

Universidad Miguel Hernández de Elche



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



Máster universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Trabajo Fin de Master

Riesgos asociados a excavación en cuevas,

Macizo del Garraf, Sima de la Ruda

Directores: Miguel Manuel Jordan y Manel Llenas

Alumno: [Roberto Franco Fernández](#)

Curso académico 2024/2025

Autorización del tutor



**INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER
UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

D. Manuel Miguel Jordán Vidal, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado **Riesgos asociados a excavación en cuevas, Macizo del Garraf, Sima de la Ruda**, realizado por el estudiante D. Roberto Franco Fernández,

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 19 de mayo de 2025.

Resumen

El Macizo del Garraf, Sureste de Barcelona, se clasifica como un espacio natural de gran interés paleontológico y arqueológico. Su interés es debido a la gran cantidad de yacimientos que se alojan entre sus cavidades, junto con los paisajes de modelado Kárstico que se alojan en sus carbonatos de edad Cretácica y Jurásica. Las características de la zona de trabajo la clasifican como patrimonio natural inmueble y los yacimientos como mueble. Se encuentra en la Xarxa de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona. El material fósil es estudiado por el Institut Catalá de Paleontología (ICPr) y los arqueológicos por las instituciones con esta temática recomendadas por la Secció Villalta (SV). Los yacimientos a estudiar se encuentran en la Sima de la Ruda. Los restos fósiles que se han encontrado por el momento son *Ursus arctos*, *Felis silvestris* y *Cervus elaphys* en dos acumulaciones.

Las intervenciones presentan gran riesgo debido al espacio limitado por la galería, la necesidad de técnicas de progresión vertical para el transporte de operarios y material. Un riesgo añadido son las emanaciones de vertidos tóxicos del basurero instalado a dos kilómetros al Noreste. Debido a estas características y siguiendo la NTP 223 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (INSST), junto con Altube Basterretxea (2015), se establece una propuesta de protocolo para reducir y evitar los riesgos en los operadores, establecer responsabilidades en las diferentes partes de la actuación, autorización de entrada, entrada, labores de recuperación de material, formación y seguimiento sanitario de los trabajadores. Con especial miras a la caracterización de la atmósfera cambiante en los yacimientos a estudiar *Ursus* (-54 m) *Felis* (-80m). Que deberá evaluarse de forma periódica con medidores mono y multigas.

Palabras clave

Prevención de riesgos, Recintos confinados, atmósfera tóxica, yacimientos, Macizo del Garraf, Sima de la Ruda

Índice

1 Introducción	5
2 Justificación	11
3 Objetivos.....	12
4 Materiales y métodos	13
5 Resultados y discusión	18
5.1 Evaluación de riesgos.....	18
5.2 Descripción de la Sima de la Ruda	30
5.3 Elementos y lugares de trabajo	32
5.4 Propuesta de protocolos de seguridad durante la intervención.....	40
5.4.1 Autorización de entrada al recinto	40
5.4.2 Entrada	40
5.4.3 Labores de recuperación y transporte de material.....	45
5.4.4 Vigilancia exterior:.....	56
5.5.5 Formación técnica.....	59
5.5 Evaluación del plan	62
6 Conclusiones	63
7 Bibliografía.....	67
8 Anexos.....	71
8.1 Tablas	71
8.2 Figuras	76

1 Introducción

Este trabajo se centra en la evaluación de riesgos en las intervenciones paleontológicas del yacimiento del Forat de la Ruda (Sima de la Ruda) en el Macizo del Garraf. Las intervenciones se realizan en las diferentes concentraciones fósiles a lo largo de la cavidad. Debido a que es un espacio interior, se clasifica como espacio confinado. La normativa más adecuada es el NTP 223 trabajos en espacios confinados, (NTP que al ser buenas prácticas, no suelen ser obligatorias salvo que estén recogidas en disposiciones de normativas vigentes).

Los recintos confinados son espacios con aberturas limitadas de entrada, salida y ventilación natural desfavorable. Pueden acumular contaminantes tóxicos o inflamables, deficiencia de oxígeno y no son concebidos como ocupación continuada de los trabajadores. De esta forma, los riesgos a tener en cuenta son: a) externos acumulación de sustancias tóxicas-inflamables, escasez de oxígeno. B) internos asociados a problemas posturales por estrechamientos, incomodidad postural, relacionados con iluminación limitada, asociados a ruidos que se amplifican al estar en espacios cerrados donde el sonido se transmite mejor por vibraciones en tres dimensiones y en la mayoría de los casos con una humedad muy elevada, siendo en algunas cavidades cercana al 100%.

Debido a los riesgos previos, estos trabajadores deben formarse para evitar y ser capaces de gestionar estas casuísticas. El operario debe reunir las siguientes características: no tener claustrofobia, evitar temeridades, buena condición físico-mental y menor de 50 años. La formación en riesgos debe incluir:

1) Procedimientos intrínsecos del trabajo para desempeñar sus funciones correctamente; 2) prevención de riesgos de atmósferas asfixiantes, tóxicas, inflamables y explosivas, 3) utilización de equipos de ensayo de atmósfera, 4) uso de equipos de salvamento y protección respiratoria, 5) sistemas de comunicación interior-exterior y 6) tipos adecuados de equipo de lucha contra fuego.

En este trabajo se implican fósiles y su emplazamiento (yacimientos), con lo que trabajamos con la definición de Patrimonio Cultural y Natural. Desde la Conferencia General de la UNESCO para la Educación, la Ciencia y la Cultura, en su 17^a, reunión celebrada en París del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972 el artículo 1 define patrimonio cultural como: un conjunto de figuras de protección como monumentos, los conjuntos o lugares excepcionales para la historia de la humanidad. El patrimonio natural se diferencia como figura de protección, con monumentos naturales las formaciones físicas y biológicas o sus

agrupaciones, las formaciones geológicas y fisiográficas (geomorfología) y lugares naturales (zonas naturales delimitadas) con valor universal excepcional desde la ciencia, conservación o su belleza natural.

Siguiendo los trabajos de la Sociedad Española de Paleontología (SEP, 2025): el patrimonio se evalúa dependiendo del elemento, valor del mismo y su gestión en colecciones. Dentro de los elementos se diferencian: patrimonio mueble si son fósiles extraíbles o inmueble si se trata de un yacimiento o no se puede extraer el elemento. Los fósiles pueden considerarse patrimonio biológico y/o geológico entran en la clasificación de patrimonio natural y se rigen por las leyes: Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español y Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Las figuras de protección del patrimonio inmuble a nivel legislativo son: Global geosite (nivel internacional), Lugar de interés geológico LIG a nivel nacional, regional o local y aseguran la protección de los yacimientos mediante la gestión de patrimonio. La gestión radica en su estado de conservación y su riesgo de degradación. Una entidad de investigación debe cuidar estos yacimientos e incluirlos en proyectos para cuidarlos o en su defecto cubrirlos para evitar su deterioro.

El deterioro de los yacimientos afecta al parámetro valor, (que varía con el tiempo y el contexto de investigación), un ejemplo sería encontrar un yacimiento de una cronología poco estudiada o novedoso por el contenido fósil que presenta (en cantidad o calidad). Estos yacimientos deben ser protegidos en contra de construcciones o proyectos urbanísticos, sin embargo si en el futuro se estudian más yacimientos de estas características la figura puede cambiar al tener menor relevancia. También pierden valor por su alteración por acción antrópica. Los yacimientos se consideran 'Monumentos Naturales' por el Artículo 33.2 de la Ley 42/2007 y se consideran patrimonio natural y elementos naturales.

A nivel autonómico la legislación que regula el patrimonio natural y los yacimientos en Cataluña son: Ley 12/1985 de 13 de junio, de Espacios Naturales que define el patrimonio natural y su protección mediante la figura de Espacio de Interés cultural, junto a los procedimientos para adquirir esta figura. La Ley 9/1993, de 30 de septiembre, del Patrimonio Cultural Catalán, donde se define la figura de bien de interés cultural (BIC) y las características que debe reunir un bien para convertirse en figuras de protección. Esta diferencia entre bien mueble e inmuble, escalas de protección (nacional, regional), patrimonio arqueológico, (donde se incluye los paleontológicos) y el proceso de archivado y procesado en museos y colecciones.

La legislación patrimonial más reciente incluye el Decreto 78/2002, de 5 marzo 2002 y el Reglamento de protección del patrimonio arqueológico y paleontológico, que modifica La Ley 9/1993, el cual establece la diferencia entre intervenciones integradas en proyecto de investigación y las que no lo están. Las intervenciones son divididas en dos: urgencia y preventivas. También define el tipo de procesado del material patrimonial, separando por primera vez el arqueológico del paleontológico y su tratamiento como bien inmueble en caso de que la extracción conlleve su deterioro. Este decreto define el patrimonio paleontológico como: elementos fósiles no relacionados con el ser humano ni su origen, antecedentes y contexto geológico. Los elementos pueden proceder del suelo, subsuelo, aguas interiores, mar territorial, franja litoral y plataforma continental, incluyendo los que forman parte de los museos y colecciones catalanas.

El Decreto 78/2002 define el tipo de intervenciones paleontológicas: 1) excavaciones: remociones de superficie, subsuelo o medio subacuático. Con finalidad de descubrir e investigar sistemáticamente restos arqueológicos-paleontológicos, incluye: sondeos que traten de delimitar la extensión de los yacimientos; 2) prospecciones: exploraciones superficiales del subsuelo-medio acuático sin remoción de terreno incluyendo o no recogida de materiales. Tienen finalidad de localizar restos; 3) controles: vigilancia y coordinación de obras o trabajos y limpieza de yacimientos; 4) documentación gráfica y plástica: intervenciones para obtener información de los yacimientos, haciendo calcos de murales o marcas o planimetrías; 5) consolidación, restauración y adecuación: intervenciones a mantenimiento y conservación de yacimientos. Las figuras presentes en las intervenciones deben tener directores, nunca más de 3 y con formación de graduados-licenciados en las ciencias básicas de las disciplinas (paleontología geología-biología).

Según el Artículo 5 para realizar estas intervenciones deben ser autorizadas por la Dirección General del Patrimonio Cultural. Siguiendo el Artículo 10 los restos deben ser depositados en una institución con condiciones necesarias para su conservación y estudio. El Artículo 12 recalca que es necesario presentar una memoria a Dirección de Patrimonio de las actuaciones y restos recuperados en la campaña. El Artículo 29 también trata el valor como exposición en museo de los restos en caso de que sean valorados así por un consejero/a de Cultura, donde el paleontólogo/a debe crear un informe de los mismos.

La norma más actualizada sobre el patrimonio paleontológico en Cataluña es el “Decret 32/2011 de creació del Consell Nacional d’Arqueologia i Paleontologia, i de la Comissió de Recerca d’Arqueologia i Paleontologia”. Gracias a esta norma se crean El Consejo Nacional de Arqueología y Paleontología (Consell Nacional d’Arqueologia i Paleontologia) y la

Comisión de Investigación de Arqueología y Paleontología (Comissió de Recerca d'Arqueologia i Paleontologia). El Consejo se encarga de asesoramiento a la administración de la Generalitat respecto a la política y actuaciones en paleontología y arqueología, siendo un órgano informativo, asesoramiento y de resolución de propuestas. La Comisión tiene como objetivo asesorar al departamento de cultura de las políticas y estrategias de la investigación en arqueología-paleontología, mediando entre los investigadores y la administración. También evalúa el desarrollo de las investigaciones y cómo mejorarlas. Dentro del Consejo solo hay un representante del ICPyR y dos personas representantes de las universidades con proyectos de investigación en Paleontología-Arqueología. En la Comisión solo hay un representante de Paleontología de parte de las universidades.

Situación geográfica: El Forat de la Ruda se abre al oeste del macizo del Garraf (provincia de Barcelona), en el flanco derecho de la cabecera del “Fondo de Vallbona” a 345 msnm (metros sobre el nivel del mar) y a 30 metros por encima de la vaguada.

Datum ETRS89: UTM X: 410044 UTM Y: 4570711 Z: 345

Situación Geológica: El macizo del Garraf presenta acumulaciones de hueso en diferentes puntos de la galería, el modelado es tipo Kárstico en Dolomías del Jurásico, Kimmeridgiense (Albrich et al., 2006), siendo definidas como Formación Dolomías del Garraf. En el contacto con carbonatos del Cretácico, se sitúa en el dominio de la Cuenca Mesozoica de Perelló-Salou-Garraf. Los carbonatos están fuertemente fracturados debido a la tectónica Alpina, dando un sistema de fallas y fracturas ortogonales con una familia con dirección Este-Oeste y la otra Noroeste-Sureste. Los sistemas de falla favorecen el desarrollo del modelado de disolución de estos carbonatos como estudió Llopis Lladó (1970). Estas dos direcciones estructurales tienen diferente edad de formación, el sistema principal es EW de edad Miocena, está asociado al sistema NW-SE, más o menos perpendicular a la costa de origen hercínico. La fracturación E-W es la responsable de la dirección del flujo subterráneo y la NW-SE controla la inflexión del flujo hacia la perpendicular de la costa, siendo responsable de las vías de drenaje preferentes.

El yacimiento que se propone estudiar en este trabajo es la Sima de la Ruda (Forat de la Ruda). Se trata de una cavidad vertical situada en el Macizo calcáreo del Garraf, al sureste de Barcelona (Fig. 1C). La cavidad de cinco metros de profundidad, fue encontrada en 1986. En 2013 el grupo de espeleología GERS encuentra la continuación de la cavidad sacando unos bloques del fondo de la cavidad, llegando a explorar hasta la cota -194 m, sorprendiendo la bajada de la concentración de oxígeno al llegar a estas profundidades. En 2018 se obtuvo

una medida a 170 m de profundidad del 10,5% en O₂. La cavidad se abre a favor de una diaclasa opuesta al buzamiento de los estratos, que buzan unos 40° al SE hacia la vega.

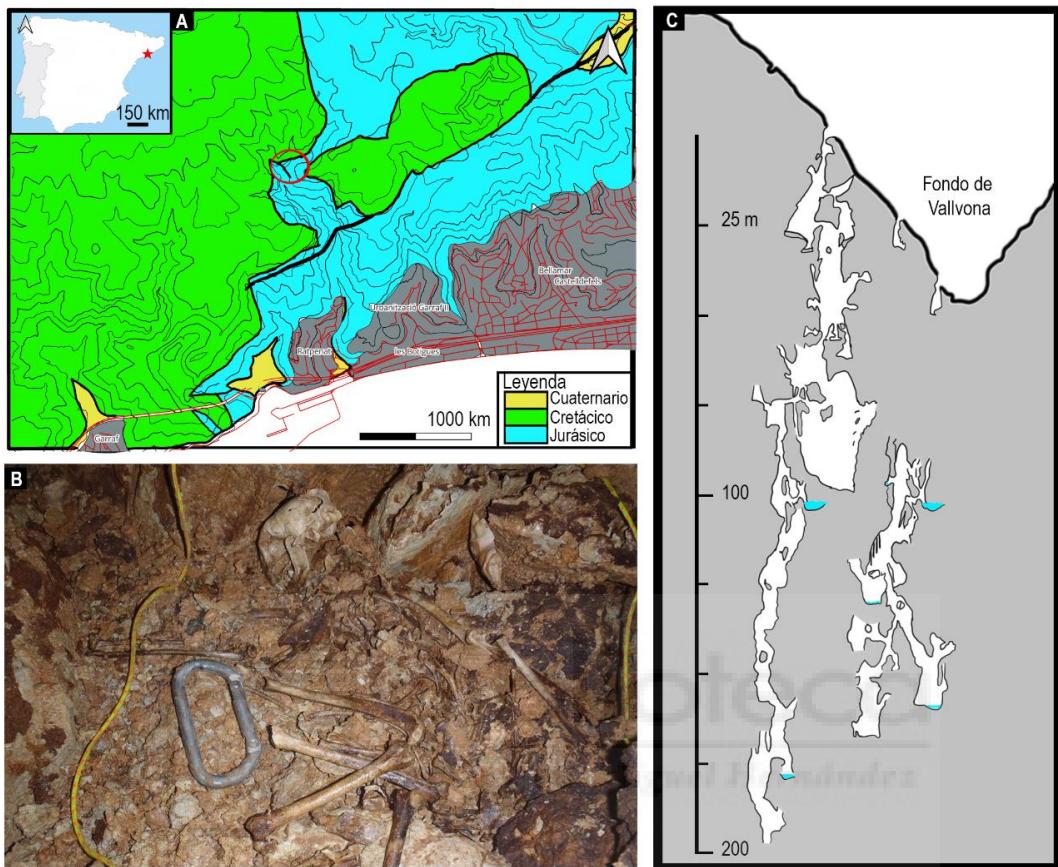


Figura 1. A) Mapa geológico del Macizo del Garraf, en la arista superior izquierda de ubica el yacimiento en la Península. El yacimiento viene señalizado con un círculo rojo. B) aspecto de los yacimientos del Forat de la Ruda, escala C) cartografía de la cavidad (modificado Yzaguirre y Bifet, 2014 Fig. 2).

Paleontología

El Macizo de Garraf, ha proporcionado abundantes yacimientos tanto arqueológicos como paleontológicos. Los más importantes son la sima de la Pepi con restos de *Panthera spelaea* y *Cervus elaphus*, la Cova del Gegant con registro de neandertal (Daura et al., 2021) junto a una abundante fauna entre la cual mencionar: *Panthera pardus*, *Crocuta spelaea*, *Cervus elaphus*, *Vulpes vulpes*, *Bos primigenius*, *Equus caballus* etc., la Cova del Rinoceront situada en la cantera de Can Aymerich, donde se seccionó un relleno kárstico con una gran abundancia de fósiles destacando *Ursus spelaeus*, *Felis silvestris*, *Panthera pardus*, *Rhinoceros* sp., *Sus scrofa*, *Cervus* sp. así como un amplio listado de micromamíferos

(García-Fernández et al., 2023), el avenc Marcel donde se recuperaron varios restos de *Lynx issiodorensis*, *Homotherium crenatidens* y *Dicerorhinus etruscus* (Daura et al., 2014) y la Cova Bonica en la que aparecieron restos del primate *Macaca* sp. (Alba et al., 2018), que junto al Forat de la Ruda que de momento ha proporcionado restos de *Ursus arctos*, *Felis silvestris* y *Cervus elaphus* (Yzaguirre y Bifet, 2014), son sólo algunas de la gran cantidad de cavidades con registro paleontológico existentes en el macizo del Garraf.

