de impactos significativos	
						SI	NO											SI	NO	A	M	B	SI	NO	L	M	S	C		
Atmósfera	Composición de la atmósfera		X	X		X			X		X	X			X		X		X	X								X		
	Nivel de ruidos																													
Agua	Agua superficial		X	X		X			X		X	X	X		X		X		X	X								X		
	Agua subterránea		X	X		X			X		X	X			X		X		X	X								X		
Suelos	Características edáficas		X	X		X			X		X	X			X	X			X	X								X		
	Usos del suelo		X	X		X			X		X	X		X		X			X	X								X		
Vegetación	Especies y com. vegetales		X	X		X			X		X	X			X	X			X	X								X		
Fauna	Especies y pobl. animales		X	X		X			X		X	X			X	X			X	X								X		
Procesos ecológicos	Cadenas y redes tróficas		X		X	X			X		X	X	X		X	X			X	X								X		
Procesos geofísicos	Inundación		X		X		X	X		X		X		X		X				X		X					X			
	Erosión																													
	Sedimentación		X	X			X	X		X		X			X	X			X		X						X			
	Inestabilidad		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
	Sismicidad (vibraciones)		X		X		X	X		X		X			X	X		X					X			X				
	Subsidencia		X	X			X		X	X		X			X	X			X	X								X		
Paisaje	Estructura		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
	Carácter global		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
Usos del suelo	Potencialidad		X	X			X		X	X		X		X		X			X	X								X		
Población	Molestias		X	X	X		X		X		X	X		X		X			X	X								X		

Tabla 16. EIA cualitativo II – Escombreras.

La evaluación cualitativa de las escombreras es en la mayoría de los casos crítica (“C”), siendo puntualmente severa (“S”) o moderada (“M”). Por tanto, se evalúa el impacto ambiental causado por las escombreras como un impacto de magnitud crítica.

6.5. EIA CUANTITATIVO

Para la realización de la evaluación de impacto ambiental cuantitativa se ha procedido de forma análoga a la evaluación cualitativa, evaluado por una parte las instalaciones y zona de plataforma, y por otra las escombreras.

6.5.1. INFRAESTRUCTURAS Y ZONA DE PLATAFORMA

Para realizar la valoración de los parámetros de impacto sobre el medio físico y los recursos naturales, y los de impacto paisajístico y visual se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- La zona en la que se ubica la mina ocupa un área antiguamente utilizada como pastos.

- Las emisiones de polvo producidas desde las instalaciones se consideran ocasionales y de corto alcance.

- La presencia de las instalaciones en la zona afecta a los caudales superficiales, interceptándolos y reduciéndolos, además de alterar gravemente el hábitat terrestre, ya que ocupa un área de unos 20.000 m^2.

- Las diferencias de tonalidad producidas por las instalaciones son significativas en comparación con el medio que las rodea, además existe divergencia tanto en formas como en volúmenes, causando un alto impacto visual.

- El tráfico de paso de la zona se estima en una media de 50 a 500 personas al día, para lo cual se ha tenido en cuenta el tráfico de la AS-231 en esa zona.

- El valor paisajístico de la zona original se considera medio.

Teniendo en cuenta todo ello, en las siguientes tablas se valora cuantitativamente el impacto ambiental producido por las instalaciones y la zona de plataforma.

Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales			
PARÁMETROS		**VALOR**	**VALOR TOMADO**
Iv			
Especies arbóleas áridas de gran valor		9 ÷ 10	
Especies arbóreas de valor medio, fácilmente repobable		7 ÷ 9	
Monte bajo con algún árbol, según calidad		5 ÷ 7	
Zonas agrícolas o bien de huerta, según calidad		5 ÷ 8	
Pastos o zonas rústicas		3 ÷ 6	**5**
Zonas semiáridas		1 ÷ 3	
Zonas áridas		0 ÷ 1	
Ia			
Emisiones de polvo ocasionales	Emisiones de corto alcance (< 1 km) afectando a pocos bienes o personas	0 ÷ 2	**2**
	Emisiones de corto alcance afectando a zonas extensas o habitadas	2 ÷ 5	
Emisiones de polvo continuadas	Emisiones de corto alcance (< 1 km) afectando a pocos bienes o personas	3 ÷ 6	
	Emisiones de corto alcance afectando a zonas extensas o habitadas	5 ÷ 8	
En el caso de malos olores		1,2 Ia	
Contaminación química, con azufre o agentres tóxicos		1,5 Ia	**3**
Iw			
Escasa incidencia sobre las aguas superficiales y/o subterráneas		0 ÷ 2	
Intercepción y reducción de caudales superficiales, según utilidad de los mismos		2 ÷ 5	**5**
Contaminación de aguas superficiales (a)	Afectando al uso humano	3 ÷ 4	
	Afectando al riego	4 ÷ 5	
	Afectando a todos los usos	5 ÷ 7	
Contaminación de aguas subterráneas (b)	Afectando al uso humano	2 ÷ 3	
	Afectando al riego	3 ÷ 5	
	Afectando a todos los usos	4 ÷ 6	
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas		(a) + (b)	
If			
Riesgo de eliminación, desplazamiento o reducción de poblaciones de interés comercial, deportivo, turístico o cultural		6 ÷ 10	
Alteraciones o eliminación de hábitat terrestres o acuáticos	Moderada	2 ÷ 5	
	Intensa, con alternativas próximas	4 ÷ 6	**6**
	Sin alternativas	6 ÷ 9	

Tabla 17. Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales - Infraestructuras y plataforma.

Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual			
PARÁMETROS		**VALOR**	**VALOR TOMADO**
Ic			
Semejanza visual (no se aprecian diferencias significativas de color a más de 1 km)		0 ÷ 1	
Diferencias de tonalidad significativas (amarillo – marrón, gris – negro, etc.)		3 ÷ 6	**5**
Diferencias marcadas de color	Colores naturales	6 ÷ 8	
	Colores artificiales	8 ÷ 10	
Ir			
Forma del depósito asimilable a la morfología natural		0 ÷ 4	
Divergencias sólo en forma pero no en volumen		2 ÷ 4	
Divergencia en volúmenes y formas		4 ÷ 10	**8**
In			
Estériles análogos a los materiales naturales superficiales		0 ÷ 1	
Estériles distintos de los materiales superficiales, según grado de diferenciación		1 ÷ 4	**4**
Balsas en zonas áridas sin láminas naturales	Con coloración natural	1 ÷ 2	
	Con coloración anómala	3 ÷ 5	
Balsas en zonas húmedas, con láminas naturales	Con coloración natural	0 ÷ 1	
	Con coloración anómala	2 ÷ 3	
α			
Zonas remotas e inaccesibles, sin tráfico de paso		0 ÷ 0,1	
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (<50 personas/día)		0,1 ÷ 0,2	
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (50÷500 personas/día)		0,2 ÷ 0,3	**0,3**
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (500÷5000 personas/día)		0,3 ÷ 0,4	
Zonas observables desde pequeños núcleos urb. cerca de vías de gran circulación		0,4 ÷ 0,7	
Zonas imbricadas en núcleos urbanos importantes (más de 20.000 habitantes)		0,7 ÷ 1	
β			
Zonas de alto valor paisajístico, bosques, parques, etc.		0,9 ÷ 1	
Zonas de valor paisajístico medio		0,6 ÷ 0,9	**0,8**
Zonas de baja calidad paisajística, áridas, con escasa vegetación		0,4 ÷ 0,6	
Zonas muy deterioradas por la actividad urbana, industrial o minera		0,1 ÷ 0,4	

Tabla 18. Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual - Infraestructuras y plataforma.

A continuación se valoran otra serie de parámetros mediante otras tablas (que se adjuntan a continuación), teniendo en cuenta lo siguiente:

- Existen profundos huecos de superficie, ya que la explotación ejecutada por cámaras y pilares se realizó hasta una profundidad de más de 15 m, por lo que la alteración de formas y volúmenes es alta.

- La pérdida de suelo vegetal debido a la presencia de las instalaciones es total por lo que la alteración del suelo y la vegetación también es alta.

- Existe contaminación de las aguas de los arroyos y ríos adyacentes a las instalaciones.

- La calidad paisajística se encuentra gravemente afectada ya que el contraste morfológico debido a la presencia de las instalaciones es muy acusado.

Tabla de valoración de la alteración de formas y volúmenes	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Existe formación de huecos de superficie > 4 ha y/o profundidad de 15 m y/o grandes acumulaciones en superficie de estériles con más de 6 m de altura.
Media valor 2	Cuando existe formación de huecos de superficie < 4 ha y/o profundidad de 15 m y/o grandes acumulaciones en superficie de estériles con más de 6 m de altura.
Baja valor 1	Cuando existen pequeñas alteraciones de la base topográfica original, con altura menor de 2 m.

Tabla de valoración de la alteración del suelo y la vegetación	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Pérdida total del suelo vegetal y de la vegetación con ocupación de otro elemento (generalmente agua), o cuando existe pérdida de la vegetación de tipo arbóreo, con un grado de cobertura superior al 50% y en pendientes mayores del 30%, así como la pérdida del suelo agrícola en zonas de alto rendimiento.
Media valor 2	Pérdida del suelo vegetal en zonas agrícolas de rendimiento medio, o pérdida de la vegetación arbórea con cobertura inferior al 50%, o pérdida de suelo vegetal en monte bajo.
Baja valor 1	Pérdida del suelo vegetal en zonas agrícolas de bajo rendimiento y pendiente inferior al 10% o pérdida de la vegetación de porte arbóreo en unidades dispersas.

Tabla de valoración de la contaminación física y química de las aguas	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Contaminación química de las aguas de los ríos y/o lagos naturales o artificiales. Vertidos de aguas no contaminadas o muy poco contaminadas. Vertidos de sólidos en cantidades a las aguas sea cual sea su nivel de contaminación. Contaminación química de acuíferos.
Media valor 2	Vertido de partículas sólidas en aguas medianamente contaminadas que presentan indicios de vida piscícola.
Baja valor 1	Vertido de partículas sólidas en aguas muy contaminadas sin indicios de vida piscícola.