Debido a la presencia de material fósil los trámites a realizar, siguiendo la legislación previa son los siguientes: es necesario tener un proyecto de investigación, para poder acceder a los permisos de excavación-prospección al medio natural. Para ello se tiene que contactar con el “Servei de Patrimoni de la Generalitat de Catalunya” para que procesen la petición de excavación-prospección de la zona, para la cual es necesaria la autorización del propietario del terreno. Si se trata de un terreno público, la autorización la tiene que dar el Ayuntamiento del municipio donde se encuentra el yacimiento, pero si se trata de un terreno privado, es necesario contactar con el propietario para pedir su autorización y no siempre es fácil localizarlo o contactar con él. En el caso del macizo del Garraf, en el cual se encuentra la sima de la Ruda, se trata de un espacio natural protegido, que gestiona la “Xarxa de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona (Servei de Gestió de Parcs Naturals)”. Se trata de una red de parques naturales gestionados por la Diputació de Barcelona, a través del Servicio de Gestión de Parques Naturales.

Si el yacimiento está ubicado en una sima o en una cueva, se contacta con la “federació catalana d'espeleología” (FCE) o con la “federació de muntanya” (FEEC) para federarte, dado que se debe tener un seguro para realizar actividades que impliquen un riesgo deportivo en el medio natural. Este seguro cubre los eventuales gastos médicos, de los que la Seguridad Social no se hace cargo si se estaba haciendo espeleología, o de los elevados costes de un rescate si fuera necesario en caso de un accidente grave. Los rescates en espeleología son especialmente complicados debido al aislamiento del herido y se necesita de mucho personal para la evacuación de un herido que no pueda salir por su propio pie de una cavidad. Los costes se disparan si es necesario que acuda un helicóptero. Para acceder a los seguros que cubren las actividades al medio natural, es necesario obtener una licencia federativa por lo que se requiere ser socio de un Club afiliado a la FCE o FEEC. La licencia básica de la FCE ya cubre la espeleología pero no es así con la licencia básica de la FEEC, motivo por el cual sale más cara.

Todo el proceso anterior se solventa gracias a las labores de la “Secció Villalta” (SV). En febrero de 2008 mediante un convenio firmado por el Director del Institut Català de

Paleontología i recerca (ICPr) y el Presidente de la Federació Catalana d'Espeleologia. La Secció Villalta (SV) es el punto de contacto entre espeleólogos, entidades de investigación y la sección territorial de patrimonio, para gestionar los restos que encuentran los espeleólogos en las cavidades.

Desde antaño a través de la FCE se ha inculcado a los espeleólogos la necesidad e importancia de preservar e informar del patrimonio que se encuentra en el medio subterráneo. La SV se creó con la intención de poner en contacto a la FCE con el ICPr para dar parte de los hallazgos paleontológicos y arqueológicos que los espeleólogos realizan a lo largo del año con sus actividades de formación y exploración. Desde la SV se conciencia a los espeleólogos de la importancia de hacer fotos y/o de recoger algún fragmento roto en superficie para entregarlo e incluso acompañar a la cavidad a algún miembro de la SV con el fin de poder evaluar la importancia del descubrimiento. De tener valor el hallazgo, se les informa e insiste en la necesidad de no tocarlo y detener sus exploraciones en la cavidad hasta que no hayan sido retirados los restos por los especialistas.

Una vez realizada la visita a la cavidad por parte de los miembros de la SV y una vez hecha una primera evaluación de los restos, se canaliza la información según se trate de restos paleontológicos, arqueológicos o de restos subactuales de animales. En el caso de restos arqueológicos, se contacta con el arqueólogo territorial del municipio o comarca del que pertenezca la cavidad. En el caso de restos subactuales de animales procedentes de cavidades situadas dentro de espacios naturales, se contacta con los organismos del parque por si el material les es de interés para estudios faunísticos del parque o bien para proyectos de reintroducción de fauna ya extinguida. Finalmente para los restos paleontológicos se contacta con el único paleontólogo del que dispone patrimonio de la Generalitat para tramitar los pertinentes o permisos de excavación, que después llevará a cabo el ICPr. En éste último caso, los restos procedentes de la excavación se almacenarán en las colecciones del ICPr para su estudio y su posterior depósito sea temporal o definitivo.

2 Justificación

Los protocolos de seguridad en el ámbito de la paleontología no han sido estudiados con tanto detalle. Se ve necesario hacer un análisis de riesgos en los trabajos de excavación, con más miras de obtener un análisis de los lugares de trabajo. En la localidad escogida, se observan casuísticas diferentes de la excavación tradicional a cielo abierto. Para acceder al

recinto y los yacimientos se deben utilizar técnicas de progresión vertical. El acceso a la zona de trabajo presenta dificultad y se suman las labores propias de recuperación de los fósiles desde profundidades a la superficie. Con lo que se requiere un análisis de los riesgos presentes, una evaluación de protocolos y su adaptación desde las metodologías comunes en espacios confinados de Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL).

Además de los riesgos que implican las metodologías comunes en otras intervenciones y la profundidad de la zona, las labores se dificultan debido al empeoramiento de las condiciones ambientales en profundidad. La presencia de contaminantes por descomposición de materia orgánica y contaminación externa debido a la implantación de un vertedero cercano hacen necesario un análisis más detallado que los hechos previamente en las intervenciones del ICPy en otros yacimientos, al igual que los efectos sobre la salud de los trabajadores y sus condiciones de trabajo. Debido a la falta de investigación en las adaptaciones de puestos de trabajo y evaluación/prevención de riesgos en las labores de la paleontología se ve necesario evaluar los riesgos de las intervenciones en la Sima de la Ruda y que medidas se deben realizar para garantizar la seguridad de los trabajadores durante el desempeño de sus obligaciones.

A nivel legal, esta intervención está amparada por la LPRL. Los artículos 3 donde implica la necesidad de las fuerzas de seguridad del estado: policía, servicios de protección civil y peritaje forense, fuerzas armadas. No implica que intervengan en caso de emergencia de las labores en galerías. Se precisa en la normativa 89/391/CEE donde se requiere que intervengan estas figuras ante circunstancias de gravedad y especial magnitud, como son los accidentes en galerías. Para mayor precisión se encuentra el Recurso Preventivo en el Real Decreto 39/97 sobre el Reglamento de Servicios de Prevención: cuando los riesgos pueden ser agravados o modificados por el progreso de la actividad, en casos de: caídas desde alturas, sepultamientos, espacios confinados y trabajos con riesgos de ahogamientos por inmersión.

3 Objetivos

Objetivos generales

- Evaluar los riesgos presentes en las intervenciones de la cavidad.
- Analizar los riesgos presentes en la intervención del Forat de la Ruda.

- Adaptar los protocolos de trabajo en espacios confinados al caso de la sima. Con miras a la eficiencia y seguridad del trabajador.
- Estudiar los riesgos y encontrar posibles soluciones de la atmósfera tóxico/inflamable de la sima.
- Realizar una propuesta de protocolos de prevención y seguridad para las intervenciones en los yacimientos de la galería.

Objetivos específicos

- Clasificar la peligrosidad de las labores en los yacimientos de la galería y el tipo de espacio confinado en el que se trabaja.
- Informar sobre los protocolos sanitarios y adaptaciones ergonómicas para los trabajadores.
- Plantear una propuesta de intervención desde la prevención de riesgos.
- Crear una aproximación hacia las medidas necesarias para evitar y prevenir los riesgos psicosociales en estas intervenciones.
- Valorar y clasificar el uso de EPIs en las intervenciones paleontológicas en cuevas.
- Categorizar los riesgos analizados en los cuatro grandes grupos de riesgos en el ámbito de la prevención-evaluación de riesgos laborales.
- Diferenciar entre riesgos específicos de la galería y generales comunes con otras intervenciones.
- Analizar y optimizar las instalaciones utilizadas en este tipo de intervenciones, con miras a la seguridad de los trabajadores.

4 Materiales y métodos

La investigación se realiza mediante la consulta bibliográfica de las condiciones de la galería, junto con las observaciones tomadas en la cavidad por el tutor Manel Llenas. Para la búsqueda de artículos, se realizaron búsquedas sistemáticas con palabras clave de interés. Con el uso del gestor bibliográfico Google scholar, consultando las bases de datos Scopus WebofScience, Elsevier, BOE y el catálogo del INSST. El principal contenido encontrado son

normativa y guías técnicas, junto a artículos, pero se encontraron capítulos de libros, publicaciones de congresos. Las palabras clave utilizadas fueron “espacios confinados” y normativa

Para el estudio de los riesgos en espacios confinados se utiliza la NTP 223, al igual que los cuestionarios del mismo organismo para la evaluación y prevención de riesgos en espacios confinados, que van a definir los protocolos de seguridad. Puede haber riesgo de muerte por desangramiento o negligencias del estado de salud de los trabajadores/as. Es fundamental un proceso formativo en los operarios para evitar ellos estos riesgos y reconocer las deficiencias de las instalaciones. Se realiza una evaluación de riesgos comunes/generales en este tipo de recintos y los específicos de la galería. A lo previo se añade el análisis de los lugares de trabajo de cada puesto y la propuesta de protocolos de seguridad y prevención para evitar estos riesgos y accidentes laborales.

Métodos de excavación

El material fósil se encuentra mediante las metodologías de prospección. Tras pedir permisos a las figuras patrimoniales y académicas, se procede al reconocimiento visual de las zonas de trabajo, (en este caso las galerías de la sima). Tras la recuperación del material suelto sin remoción de tierra, se debe volver a pedir permisos a las instituciones patrimoniales para proceder a la remoción del material de la tierra.

En la remoción de sedimento los fósiles se exponen a condiciones atmosféricas. Esto hace que el resto comience a degradarse y se fragmente si no se le da tratamiento. Se usa consolidante de acetona 5-10% con perlas de Paraloid B72. Este consolidante es menos inmediato, pero permite que las perlas de paraloid penetren la porosidad de los fósiles, al disolverse en acetona. Cuando se evapora la acetona el pegamento se adapta a la porosidad y permite la fijación de las piezas. Esta fijación se puede remover en el laboratorio con facilidad. Otros pegamentos como UHU Hart con 50% acetona no permiten que se retiren en el trabajo de laboratorio.

En el caso de los restos del Garraf, tras endurecer las piezas con consolidante, se les deja una peana de 3 cm de sedimento debajo del resto. Esto permite que tengan un soporte natural que les protege en el transporte y proteger la parte no expuesta. Se envuelve en papel albal o burbujas si es material muy frágil. Si el tamaño es portable (hasta 15 cm) se incluye en la mochila de transporte de material de cada excavador. El fósil se introduce en una caja de plástico que a su vez es envuelta en papel film.

Si es de mayor tamaño se debe incluir el resto en una momia, con el mismo procedimiento de dejar una superficie inferior de sedimento. Después de delimitar el fósil de la matriz se envuelve con resina epoxy y acrílica para dejar una capa de 3 cm de protección. El yeso también puede ser un material de aislamiento y protección de los fósiles. Que suma la falta de productos tóxicos en su fragua. El hueso antes de taparlo se envuelve en gasas empapadas en consolidante o yeso para su posterior extracción en el laboratorio. Y luego se procede al transporte por la galería.

En el caso de que los operarios sean capaces de transportar el bloque se hace a través de la instalación, si fuera necesario se pueden instalar polipastos, grúas de pequeñas dimensiones, en las zonas verticales de la galería para facilitar el transporte. Los restos irrecuperables son los recristalizados de calcita de gran tamaño, ya que son muy frágiles y se rompen en el transporte aún con las medidas previas de protección. Todos estos procesos se realizan separando la superficie del yacimiento en cuadrículas de 1 o 2 m² para tener un seguimiento estratigráfico de la recogida de material.

Medición y evaluación de la atmósfera interior

Para conocer si las condiciones de trabajo en la atmósfera interior al recinto son adecuadas se debe medir de manera periódica. Primero antes de realizar los trabajos desde una zona exterior al recinto segura, y en su defecto desde zonas controladas en el recinto. Especial mención a los rincones-ámbitos muertos que pueden acumular contaminantes. En el caso del Garraf las zonas planas de la galería se convierten en acumulaciones de materia orgánica durante el funcionamiento de la escorrentía. En caso de zonas muy peligrosas con posibilidad de desarrollar efectos crónicos en el organismo se debe tomar muestras que se analicen en el laboratorio. Los instrumentos pueden ser portátiles o fijos, pero se debe tener en cuenta la posibilidad de que fallen para evitar riesgos mayores.

Siguiendo la NTP 587 de Evaluación de la exposición a agentes químicos: condicionantes analíticos, las mediciones se pueden realizar por captación activa directa, activa por concentración, por difusión, y lectura directa. La captación activa usa muestreadores tipo bomba de pistón de bajo caudal que se fija a la persona durante 2-8 h. Estas bombas varían según el caudal que puedan ejercer en la respiración de la persona. También se pueden realizar mediciones ambientales con estas bombas.

La captación activa directa tiene diferentes métodos: toma muestras de aire, sin tratamiento para tratarla en laboratorio. La muestra se almacena en jeringillas, tubos de toma de muestras o bolsas para su aislamiento. La captación con filtro sirve para captar contaminantes en forma

de aerosol, retenidos por filtro y polvo inhalable torácico o respirable. Necesita un sistema accesorio, para discriminar el polvo a retener. Captación con soluciones absorbentes que con reactivos tomen el gas para analizarlo. Por último, por sólidos adsorbentes como carbón activo y polímeros orgánicos que también captan los gases. Todas las categorías se pueden combinar. La captación puede ser por difusión, siendo un método pasivo que no depende de una bomba, donde se mide el movimiento del gas contaminante por difusión respecto a otro fluido. Se fija el contaminante en el captador y se necesitan de 30 minutos a más de 4 horas para tener una medición fiable.

El método de muestreo también es importante, ya que dará la fiabilidad de los datos. Se debe tener en cuenta el método de muestreo y el periodo de tiempo de exposición. De forma que se deben tomar los datos con un caudal lo más parecido a las condiciones de trabajo y que la bomba no llegue. También se debe conocer si la exposición es puntual o continua al contaminante.

Otro método de medición es la lectura directa. Se realiza con detectores o analizadores de contaminantes en la atmósfera. Teniendo medidores específicos o polivalentes; de precisión u orientativos; fijos o portátiles; medición continua o discontinua y autónomos o no. Teniendo los siguientes tipos: instrumentos clorimétricos, que dependen de bombas manuales y monitores específicos. Estos últimos tienen se utilizan para gases y vapores, se clasifican en cuatro categorías: eléctricos que miden las propiedades físico-químicas del gas mediante un sensor eléctrico que mide la concentración de gas. Térmicos que detectan las propiedades térmicas de los gases como conductividad o temperatura de combustión (un tipo son los explosímetros). Electromagnéticos midiendo la radiación UV, VIS e IR, siendo la IR para conocer el dióxido de carbono. Quimoelectromagnéticos midiendo la reacción química y electromagnética.

Debido a que los contaminantes se encuentran en estado gaseoso y las dificultades de transporte de bombas, se utilizan monitores de gases y vapores eléctricos para medir el monóxido de carbono. El oxígeno y metano se miden con explosímetros que son medidores térmicos para conocer las concentraciones de estos gases. Las concentraciones límite son las siguientes:

Oxígeno

La medida no debe ser inferior al 19,5%. Para trabajar durante horas seguidas a concentraciones de oxígeno por debajo del 19,5%, se debe realizar un aporte de oxígeno adicional.

Atmósferas explosivas o inflamables

Se llevan a cabo con explosímetros, (que llevan incorporados sistemas de medición de niveles de oxígeno), se calibran respecto a una sustancia inflamable de referencia (patrón), con gráficas de fabricante que permiten interpretar los datos de concentración si son tolerables o no. Estos instrumentos deben tener avisadores visuales-acústicos cuando se alcanzan los límites de inflamabilidad a concentraciones de 10, 20-25%, cuando se supera el 5% las mediciones se realizan periódicamente. Cuando las tareas se realizan en el exterior de la atmósfera inflamable se debe vigilar los focos de ignición en las proximidades de la boca del recinto

Atmósferas tóxicas

Para ello se usan detectores específicos, dependiendo del gas-vapor esperable en el entorno de trabajo, los más comunes son las bombas manuales de captación con tubos colorimétricos, para evitar riesgos se usan mascarillas buconasales en trabajos de corta duración para contaminantes detectables con el olfato y a concentraciones muy bajas.

Aislamiento del espacio confinado frente a riesgos diversos

Se necesita que los espacios confinados estén aislados y bloqueados ante 2 riesgos:

1. Suministro energético intempestivo al usarse para el funcionamiento de elementos mecánicos o la puesta en tensión eléctrica.
2. Aporte de sustancias contaminantes por pérdidas o fugas en condiciones, tuberías conectadas al recinto de trabajo.

Desgraciadamente en el caso de la sima, no se pueden aislar los contaminantes. Presenta un aporte continuo de materia orgánica y gases nocivos del vertedero en sus inmediaciones. Al igual que el funcionamiento de la escorrentía en la galería provoca la acumulación de materia orgánica en las superficies con capacidad de acumularlas. Al igual que el riesgo de suministro energético es desestimable, ya que las intervenciones durarán poco tiempo (una quincena) y se trabaja con equipos de iluminación portátiles.



5 Resultados y discusión

5.1 Evaluación de riesgos

Dentro de espacios confinados se diferencian dos categorías: abiertos por su parte superior y de profundidad que dificulta su ventilación natural (pozos, depósitos abiertos, fosos de engrase de vehículos y cubas) y cerrados con una pequeña abertura de salida y entrada (reactores, tanques de almacenamiento, túneles alcantarillas y cuevas). Los riesgos que conllevan a su vez se clasifican en. Siguiendo el análisis de factores previo y la caracterización de riesgos en espacios confinados del INSST (2024) Riesgos que aplican a los trabajos de intervención en La Sima de la Ruda:

Tabla 1. Riesgos identificados en las intervenciones de la sima de la Ruda.

Riesgos generales	
Seguridad	
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamientos, choques y golpes con la infraestructura y maquinaria • Zonas cortantes y estrechamientos en la galería
Electrocución	<ul style="list-style-type: none"> • Por fallos en los sistemas de iluminación que llevan los operarios.
Caídas	<ul style="list-style-type: none"> • A distinto nivel: resbalamientos y zonas de desnivel sin señalizar
Caída de objetos	<ul style="list-style-type: none"> • La caída de partes de la instalación por el cambio de condiciones en la galería • Caída de material fósil durante el transporte.
Físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Asociados al ambiente desfavorable: alta o baja temperatura dependiendo de la parte de la galería y alta humedad (que provocan desajustes de temperatura y mucha sudoración); • Falta de iluminación (nula): lo cual dificulta las labores de progresión y transporte/recuperación de material. • Ruido y vibraciones se amplifican en el entorno cerrado afectando al sentido de orientación de los trabajadores.
Ergonómicos	
Posturales	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones posturales y músculo esqueléticas, asociados al espacio limitado durante la recuperación del material • Exposición prolongada a posturas en suspensión. • Transporte por estrechamientos y transporte de material.
Higiénicos	
Desarrollados en riesgos específicos	
Psicosociales	
Mentales	<ul style="list-style-type: none"> • Al trabajar en un ambiente hostil los operarios van a sufrir carga física y mental • Asociados a comunicaciones: la comunicación con el exterior se limita a la línea de teléfono de emergencias con el encargado de custodiar la entrada. También conlleva un

	esfuerzo mental.
Horarios	Es necesaria una buena planificación para evitar trabajar fuera de los horarios normales que puede causar desajustes biológicos y mirar por las necesidades de todo el equipo tanto en el tema de la comida como en el de la seguridad.
Dietas	La alimentación para la actividad bajo tierra durante un solo día no precisa de grandes medidas extraordinarias y se puede pasar con agua y bocatas. Es aconsejable pero disponer de azúcares rápidos como golosinas y chocolate, para evitar posibles bajones energéticos. La hidratación tiene que ser adecuada, sobre todo si el trayecto hasta el yacimiento es largo y exigente físicamente, dado que el elevado grado de humedad provoca una falsa sensación de hidratación e inhibe la sensación de sed.
Riesgos específicos	
Seguridad	
Asfixia	En condiciones normales y exteriores la atmósfera contiene un 21% de oxígeno al reducirse se da el riesgo por asfixia al darse una falta de oxígeno en la sangre del cuerpo o introducir otros gases al organismo. Los síntomas por falta de O ₂ pueden aparecer desde concentraciones por debajo del 19,5%. Síntomas de dificultad de coordinación muscular, aceleración del ritmo respiratorio, pérdida del conocimiento (17%), vértigo dolores de cabeza, disnea y pérdida

	<p>de conciencia (12-16%) y náuseas pérdida de conciencia seguida de muerte 6-8 min (6-10%). Causas más comunes</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Consumo de oxígeno, por la fermentación de materia orgánica, trabajos de soldadura, absorción por lechos filtrantes de carbono activo húmedo (en trabajos de filtraciones), oxidación de metal. ● Desplazamiento del oxígeno hacia arriba por acumulación de dióxido de carbono (CO_2), debido a ser más denso, producido por la fermentación orgánica, desprendimiento de metano (CH_4) aportes de gases inertes en limpieza de residuos. ● Asociadas a atrapamientos al sedimento, por derrumbes en la galería, dando un enterramiento y asfixia.
Incendio-explosión	<p>En recintos confinados son susceptibles de crear atmósferas inflamables, debido a la evaporación de disolventes inflamables, reacciones químicas, movimiento de productos inflamables (pienso). Un espacio confinado es muy peligroso cuando existe concentraciones de estas sustancias por encima del 25% del límite inferior de inflamabilidad. Causas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Atmósfera inflamable con varios puntos de ignición, por desprendimiento de productos inflamables absorbidos por superficies, vapores asociados a pinturas, asociados a gasolina, reacciones químicas que den productos inflamables (ácido sulfúrico-hierro dando hidrógeno o carburo cárlico-agua da acetileno), descargas eléctricas y asociados con combustible. Se puede dar como resultado de los productos de la descomposición de materia orgánica en las zonas planas de la galería (los yacimientos) ● Sustancias combustibles o atmósfera inflamable de focos de ignición diversos y aumento de concentración de O_2

	<p>asociados a mejora de calidad de aire o bombeo de líquidos. En el caso de los químicos utilizados en las labores de recuperación del material fósil.</p>
Intoxicación	<p>A determinadas concentraciones componentes químicos resultan tóxicos y producen enfermedades en operarios, en cualquiera de sus estados, pero con mayor ocurrencia en gas/vapor y polvo fino en suspensión. Pueden aparecer en la atmósfera debido al trabajo con contaminantes o por las labores de trabajo. Si la exposición es prolongada, la concentración es alta pueden dar riesgo de enfermedad profesional. De las más estudiadas son CO₂, SH₂, Cl₂ y NH₃, todavía queda trabajo para conocer los efectos de otras sustancias en el organismo humano. Las causas en la sima pueden ser son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Asociados a reacciones químicas que generan gases, muy frecuente por sulfídrico, en reacciones con materia orgánica, metales y liberación de gas cloro. ● Presencia de monóxido de carbono, ● asociados a soldadura: en los momentos de recuperación de grandes momias fósiles ● Al usar disolventes orgánicos ● asociados a residuos: debidos a la descomposición de la materia orgánica acumulada en la galería
Higiénicos	
Físicos	<p>Asociados al ambiente desfavorable,</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Alta o baja temperatura dependiendo de la parte de la galería y alta humedad (que provocan desajustes de temperatura y mucha sudoración).

	<ul style="list-style-type: none"> ● falta de iluminación (nula) que provoca dificultades en las labores. ● ruido y vibraciones se amplifican en el entorno cerrado afectando al sentido de orientación de los trabajadores. ● La acumulación de sedimentos terrígenos procedentes del exterior o de las impurezas de la roca, se acumulan en las depresiones de la cavidad en forma de arcilla. Estos sedimentos se adhieren a los EPIs y pueden aumentar significativamente el peso de los trabajadores dificultando la marcha. ● Se adhieren a la ropa y el calzado
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ● asociados a la descomposición de la materia orgánica y a los posibles gases procedentes del vertedero del Garraf. ● Espeleotemas de la galería: se compone de precipitados de carbonato cálcico y dolomita. Los carbonatos disueltos por la acción del agua al infiltrarse por el macizo, precipitan al interceptar la galería creando las conocidas formaciones de las cavernas o espeleotemas. Pueden sellar grandes espacios dentro de la cavidad, de manera que pueden dificultar la progresión y transporte de material a través de las galerías.
Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ● debido a la presencia de microorganismos, insectos y mamíferos. Sus residuos, junto con el de sus cuerpos se descomponen dando de la materia orgánica y metano. <ul style="list-style-type: none"> ○ Los animales más comunes en el macizo del Garraf son: escorpiones, víboras y garrapatas asociadas al ganado y jabalís.

	<ul style="list-style-type: none">• la escorrentía permite el transporte de materiales a la sima. Se ha comentado en los riesgos previos, pero al asociarse a material biológico entra en esta clasificación.
--	---

En el caso de una excavación, (objetivo del presente trabajo), en la que para realizar la actividad se entra y sale cada día de la cavidad. Los miembros del ICPy valoran la dificultad y necesidades de la intervención midiendo el grado de dificultad. Este es un parámetro cualitativo. Depende de las características de la cavidad. Determina el número de personas que pueden entrar y si requieren experiencia previa o no. En el caso que estudiamos, al ser una cavidad vertical se requiere conocimientos básicos (técnicas de progresión vertical).

El grado de dificultad, proviene de los siguientes riesgos:

Topografía:

La topografía de una cavidad se encuentra asociada a una ficha técnica de instalación y dificultades, que nos va a indicar el material necesario para equipar la cavidad (mosquetones, cuerdas y longitud). Se debe investigar la calidad de la instalación existente y renovar la instalación de anclajes antes de poner cuerda en ellos si es necesario.

Propios de la cavidad:

- 1) Profundidad: hay que medir la cantidad de cuerda a necesitar para acceder y salir.
- 2) Tipo de acceso si es estrecho o no y cuantos tramos estrechos hay en la cavidad.
- 3) Tipo de tramos: amplios o estrechos y en qué sectores se ubican en la zona de trabajo.
- 4) Tipo de galería: vertical o no (horizontal): Este último es determinante para la dificultad y la cantidad de gente con experiencia, a más complicado menos gente puede participar ya que se necesita más experiencia y formada en técnicas de progresión vertical.

Meteorología:

En el trabajo en cuevas, se debe estudiar antes cómo se comporta el nivel freático y la escorrentía superficial, para evitar incidentes con el agua. En el caso del Garraf el nivel freático no se encuentra cerca de la superficie, (desde los 100 m). Motivo por el cual a menos que la excavación se realice a mucha profundidad, se puede desestimar esta variable. Pero si puede afectar la meteorología por escorrentía superficial, de manera que los pozos vuelvan a funcionar y ser activos en episodios de fuertes lluvias. Esto no sólo puede llevar a problemas de seguridad de los paleontólogos durante la progresión vertical por la cuerda. Puede acarrear problemas de conservación de las cuadrículas de la excavación. De ser así, podemos intentar canalizar el agua mediante regueros que puedan evitar que se inunden las cuadrículas de trabajo.

Informarse bien de la meteorología para evitar lluvias fuertes dentro y luego el transporte en coches, hay que renunciar con lluvias fuertes principalmente. Todos los materiales de papel se deben plastificar para evitar deterioro y conservar en buen estado, como la topografía. Las anotaciones sobre esta, se realizaran en bolígrafo indeleble para que no se borre por humedad en el papel plastificado.

De los riesgos generales (no dependientes de la atmósfera), caben destacar:

Riesgos de seguridad: que afectan a la integridad física de los trabajadores

- Mecánicos: asociados a atrapamientos en tramos estrechos, choques con la galería o rocas sueltas, golpes con la instalación, durante la progresión y manipulación de material y fragmentos de rocas en la galería contra los que choquen los operarios.
- Caídas: al mismo o distinto nivel durante el acceso y salidas. La pared de la galería, presenta unas condiciones desfavorables, debido a la topografía ya que son tramos principalmente verticales (Fig. 1C). Las condiciones de humedad y recristalizaciones de carbonato aumentan la probabilidad de caídas. Los obstáculos son frecuentes con rocas y bloques que dificultan los desplazamientos y el transporte de material. Durante la recuperación de material y resbalones.

- Riesgo de caída de objetos: caída de fragmentos de la galería, el colapso de la galería si se trata de tramos inestables o durante los transportes de material o de los operarios. Caída del material transportado por la instalación si no se realiza correctamente o se subestima el peso de los paquetes fósiles.
- Riesgo de asfixia: durante la inmersión al inundarse la zona de trabajo, o debido a la licuefacción de los sedimentos de la cueva cuando se ha saturado en aguas freáticas. Los operarios pueden quedar atrapados en las zonas planas u oblicuas de la galería. Estas zonas son susceptibles de acumular el sedimento.

Ergonómicos: se pueden diferenciar:

- Durante la progresión: debido al desplazamiento en la progresión vertical. Los operarios realizan posturas con giros y movimientos a los que (a pesar del adiestramiento) no son posturas naturales del cuerpo.
- Durante las labores de recuperación de material (excavación): el espacio de los yacimientos es limitado. Las posturas necesarias para trabajar durante la extracción de los restos, el espacio es reducido y se debe acomodar el cuerpo a la forma del depósito para recuperar los restos fósiles.

Riesgos psicosociales: se pueden dividir en los siguientes tipos:

- Aspectos del diseño de organización: los turnos de trabajo serían una jornada completa, de 09-11.00 con descanso para bocadillo dentro de la galería. De 11.30 a 13.00 para salir de la galería a comer y estar en condiciones normales. Volver a la galería a las 14.00-18.00 y volver al exterior sobre las 18.30. De esta forma se evita el desajuste de los ciclos biológicos.
 - Dietas: agua y bocatas son suficientes para el descanso a media mañana. Pero se ha de tener disponible azúcares rápidos (golosinas y chocolate), para evitar posibles bajones energéticos. La hidratación debe ser frecuente para

paliar los desplazamientos, físicamente exigentes. Se suma el elevado grado de humedad, provoca una falsa sensación de hidratación e inhibe la sensación de sed, con lo que las tomas de agua deben ser periódicas.

- Dirección y mandos: la responsabilidad legal recae sobre el director/a del ICPo en caso de que la afiliación del trabajador/a sea con esta institución, con responsable intermedio el director/a del grupo de excavación, mediante las licencias federativas de la FCE o FEEC, se cubren incidencias que puedan suceder durante la intervención que no sean imprudencias por temeridad de los usuarios de la excavación. Es necesario que ambos conozcan y puedan realizar protocolos de seguridad y salud de primeros auxilios. El líder debe controlar el estado mental y físico de los operarios. El ritmo de progresión debe adaptarse a las necesidades de todo el grupo.
- Entorno: Las galerías son un medio hostil, falta de luz, bajas temperaturas bajas y alta humedad. Hace mella en el estado físico y mental de los operarios. Esto obliga a darse un periodo de adaptación que puede provocar ansiedad y otros trastornos mentales/emocionales.
- Daños: asociados a la actividad, el ambiente hostil y el efecto de los anteriores riesgos sobre los trabajadores. Estos provocan daños físicos y psicológicos en los trabajadores.
- Físicos:
 - Agotamiento: Puede aparecer tras las labores de desplazamiento durante la entrada y salida de la cavidad. Si no se gestiona correctamente los esfuerzos puede llevar a este estado. Los operarios en este estado presentan: cansancio, piel fría y pálida, aumento de la frecuencia respiratoria, alteración del humor y falta de coordinación. Favorece la patología conocida como hipotermia.

- Hipotermia: se produce por la pérdida de calor del cuerpo, perdiendo la capacidad de termorregulación. Dado a consecuencia del agotamiento de las reservas energéticas. La fatiga y falta de abrigo favorecen esta patología. Consideramos que entramos en hipotermia cuando la temperatura del cuerpo cae por debajo de los 35°C. Los síntomas que aparecen al afectado son que tiene la piel fría y pálida, que tiritar y que se acurrucar dejando de moverse y se abandona al frío.
 - Esta patología se trata poniendo ropa, dándole de beber líquidos calientes al afectado y construir un punto caliente con mantas y velas para ponerlo dentro hasta que se recupere.
- Hipertermia: contraria a la hipotermia. Debido a un ejercicio continuado y el exceso de abrigo, el cuerpo se sobrecalienta. Provoca la pérdida de líquidos y no se puede refrigerar el cuerpo. Se considera hipertermia con una temperatura corporal por encima de 41°C. Los síntomas que manifiesta el afectado son desorientación, agresividad, cansancio, taquicardias, mareo y vómito
 - Esta patología se trata poniendo al afectado en un lugar fresco, dándole de beber agua, quitándole la ropa y mojando la piel.
- Mentales:

Al ser un espacio confinado de gran profundidad y con las condiciones desfavorables comentadas en los anteriores epígrafes. La carga mental que supone puede derivarse en las siguientes patologías:

- La claustrofobia por encontrarnos en un espacio confinado, puede darse en algunos operarios. Todo ello puede dificultar la progresión en la cueva y la jornada. Los síntomas que presentan son: sensación de atrapamiento, elevación de niveles de ansiedad.
- Vértigo: en casos de sobreesfuerzo, el estrés puede desencadenar la sensación de desorientación y miedo a la altura.

- Ansiedad: a consecuencia de las condiciones desfavorables y la falta de adaptabilidad al medio. Presenta síntomas de: dolor de pecho, aumento del ritmo respiratorio y cardiaco, dificultad de respiración y desajuste emocional.

Riesgos específicos: asociados con la atmósfera, en este caso con déficit de oxígeno, pero se clasifican en riesgos higiénicos:

- Riesgo de asfixia: es considerable, ya que disminuye el oxígeno progresivamente en profundidad, desde 21 % en la entrada de la galería, hasta un 17% hasta los 80 m. Aumenta en los 80 y 110 m con 18-15% de O₂ 1.1-2.4% de CO₂ y en los 110 a 200 m unas concentraciones inferiores al 15% de O₂ y superiores al 2.5% de CO₂. Considerando el valor de riesgo desde los 19.5% de concentración de O₂.
 - Desplazamiento de gases: la asfixia se da por el desplazamiento de las partículas de oxígeno. Se mueven por otros gases debido a su menor peso. En el caso de la sima, las aguas ricas en carbonato desprenden sus iones carbono según se desplazan (obtenido por la disolución de las calizas Jurásicas). También el pisado y removido del sedimento hace que afloren bolsas de aire confinado en estas. En el caso de las zonas más profundas, la descomposición de materia orgánica también genera metano que desplaza el oxígeno.
- Riesgo de incendio explosión: asociado a la descomposición de la materia vegetal, dando mediciones de metano en la zona de entre 31 a 100 % LEL, hasta 135 m. Hasta 20% LEL a 120 m en las zonas más cercanas al vertedero (2 km de distancia con la galería). Se considera un riesgo realista, según Domingo Milà et al. (2020). Que se deberá estudiar cuando se trabaje en las zonas más profundas. Las medidas más apropiadas son limitar el uso de los sistemas eléctricos y utilizar EPIs con reducción de carga estática (para no crear puntos de ignición).
- Riesgo de intoxicación: los contaminantes que pueden dar esta son el CH₄ y el CO, no se ha medido con precisión en la zona menos profunda desde 2020, pero es

conveniente realizar medidas antes de realizar la campaña. Cuando se trabaje debajo de los 120 m se deberán estudiar los valores límites ambientales de exposición diaria y corta para limitar el tiempo de trabajo en estas profundidades.