Tabla de valoración de la calidad paisajística	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Alteración de formas y relieves escarpados con o sin ninguna vegetación, bosques, paisajes sobresalientes. Formación de contrastes morfológicos muy acusados.
Media valor 2	Alteración de paisajes naturales notables, ríos, vegas.
Baja valor 1	Alteración de zonas de baja calidad paisajística, zonas áridas generalmente planas.

Tabla de valoración de la alteración hidrológica	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Cuando se produce una alteración importante de acuíferos (formación de lagunas superficiales, depresión del nivel freático, etc.) o de una variación de la red de drenaje de los cursos de orden superior.
Media valor 2	Cuando se produce una alteración de la red de drenaje de orden medio.
Baja valor 1	Cuando se produce alteración de la red de drenaje en los cursos de orden bajo.

Tabla 19. Tablas de valoraciones de las alteraciones - Infraestructura y plataforma.

En la siguiente Tabla 20 se recogen todos los valores considerados para la evaluación de impactos de la infraestructura y plataforma principal.

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
Iv	**5**	Ic	**5**	Alteración de formas y volúmenes	**3**
Ia	**3**	Ir	**8**	Alteración del suelo y la vegetación	**3**
Iw	**5**	In	**4**	Contaminación física y química de las aguas	**3**
If	**6**	α	**0,3**	Calidad paisajística	**3**
		β	**0,8**	Alteración hidrológica	**2**

Tabla 20. Valores considerados para los diferentes parámetros - Infraestructuras y plataforma.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de los parámetros, se puede determinar cuantitativamente el impacto ambiental producido por las instalaciones y por la zona de plataforma tal y como se expone a continuación.

Índice de impacto global:

$$Ig = Im + \frac{1}{2} Ip$$

$$Im = Iv + Ia + Iw + If$$

$$Ip = (Ic + Ir + In) \cdot (\alpha + \beta)$$

Siendo:

Iv: impacto sobre la vegetación

Ia: impacto sobre la calidad del aire

Iw: impacto sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas

If: impacto sobre la vida animal

Ic: impacto visual

Ir: impacto morfológico

In: impacto de los estériles/balsas

α: evaluación del tráfico de paso

β: evaluación del valor paisajístico

Por tanto, el índice de impacto global causado por las instalaciones y por la zona de plataforma se valora en:

$$Im = Iv + Ia + Iw + If = 5 + 3 + 5 + 6 = 19$$

$$Ip = (Ic + Ir + In) \cdot (\alpha + \beta) = (5 + 8 + 4) \cdot (0{,}3 + 0{,}8) = 18{,}7$$

$$\boldsymbol{Ig} = Im + \frac{1}{2} Ip = 19 + \frac{1}{2} 18{,}7 = \mathbf{28{,}35}$$

Ig	VALORACIÓN
0≤Ig≤10	Escaso
10≤Ig≤20	Moderado
20≤Ig≤50	Elevado
Ig>50	Muy elevado

Tabla 21. Valoración del Ig – Instalaciones y plataforma.

Índice de Impacto Ambiental Estimado (IAE):

$$IAE = 0{,}2 \cdot Ah + 0{,}2 \cdot Afv + 0{,}35 \cdot Asv + 0{,}2 \cdot Cfq + 0{,}05 \cdot Acp$$

Siendo:

Ah: grado de alteración hidrológica

Afv: alteración de formas y volúmenes

Asv: alteración de suelo y vegetación

Cfq: contaminación física y química de las aguas

Acp: alteración de la calidad paisajística

Por tanto, el IAE causado por las instalaciones y por la zona de plataforma se valora en:

$$\boldsymbol{IAE} = 0{,}2 \cdot Ah + 0{,}2 \cdot Afv + 0{,}35 \cdot Asv + 0{,}2 \cdot Cfq + 0{,}05 \cdot Acp$$
$$= 0{,}2 \cdot 2 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}35 \cdot 3 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}05 \cdot 3 = \mathbf{2,8}$$

IAE	VALORACIÓN
0≤IAE≤1	Bajo
1≤IAE≤2	Medio
2≤IAE≤3	Alto

Tabla 22. Valoración del IAE – Instalaciones y plataforma.

6.5.2. ESCOMBRERAS

Para realizar la valoración de los parámetros de impacto sobre el medio físico y los recursos naturales, y los de impacto paisajístico y visual se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- La superficie en la que se ubican las escombreras era una zona rústica utilizada como pastos.

- Las emisiones de polvo producidas desde las escombreras son continuadas (ya que éstas no disponen de ningún sistema de retención) y afectan a zonas habitadas.

- La presencia de las escombreras afecta tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas para todos los usos. Además alteran gravemente el hábitat terrestre, ya que ocupa un área de unos 30.000 m^2.

- Las diferencias de tonalidad producidas por las escombreras son significativas en comparación con el medio que las rodea, además existe divergencia tanto en formas como en volúmenes, causando un alto impacto visual.

- El tráfico de paso de la zona se estima en una media de 50 a 500 personas al día, para lo cual se ha tenido en cuenta el tráfico de la AS-231 en esa zona.

- El valor paisajístico de la zona original se considera medio.

Teniendo en cuenta todo ello, en las siguientes tablas se valora cuantitativamente el impacto ambiental producido por las escombreras.

Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales			
PARÁMETROS		**VALOR**	**VALOR TOMADO**
Iv			
Especies arbóleas áridas de gran valor		9 ÷ 10	
Especies arbóreas de valor medio, fácilmente repobable		7 ÷ 9	
Monte bajo con algún árbol, según calidad		5 ÷ 7	
Zonas agrícolas o bien de huerta, según calidad		5 ÷ 8	
Pastos o zonas rústicas		3 ÷ 6	**5**
Zonas semiáridas		1 ÷ 3	
Zonas áridas		0 ÷ 1	
Ia			
Emisiones de polvo ocasionales	Emisiones de corto alcance (< 1 km) afectando a pocos bienes o personas	0 ÷ 2	
	Emisiones de corto alcance afectando a zonas extensas o habitadas	2 ÷ 5	
Emisiones de polvo continuadas	Emisiones de corto alcance (< 1 km) afectando a pocos bienes o personas	3 ÷ 6	
	Emisiones de corto alcance afectando a zonas extensas o habitadas	5 ÷ 8	**6**
En el caso de malos olores		1,2 Ia	
Contaminación química, con azufre o agentres tóxicos		1,5 Ia	**9**
Iw			
Escasa incidencia sobre las aguas superficiales y/o subterráneas		0 ÷ 2	
Intercepción y reducción de caudales superficiales, según utilidad de los mismos		2 ÷ 5	
Contaminación de aguas superficiales (a)	Afectando al uso humano	3 ÷ 4	
	Afectando al riego	4 ÷ 5	
	Afectando a todos los usos	5 ÷ 7	**7**
Contaminación de aguas subterráneas (b)	Afectando al uso humano	2 ÷ 3	
	Afectando al riego	3 ÷ 5	
	Afectando a todos los usos	4 ÷ 6	**6**
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas		(a) + (b)	**13**
If			
Riesgo de eliminación, desplazamiento o reducción de poblaciones de interés comercial, deportivo, turístico o cultural		6 ÷ 10	
Alteraciones o eliminación de hábitat terrestres o acuáticos	Moderada	2 ÷ 5	
	Intensa, con alternativas próximas	4 ÷ 6	**6**
	Sin alternativas	6 ÷ 9	

Tabla 23. Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales – Escombreras.

Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual			
PARÁMETROS		**VALOR**	**VALOR TOMADO**
Ic			
Semejanza visual (no se aprecian diferencias significativas de color a más de 1 km)		0 ÷ 1	
Diferencias de tonalidad significativas (amarillo – marrón, gris – negro, etc.)		3 ÷ 6	**5**
Diferencias marcadas de color	Colores naturales	6 ÷ 8	
	Colores artificiales	8 ÷ 10	
Ir			
Forma del depósito asimilable a la morfología natural		0 ÷ 4	
Divergencias sólo en forma pero no en volumen		2 ÷ 4	
Divergencia en volúmenes y formas		4 ÷ 10	**8**
In			
Estériles análogos a los materiales naturales superficiales		0 ÷ 1	
Estériles distintos de los materiales superficiales, según grado de diferenciación		1 ÷ 4	**4**
Balsas en zonas áridas sin láminas naturales	Con coloración natural	1 ÷ 2	
	Con coloración anómala	3 ÷ 5	
Balsas en zonas húmedas, con láminas naturales	Con coloración natural	0 ÷ 1	
	Con coloración anómala	2 ÷ 3	
α			
Zonas remotas e inaccesibles, sin tráfico de paso		0 ÷ 0,1	
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (<50 personas/día)		0,1 ÷ 0,2	
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (50÷500 personas/día)		0,2 ÷ 0,3	**0,3**
Zonas poco accesibles, con escaso tráfico de paso (500÷5000 personas/día)		0,3 ÷ 0,4	
Zonas observables desde pequeños núcleos urb. cerca de vías de gran circulación		0,4 ÷ 0,7	
Zonas imbricadas en núcleos urbanos importantes (más de 20.000 habitantes)		0,7 ÷ 1	
β			
Zonas de alto valor paisajístico, bosques, parques, etc.		0,9 ÷ 1	
Zonas de valor paisajístico medio		0,6 ÷ 0,9	**0,8**
Zonas de baja calidad paisajística, áridas, con escasa vegetación		0,4 ÷ 0,6	
Zonas muy deterioradas por la actividad urbana, industrial o minera		0,1 ÷ 0,4	

Tabla 24. Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual – Escombreras.

A continuación se valoran otra serie de parámetros mediante otras tablas (que se adjuntan a continuación), teniendo en cuenta lo siguiente:

- Existen grandes acumulaciones de estériles en superficie con más de 6 m de altura, por lo que la alteración de formas y volúmenes es alta.