- Corrientes de aire: el viento en la galería puede ser un factor desfavorable, ya que provoca cambios en la temperatura de los operarios. Durante el movimiento puede ser perjudicial si transporta mucha humedad y el aire es más cálido. En cambio en las paradas y durante las operaciones si el aire es frío puede generar desajustes de temperatura y en los procesos biológicos de los operarios.

Debido al análisis de riesgos previos, este espacio confinado se clasifica como Clase B según NIOSH y Altube Basterretxea (2015), ya que no hay un riesgo inmediato en la salud y vida de los operarios. Si no se ponen las medidas pertinentes en los lugares de trabajo los trabajadores sufrirán daños y surgirán enfermedades. A su vez se requiere una autorización para entrar al recinto, con lo que el espacio se denomina de primera categoría y requiere un plan de trabajo.



5.2 Descripción de la Sima de la Ruda

El efecto de la excavación puede alterar los sistemas naturales, principalmente las que se realizan al aire libre y requieren de maquinaria pesada. En excavaciones en cuevas, el impacto es más pequeño siempre que se respeten al máximo los espeleotemas y se recuperen los residuos. También puede afectar la vida de la fauna cavernícola.

En el caso del Garraf nos encontramos con una cavidad de 194 m de profundidad, donde se separan en dos tramos de cien metros, los primeros 100 m se desarrolla un karst a favor de las fracturas de los carbonatos jurásicos, (40/70° NW y desde los 15 m 20/40°), el modelado de la galería se da en forma de coladas de recristalización de carbonato cálcico. De 100 a 200 m se observa una actividad de los cursos fluviales, y recristalizaciones más complejas de espeleotemas, junto a condiciones atmosféricas de bajo oxígeno (Fig. 1C). Los procesos kársticos se han producido en tres episodios: el primero durante el Neógeno, el segundo Plio-Cuaternario (donde se llegó a la profundidad de 194 metros) y tercero Cuaternario, donde se dió la mayoría de acumulaciones de fauna (Victòria, 2013).

Cerca de la cavidad , se abrió un vertedero en el año 1974 conocido con el nombre de “Abocador del Garraf”. Se trata de uno de los vertederos más grandes de Europa y estuvo activo durante 32 años, desde 1974 hasta 2006, durante los cuales se estima que se acumularon unos 27 millones de toneladas de basuras. El emplazamiento del vertedero, sin ninguna impermeabilización previa en un macizo calcáreo con infinidad de simas, se ha demostrado con el tiempo que fue el sitio escogido más desfavorable posible. Esto ha provocado por un lado infiltraciones por lixiviado dentro del acuífero del Karst del Garraf. Este fenómeno ha sido estudiado por Domingo Milà et al. (2020), ya que contaminó las aguas freáticas que salen por la surgencia de la Falconera a nivel del mar. Por otro lado ha provocado la concentración de altos niveles de diferentes gases que ha afectado a las cavidades cercanas al vertedero. A la presencia de CO₂ existente en las cavidades con poca ventilación, procedente de la descomposición de la materia orgánica vegetal del bosque que se acumula en este complejo geológico, en el macizo del Garraf ahora se suman otros gases como el metano, procedentes de la descomposición de los residuos del vertedero. En este entorno se hace indispensable el uso de medidores de gases para comprobar la proporción de O₂ y CO₂, y en cavidades cercanas al vertedero es necesario usar aparatos que miden otros gases. También dota a esta atmósfera interior de propiedades explosivas. Desgraciadamente la atmósfera interna que durante el 2008 era hipóxica a fecha del trabajo de Milà et al. (2020) era anóxica hasta la entrada de la cavidad de la Ruda, con lo que con el paso del tiempo el peligro será mayor.

En la Sima de la Ruda, a 170 m de profundidad se llegaba a 10,5% de O₂ en 2018 y solo un 3% de concentración de CO₂ (Yzaguirre y Bifet, 2014) por lo que el resto se trata de Nitrógeno (alrededor del 85%) y de otros gases, principalmente metano procedente del vertedero. La disminución del oxígeno es progresiva desde 21 % en la entrada de la sima. Una medida tomada en febrero de 2025 a la cota -54 m donde se encontraron los primeros restos paleontológicos, dió una concentración del 19,7% en O₂ y 16.000 partes por millón (ppm) en CO₂ (1.6 % en CO₂). A la profundidad de -80 m donde se encontró el esqueleto entero de *Felis silvestris*, los mecheros dejaban de funcionar ya por falta de oxígeno con una concentración alrededor del 17%.

Por el momento no se han realizado procedimientos de excavación, solo de recuperación de material suelto en superficie (esqueleto entero de *Felis silvestris*), por lo que la cavidad no ha sufrido ninguna alteración humana directa en este sentido. Solo se ha visto alterada por los agujeros realizados en la roca para poder poner los anclajes que permiten instalar las cuerdas de progresión vertical.

5.3 Elementos y lugares de trabajo

Para evitar y prevenir los riesgos asociados, se deben analizar los procedimientos realizados durante el proceso de excavación. Las intervenciones en cuevas, requieren instalar una infraestructura para la seguridad de los miembros y el procesado de material. En espeleología la seguridad tiene que ser extrema, dado el riesgo que implica el aislamiento en caso de accidente.

Se tiene que tener en cuenta que la exploración de una nueva cavidad por parte de un grupo de espeleólogos, puede tener una duración de varios días sin salir de la cavidad y a muchos metros de profundidad o muchos kilómetros de distancia de la entrada. Con lo que se ve necesario analizar los puestos de trabajo, las instalaciones y EPIs de trabajo necesarios para excavaciones en cuevas

Para ello el conjunto de operarios en cavidad debe ser mínimo de 4 personas. Dado que en caso de accidente, para salir de la cavidad para avisar, en caso de no disponer de otro tipo de comunicación. Tienen que ir dos personas para asegurarse de que si le pasa algo a uno durante la salida no vaya solo. En el fondo de la galería siempre se tiene que quedar alguien con un herido para que no esté solo (situación psicológicamente desfavorable).

Director

Es la persona encargada de liderar la progresión de la excavación. Debe ser la persona con más experiencia. Valorará la durabilidad de la instalación realizando los cambios necesarios para fomentar la seguridad de la progresión. También debe evaluar el estado de salud de los trabajadores y realizar las instalaciones oportunas transportando el material a la zona de trabajo.

Es importante que el líder de la expedición tenga experiencia en el medio subterráneo. Es recomendable que la formación incluya conocimientos de primeros auxilios, debido al factor aislamiento que conlleva trabajar en el subsuelo, donde las comunicaciones y tecnología no funcionan (por falta de cobertura). La formación en primeros auxilios permite intervenir antes de la llegada de los cuerpos sanitarios y de seguridad, de manera que puede disminuir la gravedad de las lesiones cuando se dan dentro de la cavidad. Dado que comunicarse rápidamente con el exterior es complicado, dado que la salida de esta puede no ser inmediata

, se puede paliar con cables telefónicos, un repetidor y terminales en la entrada y la zona de trabajo en la cueva. Esto da acceso a llamadas desde abajo a arriba o a emergencias.

La figura del director de grupo, es la persona que lleva la logística, abre camino durante la progresión en la cueva instalando anclajes de forma segura y evitando los tramos y puntos donde la cuerda roce en rocas cortantes. Estudia que la instalación esté en buenas condiciones, debe ser la persona más formada del grupo.

Responsable de seguimiento paleo-estratigráfico

Trabajador especializado en geología-paleontología. Que se encargará de medir y evaluar las características de los depósitos donde se encuentran los fósiles al igual que el contenido paleontológico que se encuentra. También es necesario que tenga experiencia en técnicas de progresión y transporte de material.

Excavadores

Se encargan de ayudar en el trabajo de recuperación de fósiles al director y el responsable. Suelen tener menor formación que los otros puestos, con lo que el transporte de material se realizará si tienen la experiencia suficiente. Deben seguir las indicaciones del director y responsable, comunicar su estado de salud y ayudar en las tareas de instalación de cuadrículas y recuperación del material fósil.

Supervisor de entrada

Es la persona encargada de controlar la situación desde la entrada de la galería. Se encarga de tener operativa la instalación de comunicación con el equipo de excavación y mantener conversaciones periódicas para comprobar su estado. Controla el equipo de respiración semiautomático y su buen uso, al igual que la instalación eléctrica. También se comunica con las autoridades en caso de que haya que realizar un rescate o necesidad de asistencia sanitaria. También ha de verificar si la galería cumple las condiciones adecuadas que garanticen la seguridad del equipo y estipuladas en el permiso de excavación.

Para evitar los riesgos en trabajos verticales en cavidades se tiene que adaptar la normativa existente para trabajos verticales en el exterior. La normativa diferencia tres puntos diferentes:

1. Los elementos EPIs (Equipos de protección individual) que son los elementos de protección para el cuerpo (Casco, guantes, botas y algunas vestimentas). Son regulados por Resolución de 25 de abril de 1996, INSSST (2022).
2. Los elementos según la normativa EN 12841: que incluye los aparatos de progresión vertical de ascenso y descenso.
3. Los elementos según la normativa EN-795 que se tiene que seguir para el montaje de andamios, tipos de anclajes y líneas de vida para desplazarse en altura y progresar.

En una excavación en una cavidad difícilmente podremos montar andamios parecidos a los de los trabajos verticales en el exterior. Tampoco los aparatos de progresión, tanto el arnés como los propios aparatos de progresión vertical, serán los que se utilizan en trabajos verticales. En trabajos en cuevas, la progresión se realizará principalmente por cuerda, utilizando los aparatos de progresión y las técnicas de la espeleología.

utilizando los aparatos de progresión y las técnicas de la espeleología.

Las instalaciones en las cavidades son necesario que sean cómodas para reducir gastos de energía innecesaria en el personal. Siempre que sea posible es bueno poner las instalaciones en sitios donde se puedan apoyar los pies en la pared y así no quedar colgado al vacío. Siempre que la cuerda pueda rozar en los salientes, será necesario clavar un anclaje para que no roce o también puede servir desviar la cuerda desde la pared contraria, sió está muy apartada, con un desviador. La bajada ha de ser limpia sin roces. En cada punto donde la cuerda vaya a rozar se tiene que clavar un anclaje en la roca donde se va a atar la cuerda con un mosquetón, cosa que nos va a obligar a hacer un cambio de aparatos durante la progresión por la cuerda en cada roce, (pasos de fraccionamiento). Los pasos deben ser lo más cómodos posibles, porque es el punto de más riesgo. De no ser posible el apoyo de pies en un saliente de la roca para ayudar a realizar esta maniobra, se pueden poner pedales para ayudar a levantarse en el cambio de cuerda.

Antes de poner los anclajes se tiene que analizar las características de la roca donde se realiza la instalación de la cavidad. En función de las características de la roca, se precisará de un tipo u otro de anclajes. Se evitan poner anclajes en lugares donde haya fisuras cerca o bien la roca esté deteriorada.

Durante las excavaciones en cuevas, los operarios deben llevar:

EPIs

- Cascos: Son indispensables para proteger de impactos y desprendimientos de material que pueda caer de sitios topográficamente más altos. Tienen que ser poco pesados y si es posible con luces incorporadas. Siguen la norma UNE-EN 12492:2012
- Guantes: que protegen ante cortes y golpes. Pero deben permitir la movilidad de la mano para la progresión.
- Vestimenta: partiendo de la situación de excavación sin cursos de agua cercanos, la vestimenta debe ser permeable para que permita pasar el sudor y así transpire bien el cuerpo durante la progresión. También debe impedir la pérdida de calor cuando estamos parados durante la excavación, con lo que se recomienda poliéster , rhovyl y polipropileno para la ropa interior y Nylon para el mono exterior. Así pues lo ideal es el uso de un mono de forro polar integral que evita pliegues en la ropa facilitando el paso por la galería con menos esfuerzo y un mono de nylon para disminuir la fricción con las aristas de la roca de la galería. En general la temperatura disminuye en profundidad en las atmósferas confinadas y suele ser bastante constante todo el año. No es lo más normal que una excavación se realice en un lugar con cursos de agua o goteos intensos, pero en este caso el mono externo es recomendable que sea de PVC.

- Calzado: el más aislante en cavidades, donde es frecuente la existencia de barro o charcos de agua, son las botas de caucho, pero se debe asegurar las perneras de los pantalones con una goma para que no entre agua ni sedimento dentro de la bota. Otra opción es el calzado de montaña con escarpines de neopreno en lugar de calcetines que se humedecen con facilidad, pero suele ser menos resistente al sedimento y al agua.

Aparatos de progresión vertical (Normativa EN 12841, Fig. 2) se dividen en:

1. Sistemas de retención (aparatos de ascenso en espeleología): Permiten ascender por una cuerda sin riesgo de caída hasta salir completamente de la vertical o zona de riesgo. Se diferencian:

Bloqueadores:

- Bloqueador de pecho / croll: se trata de un aparato que tiene dientes curvados hacia arriba (semejante a mandíbulas de tiburón). Deja pasar la cuerda en el sentido de ascenso, pero no en el sentido de descenso. La cuerda se traba con los dientes curvados hacia arriba e impide que que vuelva a bajar. Va introducido dentro del maillon y se tensa hacia arriba durante la subida mediante el arnés de pecho.
- Bloqueador de mano/puño: Se trata de un aparato que también tiene dientes curvados hacia arriba a modo de dientes de tiburón, de manera también deja pasar la cuerda en el sentido de ascenso, pero no en el sentido de descenso ya que la cuerda se traba con los dientes curvados hacia arriba e impide que que vuelva a bajar. A diferencia del croll, lleva incorporado una empuñadura que permite cogerlo con la mano para impulsarlo hacia arriba. Va unido al maillon a través de un cabo largo de anclaje y un mosquetón.

Arneses

- Pelviano: Sirve para la progresión vertical y de él cuelgan todos los aparatos de progresión mediante el mallon que les une al arnés.
- Pecho: sólo sirve para enganchar el croll y lo mantiene vertical
- Cabos de anclaje: Suelen haber tres pero se puede progresar solo con dos. El largo va unido al puño y los cortos són para anclarse en las instalaciones. Los mosquetones son de aluminio dado que tienen menos peso, pero también aguantan menos kilos que los de acero. Aún así el margen de kilos que aguantan es muy amplio.

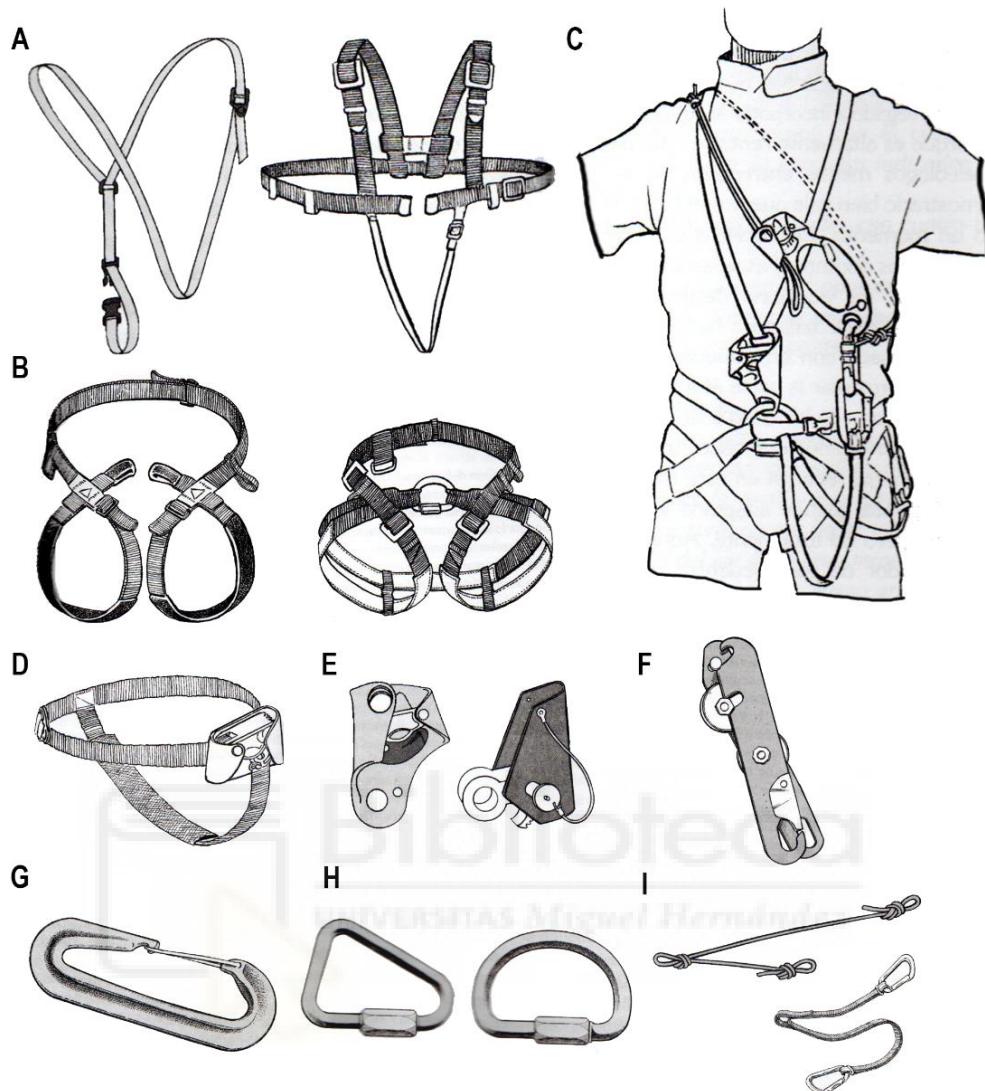


Figura 2. Sistemas de retención y anticaída (modificado de Marbach y Tourte, 2003). A) arneses de pecho. B) arneses de pelvis, C) aspecto del trabajador con toda los EPIS instalados. D) Pantin. E) bloqueador. F) descendedor/dresler. G) mosquetón de freno. H) maillons. I) anclajes y cuerdas.

2. Sistema anticaídas (aparatos de descenso en espeleología): detienen la caída libre.

- Descendedor/dresler: se compone de dos placas de aluminio que llevan incorporadas dos poleas. Puede tener sistema de seguridad-parada (antipánico) en forma de palanca y entonces se llama Stop. Este último es más seguro, puesto que si se suelta

la cuerda con la mano la palanca detiene la caída libre, pero requiere más esfuerzo con la mano que la tiene que apretar para permitir la bajada y ocupa una mano siempre para poder avanzar. Para progresar es más seguro motivo por el cual se usa en las excavaciones en cuevas, pero se tiene que tener en cuenta también que desgasta más las cuerdas.

- Maillon: Se sostiene todo el material de progresión, y lo une con el arnés pelviano.

Sistemas de sujeción-posicionamiento (Normativa EN 795): permite al usuario trabajar asegurado en altura, apoyado, en tensión o suspensión:

- Anclajes: Para instalar las cuerdas en las cavidades verticales o simas, existe una gran variedad de anclajes, pero podemos diferenciar tres grandes grupos; los tacos expansivos, los tacos roscados y los tacos químicos. Los expansivos se mete el espárrago dentro de un agujero donde bien por percusión o bien por ir rosando el anclaje, se expande gracias a una cuña que se encuentra en la punta del espárrago al fondo del agujero, impidiendo que este vuelva a salir de la roca. Los anclajes roscados se trata de un tornillo con rosca que al irlo introduciendo en el agujero de la pared, al ser más pequeño el diámetro del agujero que el del tornillo, va esculpiendo un molde de la rosca en la roca que le impide volver a salir. Finalmente en los anclajes químicos se pone el espárrago en el agujero con un cemento, que suele ser de dos componentes diferentes, y al secarse impide también que este vuelva a salir de la roca.

Sistema de acceso: uso de cuerdas que se unen a los anclajes previos

- Cuerdas: Se componen de dos partes; una alma con varios cordinos trenados, que es la parte que soporta el peso y una funda que protege el alma. Normalmente se trabaja con diámetros entre 9 a 11 milímetros y a mayor diámetro más kilos aguanta la cuerda. La cuerda se mete dentro del mosquetón (punto de unión con el anclaje) en la pared con todos los anclajes que sean necesarios a lo largo del pozo, con un nudo lo suficientemente resistente y que no se deshaga, en cada instalación. Las cuerdas tienen su caducidad a los cinco años.
- Iluminación: Antiguamente el sistema de iluminación utilizado en las cavidades era el carburo por excelencia. Luego se fue dejando a favor de la iluminación eléctrica con bombilla y pilas alcalinas o de petaca. Actualmente la iluminación con led alimentado

por baterías ha dejado atrás los otros tipos de iluminación, debido a su autonomía y alumbrado.

Tanto el material de instalación de la cavidad (anclajes, chapas, mosquetones y cuerdas), como el material personal de progresión (arnés, aparatos de progresión y casco), deben estar en buen estado y ser homologados. Los homologados están testados y se clasifican según su aguante de kilos y si se rompen estamos amparados por una responsabilidad legal. Sin homologar la responsabilidad legal recae sobre nosotros. Cuerdas, cascos y arnés, tienen un periodo de caducidad y aunque sean nuevas, al cabo de unos años no se pueden usar, dado que en caso de accidente no tiene cobertura legal.

En cambio los anclajes, mosquetones y chapas no caducan, aunque precisan de una revisión y retirarlos cuando su desgaste implique un riesgo, lo cual evita problemas legislativos en caso de accidente). Los aparatos de progresión metálicos tampoco caducan, pero con el desgaste se tienen que cambiar, más frecuentemente las poleas del descendedor.

Alimentación

Desestimable, si se sale y entra a lo largo de las jornadas diarias, pero si se debe tener en cuenta cuando el trabajo se realiza varios días en el interior. Se tiene que tener en cuenta que el día antes de entrar en el interior de una cavidad es bueno tomar azúcares lentos (carbohidratos) como arroz, pasta y cereales, que se asimilan lentamente y aportan energía al cabo de muchas horas. Dentro de la cavidad es bueno ingerir azúcares rápidos (golosinas y chocolate), que dan un impulso de energía rápido.

Se busca organizar, estudiar las condiciones de los trabajadores para reducir la exposición a los agentes de riesgo. Mejorar los materiales de trabajo para que la operación sea más segura posible

5.4 Propuesta de protocolos de seguridad durante la intervención

Las medidas preventivas que recomiendan son para evitar los riesgos previos son:

5.4.1 Autorización de entrada al recinto

Para autorizar la entrada debe cumplir las condiciones de instalación (limpieza, purgado, descompresión entre otras), que labores se van a realizar en el espacio confinado y medios a usar. (NTP-30 permisos de trabajos especiales). La autorización debe incluir:

- Medidas de acceso al recinto (cuerdas en el caso de una cavidad vertical)
- Medidas preventivas a adoptar durante el trabajo (ventilación, control continuo de la atmósfera interior)
- Equipos de protección individual (máscaras, arnés, cuerdas...)
- Equipos de trabajo a usar (iluminación, medidores de atmósferas) y vigilancia y control desde el exterior

Implicaciones y responsabilidades

Es función del director de la excavación, que el personal conozca el protocolo de trabajo en la cavidad y los protocolos de socorro. Que los operarios estén instruidos en técnicas de progresión vertical por la “federació catalana d'espeleología” (FCE) o con la “federació de muntanya” (FEEC). De igual manera de informar de las tareas a los diferentes operarios. Debe velar por el cumplimiento del Recurso Preventivo, en caso de accidente y contactar con los equipos de bomberos y seguridad, avisando al supervisor de entrada para que contacte con las fuerzas de seguridad.

5.4.2 Entrada

Siguiendo la clasificación de INSST (2008), nos encontramos en un espacio confinado ya que: el recinto es de difícil acceso al tener aberturas limitadas, impidiendo la entrada y salida de forma segura. Presenta zonas no visibles desde el acceso (toda la galería), al igual que posee tramos estrechos (incluyendo la entrada). Todo el recinto es resbaladizo al presentar fluidos acuosos e interactuar con el sedimento haciendo que sea un sustrato embarrado. Es

necesario el uso de una instalación de sistemas de retención y anticaída y la instalación para su uso. Son frecuentes derrumbamientos de fragmentos de la cueva.

La intervención se realizará en los primeros 80 m de la galería (Fig. 3), donde la atmósfera presenta condiciones más favorables de trabajo, presenta una abertura en la superficie estrecha, con primer tramo estrecho en los primeros 5 m. Luego le sucede un ensanchamiento a la primera zona más abierta. Esta tiene un acceso a los 18 m de una galería secundaria que continúa en profundidad tras otro tramo estrecho. Ambas galerías convergen a los 25 m en un tramo más ancho pero sin zonas horizontales hasta los 50 m.

Estos primeros 30 m de galería no presentan agua subterránea, pero pueden funcionar como entrada de escorrentía. A los 25 m hay una zona plana con relleno y que es una superficie de acumulación de materia orgánica. Las labores de intervención paleontológica dejan como residuos el sedimento removido, contaminación por uso de consolidantes para proteger el hueso (perlas de paraloid y acetona 75%-90% de acetona). Se pueden deteriorar partes de la galería a la hora de instalar la infraestructura de transporte, y se deben retirar de las zonas de paso las rocas y material que dificulte la intervención por su inestabilidad. Este material se retira pero se queda en el fondo de la galería.

El material que se debe introducir en la cueva son: elementos de instalación de progresión (anclajes, cuerdas y clavos), útiles de excavación (destornilladores, consolidante, cajas de transporte, papel film y aluminio, pinceles, escobas y cojines y gomaespuma para facilitar las posturas durante las labores de excavación), línea de comunicación y spray de señalización de tramos peligrosos.

Director

El director dirigirá la marcha. Se encargará de asegurar los puntos de anclaje de la instalación. Transportará parte de los útiles de trabajo y la línea de comunicación con el exterior. Contactará con el supervisor de entrada cada 30 minutos y en caso de incidencia. Valorará la seguridad de los tramos de la sima, propondrá cambios en el itinerario si la marcha no puede progresar. También se encargará junto con el responsable de seguimiento de la limpieza de los tramos, retirando obstáculos. Estará en contacto con todos los miembros de la excavación, valorando su estado de salud física y mental.

Responsable de seguimiento paleo-estratigráfico

Junto con el director valorará la seguridad de la instalación, transportará los útiles para el trabajo de excavación y aportará información sobre la seguridad de los tramos y la instalación al director. Al igual que transportará los medidores de atmósferas y elementos ergonómicos para su uso en excavación.

Excavadores

Los otros dos miembros de la exploración, estarán en contacto con los responsables y transportarán el resto de elementos para su uso, se unirán al paso por la galería cuando el director y responsable hayan asegurado el recorrido y transportado los elementos de medición y seguridad. En su marcha llevarán en sus mochilas los elementos restantes necesarios para las tareas de excavación y transporte de material.

Supervisor de entrada

Se encargará de colocar los carteles con las señales de peligrosidad (Fig. 3). Prohibirá la entrada a toda persona ajena a la intervención. También se comunicará con el director cada 30 minutos para conocer el estado de la intervención y sus miembros. También recibirá la información de la medición de atmósferas y si se utilizan modelos con monitor en superficie evaluará si los resultados de las mediciones son suficientes para

Medición y evaluación de la atmósfera interior

La cavidad presenta una ventilación natural desfavorable, al tener una sola entrada a la cota +0 m y algunos pasos estrechos que conducen a vías laterales que dificultan la ventilación. Debido a la peligrosidad de la atmósfera interior, es necesario que se realicen medidas en la entrada y durante las labores de recuperación de material. La falta de ventilación en la cueva, supone el factor de riesgo que justifica estas mediciones. Se suma a la presencia de materia orgánica en descomposición.

Las mediciones se realizarán con equipos portátiles, los gases a medir son: O₂, CO, CO₂ y CH₄. Lo más conveniente sería utilizar un único medidor multigás que permita medir todos estos gases. Lo cual facilitará el transporte junto con el resto de material. La certificación que debe pasar son ATEX (de aptitud para atmósferas explosivas) y IP65/IP67 de protección



Figura 3. Señalización necesaria en la entrada de la sima de la Ruda. La primera fila refiere a los riesgos analizados en la evaluación. La segunda son los EPIs que se obliga a llevar, siendo: protección de cabeza, de cuerpo, de manos, de pies y protección individual contra caídas. La última fila corresponde a prohibición (de personal ajeno a la intervención) y la presencia de gases tóxicos.

contra polvo y humedad. Los medidores presentan alarmas visuales, acústicas y vibratorias. El problema de estos equipos es que deben calibrarse cada 6/12 meses y se deben calibrar diariamente antes de cada uso (Bumpp test).

Los modelos que se recomiendan son: detector multigás Gas-Pro (Tecsan) ya que detecta hasta 5 gases incluyendo el oxígeno, monóxido de carbono y gases combustibles. Otro medidor de Tecsan es Multigás de Orion seguridad, donde puede calibrarse para que sea monogás o multigás hasta 6 gases, en caso de detectarse otras concentraciones peligrosas. Detector multigás forensics con bomba incorporada, detecta los mismos gases y tiene bomba incorporada que facilita el muestreo y calibración, su diseño toma en cuenta espacios subterráneos. Detector Multigás MSA ALTAIR 5X que puede medir seis gases, tiene un tiempo de respuesta rápido y puede conectarse con el supervisor de entrada en un monitor para interpretar las medidas.

En el yacimiento más próximo a la superficie con presencia de Ursus (-54 m) (Fig. 4 A, B) se emplaza en la zona con una atmósfera más favorable. Con lo que la necesidad de las mediciones será al comienzo y fin de cada día. A los -80 m donde se localizó el esqueleto

entero de *Felis silvestris*, la concentración de oxígeno disminuye hasta el 17 % en verano, estación en la que la renovación de la atmósfera es menor debido a las altas temperaturas del exterior. En invierno el aire frío del exterior más denso cae por el pozo inyectando de esta manera aire al 21% de O₂. El nivel de O₂ es en general deficiente a partir de los -60 m y debe medirse cuando se entre en las galerías situadas por debajo de esta cota, para conocer la zona crítica de trabajo. La zona más baja, a partir de la cota -110 m, presenta los riesgos de pérdida de conocimiento sin signos precursores y descenso de la capacidad de juicio.

El nivel de oxígeno disminuye ligeramente con el uso de acetona, al desplazar las partículas de oxígeno. Si la zona de trabajo es lo suficientemente amplia el efecto gaseoso del consolidante disminuye rápidamente. Con lo que se debe usar en momentos puntuales y dejar las tareas de recuperación de material. El recinto presenta aguas carbonatadas al ser una galería alojada en carbonatos Jurásicos. Los trabajos de excavación no requieren un elevado consumo de oxígeno, pero el desplazamiento hasta el yacimiento y el desplazamiento del material si lo llevan.

Es cierto que en el momento no hay riesgo de contener filtraciones de vertidos tóxicos en el lugar de trabajo, pero en profundidades mayores si existen estas filtraciones a partir de los 120 m y entre los 80-100 la atmósfera está deteriorada por sus emanaciones y la fuente es próxima (2 km). Con lo que existen gases y vapores nocivos asfixiantes y tóxicos, también se pueden dar reacciones químicas imprevistas debido a estos productos. Dentro de estas reacciones químicas se da metano en profundidad y monóxido de carbono. Y el mayor riesgo real es la acumulación de CO₂ que aumenta a mayor profundidad.

Debido a esto en el yacimiento con presencia de *Felis*, se deben realizar mediciones periódicas. Las mediciones se harán mediante un muestreo cada 30 minutos de la atmósfera. Sin embargo, se recomienda una recogida de muestras en los operarios al final sino de cada día al final de cada semana para conocer su estado físico y la concentración de contaminantes en su sistema.

Durante la entrada los operarios se someten a la mayoría de riesgos de seguridad. Pudiendo darse cortes, atrapamientos, choques con la galería o la instalación. Para evitarlos el director y el responsable del seguimiento deberán instalar los fraccionamientos en zonas donde se puedan apoyar los pies de todos los trabajadores. Deben marcar las zonas con salientes o superficies abrasivas debido a las recristalizaciones de la cueva con spray de pintura y retirar todos los obstáculos y fragmentos de la cueva. Y asegurarse de que los operarios han realizado los cursos formativos en técnicas de progresión. En caso de que los excavadores u

operarios no sean capaces de progresar adecuadamente por la galería deberán exigirles más cursos formativos para realizar las tareas. En las paradas y al final y comenzar las labores se deben revisar los EPIs para comprobar que protegen a los operarios y reemplazarlos en caso de cortes o malformaciones.

5.4.3 Labores de recuperación y transporte de material

El yacimiento más cercano a la superficie es el que presenta restos de *Ursus* (-54 m). Presenta un tramo estrecho desde la entrada con una galería en sección más ancha y otra más reducida en sentido hacia el valle. Estas galerías se conectan con dos tramos estrechos que permiten el paso hacia un ensanchamiento, donde en su fondo se ubica el yacimiento. La bajada en este ensanchamiento es de 25 m y permite realizar una infraestructura para subir el material sin riesgo a que se fragmente. El material y operarios se transportarán por las zonas con mayor espacio (Fig. 4D, E).

El material a recuperar en esta concentración presenta dimensiones entre 5 cm a 30 cm. Los restos que se observaron en las campañas de reconocimiento pertenecen a Artiodáctilos y *Ursus*. Debido a estos taxones el material es de gran tamaño. Las técnicas de recuperación de fósiles serán todas las comentadas en el apartado de metodología, desde la recuperación de restos de pequeño tamaño, hasta la realización de momias en los restos más grandes.

La instalación que se recomienda se representa en la Figura 4D y E. La entrada a la galería se recomienda realizarla en la parte más cercana al valle. Esta superficie cuenta con varias zonas para realizar fraccionamientos en poco espacio y que los operarios puedan descansar. De igual manera facilitará el transporte de fósiles. Los puntos con galerías secundarias se instalan anclajes en el otro lado de la galería para que con la subida de las piezas grandes no dependa todo el peso de un lado de la galería. Este tipo de instalación no se realiza en la segunda galería vertical (a partir de los 25 m) ya que no se conoce la estabilidad del lado opuesto, ya que parece presentar una fuerte disolución. La bajada hacia el yacimiento tampoco es muy estable al presentar una fuerte disolución. Pero esta instalación permitiría una bajada y ascenso de material con mayor seguridad del equipo. Se sitúa una instalación en azul si se evalúa este talud lo suficientemente estable para que el paso por la galería vertical al pasar los operadores reparta mejor el peso en la galería. Sin embargo, los puntos amarillos de la Figura 4D indican zonas de mayor estabilidad, a la entrada y al paso de la galería principal 25 m donde se podrían instalar polipastos para extraer la momias de mayor tamaño.