- La pérdida de suelo vegetal debido a la presencia de las escombreras es total por lo que la alteración del suelo y la vegetación también es alta.

- Existe contaminación de las aguas de los arroyos y ríos adyacentes a las instalaciones.

- La calidad paisajística se encuentra gravemente afectada ya que el contraste morfológico debido a la presencia de las escombreras es muy acusado.

Tabla de valoración de la alteración de formas y volúmenes	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Existe formación de huecos de superficie > 4 ha y/o profundidad de 15 m y/o grandes acumulaciones en superficie de estériles con más de 6 m de altura.
Media valor 2	Cuando existe formación de huecos de superficie < 4 ha y/o profundidad de 15 m y/o grandes acumulaciones en superficie de estériles con más de 6 m de altura.
Baja valor 1	Cuando existen pequeñas alteraciones de la base topográfica original, con altura menor de 2 m.

Tabla de valoración de la alteración del suelo y la vegetación	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Pérdida total del suelo vegetal y de la vegetación con ocupación de otro elemento (generalmente agua), o cuando existe pérdida de la vegetación de tipo arbóreo, con un grado de cobertura superior al 50% y en pendientes mayores del 30%, así como la pérdida del suelo agrícola en zonas de alto rendimiento.
Media valor 2	Pérdida del suelo vegetal en zonas agrícolas de rendimiento medio, o pérdida de la vegetación arbórea con cobertura inferior al 50%, o pérdida de suelo vegetal en monte bajo.
Baja valor 1	Pérdida del suelo vegetal en zonas agrícolas de bajo rendimiento y pendiente inferior al 10% o pérdida de la vegetación de porte arbóreo en unidades dispersas.

Tabla de valoración de la contaminación física y química de las aguas	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Contaminación química de las aguas de los ríos y/o lagos naturales o artificiales. Vertidos de aguas no contaminadas o muy poco contaminadas. Vertidos de sólidos en cantidades a las aguas sea cual sea su nivel de contaminación. Contaminación química de acuíferos.
Media valor 2	Vertido de partículas sólidas en aguas medianamente contaminadas que presentan indicios de vida piscícola.
Baja valor 1	Vertido de partículas sólidas en aguas muy contaminadas sin indicios de vida piscícola.

Tabla de valoración de la calidad paisajística	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Alteración de formas y relieves escarpados con o sin ninguna vegetación, bosques, paisajes sobresalientes. Formación de contrastes morfológicos muy acusados.
Media valor 2	Alteración de paisajes naturales notables, ríos, vegas.
Baja valor 1	Alteración de zonas de baja calidad paisajística, zonas áridas generalmente planas.

Tabla de valoración de la alteración hidrológica	
VALORACIÓN	
Alta valor 3	Cuando se produce una alteración importante de acuíferos (formación de lagunas superficiales, depresión del nivel freático, etc.) o de una variación de la red de drenaje de los cursos de orden superior.
Media valor 2	Cuando se produce una alteración de la red de drenaje de orden medio.
Baja valor 1	Cuando se produce alteración de la red de drenaje en los cursos de orden bajo.

Tabla 25. Tablas de valoraciones de las alteraciones – Escombreras.

En la siguiente se recogen todos los valores considerados para la evaluación de impactos de las escombreras.

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
Iv	**5**	Ic	**5**	Alteración de formas y volúmenes	**3**
Ia	**9**	Ir	**8**	Alteración del suelo y la vegetación	**3**
Iw	**13**	In	**4**	Contaminación física y química de las aguas	**3**
If	**6**	α	**0,3**	Calidad paisajística	**3**
		β	**0,8**	Alteración hidrológica	**2**

Tabla 26. Valores considerados para los diferentes parámetros – Escombreras.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de los parámetros, se puede determinar cuantitativamente el impacto ambiental producido por las escombreras tal y como se expone a continuación.

Índice de impacto global:

$$Ig = Im + \frac{1}{2} Ip$$

$$Im = Iv + Ia + Iw + If$$

$$Ip = (Ic + Ir + In) \cdot (\alpha + \beta)$$

Siendo:

Iv: impacto sobre la vegetación

Ia: impacto sobre la calidad del aire

Iw: impacto sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas

If: impacto sobre la vida animal

Ic: impacto visual

Ir: impacto morfológico

In: impacto de los estériles/balsas

α: evaluación del tráfico de paso

β: evaluación del valor paisajístico

Por tanto, el índice de impacto global causado por las escombreras se valora en:

$$Im = Iv + Ia + Iw + If = 5 + 9 + 13 + 6 = 33$$

$$Ip = (Ic + Ir + In) \cdot (\alpha + \beta) = (5 + 8 + 4) \cdot (0{,}3 + 0{,}8) = 18{,}7$$

$$\boldsymbol{Ig} = Im + \frac{1}{2} Ip = 33 + \frac{1}{2} 18{,}7 = \mathbf{42{,}35}$$

Ig	VALORACIÓN
0≤Ig≤10	Escaso
10≤Ig≤20	Moderado
20≤Ig≤50	Elevado
Ig>50	Muy elevado

Tabla 27. Valoración del Ig – Escombreras.

Índice de Impacto Ambiental Estimado (IAE):

$$IAE = 0{,}2 \cdot Ah + 0{,}2 \cdot Afv + 0{,}35 \cdot Asv + 0{,}2 \cdot Cfq + 0{,}05 \cdot Acp$$

Siendo:

Ah: grado de alteración hidrológica

Afv: alteración de formas y volúmenes

Asv: alteración de suelo y vegetación

Cfq: contaminación física y química de las aguas

Acp: alteración de la calidad paisajística

Por tanto, el IAE causado por las escombreras se valora en:

$$\boldsymbol{IAE} = 0{,}2 \cdot Ah + 0{,}2 \cdot Afv + 0{,}35 \cdot Asv + 0{,}2 \cdot Cfq + 0{,}05 \cdot Acp$$
$$= 0{,}2 \cdot 2 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}35 \cdot 3 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}05 \cdot 3 = \mathbf{2{,}8}$$

IAE	VALORACIÓN
0≤IAE≤1	Bajo
1≤IAE≤2	Medio
2≤IAE≤3	Alto

Tabla 28. Valoración del IAE – Escombreras.

6.6. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Una vez evaluado cualitativa y cuantitativamente el impacto ambiental de La Soterraña, se puede concluir que el impacto es considerablemente alto y los daños que está causando actualmente sobre el medio son elevados.

Tanto en la evaluación de las infraestructuras y zona de plataforma como en la de las escombreras, se han determinado impactos ambientales elevados, siendo más acusados los obtenidos en la evaluación de las escombreras, que son las principales fuentes de contaminación en la zona.

Queda por tanto demostrada la necesidad de restauración de la antigua mina de mercurio abandonada.

7. POSIBLES SOLUCIONES

Una vez determinado el alto impacto ambiental producido por la antigua mina de mercurio abandonada, se proponen tres posibles soluciones que podrían atenuar o eliminar la contaminación de la zona. A continuación se describe brevemente en qué consistiría cada una de ellas, debiendo de realizarse un estudio en mayor detalle en caso de que se quisiese llevar a cabo alguna de las propuestas.

7.1. TRASLADO A VERTEDERO AUTORIZADO

Una de las posibles soluciones sería demoler todas las instalaciones existentes actualmente en La Soterraña y trasladar esos escombros junto con todos los residuos de las dos escombreras a un vertedero autorizado como puede ser COGERSA (Consorcio para la Gestión de los Residuos Sólidos de Asturias, formado por los ayuntamientos de todos los concejos asturianos y el Gobierno del Principado de Asturias para la gestión de los residuos en el Principado de Asturias).

COGERSA dispone de un depósito de seguridad, el cual está diseñado para recibir residuos peligrosos de distintos tipos como son: abrasivos, carbonatos, sólidos inorgánicos, cenizas, escorias, cauchos, asbestos, amiantos, etc.; así como los residuos derivados del tratamiento físico-químico y de solidificación-estabilización realizados en las propias instalaciones de COGERSA, de residuos tales como: pinturas, alquitrán y grasas minerales, lodos inertes, fangos inorgánicos, cromo trivalente. Los residuos admitidos en el vertedero de residuos peligrosos son aquellos que figuran en la resolución de Autorización Ambiental Integrada de COGERSA, de acuerdo con la Decisión del consejo, de 19/12/2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos.

Para poder trasladar todo el material al vertedero autorizado sería necesario en primer lugar demoler todas las instalaciones existentes, las cuales se han estimado en un total de 20.000 m^3 de material (hormigón, ladrillo, metales, etc.) y cargar los 90.000 m^3 de residuos de las escombreras, lo que suma un total de 110.000 m^3 de material a transportar y almacenar en COGERSA.

El transporte se realizaría en camiones que cumplan las normativas de transporte de mercancía peligrosas, y tendrían que realizar un recorrido de 60 km hasta llegar al destino.

El transporte del material se podría realizar empleando seis camiones de 32m^3 de capacidad de carga, y suponiendo que cada uno realice dos viajes de ida y vuelta al día desde la antigua mina hasta el vertedero autorizado, se conseguirían transportar 384m^3 de material el día, con lo que se tardarían más de 280 días laborables en finalizar el traslado de todo el material, lo que se traduce en 14 meses de transporte de mineral altamente contaminado atravesando el centro del Principado de Asturias. Con este simple cálculo se puede ver que esto sería inviable ya que aparte de la problemática del transporte en sí (ley de transporte mercancías peligrosas) el coste sería altísimo y además se causaría un gran impacto ambiental debido a las emisiones de CO_2 y polvo a la atmósfera, así como la contaminación acústica que se produciría durante las cargas, descargas y transporte del material y el impacto visual consecuente.

Por tanto, aunque con esta solución se conseguiría eliminar todo el material contaminado del emplazamiento, no sería económicamente rentable y se producirían otros impactos ambientales negativos.

7.2. RESTAURACIÓN IN SITU

Esta opción consistiría en mantener la escombrera en su ubicación actual y realizar en la misma un tratamiento in situ.

Se considera que esta no sería la solución más óptima por el impacto visual de la misma y el fuerte impacto ambiental que produciría (elevada contaminación, polvo, lixiviados, etc.) en un área muy próxima a las zonas habitadas.

7.3. TRASLADO A UN DEPÓSITO DE SEGURIDAD

Otra solución al problema es trasladar el material de las dos escombreras a un nuevo emplazamiento que cause un menor impacto visual y que además esté correctamente acondicionado para depositar los contaminantes sobre el mismo. Con esto se conseguiría eliminar las principales fuentes de contaminación de La Soterraña.

Para ello se ha seleccionado una zona de valle, ya que posee una topografía favorable, y que se encuentre alejado de núcleos urbanos, excluido de zonas de especial interés geológico y que se halle en las proximidades de la mina para minimizar el coste de transporte.

7.3.1. DEPÓSITO SELECCIONADO

La mejor ubicación para situar el depósito de seguridad es el valle de Santo Medero, que se encuentra situado en las proximidades de la antigua explotación, a menos de 500 m en línea recta tal como puede verse en la figura siguiente.

Figura 25. Valle de Santo Medero.

Este emplazamiento es favorable respecto a la geología e hidrogeología. Por una parte se encuentra encajado en el Subhullero de Riosa, formado por pizarras, calizas y areniscas y, por otra, no hay ríos ni arroyos en las cercanías.

La topografía es adecuada, dado que se encuentra situado en una zona de valle. Existe además una vía agropecuaria para el acceso a la zona desde la antigua explotación. No obstante se encuentra lejos de carreteras principales, por lo que presenta un bajo impacto visual, ya que además de estar ubicada en zona de valle, se sitúa en una región alejada de núcleos de población.

Cabe indicar que la ubicación seleccionada posee capacidad suficiente para almacenar los residuos almacenados en la escombrera.

Mediante el método de los perfiles, se ha calculado el volumen de material que se puede almacenar en dicho emplazamiento.

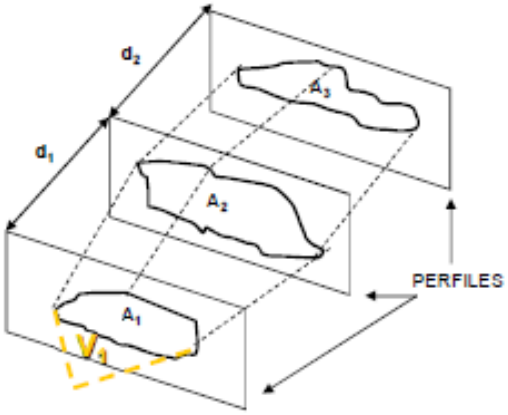


Figura 26. Método de los perfiles.

Para ello, se han hecho cuatro cortes topográficos tomados de un mapa a escala 1:5.882 (Figura 27). La distancia entre perfiles es de 0,3 cm en el mapa, es decir, 17,646 m en la realidad. En el Anexo B se adjuntan el mapa de la zona a escala 1:5.000 el cual se han empleado complementariamente con el de la Figura 27 para la realización de los cortes topográficos.

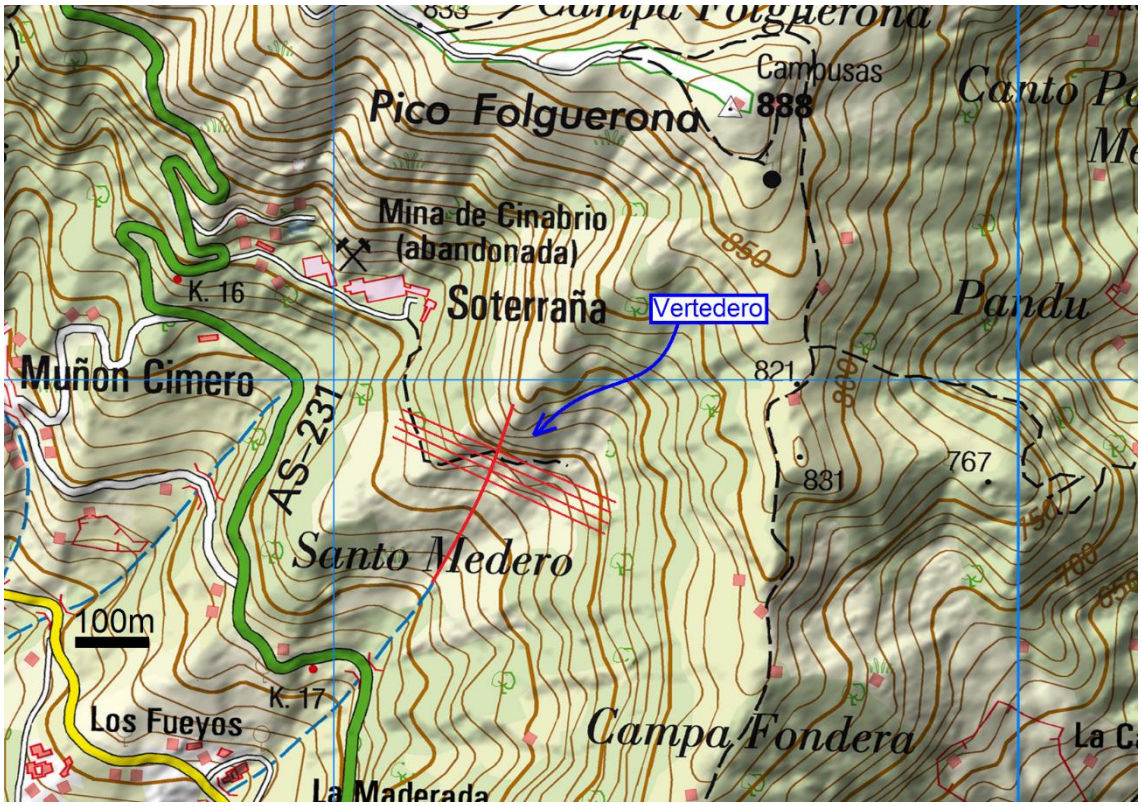
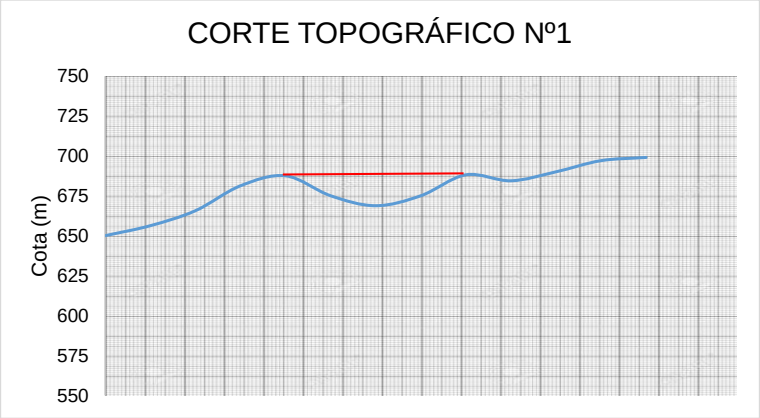
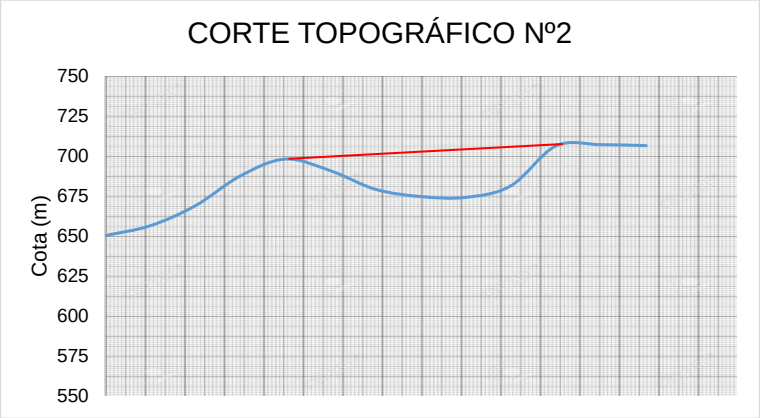
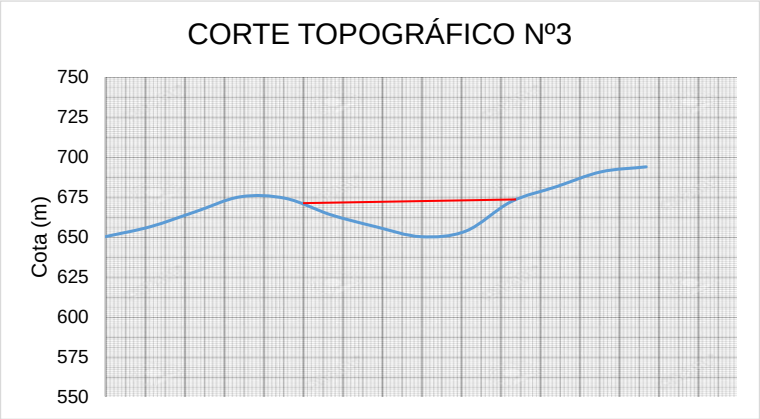
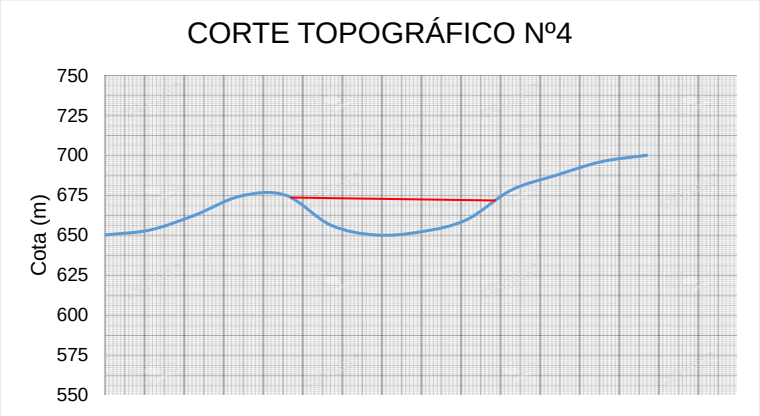


Figura 27. Cortes topográficos indicados sobre el mapa.