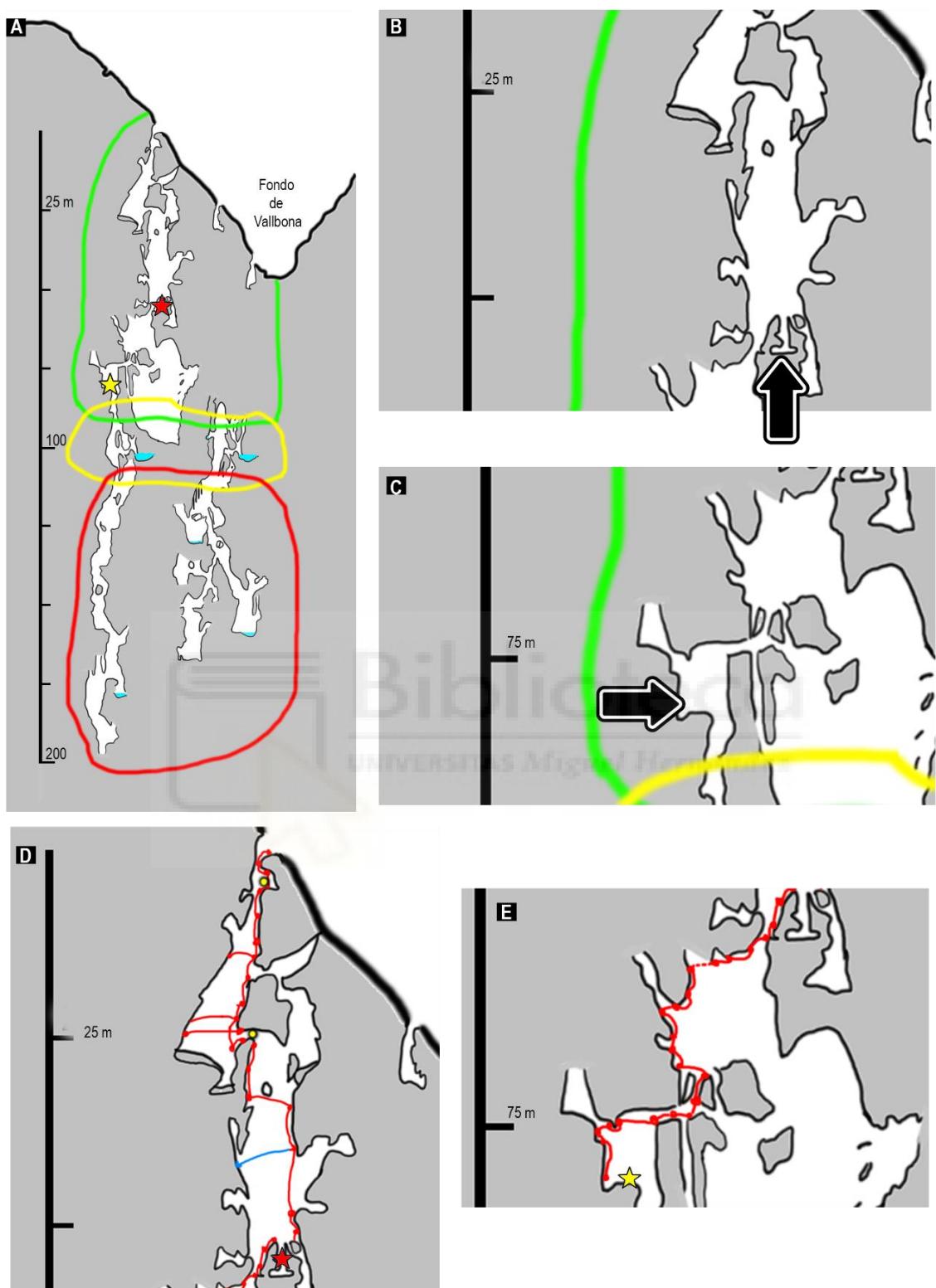


Figura 4. Situación de la intervención. A) localización de las atmósferas en profundidad y los yacimientos a estudiar, estrella roja yacimiento Ursus y amarilla Felis. B) zona de trabajo yacimiento con presencia de Ursus, flecha negra, se encuentra a -54 m. C) zona de trabajo del yacimiento con presencia de Felis (flecha negra), se encuentra a -80 m. La zona verde presenta unos niveles de O₂ mayores al 18% y CO₂ inferiores al 1%, la zona Amarilla entre 15 y 18% de O₂ y 1.1-2.4% CO₂ y la zona Roja O₂ mayores del 15% y CO₂ superiores al 2.4%. (modificado Yzaguirre y Bifet, 2012 Fig. 3). D) Instalación a realizar para acceder al yacimiento Ursus, los puntos representan anclajes y las líneas cuerdas. Puntos amarillos posibles zonas de instalación de polipastos E) Instalación para llegar al yacimiento Felis.

La situación cambia para acceder al yacimiento con presencia de *Felis*. Partiendo de la instalación anterior la superficie más estable es la más alejada al valle (Fig. 4 E, izquierda). La instalación no presenta tantas superficies para que los operarios puedan apoyarse y el paso de la galería más grande a la cota de 75 m presenta muchos fragmentos dificultando el paso. El posterior acceso a la cavidad donde se aloja el yacimiento es horizontal, con lo que los operarios pueden transportar y rebajar el ritmo de trabajo aquí. El trayecto complicado es la subida donde debe hacerse con mayor precaución y la presencia de los fragmentos de galería impedirían el paso de bloques grandes.

Director

El espacio de trabajo del yacimiento es de 8-9 m². Se realizarán nueve cuadrículas de 1 m², para realizar una cartografía del yacimiento y facilitar las labores del responsable de seguimiento estratigráfico. La instalación de excavación la realizarán el director y el responsable del seguimiento. Al igual que la gestión de consolidantes, distribución de los descansos. También evaluará la solidez de los pedestales de los fósiles y el estado de conservación de los restos. Y debe continuar la comunicación con el supervisor de entrada cada 30-45 minutos, si es en el yacimiento *Ursus* y con mayor frecuencia 15-30 minutos en el yacimiento *Felis* ya que debe enviar los datos de las mediciones con esa frecuencia y presenta mayor peligro para la salud de los operarios.

Responsable del seguimiento estratigráfico/paleontológico

Se encargará de evaluar el progreso de la excavación. Utilizará perfiles estratigráficos de las diferentes cuadrículas, medidas de orientación de los restos fósiles. Se asegurará de que la excavación progres a un ritmo parecido en cada cuadrícula, evaluando las zonas con mayor interés. Realizará junto con el director de la excavación el registro de los restos fósiles,

incluyendo una identificación de campo del grupo taxonómico de los restos. Se encargará junto con el director del transporte de los restos recuperados al final de la jornada diaria.

Excavadores

Los excavadores tienen la responsabilidad de comunicar su estado físico-mental al director. Realizar la recuperación de los restos en la cuadrícula que se les ha asignado. Seguir las indicaciones del director y el responsable.

Supervisor de entrada

Se encargará del seguimiento del progreso de los excavadores y comprobar su estado de salud. El seguimiento será con llamadas cada 30 minutos en el yacimiento *Ursus* y con más frecuencia (15 minutos) en el yacimiento *Felis*. Seguirá controlando que ningún ajeno a la excavación entre a la galería.

Procedimientos de prevención durante la excavación y transporte de material

Protocolos de seguridad

Iluminación

Debido a que la zona de trabajo no presenta iluminación, los trabajos se realizan con iluminación portátil de circuito cerrado para cada operario. Se utiliza iluminación LED con baterías en cada casco, para iluminar el camino y las labores de trabajo. Esto minimiza el riesgo de electrocución al tener un circuito abierto como puede ser en las excavaciones de mayor duración, donde se necesitan generadores y focos en la zona de trabajo. Las luces portátiles deben seguir (RD 842/2002, ITC-BT- 24, ITC-BT-29, ITC-BT-30 y ITC- BT-44).

Protocolos para evitar caídas a distinto, mismo nivel y atrapamientos:

El trabajo en la galería conlleva el transporte de los restos fósiles al final de cada jornada. La salida de los operarios debe ser previa al transporte de los restos más grandes. Con lo que los excavadores deben transportar los restos de menor tamaño en cajas y tarros. El director y responsable del seguimiento deben transportar los bloques y momias por el recorrido señalizado (Fig. 4 D, E). Los operarios no podrán moverse mientras se están realizando las tareas de excavación para evitar la caída de fragmentos de la cueva o la instalación o de los operarios.

De igual manera se señalizarán las zonas peligrosas donde no se puedan apoyar los operarios. Se instalarán anclajes para realizar fraccionamientos de cuerda y que los trabajadores puedan evitar las zonas frágiles y se retirarán las rocas que el director considere inestables para evitar que los operarios y el material se apoye en estas. Se debe evaluar la instalación en cada entrada a la galería por el director y el responsable, para conocer el estado de seguridad y si se puede usar. La instalación de anclajes y puntos de fraccionamiento son fundamentales, ya que no se pueden instalar barandillas ni escaleras en la galería. La limpieza de la superficie de excavación es fundamental para evitar caídas al mismo nivel.

Caída de objetos, cortes y golpes contra la infraestructura

Los protocolos más eficaces son el uso apropiado de los EPIs, retirar los bloques peligrosos o que dificulten la marcha por la zona de paso. Iluminar adecuadamente estas zonas de paso para que los operarios vean las características de la galería con las luces de circuito cerrado para evitar estos objetos inestables y las superficies con recristalizaciones de calcita que son abrasivas a la piel. Los puntos con mayor susceptibilidad de que se den estos riesgos son los tramos estrechos, deberán aparecer señalizados y todos los operadores conocer bien sus características para aumentar las precauciones en estos sectores. El riesgo menos probable es el de ahogamientos si no se estudia bien la meteorología. Sin embargo, el estudio de la meteorología se realiza para conseguir el permiso de entrada a la galería y las autoridades no lo expedirían si hay mal tiempo previo o durante la intervención, con lo que este riesgo se desestima.

Existe la posibilidad de que la instalación o el transporte de fósiles pueda acabar en su caída durante la manipulación, o durante el uso de la instalación. Esto puede dañar a los trabajadores en los niveles inferiores. De igual forma los objetos pueden caer desde la boca de acceso a la galería. El protocolo de prevención más eficiente es la comunicación, para prever el daño que pueden generar estos objetos un grito de alarma sería suficiente. Sin embargo, se debe retirar a los operarios al final de la jornada para que el director y el supervisor manipulen los restos de mayor tamaño y que no impacten sobre otros trabajadores. En espacios confinados el ruido de las operaciones internas y las vibraciones dificulta este paso de comunicación, con lo que deben manipular los restos el director y el responsable.

El protocolo más eficaz es la limpieza de las zonas: la boca de entrada debe permanecer desocupada de objetos susceptibles a caer, con lo que los equipos necesarios se alejarán de

la entrada. Se debe balizar y señalizar correctamente la entrada para evitar el paso de peatones y una comunicación efectiva con el interior mediante líneas telefónicas es fundamental. La iluminación adecuada de las zonas de trabajo con la iluminación unipersonal y en caso de que el relleno de la cueva se sature en agua y se hundan los operarios deben instalarse tablones a lo largo del yacimiento para que los operarios no se hundan.

Riesgos físicos (temperatura, humedad y ruidos)

La temperatura es constante en la galería, incrementa ligeramente en profundidad. El problema es la adaptación del cuerpo de los operadores tras el movimiento en el transporte de los restos, para ello deben llevar ropa de cambio para que durante los tramos de transporte de material cambien a ropa transpirable y en los momentos de trabajo en el yacimiento ropa que aíslle del frío.

La humedad da una falsa sensación de hidratación. Las pausas deben ser regulares para que los operadores puedan hidratarse, aprovechar las zonas de fraccionamiento con ventilación para que disminuyan los operarios su ritmo cardiaco y regular su temperatura.

Cuidado con los equipos que hagan vibraciones, evitando reverberaciones. Los anclajes y los métodos de excavación con herramientas de metal pueden generar estos efectos. Durante la excavación, el uso de martillos de nailon para evitar reverberaciones de impactos de útiles de metal es fundamental, sumado a que no transmiten las vibraciones a los fósiles con lo que su recuperación es más efectiva. El uso de tapones y cascos de aislamiento de sonido para los operarios con mayor sensibilidad acústica destornilladores, también se recomienda. Al igual que establecer periodos regulares donde realizar estos ruidos para que los trabajadores no estén sometidos constantemente a este ruido.

Asfixia-intoxicación

Este riesgo es muy probable en el yacimiento *Felis*, Yzalaguirre y Maura et al. (2016) estudiaron el efecto de la atmósfera a 193 m en el cuerpo de los operarios. La concentración de la galería ese año era: CO₂ 2.23% y O₂ 13.33%, midiendo las condiciones de los exploradores en movimiento y reposo en la galería. La frecuencia cardíaca no se vio afectada, la presión arterial si aumentó, en 10 unidades en sistole y diástole. La presión del pulso no varió, pero la presión arterial media también aumentó en 10 unidades. Lo que más cambió

fueron la cantidad de arritmias (latidos ectópicos, BEC) pasando de 4.6 a 13.7 latidos ventriculares y BEC ventriculares y supraventriculares de 7.4 a 23.6. Con lo que la situación de trabajo en las zonas profundas de la Sima es comparable a las de alta montaña, que da una respuesta adaptativa del sistema parasimpático.

Con lo que el riesgo de exposición es real en la galería, principalmente en el yacimiento *Felis*. Siguiendo INSST (2023) El Valor Límite Ambiental de exposición diaria (VLA-ED) del CO₂ es del 0.5% (5000 ppm), del monóxido de carbono 0.02 % (200 ppm), con lo que esta atmósfera es dañina para la salud de los operarios. En el yacimiento los valores medidos (Fig. 4) fueron concentraciones entre 15 y 18% de O₂ y 1.1-2.4% CO₂, con lo que también son condiciones dañinas para la salud de los trabajadores. Se recomienda que no se desempeñen trabajos de excavación en este yacimiento, y si es completamente necesario que lo realicen operarios con gran experiencia y formación. Y las intervenciones no deben ser de jornada completa.

Otros riesgos son la exposición a amoniaco, ácido sulfhídrico de la descomposición de la materia orgánica en los yacimientos. Al ser superficies horizontales la escorrentía acumula la materia orgánica. Los VLA-ED de estas sustancias son: NH₃ 20 ppm (0.002 %), H₂S 5 ppm (0.0005 %) y el metano CH₄ es asfixiante ya con su aparición en la atmósfera. Debido a su mayor peligrosidad frente a los gases previos se debe retirar la materia orgánica antes de comenzar la intervención y almacenarla en contenedores para su retirada al exterior o su traslado a zonas más profundas de la galería. Con los EPIs y herramientas palas y contenedores de residuos para comenzar la retirada antes de la intervención paleontológica. Si la cantidad de materia orgánica es elevada, los operarios deberán llevar filtros para gases y vapores. Estos deben cumplir la normativa UNE-EN 405, 141 y 371 que adhieren los gases al filtro. La categoría de estos es K para contener el amoniaco y sus derivados orgánicos y son clasificados como EPI pieza facial filtrante (PFF).

Higiénicos

Ventilación

Asegura la inocuidad de la atmósfera interior, previo y durante los trabajos. El caudal de aire aportar y la forma a efectuar da la renovación completa de la atmósfera interior, dependiendo del contaminante el proceso de ventilación es diferente, los gases de mayor densidad que el aire se debe introducir un tubo de extracción hasta el fondo del recinto dando una boca de entrada a este también sea la entrada natural de aire. Si los gases tienen densidad similar o

inferior se recomienda insuflar aire al fondo del recinto facilitando la salida por la parte superior. Si la generación de sustancias se da durante la realización de trabajos en el interior, la eliminación de estas se realiza con extracción localizada por difusión.

La ventilación por dilución se dará cuando las fuentes de contaminante no sean puntuales, el soplado de aire puede afectar a zonas más amplias que la respiración para poder desplazar contaminantes a zonas seguras y exige más caudales de fluidos que la extracción. En las zonas de recubrimiento interior de recipientes la evaporación es más grande, pudiendo dar errores de medición (se recomienda que la velocidad del aire no sea inferior a 0.5 m/s y no usar oxígeno para ventilar).

Medidas ante las atmósferas peligrosas

No se pueden aplicar las medidas de ventilación asistida, ya que es un espacio natural, con lo que la ventilación natural no tiene por qué favorecer las condiciones de trabajo y puede modificar las condiciones a las que se llegue introduciendo aire artificial. Es recomendable que el aire que se introduzca si se estima necesario no tenga un elevado contenido en oxígeno, ya que en los primeros 60 m la concentración de oxígeno es semejante a la atmosférica, con lo que puede convertirse en una atmósfera explosiva.

No se puede realizar una disminución de la concentración del contaminante, ya que se encuentra a partir de los 100 m y procede del vertedero a 2 km. Con lo que la fuente de contaminación no es posible retirarla. Se puede paliar con ventilación externa y uso de EPIs. Respiración autónoma para sacar al trabajador de este estado de debilidad. Se recomiendan los equipos autónomos y semiautónomos: ambos son necesarios en atmósferas con concentraciones de oxígeno inferiores al 17% (nuestro caso). En las zonas más bajas hay una concentración de contaminantes, aunque no elevada. Es necesario en el caso de estas operaciones mediciones de los gases presentes en la cavidad, pero pueden resultar necesarios en caso de emergencia o accidentes laborales. La atmósfera tiene efectos tóxicos agudos en bajas concentraciones.

En lo que se diferencian los equipos autónomos de los semi-autónomos es que los autónomos llevan un desplazamiento grande (nuestro caso), con el acceso alejado. Los semiautónomos no cumplen los requisitos previos, pero destacan en su utilidad en grandes esfuerzos físicos. Con posturas de trabajo forzadas, como es excavar en espacios reducidos o apoyados en las paredes de la galería protegido por los anclajes y cuerdas. El factor más importante de los equipos semiautónomos es su duración elevada, al tener la fuente de aire conectada.