CORTE TOPOGRÁFICO Nº1
Cota (m)
750
725
700
675
650
625
600
575
550


CORTE TOPOGRÁFICO Nº2
Cota (m)
750
725
700
675
650
625
600
575
550


CORTE TOPOGRÁFICO Nº3
Cota (m)
750
725
700
675
650
625
600
575
550


CORTE TOPOGRÁFICO Nº4
Cota (m)
750
725
700
675
650
625
600
575
550

Las áreas ofrecidas por cada uno de los perfiles son las siguientes:

A_1=1.073 m^2

A_2=2.582 m^2

A_3=1.559 m^2

A_4=1.637 m^2

Se halla el área media de dos perfiles consecutivos y se multiplica el valor obtenido por la distancia entre ambos.

$$V_1 = d.\frac{(A_1 + A_2)}{2} = 17{,}646\ m\ .\frac{(1.073 + 2.582)m^2}{2} = 32.248\ m^3$$

$$V_2 = d.\frac{(A_2 + A_3)}{2} = 17{,}646\ m\ .\frac{(2.582 + 1.559)m^2}{2} = 36.536\ m^3$$

$$V_3 = d.\frac{(A_3 + A_4)}{2} = 17{,}646\ m\ .\frac{(1.559 + 1.637)m^2}{2} = 28.198\ m^3$$

$$\boldsymbol{V_T} = V_1 + V_2 + V_3 = \mathbf{96.982\ m^3} \approx \mathbf{97.000\ m^3}$$

Queda pues demostrado que el área escogida como emplazamiento del vertedero cumple los requisitos en cuanto a volumen, ya que el volumen estimado de las dos escombreras es de 90.000 m^3.

No obstante, el vertedero sólo podrá ser autorizado si las características del emplazamiento o las medidas correctoras que se tomen, indiquen que no planteará ningún riesgo grave para el medio ambiente.

7.3.2. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL POSTERIOR DEL DEPÓSITO

En el Anexo I del *Real Decreto 1481/2001*, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, se establecen una serie de requisitos que se resumen a continuación.

Se deberá realizar un control de aguas y gestión de lixiviados, para lo cual se deberá vigilar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del vertedero e impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos. Además se deberá recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados, así como tratar las aguas contaminadas y los lixiviados recogidos del vertedero de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido, aplicando técnicas adecuadas para ello.

La protección del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos.

Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un vertedero tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas.

Según el *Real Decreto 1481/2001* mencionado anteriormente, se consideran vertederos de residuos peligrosos todos los que dispongan de metales pesados, cianuros, fenoles, gases, etc. Por tanto, las escombreras de La Soterraña son residuos peligrosos, y la base y los lados del vertedero deberán disponer de una capa mineral con las siguientes condiciones de permeabilidad (k) y espesor (e):

$$k \leq 1{,}0 \cdot 10^{-9}\ m/s$$

$$e \geq 5\ m$$

En caso de que la barrera geológica natural no cumpla estas condiciones, podrá complementarse mediante una barrera geológica artificial, que consistiría en una capa mineral de un espesor no inferior a 0,5 m.

Además, deberá añadirse un revestimiento artificial impermeable bajo la masa de residuos y, con el fin de mantener en un mínimo la acumulación de lixiviados en la base del vertedero, un sistema de recogida de lixiviados.

Dichos sistemas de revestimiento y de recogida de lixiviados deberán de ser los siguientes:

1. Sellado de base

Aunque se dispone de una buena barrera geológica natural, a fin de mejorar todavía más la impermeabilización es aconsejable colocar una barrera geológica artificial como si se tratase de una zona permeable.

En primer lugar se debe colocar por tanto una barrera geológica artificial de al menos 5 metros de espesor, encima de esta se instalará un revestimiento impermeable a fin de aislar los residuos de la barrera geológica y de reducir al mínimo la acumulación de lixiviados en la base del vertedero, facilitando su recogida.

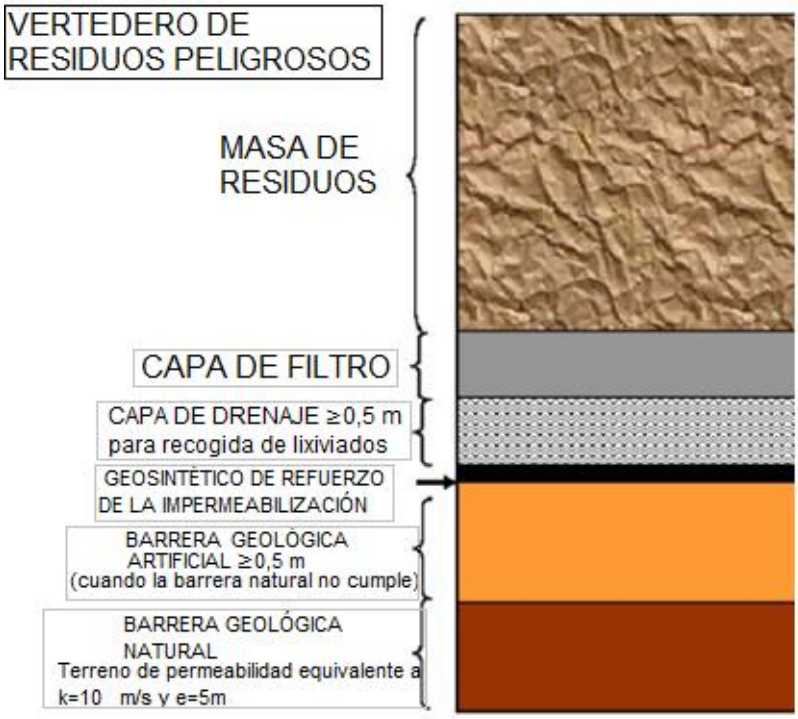


Figura 28. Sellado de base de un vertedero de residuos peligrosos según Real Decreto 1481/2001.

Existen diversos tipos de revestimientos artificiales, considerándose las más adecuadas para este caso las geomembranas (láminas de polietileno de alta densidad).

Por encima de la geomembrana se debe colocar una capa de drenaje de unos 5 metros de espesor que servirá para la recogida de posibles lixiviados y por último se

dispondrá un filtro artificial (geotextil) consistente en una lámina filtrante de protección con fibras de polipropileno o poliéster.

2. Sellado de base en taludes

En los taludes se colocaría primero un geotextil, posteriormente una geomembrana de estanqueidad y encima de ésta otro geotextil.

3. Sellado superior

El sellado superior deberá consistir de abajo hacia arriba de: una capa de regulación de al menos un metro de acho, una barrera de mineral impermeable, otra barrera de refuerzo, una capa de mineral drenante de unos 0,30 metros, un geosintético y una capa de cobertura de 1 metro.

Figura 29. Sellado superior de un vertedero de residuos peligrosos según Real Decreto 1481/2001.

4. Sellado superior en taludes

Se dispondrá primero de un geodren, por encima de este una geomalla, después se colocará mediante zanjas de anclaje una geomembrana y se terminará con un geocompuesto bentonítico.

5. Recogida de lixiviados

El sistema de recogida y evacuación del lixiviado es una infraestructura básica en el funcionamiento del vertedero. Su función principal es la recogida y conducción de los lixiviados al exterior del vaso de vertido, minimizando el tiempo de contacto con los residuos, así como su nivel respecto al fondo del vertedero.

El sistema de drenaje de lixiviados propuesto contendría los siguientes elementos:

- **Capa de drenaje**. Nivel drenante de elevada permeabilidad, construido con material granular. Según el R.D. 1481/2001, debe tener un espesor mínimo de 0,5 metros.
- **Capa filtro**
- **Red de tuberías de recogida**. Consiste en una red de tuberías perforadas situadas en el interior del nivel drenante para recogida y conducción de los lixiviados hasta el punto de evacuación.
- **Registros interiores de control**. Controlan el nivel de lixiviado en el interior del vaso, y en caso de obstrucción del sistema principal, permitir el bombeo desde los mismos.
- **Pozo de bombeo**
- **Balsa de almacenamiento.**

6. Plan de vigilancia y monitorización

Con el fin de tener un control del vertedero una vez que éste se haya puesto en marcha se deberán disponer tres piezómetros, los mínimos exigidos por la norma, que se ubicarán uno aguas arriba y dos aguas abajo.

El piezómetro ubicado aguas arriba del mismo servirá como referencia de la contaminación natural del emplazamiento mientras que los otros dos medirán el nivel de contaminación (mediante comparación con el primero) en el caso de que ésta se produzca.

7. Clausura y destino posterior de los terrenos

Dado que la zona en la que se encuentra el vertedero proyectado resulta poco propicia para su transformación en una zona de usos recreativos (parques infantiles, pistas

deportivas, merenderos, etc.) una vez realizada su clausura sólo se revegetará para adaptarlo al entorno.

7.3.3. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE LOS TRABAJOS DE RESTAURACIÓN

Los trabajos de restauración implicarían movimiento de tierras, ya que es necesario reacondicionar las escombreras, por lo que las emisiones de polvo durante las obras de restauración aumentarían considerablemente, lo que será perjudicial durante ese periodo de tiempo pero será justificado ya que de no ser así, dejando las escombreras tal y como se encuentran actualmente, se causaría un daño al medio aún mayor.

Estas emisiones de polvo afectarían tanto a las aguas superficiales y subterráneas, a la vegetación y fauna y a la atmósfera.

Por otra parte, también se producirían niveles de ruido acusados durante las obras de restauración, pero su impacto no es comparable con el que actualmente está causando el mal estado de las instalaciones y escombreras de La Soterraña, por lo que esta contaminación acústica estaría también justificada en este caso.

Si fuera necesario construir nuevos viales y/o conducciones, estos serían únicamente para facilitar los trabajos de restauración y aunque causarían un leve impacto visual y paisajístico, este también estaría justificado dada la gravedad de la contaminación de la explotación.