Debido a lo previo, se ve necesaria al menos la presencia de equipos de respiración automáticos cuando la profundidad de trabajo es mayor a la accesible con la línea respiratoria, llegando hasta 60 m de profundidad, algunos modelos. Para conocer la longitud de los equipos de respiración, se deben realizar mediciones periódicas de la atmósfera en la zona de trabajo, cada dos horas como mucho y al comienzo y fin de jornada. En el yacimiento *Felis* si se estima la necesidad de realizar una jornada completa, los operarios deben llevar equipos autónomos en caso de una campaña de corta duración (15 días) y en caso de una campaña de mayor duración, (lo cual no se aconseja). Se deberá instalar equipos semi-autónomos con aporte de aire del exterior, conectado a las máscaras.

Medidas frente agentes biológicos

Ante los vectores de transmisión de animales, roedores e insectos. Las medidas son limitadas ya que estamos en el medio natural, con lo que no se puede contar con la desratización. Las labores de retirada de nidos o zonas de habitación de animales solo se deben hacer después de un estudio previo de la biota de la galería. Este estudio es debido a la presencia de especies protegidas en el ecosistema del parque del Garraf. Si sería conveniente un programa de vacunación contra las siguientes enfermedades: salmonella, rotavirus (gastroenteritis), hepatitis A, criptosporidiosis, cisticercosis, sarcosporidiosi, e. Pero se debe estar en alerta ante otras enfermedades como campilobacteriosis, listeria, yersiniosis, norovirus, hepatitis E (solo disponible vacuna en China y tiene foco de transmisión jabalís), triquinosis, toxoplasmosis, giardiasis (vacuna solo disponible en perros), equinococcosis e hidatidosis. Según los estudios de Gencat (2025) y Vall d'Hebron (2025). Los protocolos más eficaces son la eliminación de la vegetación en la zona de trabajo, el uso eficiente y aislante de los EPIs para evitar la entrada de animales, insecticidas antigarrapatas o pulseras anti-insectos e inspeccionar con la iluminación portátil los lugares de trabajo para evitar estos riesgos.

Puede haber proliferación de microorganismos en los fluidos, que arrastran las aguas subterráneas, con lo que se debe evitar consumir estas fuentes de agua y tener cuidado con su contacto. Se recomienda hacer análisis de biota de estas mediante muestreo de las zonas de escorrentía que afecten a los puestos de trabajo especialmente si hay acumulaciones de restos orgánicos. La medida más efectiva contra estos patógenos es la limpieza de los operarios y llevar un botiquín de primeros auxilios, con útiles para la limpieza de ojos y mucosas. Al igual que limpiar los EPIs de trabajo al final de cada jornada.

Como presencia de agentes biológicos, se reconocen: en la zona de trabajo puede haber animales u otros vectores de transmisión de agentes biológicos (roedores e insectos). Puede haber proliferación de microorganismos acumulados en los fluidos, que vienen de las aguas subterráneas y acumulación. Para evitar el paso de los microorganismos se prohíbe hacer deposiciones en la galería, para evitar el paso de microbiota por zonas íntimas. Ante los cortes, heridas e impactos donde se pueda dar lugar a infección o entrada de estos microrganismos al sistema requieren tratamiento inmediato con el botiquín donde se deben incluir desinfectantes antisépticos, gasas estériles, algodón hidrófilo, esparadrapo, apóositos adhesivos, tijeras, pinzas y guantes. El protocolo consiste en estimular la hemorragia para limpiar de influencia de aguas de la galería, desinfectarla y colocar el apósito protector en el momento de la producción de la herida.

Patologías comunes

Ante las patologías comunes se recomiendan los siguientes protocolos:

Físicas: Agotamiento, esta patología se trata dando calor y comida al afectado. Hipotermia, se trata poniendo ropa al operario, dándole de beber líquidos calientes y construir un punto caliente con mantas y velas para protegerlo dentro hasta que se recupere. Hipertermia: esta patología se trata poniendo al afectado en un lugar fresco, dándole de beber agua, quitándole la ropa y mojando la piel. Mentales en protocolos ante riesgos psicosociales.

Ergonomía

Riesgo de sobreesfuerzos

Debido a las dimensiones reducidas de las zonas de paso en la sima, se generan posturas forzadas durante las labores. Las medidas a seguir serían:

Evitar la entrada al recinto de operarios que sean más altos y grandes que las zonas de paso después de acondicionarlas al transporte de material. Al menos debe haber dos operarios manipulando las piezas grandes a lo largo de la galería, y si fueran demasiado grandes se debe evaluar la galería para instalar polipastos. Uso adecuado de los EPIs, formación en manipulación de carga por los trabajadores. Establecer buenos horarios de trabajo para reducir el tiempo de exposición a posturas dañinas y a la atmósfera.

Durante el proceso de excavación el espacio es reducido. Los excavadores han de acomodarse en 1 m², con lo que las malas posturas mantenidas darán lugar a lesiones músculo esqueléticas si no se realizan pausas y cambios posturales de manera frecuente, cada 45- 60 minutos. Con un periodo de estiramientos cada dos horas. De igual manera el uso de cojines para que el operario no entre en contacto más directo con la superficie del yacimiento es fundamental para mantener la salud postural. Donde mayores patologías posturales se pueden dar es en el transporte de material. El límite de carga por operario será menor de 10 kg, (pero se debe calcular para cada operador). Se recomienda adaptar las momias con zonas en forma de asas para facilitar la manipulación. Se recomienda que los operadores hagan sesiones de fisioterapia al acabar las labores para evitar lesiones posturales.

El riesgo de problemas posturales asociados a mantenerse periodos prolongados en suspensión se puede dar en las operaciones del yacimiento *Felis*. El paso entre galerías verticales no permite tramos de descanso para los operarios con facilidad. Con lo que por este motivo junto con los previos se recomienda que las jornadas sean reducidas al igual que las campañas. Con media jornada para evitar que los excavadores se expongan a riesgos innecesarios y enfermedades profesionales.

Psicosociales

Organizativas: los horarios explicitados en el apartado de evaluación, deben ser flexibles a las necesidades de los operarios. En caso de necesitar parar o salir antes de la galería se debe acompañar al operario por el director o el responsable del seguimiento para asegurar la intervención. Los síntomas más frecuentes en los operarios en espacios confinados son: claustrofobia, vértigo y ansiedad. Lo ideal es que los trabajadores que entren en espacios confinados no tengan predisposición a estas patologías. Para ello se debe hacer una evaluación psicológica de los operadores previa a la entrada y después de la campaña un seguimiento psicológico de los trabajadores de al menos dos sesiones para que el facultativo pueda evaluar si ha habido daño mental en los operadores.

En caso de que se den estas patologías en la galería el procedimiento a seguir es trasladar al operario a una zona de descanso. Evitaremos la pérdida de calor con el cambio de ropa con mayor aislamiento térmico. Y hacer respiraciones guiadas con el operador para que disminuyan sus niveles de estrés. Otros procedimientos que pueden disminuir los niveles de

estrés son dar distancia al operario y hablar tranquilamente. Tocar objetos sólidos para asegurar su posición y disminuir su miedo al precipitarse al vacío.

Posteriormente guiar al operador el director hasta la salida, mientras se advierte al supervisor de entrada de toda la situación. En caso de que el trabajador no pueda trasladarse por sí mismo el supervisor de la entrada deberá avisar a las fuerzas del orden para que los bomberos puedan sacar al trabajador, con el protocolo PAS.

5.4.4 Vigilancia exterior:

Debe ser permanente mientras se realizan las labores interiores. El personal de excavación debe estar permanentemente en contacto con los operarios del exterior para informar de la progresión y en caso de que haya peligro.

Protocolo de emergencias y daños a los trabajadores

El protocolo a seguir en caso de accidentes es el PAS, siguiendo la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales artículo 20. En espeleología en función de lo aislados e incomunicados que nos encontramos el procedimiento debe adaptarse.

1 Proteger

La peor situación en la que nos podemos encontrar dentro de una cavidad es el caso de que una persona se nos quede inconsciente colgada en la cuerda. En esta situación de inmovilidad, provoca una acumulación de sangre en las piernas por un fallo en el retorno venoso. Las cintas del arnés presionan y actúan a modo de torniquete impidiendo total o parcialmente el paso de la sangre. Esto puede suponer que llegue menos sangre al corazón y una reducción del flujo sanguíneo a otros órganos. Esta situación puede llevar al herido a la muerte en pocos minutos. Existen unas maniobras de autosocorro que permiten descolgar al herido suspendido de una cuerda y evitar lo que se conoce como 'síndrome del arnés'. Si no se consigue sacarlo en poco tiempo debido a que no tenemos otra cuerda accesoria se debe llegar al herido por la misma cuerda en la que está suspendido, durante la maniobra de autosocorro, iremos moviendo las piernas del herido y mantenerlo con las rodillas dobladas, retrasando con ello la aparición de los síntomas.

En caso de accidente, primero se tiene que quitar a la persona herida de la zona de riesgo, como la base de pozos donde pueden caer material o goteo. Sacar al herido de las zonas donde haya corrientes de aire, pueden ser muy fuertes en cavidades con varias entradas, y ponerlo en zonas resguardadas del aire. Colocarlo en sitio seco y aislarlo del contacto con el suelo, poniéndolo por ejemplo encima de las sacas de progresión de lona, para evitar la pérdida de temperatura y ponerle una manta térmica por encima. De disponer de un saco de dormir lo pondremos dentro.

Si disponemos de ropa seca, se la pondremos quitando la ropa sudada que se enfria rápidamente al detener la progresión. Intentaremos construir un punto caliente montando una jaima temporal mediante mantas térmicas y encenderemos velas o una lata con gel de etanol que generará una fuente de calor dentro. Si el herido está inconsciente lo colocaremos en posición lateral de seguridad para que no se atragante con su propia lengua o saliva.

2 Avisar

Llamar al 112 coge cobertura de señales cercanas. Para que puedan comunicarse desde dentro hay que tener las líneas dentro de la cueva, sin comunicación avisar toma tiempo. Debido a que no es inmediato hay que comenzar a socorrer por parte del equipo (tema discusión). 2 operarios deben salir asegurando el progreso por la galería y otra persona con el herido.

Hay que dar toda la información posible: localización de la cavidad (ubicación exacta y camino a seguir), profundidad del herido (principalmente para el médico pocos médicos que hagan espeleo más profundo con más experiencia), obstáculos en el camino (pasos cerrados y rocas, para cuando pasen la camilla y por si tienen que dinamitar algo que vengan artificieros), número de personas en la cavidad y diagnóstico del herido consciente o no, fracturas heridas abiertas (importante por si prima sacar al herido).

3 socorrer

Conocer si tiene signos vitales (pulso, respiración), hemorragias (presentes o no), traumatismos o presenta hipotermia. Necesitas un curso de primeros auxilios para saber y reconocer la información necesaria. Los protocolos más rápidos son: respiración asistida, torniquetes o presión para evitar sangrado.

En la comunidad Autónoma de Catalunya, los rescates son competencia de los bomberos, y concretamente del GRAE (Grup Actuacions Especials). Se trata de un cuerpo especializado

de los bomberos de la Generalitat de Catalunya, especializado en salvamentos y rescates en el medio natural y sitios de difícil acceso.

La Federación Catalana de Espeleología, tiene un grupo de voluntarios especializados en rescate en cavidades. A nivel federativo este grupo realiza varias prácticas durante el año y una o dos al año conjuntamente con los GRAE. En caso de accidente en una cavidad, se llama al 112 y acude el grupo de bomberos del GRAE con un médico. Si por la complejidad del accidente, los GRAE no son autosuficientes luego colabora en la intervención el grupo de la Federación. En el caso de haber algún muerto, luego también intervienen los mossos d'esquadra para levantar cadáver junto con bomberos.

Si el herido no está federado o ha cometido una imprudencia, puede que el pago del rescate vaya a cargo del herido. Se tiene que tener en cuenta que los protocolos y equipos durante un rescate, puede requerir de 50 a 100 operarios en función de la dificultad de la cavidad y de la profundidad a la que se halle el herido. El cuerpo de rescate trabaja las 24 horas durante la operación con diferentes grupos a turnos de 8h hasta que se saca al herido. El material necesario para efectuar estas labores de socorro en caso de un problema de hipoxia es: equipos de comunicación y respiración autónoma para sacar al trabajador de este estado de debilidad debido a la falta de oxígeno.

Formación en riesgos en cuevas y primeros auxilios. Reconocimientos médicos recurrentes para ver si se deteriora el estado de salud por la inhalación de sedimento o las atmósferas reductoras y realizar simulacros de rescate de heridos dentro de la galería para mejorar la respuesta de los operarios ante este tipo de situaciones.

Anoxia-intoxicación

En el caso del yacimiento *Felis*, la formación PAS debe incluir la liberación del cuello y vías respiratorias para fomentar la respiración (?). Y llevar bombonas de oxígeno para administrarlo mediante una mascarilla. En el caso de intoxicación se colocará semi-sentado al operador con la espalda apoyada para fomentar la respiración, exceptuando los casos de traumatismo en el tórax o columna donde se situará tumbado en lateral para evitar que la expulsión de vómitos, pueda ahogar al operario.

5.5.5 Formación técnica

Técnicas de progresión: el conjunto de metodologías para saber progresar por una superficie vertical, el progreso se realiza en una cuerda que permite avanzar en la pared de la galería. Tienen como objetivo saber cómo posicionarse, pararse para recuperar el aliento. Se realizan cursos de formación para aprender cómo funcionan los aparatos y obtener las técnicas necesarias para progresar por cuerdas.

Entrenamiento: no suele ser necesario en excavaciones, pero en caso de operarios sedentarios es recomendable, un mínimo de forma física, para realizar excavaciones en cavidades. Se diferencian:

- General: realizado en gimnasio, para mejorar forma física y disminuir riesgos en intervención. Más orientado hacia la resistencia para evitar el agotamiento.
- Específico: prácticas subida y bajada (progresión vertical) por cuerdas para prevenir riesgos y entender cómo desplazarse en las galerías.

Técnicas de progresión vertical (ascenso-descenso por las instalaciones en espeleología). El recorrido comienza con el descenso a la galería y termina con el ascenso:

1 Descenso

Entrando a la cavidad: Siempre habrá una cuerda de acceso hasta la vertical en forma de pasamanos, en la que se ancla el cabo de anclaje para asegurar la progresión hasta la cabecera del pozo. Una vez allí, se coge la cuerda que baja verticalmente desde la cabecera y se monta el descendedor (dresler o stop). Para montar el descendedor, la cuerda entra por la izquierda de la parte inferior de la polea de abajo y luego describiendo una S pasa entre las dos poleas para salir finalmente por la parte superior de la polea de arriba y luego aún se engancha con un mosquetón de acero que conecta al mallon que incrementa el roce para así poder controlar mejor la bajada, (representado en Fig. 5A).

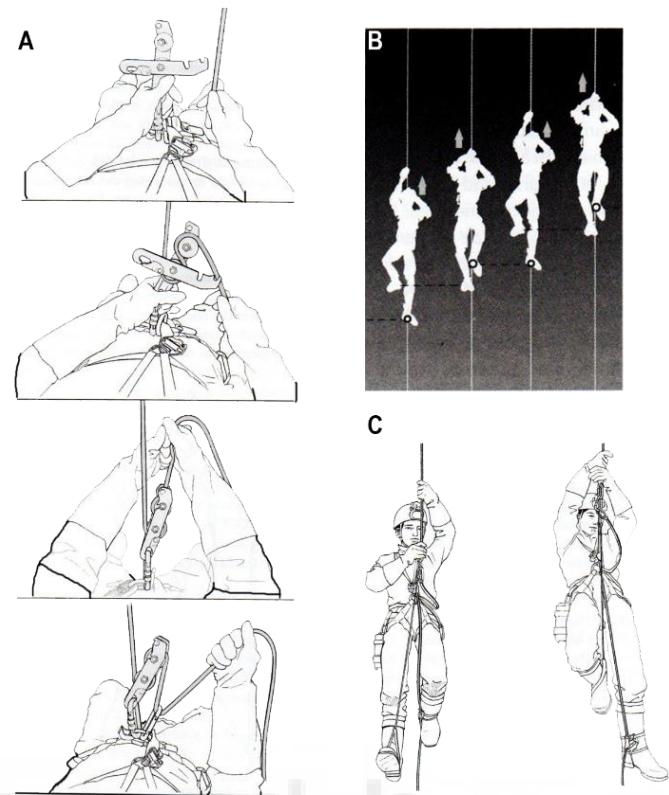


Figura 5. A) proceso de uso del descendedor cuando el operario para, abriendolo en forma de cruz, haciendo pasar la cuerda en forma de ocho y afianzando tras cierre con un nudo. B) metodología de progresión vertical en movimiento. C) Aspecto del operario al avanzar.

A continuación se le hace un nudo de bloqueo que nos permite liberar las manos una vez ya montado. Luego se saca el cabo de anclaje, para quedar colgados solo del dresler, y a continuación deshacemos el nudo de bloqueo de este para empezar el descenso. Durante el descenso la cuerda también pasa por nuestra mano derecha, de manera que si subimos la mano hacia arriba prácticamente detenemos la bajada y a medida que vamos bajando la mano hacia abajo se va incrementando la velocidad en el descenso, hasta llegar al primer obstáculo (fraccionamiento). A la altura de este detenemos el descenso, volvemos a realizar el nudo de bloqueo para que no baje (con un stop, a pesar que se para de bajar al soltar la palanca, también se aconseja realizar el nudo de bloqueo). A continuación nos anclamos con cabo de anclaje en el mosquetón del fraccionamiento, se baja un poco más hasta colgarse del anclaje, se abre el descendedor, se saca cuerda y se cambia de cuerda, montando de nuevo el descendedor pasando la cuerda opio sus dos poleas y haciendo de nuevo el nudo de bloqueo. A continuación se levanta el cuerpo a fuerza o con la ayuda de un pedal para sacar el cabo de anclaje de la instalación, se deshace el nudo de bloqueo y se baja hasta el siguiente fraccionamiento. Y así sucesivamente hasta llegar a la base del pozo.