En la siguiente Tabla 29 se ha evaluado de manera aproximada cómo impactarían estas obras de restauración in situ. Como puede observarse, el impacto es moderado.

Simbología

● Actividades genéricamente importantes

○ Actividades genéricamente poco importantes

TRABAJOS DE RESTAURACIÓN

		Elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados por la actividad minera															
		ATMÓSFERA		AGUA		SUELOS		VEGETACIÓN	FAUNA	PROCESOS ECOLÓGICOS	PROCESOS GEOFÍSICOS						MORFOLOGÍA Y PAISAJE
ACCIONES PRODUCTORAS DE IMPACTOS O ALTERACIONES	**PRINCIPALES OPERACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y MODELADOS DE LA ACTIVIDAD MINERA**	Composición de la atmósfera	Nivel de ruidos	Agua superficial	Agua subterránea	Características edáficas	Usos del suelo	Especies y comunidades vegetales	Especies y poblaciones animales	Cadenas y redes tróficas	Inundación	Erosión	Sedimentación	Inestabilidad	Sismicidad (vibraciones)	Subsidencia	Modificaciones en el paisaje
1. Exploración e investigación																	
2. Infraestructura	Construcción de edificios y plantas de tratamiento																
	Nuevos viales y conducciones		○	○			○	○	○			○					○
	Desagues y drenajes																○
3. Operación	Perforación																
	Voladura																
	Arranque y carga																
	Transporte de materiales y tráfico de maquinaria	●	○														
	Mantenimiento																
	Tratamiento de minerales																
4. Modificaciones fisiográficas	Creación de huecos																
	Vertido de estériles, escombreras y balsas																

Tabla 29. EIA cualitativo III -Trabajos de restauración.

8. CONCLUSIONES

La zona en la que se ubica la antigua mina abandonada posee unos valores de concentración de mercurio muy elevados, los cuales llegan a superar en algunos lugares hasta en 200 veces el valor que sería normal para los suelos en los que se encuentra.

Una vez realizada la evaluación ambiental de la mina de mercurio abandonada se ha demostrado el gran impacto que causa sobre el medio y la necesidad social de restauración de la misma.

En las condiciones en que se encuentra actualmente la zona estudiada:

La probabilidad de generación de efluentes contaminantes con afección sobre las aguas superficiales es muy alta, siendo también alta la probabilidad de contacto directo originado por el acceso ocasional o por el desarrollo de actividades. Ciertamente probables son la generación de efluentes contaminantes con afección sobre los recursos hídricos subterráneos y la emisión de sedimentos contaminantes por erosión hídrica, siendo algo menos probable la emisión de sedimentos contaminantes por acción del viento.

En cuanto a la ocurrencia de escenarios de riesgo por fallo en la estructura, es altamente probable que se produzca un fallo o rotura del dique de contención, lo cual afectaría severamente tanto al medio natural, a la población y al medio socioeconómico (Vadillo Fernández, y otros, 2014).

Las peores consecuencias por contaminación en el medio natural son las debidas a la generación de efluentes contaminantes con afección a las aguas superficiales, la movilización de material particulado por acción del viento y la emisión de sedimentos contaminantes por erosión hídrica.

Los efectos sobre las personas y la población son más severos con la generación de efluentes contaminantes con afección sobre los recursos hídricos subterráneos, con la movilización de material particulado por acción del viento y con el contacto directo originado por el acceso ocasional o por el desarrollo de actividades en la zona.

De las tres posibles soluciones propuestas, la que parece ser más viable es la tercera, la cual consiste en llevar los residuos de las escombreras a un depósito de seguridad correctamente acondicionado situado sobre un valle cercano al emplazamiento actual de la mina de mercurio abandonada.

En caso de realizarse esta propuesta, se conseguiría mitigar la contaminación de la zona, reduciendo considerablemente los daños producidos sobre el medio y minimizando el impacto visual. Además, al encontrarse en una zona cercana los costes de transporte de material no serían excesivos.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, Rodrigo, Ordóñez, Almudena y Loredo, Jorge. 2005. *Anomalías de mercurio en suelos de Asturias. Comparación con los niveles de fondo.* Universidad de Oviedo : Departamento de Explotación y prospección de Minas, 2005.

Asturias Información. 2016. [En línea] abril de 2016. www.asturiasinformacion.com.

Ayala Carcedo, Francisco Javier y Vadillo Fernández, Lucas. 1999. *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería.* Madrid : Instituto tecnológico GeoMinero de España, 1999.

Ayala Carcedo, Francisco Javier, Vadillo Fernández, Lucas y Gazapo de Badiola, Carlos. 1998. *Guia visual para evaluación y corrección de impactos ambientales.* Madrid : Instituto tecnológico GeoMinero de España, 1998.

Ayala Carcedo, Francisco Javier, y otros. 1998. *Evaluación y corrección de impactos ambientales.* Madrid : Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1998.

Basteiro, C. M. 2014. La Nueva España. [En línea] 2014. www.lne.es/caudal/2014/03/22/.

Buelga, Sergio. 2016. Wikimedia. [En línea] abril de 2016. https://es.wiki2.org/wiki/Archivo:Mapa_parroquial_del_concejo_de_Lena_svg.

Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area. **Sierra, C., y otros. 2011.** 196, ScienceDirect : Elsevier, 2011, Journal of Hazardous Materials, págs. 93-100.

Fernández Albarrán, Carlos Javier. 1997. *Estudio sobre la contaminación de suelos por metales pesados en el área de influencia de la antigua explotación minera de Hg de "La Soterraña".* Universidad de Oviedo, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas : s.n., 1997. Proyecto Fin de Carrera.

Foro de minerales. 2016. [En línea] abril de 2016. http://www.foro-minerales.com/.

Geochemical characterisation of mercuty mining spoil heaps in the area of Mieres (Asturias, northern Spain). **Loredo, Jorge, y otros. 1999.** 67, Oviedo : Elsevier, 1999, Journal of Geochemical Exploration, págs. 377-390.

Google Earth. 2016. [En línea] 2016.

Google Maps. 2016. [En línea] abril de 2016. www.google.es/maps.

Grupo IOM. 2015. *Documentación propia.* 2015.

Gutiérrez Claverol, M. y Luque Cabal, C. 2010. *Riquezas geológicas de Asturias.* Universidad de Oviedo : Departamento de geología, 2010.

IGME. 2016. Instituto Geológico y Minero de España. [En línea] 2016. http://www.igme.es/.

Instituto Nacional de Estadística. 2016. [En línea] 2016. www.ine.es.

Loredo, J., y otros. 2008. *Biodisponibilidad de mercurio en suelos contaminados por explotaciones mineras.* Departamento de Explotación y Prospección de Minas (Universidad de Oviedo), Unidad de Espectroscopia, División de Química, Departamento de Tecnología (CIEMAT). 2008.

Luque Cabal, Carlos. 2008. Agencia iberoamericana para la difusión de la Ciencia y la Tecnología. *http://www.dicyt.com/noticias/.* 2008.

Luque, C., García Iglesias, J. y García Coque, P. 1989. *Características geoquímicas de los cinabrios de la Cordillera Cantábrica (NW de España): Utilidad en prospección.* Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo. 1989.

Memoria Digital de Asturias. 2016. Gobierno del Principado de Asturias. *Pozo de La Soterraña. La Peña. Mieres, hacia 1970.* [En línea] marzo de 2016. www.asturias.es/portal/site/memoriaDigital/menuitem.

Panoramio. 2016. [En línea] abril de 2016. www.panoramio.com/photo/.

R.D. *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.*

Vadillo Fernández, Lucas, y otros. 2014. *Inventario y evaluación del riesgo de instalaciones de residuos de industrias extractivas no activas.* Instituto Geológico y Minero de España. 2014. págs. 287-300.

Velando, Félix, y otros. 1975. *Memoria de la Hoja 53 (Mieres) del MAGNA.* Instituto Geológico y Minero de España. Madrid : s.n., 1975.

10. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lena, Asturias (Asturias Información, 2016). 6
Figura 2. Subdivisiones del concejo de Lena (Buelga, 2016). 7
Figura 3.Ubicación de la mina y del pueblo adyacente. (Modificado de: (Google Earth, 2016)). 7
Figura 4. Pueblos de los alrededores de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016)). 8
Figura 5. Distancia entre La Soterraña y La Pola (Modificado de: (Google Earth, 2016)) 9
Figura 6. Trazado de la carretera comarcal AS-231 en la zona de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016)) 10
Figura 7. Distribución de las principales mineralizaciones de Hg de la Zona Cantábrica. (Luque, y otros, 1989) 11
Figura 8. Ubicación de la mina. (Modificado de: (IGME, 2016)) 12
Figura 9. Leyenda del Carbonífero correspondiente a la Hoja 53. (Modificado de: (IGME, 2016)) 13
Figura 10. Escombreras de La Soterraña (Modificado de: (Google Earth, 2016)). 14
Figura 11. Vista frontal de la Escombrera 2 (Vadillo Fernández, y otros, 2014). 15
Figura 12. Vista en detalle de una cárcava en el talud. La extracción de residuos ha generado taludes subverticales (Vadillo Fernández, y otros, 2014) 16
Figura 13. Drenaje situado al pie de la escombrera (Vadillo Fernández, y otros, 2014). 17
Figura 14. Esquemas transversales del talud (Vadillo Fernández, y otros, 2014). 18
Figura 15. Instalaciones de La Soterraña. (Modificado de: (Google Earth, 2016)). 19
Figura 16. Chimeneas sobre la ladera. (Modificado de: (Google Earth, 2016)). 19
Figura 17. Malla propuesta. 33
Figura 18. Distribución del tamaño de partícula de la muestra S2. 40
Figura 19. Dendrograma que muestra las asociaciones entre elementos. 41
Figura 20. Algunas de las micrografías empleadas en el estudio. (Tomado de: (Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area, 2011)). 44
Figura 21. Vista de La Soterraña desde un monte alejado I (Panoramio, 2016). 49
Figura 22. Vista de La Soterraña desde un monte alejado II (Panoramio, 2016). 49
Figura 23. Cuenca visual de La Soterraña. (Google Earth, 2016). 50

Figura 24. Rejalgar (Foro de minerales, 2016). 51
Figura 25. Valle de Santo Medero. 80
Figura 26. Método de los perfiles. 81
Figura 27. Cortes topográficos indicados sobre el mapa. 81
Figura 28. Sellado de base de un vertedero de residuos peligrosos según Real Decreto 1481/2001. 85
Figura 29. Sellado superior de un vertedero de residuos peligrosos según Real Decreto 1481/2001. 86

11. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de habitantes por pueblo. 8
Tabla 2. Concentraciones de Hg en diferentes tipos de materiales (Álvarez, y otros, 2005). 28
Tabla 3. Composición química (FRX)..... 35
Tabla 4. Valores obtenidos en el ensayo de lixiviación en campo. 36
Tabla 5. Valores de pH y CE obtenidos en el ensayo de lixiviación en laboratorio. 36
Tabla 6. Valores de pH y CE obtenidos en los ensayos realizados a las aguas del drenaje..... 37
Tabla 7. Tamaños de tamices empleados en el estudio..... 38
Tabla 8. Concentraciones de los elementos determinadas en el estudio. 39
Tabla 9. Concentración de los elementos según el tamaño de partícula..... 41
Tabla 10. Resultados ensayo - trituración. 45
Tabla 11. Valores de concentración de Hg en diferentes zonas..... 47
Tabla 12. Valores considerados para el estudio..... 48
Tabla 13. EIA cualitativo I - Infraestructuras y zona de plataforma..... 57
Tabla 14. EIA cualitativo II - Infraestructuras y zona de plataforma..... 58
Tabla 15. EIA cualitativo I - Escombreras. 60
Tabla 16. EIA cualitativo II – Escombreras..... 61
Tabla 17. Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales - Infraestructuras y plataforma. 63
Tabla 18. Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual - Infraestructuras y plataforma. 64
Tabla 19. Tablas de valoraciones de las alteraciones - Infraestructura y plataforma... 66
Tabla 20. Valores considerados para los diferentes parámetros - Infraestructuras y plataforma..... 67
Tabla 21. Valoración del Ig – Instalaciones y plataforma..... 68
Tabla 22. Valoración del IAE – Instalaciones y plataforma..... 69
Tabla 23. Valoración de los parámetros índice de impacto sobre medio físico y recursos naturales – Escombreras..... 71
Tabla 24. Valoración de los parámetros índice de impacto paisajístico y visual – Escombreras..... 72
Tabla 25. Tablas de valoraciones de las alteraciones – Escombreras. 74
Tabla 26. Valores considerados para los diferentes parámetros – Escombreras. 75

Tabla 27. Valoración del Ig – Escombreras. 76
Tabla 28. Valoración del IAE – Escombreras. 77
Tabla 29. EIA cualitativo III -Trabajos de restauración. 89

12. ANEXOS

12.1. ANEXO A – HOJA MAGNA Nº53 (MIERES) A ESCALA 1:50.000

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

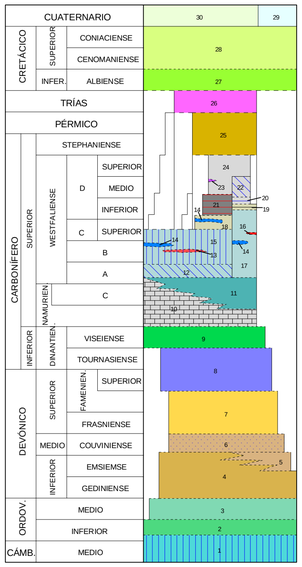
Instituto Geológico y Minero de España

MIERES

53

13-05

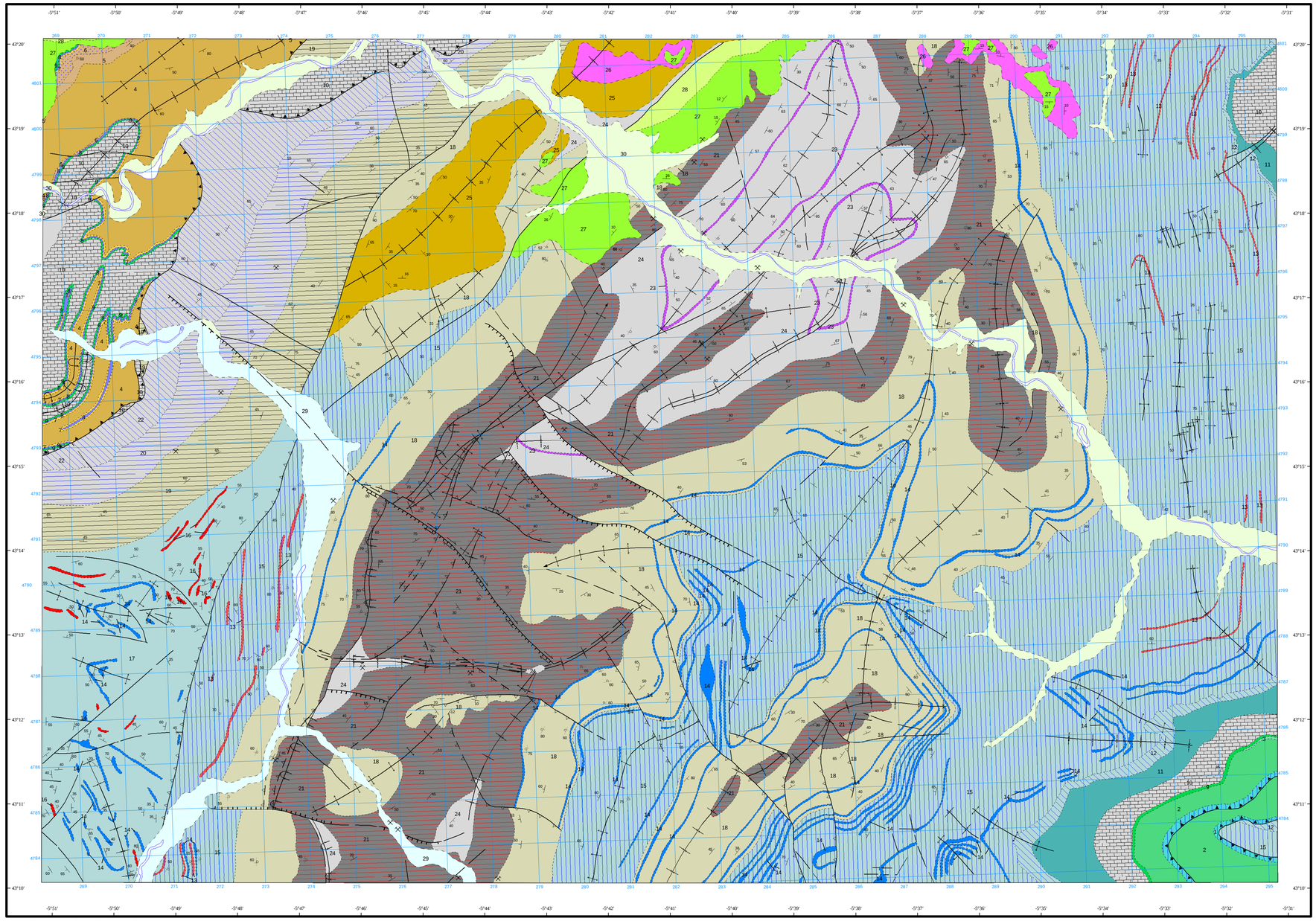
LEYENDA



30 Indiferenciado
29 Aluviones
28 Calizas, margas, arcillas y areniscas
27 Arenas, conglomerados y arcillas
26 Arcillas, areniscas y evaporitas
25 Pizarras, areniscas, conglomerados y vulcanitas
24 Pizarras, areniscas y carbón (Entrerregueras y Sorriego)
23 Pudingas
22 Pizarras, areniscas y conglomerados (Esperanza)
21 Pizarras, areniscas y carbón (Mª Luisa)
20 Pudingas
19 Pizarras, areniscas y calizas (Canales)
18 Pizarras, areniscas, carbón, calizas (Calera-S. Antonio)
17 Pizarras, calizas y areniscas (Subhullero de Riosa)
16 Areniscas
15 Pizarras, calizas y areniscas (Subhullero)
14 Calizas
13 Calizas y areniscas
12 Calizas (Caliza masiva)
11 Pizarras y areniscas (Fresnedo)
10 Caliza (caliza de montaña)
9 Calizas, radiolaritas y pizarras
8 Calizas (Cándamo)
7 Cuarcita (Ermita)
6 Areniscas ferruginosas (Naranco)
5 Calizas y margas apizarradas (Moniello)
4 Areniscas, pizarras, calizas y dolomías
3 Pizarras
2 Cuarcitas
1 Areniscas y pizarras

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- Contacto concordante
- Falla conocida
- Falla con indicación de hundimiento
- Falla con indicación de movimiento levógira supuesta
- Falla inversa supuesta
- Falla con indicación de hundimiento dextrógira
- Anticlinal con sentido de inmersión
- Sinclinal
- Sinclinal tumbado
- Estratificación invertida
- Mina activa
- Contacto discordante
- Falla supuesta
- Falla con indicación de hundimiento sup.
- Falla inversa
- Cabalgamiento conocido
- Anticlinal
- Anticlinal tumbado
- Sinclinal con sentido de inmersión
- Estratificación subhorizontal
- Estratificación



Área de Sistemas de Información Geocientífica
Revisión vectorial: Yolanda Martín Ferrero

Escala 1:50.000

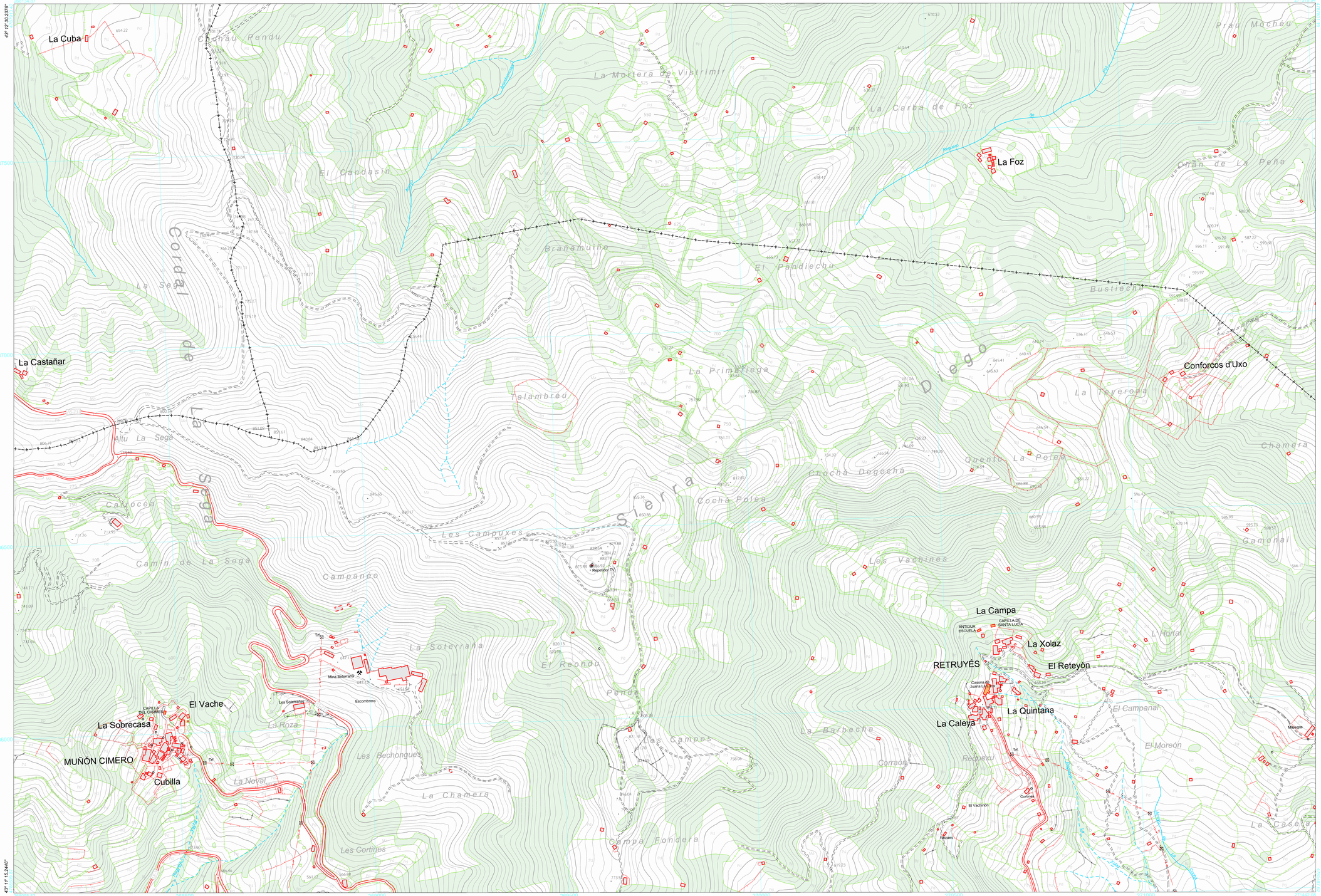
1.000 m 0 1 2 3 4 5 km

Proyección y Cuadrícula UTM. Elipsoide Internacional. Huso 30

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1973

Autores : C. Caride (ENADIMSA)
A. Marcos (ENADIMSA)
M. Gervilla (ENADIMSA)
G. Ortuño (ENADIMSA)
F. Velando (ENADIMSA)
Dirección y supervisión : (IGME)

12.2. ANEXO B – MAPA A ESCALA 1:5.000



SIGNOS CONVENCIONALES

- Autopista, Autovía
- Carretera Nacional
- Carretera Regional, Comarcal
- Carretera Local
- Camino asfaltado
- Camino, Pista
- Senda
- Ferrocarril ancho ibérico
- Ferrocarril vía estrecha o minero
- Túnel
- Paso a nivel
- Puente, Viaducto
- Línea eléctrica
- Torre metálica, Poste
- Muro, Pared, Tapia
- Alambrada, Cerca metálica
- Muro de contención
- Sebe
- Edificación, Edificio público o singular
- Edificio en construcción, Edificio en Ruinas
- Invernadero
- Hórreo, Panera
- Límite de cultivo, Parcela
- Masa de árboles, Árbol, Palmera
- Río
- Arroyo, Riega
- Vaguada
- Canal, Acequia
- Tubería o Conducción aérea
- Piscina, Estanque
- Manantial o Fuente, Pozo
- Curvas de nivel, Punto acotado, Depresión
- Escarpado, Escollera
- Límite de Comunidad Autónoma
- Límite de Concejo
- Aerogenerador

USOS DEL SUELO

Bp	Bosques Planicaducifolios	Pa	Pastizales
Be	Bosques Esclerófilos	Pd	Prados
Br	Bosques Ribereños	Fr	Frutales
Pf	Plantaciones arbóreas Frondosas	Tc	Terreno Cultivado
Pc	Plantaciones arbóreas Coníferas	Vp	Verde Público
Pe	Plantaciones de Eucalipto	Ms	Marismas
Fa	Formaciones Arbustivas	Du	Dunas
Ma	Matorral	Ro	Roquedos

MAPA TOPOGRÁFICO DE ASTURIAS

ESCALA 1:5.000

MUÑÓN CIMERO

E05000530107

VERSIÓN ETRS89. EPSG 25830

Centro de Cartografía del Principado de Asturias

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS
CONSEJERÍA DE INFRAESTRUCTURAS, POLÍTICA TERRITORIAL Y VIVIENDA

INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA AUTONÓMICA.

Todos los trabajos geodésicos sobre los que se sustenta el desarrollo de la cartografía topográfica autonómica a escala 1:5.000 (MTA050), han sido desarrollados mediante enlace a la Red Geodésica del Principado de Asturias (RGPA). Esta red autonómica, mantiene a su vez una trazabilidad con las redes nacionales y europeas mediante su conexión a la Red Geodésica Nacional observada por Técnicas Espaciales (REGENTE).

Todos los observables han sido ajustados sobre el elipsoide (GRS80) en el nuevo sistema de referencia europeo ETRS89, transformando posteriormente las coordenadas geodésicas sobre cada uno de los sistemas de proyección empleados (Universa Transversa Mercator en los husos 29 y 30).

Con motivo de la oficialización del sistema de referencia ETRS89 mediante el REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de Julio, esta cartografía está representada en dicho sistema.

Finalmente se ha obtenido un modelo de geoide específico a partir de los vértices REGENTE y determinadas observaciones efectuadas sobre cavos de la Red de Nivelación de Alta Precisión nacional.

Dado que dicha red está siendo constantemente actualizada, únicamente se ha incluido en la cartografía los vértices que definen el marco de referencia asturiano, es decir los 37 vértices REGENTE empleados en el enlace a la Red Nacional sobre ETRS89. El usuario que esté interesado en obtener un listado y reseñas actualizado de la infraestructura geodésica disponible consulte la web del servidor de cartografía http://www.cartografia.princast.es

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

1ª Edición

Fecha de vuelo fotogramétrico:	1994 - 1995 - 1996
Fecha de edición:	1997
Empresa adjudicataria:	INCAR
Director técnico:	Eduardo Díaz Pérez. Ingeniero Técnico Topógrafo
Marco de referencia geodésico:	ROI (IGN)

2ª Edición

Fecha de vuelo fotogramétrico:	2003
Fecha de edición:	2005 - 2006
Empresa adjudicataria edición:	SERESCO
Director técnico:	Óscar Cuadrado Méndez. Ingeniero en Geodesia y Cartografía
Revisión:	Alexis López Quintana. Ingeniero Técnico en Topografía.
Marco de referencia geodésico:	RGPA (CCATPA - IGN)
Control de calidad:	SITOPCAR

Sistema de referencia:	ETRS89
Elipsoide de referencia:	GRS 1980
Proyección:	Universal Transversa de Mercator. Husos 29 y 30
Sistema de altitudes:	Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante

Norte Geodésico
Norte Cuadrícula UTM
(γ)
≈

DATOS PARA EL CENTRO DE LA HOJA

Proyección UTM. Huso =	30
Convergencia de la cuadrícula (γ) =	-1º 56' 25.43"
Coeficiente de anamorfisis lineal =	1.000252

Longitudes referidas al meridiano de Greenwich

ESCALA 1 : 5.000

100 m 0 100 200 300 400 500 m

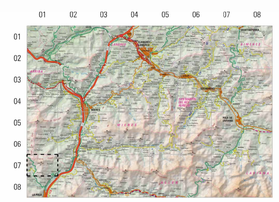
ORIGINALES EN DIN A1

Agradecemos al usuario público su colaboración en la localización de errores groseros, omisiones u otro tipo de anomalías encontradas.
En caso de detección de anomalías, contactar con:
Centro de Cartografía del Principado de Asturias
C/ Coronel Aranda, Nº 2, Planta Baja.
33005. Oviedo
correo electrónico: cartografia@princast.es

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN COMERCIAL O VENTA DE ESTA CARTOGRAFÍA

DIVISIÓN DEL TERRITORIO EN HOJAS 1:50.000

6º
HUSO 29 | HUSO 30

0010	0011	0012	0013	0014	0015			
0025	0026	0027	0028	0029	0030	0031	0032	0033
0049	0050	0051	0052	0053	0054	0055	0056	0057
0074	0075	0076	0077	0078	0079	0080		
0099	0100	0101	0102	0103				

ÁMBITO DE LA HOJA MTA050