2 Ascenso

Para empezar a subir, primero se tensa el croll con el arnés de pecho y se pone la cuerda dentro del bloqueador de pecho (Croll). Luego se introduce la cuerda al bloqueador de mano, y se pone el pedal en un pie o 2 según toques o no pared y pedaleas hacia arriba, denominado sistema oruga o Ded (Fig. 5B).

Con estos dos puntos enganchados a la cuerda y a modo de oruga subiendo un bloqueador y el otro alternativamente, se va progresando por la cuerda hacia arriba. El pedal cuelga del mosquetón del puño de manera que si no se toca pared se utilizan los dos pies para pedalear y así se reparte el esfuerzo y si se toca pared solo se utiliza un pie en el pedal mientras el otro se utiliza para apartarnos de la pared. Se trata de un movimiento repetitivo en el cual al pisar el pedal para superarnos sube el croll y luego doblas pies para no ejercer peso con el pedal al puño y con las manos subes puño y luego vuelves a pedalear, relajas pie y subes el puño otra, (método oruga). Al llegar al fraccionamiento usas un cabo de anclaje para anclarlo al mosquetón del fraccionamiento, abres primero el bloqueador de pecho con la ayuda del pedal, liberando la cuerda y coges la cuerda por encima el fraccionamiento, introduciéndola de nuevo dentro del bloqueador de pecho. Luego sueltas el pedal y abres y pasas el puño introduciendo de nuevo dentro de la cuerda por encima del croll. Entonces liberas el cabo de anclaje, permitiendo subir así hasta el siguiente fraccionamiento.

Al llegar a la cabecera del pozo, se anclan los dos cabos de anclaje cortos (por si rompe uno), en el pasamano que te aparta de la vertical del pozo, se abre el croll y suelta el puño y caminamos con los cabos anclados hasta el final del pasamano. Los fraccionamientos es mejor que tenga 2 puntos de seguro si la tirada es larga y también para la instalaciones de fin y principio del pozo.

Junto con el adiestramiento en técnicas de progresión, se deben hacer simulacros de los protocolos de salvamento (PAS) a todos los operarios antes y después de las actuaciones. Los reconocimientos médicos recurrentes se recomiendan, para ver si se deteriora el estado de salud por la inhalación de sedimento o las atmósferas reductoras.

Cursos formativos de calibración y uso de medidores de atmósferas

Para comprender el uso de la interfaz, calibrados diarios (bump test) y anual, semestral. Mantenimiento periódico de los medidores para que funcionen correctamente. Los operarios deben ser capaces de interpretar los resultados de los análisis, tanto los realizados con

medición directa por el director y responsable de excavación como el responsable de entrada en caso de usar monitores de procesado de datos.

Mantenimiento de EPIs

Se deberá revisar el estado de los equipos de protección al final de cada jornada. El director de la excavación (por el director de la excavación) y ser colocados correctamente por cada operario al comienzo de cada jornada. En caso de deterioro se deben tirar y comprar nuevos. Las mascarillas de protección facial para la retirada de materia orgánica no deben reutilizarse

5.5 Evaluación del plan

Para aumentar la eficacia de esta propuesta, se debe realizar un seguimiento de los accidentes y dificultades de los operarios durante las labores de la campaña. Tener un seguimiento de la eficacia de las medidas aplicadas en cada campaña y al menos cambiar el plan de riesgos laborales cada dos años. Las mediciones de la atmósfera de la cavidad de manera anual son fundamentales para evaluar el riesgo y las deficiencias atmosféricas, al igual que otros gases provenientes del lixiviado de los desechos del vertedero desde profundidades de la galería.

6 Conclusiones

En este trabajo se ha realizado la primera propuesta de seguridad desde la prevención de riesgos laborales. Se clasifica la galería como un espacio confinado, clasificando todos los riesgos posibles en la galería en los cuatro grandes tipos: Seguridad, Higiene, Psicosociales y ergonómicos. Los riesgos de seguridad más probables son impactos con la galería y sus componentes, junto con la caída de material y fragmentos de la galería. Los higiénicos más preocupantes son la presencia de materia orgánica en descomposición, junto con la presencia de nidos de víboras, escorpiones y garrapatas del ganado. Los riesgos ergonómicos se dan durante la progresión horizontal y vertical de los trabajadores, al igual que durante la excavación y transporte de material. Los riesgos psicosociales suelen ser olvidados, sin embargo en un medio tan hostil como la galería sin iluminación exterior son fundamentales, como son la falta de comunicación con el exterior y las dietas y horarios de trabajo.

El protocolo propuesto parte de 5 etapas: etapa 1 autorización de la entrada donde se deben incluir los procedimientos realizados durante la intervención, zonas a trabajar, composición del equipo y su formación. El seguro recomendado son el de la federació catalana d'espeleología o el de la federació de muntanya. Este seguro permitirá cubrir los gastos por la intervención de las fuerzas de seguridad de un posible rescate de operarios. El recurso preventivo permitirá el contacto con los bomberos y los médicos con experiencia en rescate en cuevas y galerías o espeleología. Etapa 2 entrada donde las cuatro figuras fundamentales de la intervención deberán estar en contacto: 1) el director abriendo la marcha y asegurando la instalación previa colocando la nueva instalación en caso de deterioro. 2) el responsable de seguimiento paleo-estratigráfico que junto al director se encargarán del transporte de materiales en varias bajadas incluyendo los útiles de excavación, la retirada de materia orgánica y las mediciones antes de realizar las labores de excavación en los yacimientos. 3) Los excavadores entrarán cuando se haya valorado las condiciones de trabajo y de los lugares de trabajo. Estos entrarán y también transportarán útiles de excavación y elementos ergonómicos (cojines y herramientas) en la última entrada. 4) El supervisor de entrada estará en contacto con el director de la intervención y que no entre personal ajeno a la intervención, al igual que tener un seguimiento de las medidas de atmósferas. Etapa 3 labores de recuperación de material. Se recomienda que el yacimiento a explotar sea el de *Ursus* -54 m, ya que las condiciones de la atmósfera son mejores que las de *Felis* -80 m. Este último yacimiento se recomienda que sea trabajado solo en caso de restos de gran interés y sean recuperados por profesionales con gran experiencia.

La instalación en el yacimiento Ursus y en las primeras galerías verticales de la cavidad se recomienda que sean en la vertiente más cercana al valle, con la mayor cantidad de fraccionamientos en superficies donde se pueden apoyar los operarios para disminuir los riesgos de fatiga y las posibilidades de caída de operarios, material y fragmentos de la galería. Al igual que los restos serán transportados al final de la jornada y si son de gran tamaño por el director y el responsable de seguimiento paleontológico. Una novedad de este trabajo es la definición de los puntos donde se pueden instalar polipastos, con un primer punto en la entrada y otro en el estrechamiento que se abre a la segunda galería a -25 m. Esto permitirá realizar momias de mayor tamaño y mantener la integridad de los restos. También fomentará la salud postural de los integrantes de la intervención. El director deberá estar en contacto con el responsable de la entrada con una frecuencia de 30-45 minutos.

Los protocolos de seguridad para evitar la caída de operarios, fragmentos de la galería y el material es el transporte de material a final de jornada. Los restos de menor tamaño se transportarán en tarros y cajas en las mochilas de los operarios. Los de mayor tamaño serán transportados por el director y el responsable de seguimiento o en caso de imposibilidad de transporte guiados por estos mediante los polipastos. Al comenzar cada jornada se deberá limpiar el camino de entrada retirando los bloques hacia el fondo de la galería. Se deben señalizar las zonas con riesgo de cortes y golpes, suelen coincidir con los estrechamientos. Los ahogamientos son evitados con el estudio previo de la meteorología.

Los protocolos frente a los riesgos físicos implican el aumento de la humedad en profundidad. Los operarios deben encontrar los momentos para cambiar de ropa más transpirable en la progresión a más aislante en los momentos de trabajo o descanso en la progresión. La hidratación debe ser constante y recordada por el director hasta que los operarios recuerden este ritmo. El uso de martillos de nylon para evitar reverberaciones y asegurar la integridad de los restos permite disminuir el riesgo de la transmisión de ruido por toda la galería. Los EPI como cascos o tapones son recomendados para operarios con sensibilidad sonora. La asfixia es la variable más problemática, ya que puede avanzar a cotas superiores con el paso del tiempo con la fermentación y descomposición de los residuos del vertedero. Los gases que deben estudiarse son el amoníaco, ácido sulfídrico y metano que deben medirse antes de comenzar la intervención en *Ursus* al igual que durante la campaña y en *Felis* con periodicidad de horas con medidores multigas. La retirada de los operadores se debe dar cuando las proporciones superen los VLA-ED y retirar la materia orgánica del yacimiento *Ursus* en el caso de que se acumule con mascarillas con filtros para gases y vapores.

Los protocolos higiénicos presentan la dificultad de la ventilación. Esta se da de manera natural con la estacionalidad. En caso de grandes acumulaciones de materia orgánica se recomienda insuflar aire desde la entrada para tener un primer punto de trabajo y la retirada de los focos de materia orgánica con difusión. Se desestima la ventilación asistida debido a la gran profundidad de la cavidad disminuirá el efecto de insuflar aire artificial. Si fuera necesario trabajar en *Felis* el uso de equipos autónomos y semiautónomos de respiración son necesarios.

Los agentes biológicos más probables se darán en las acumulaciones de hierba mediante nidos, los EPIs propios del trabajo en galerías (Fig. 2) en buen estado protegerán a los trabajadores de la actividad de la fauna, aunque se recomienda el uso de insecticidas anti garrapatas e insectos, junto con la iluminación portátil para explorar las zonas ocultas por la vegetación. En caso de mordidas se usará el botiquín permitiendo una primera hemorragia para la limpieza de la herida y prevenir la entrada de microbiota de la galería y colocar el apósito para aislar la herida. Las patologías más comunes son el agotamiento que con las dietas bien racionadas y los fraccionamientos con zonas de descanso se paliaría. La hipotermia usando un protocolo de aislamiento con ropa líquidos calientes y mantas se solucionaría y la hipertermia con la exposición en zonas más ventiladas.

Los protocolos de ergonomía comienzan desde la selección de personal permitiendo la entrada a la galería a personal con estatura no mayor a las zonas estrechas de la galería. Cambiando las posturas periódicamente en las cuadrículas, no superando los 10 kg en el transporte de material y usando material de transporte con asas y zonas de manipulación, en cajas y en el diseño de las momias.

Los protocolos psicosociales también comienzan con la evaluación psicológica de los operarios antes de entrar a la galería y en caso de que se den situaciones de ansiedad el director debe realizar respiraciones guiadas con el operario y evitar la pérdida de calor aislando a la persona.

La cuarta etapa que comienza desde la entrada es la vigilancia del exterior: el supervisor de entrada estará en contacto con el director con frecuencia cada media hora y en caso de que los protocolos dentro de la galería no sean suficientes para solucionar los problemas de los operarios debe realizar el protocolo PAS avisando a las autoridades para que puedan acceder al recinto bomberos y personal sanitario a la puerta de entrada para socorrer al herido tratado en primeros auxilios en la zona de trabajo. La quinta etapa refiere a la formación de los operarios que debe ser en técnicas de progresión vertical y horizontal para poder

transportarse en la galería. Se describe el método Ded para ascenso y descenso de los operadores por la instalación y la necesidad de evaluar el estado de los EPI para evitar accidentes y más riesgos de los operadores. Por último, el plan de prevención de riesgos deberá evaluarse en la cantidad de incidencias sufridas durante la campaña y volver a evaluar los riesgos cada 2 años.



7 Bibliografía

Alba, D. M., Delson, E., Morales, J., Montoya, P., y Romero, G. (2018). Macaque remains from the early Pliocene of the Iberian Peninsula. *Journal of Human Evolution*, 123, 141-147.

Albrich, S., Bernaus, J. M., Boix, C., Caus, E., Martín-Closas, C., Salas, R., ... & Villalonga, R. (2006). Caracterización bioestratigráfica y paleoambiental del Cretácico inferior (Berriasiense-Barremiense) del Macizo de Garraf (Cadena Costera Catalana). *Revista Española de Micropaleontología*, 38(2-3), 429-452.

Altube Basterretxea, I. (2015). *Trabajos en Recintos Confinados*. Osalan Eusko Jaurlaritza (Gobierno Vasco), IFPRL. 262 p.

Daura, J., M. Sanz, J.J. Forno's, A. Asensio, and R. Julia` – Karst evolution of the Garraf Massif (Barcelona, Spain): doline formation, chronology and archaeo-palaeontological archives. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76 (2). 69–87.. DOI: 10.4311/2011ES0254.

Daura, J., Sanz, M., Demuro, M., Arnold, L. J., Costa, A. M., Moreno, J., y Fullola, J. M. (2021). A new chronological framework and site formation history for Cova del Gegant (Barcelona): Implications for Neanderthal and Anatomically Modern Human occupation of NE Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 270, 107141.

DECRET 328/2011, de 26 d'abril, de creació del Consell Nacional d'Arqueologia i Paleontologia, i de la Comissió de Recerca d'Arqueologia i Paleontologia.

Domingo Milà, L., Fructuoso Barea L., Fernández Cortés, A., Yzaguirre, I., Cano, R., Font, X., Calaforra, J.M. y Pérez López, R. (2020). CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA A LA ZONA VADOSA DEL CARST DEL GARRAF PER BIOGAS D'ABOCADOR. *EuroKarst 2021: The European Congress on Karst Hydrogeology and Carbonate Reservoirs*.

García-Fernández, D., Cerdeño, E., Sanz, M., y Daura, J. (2023). The Latest Occurrence of Stephanorhinus hundsheimensis (Rhinocerotidae) in Europe: The Skeletons from the Cova del Rinoceront Site (Castelldefels, Barcelona). *Quaternary*, 6(4), 60.

Gencat (10 de abril de 2025). *Zoonosis*. [link](#)

INSST (2022). Guía técnica Para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. O.A. M.P. INSST 66 p.

INSST (2023). Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. INSST *Ministerio de trabajo y economía social.* 182 p.

INSST (2024). Temas específicos del Proceso Selectivo para ingreso en la Escala de Titulados Superiores del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, O.A., M.P. (INSST). Parte 2: "Seguridad en el trabajo".

Ley 12/1985, de *Espacios Naturales*. 12 de julio de 1985 Comunidad Autónoma de Cataluña «DOGC» núm. 556, «BOE» núm. 166, de Referencia: BOE-A-1985-14282

Ley 16 de 1985. *del Patrimonio Histórico Español.* 25 de junio de 1985 Referencia: BOE-A-1985-12534.

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. «BOE» núm. 269, de 10/11/1995.

Ley 9/1993. *del Patrimonio Cultural Catalán.* de 30 de septiembre de 1993. Comunidad Autónoma de Cataluña «DOGC» núm. 1807, de 11 de octubre de 1993 «BOE» núm. 264, de 04 de noviembre de 1993 Referencia: BOE-A-1993-26497.

Ley 42 de 2007. *del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.* 13 de diciembre de 2007 Referencia: BOE-A-2007-21490.

Llopis Lladó, N. (1970). Fundamentos de hidrogeología cárstica. Edit. Blume.

Marbach, G. y Tourte, B. (2003). *Técnicas de espeleología alpina.* Manuales Desnivel, 46. *Desnivel.* 398 p.

Norma UNE-EN 371:1993. Dispositivos de protección respiratoria. Filtros ax para gases y filtros combinados contra compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición. Requisitos, ensayo, marcado. (Versión oficial EN 371:1992).

Norma UNE-EN 1891:1999. Equipos de protección individual para la prevención de caídas desde una altura. Cuerdas trenzadas con funda, semiestáticas.

Norma UNE-EN 358:2000:Equipo de protección individual para sujeción en posición de trabajo y prevención de caídas de altura. Cinturones para sujeción y retención y componente de amarre de sujeción.

Norma UNE-EN 141:2001: Equipos de protección respiratoria. Filtros contra gases y filtros combinados. Requisitos, ensayo, marcado.

Norma UNE-EN 354:2002: Equipos de protección individual contra caídas de altura. Elementos de amarre.

Norma UNE-EN 361:2002: Equipos de protección individual contra caídas de altura. Arneses anticaídas.

Norma UNE-EN 354:2002: Equipos de protección respiratoria. Medias máscaras filtrantes con válvulas para la protección contra gases o contra gases y partículas. Requisitos, ensayos, marcado.

NTP 587 de Evaluación de la exposición a agentes químicos: condicionantes analíticos

REAL DECRETO 1950/1980, de 31 de julio, sobre traspaso de servicios del Estado a la Generalidad de Cataluña en materia de conservación de la naturaleza. BOE- Nº 236

Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. «BOE» núm. 274, de 13 de noviembre de 2004, páginas 37486 a 37489 (4 págs.)

Resolución de 25 de abril de 1996, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial, por la que se publica, a título informativo, información complementaria establecida por el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual. BOE-Nº129, de 28 de mayo de 1996, páginas 18018 a 18048

Sociedad Española de Paleontología SEP (17 de marzo 2025) *Aspectos básicos del patrimonio paleontológico*. Disponible en: [link](#)

Vall d'Hebron (10 de abril de 2025). *Vall d'hebron y la UB apunta que los jabalíes podrían ser una fuente potencial de transmisión de la hepatitis E a las personas en el área metropolitana de Barcelona.* [link](#)

Victoria, J.M.L. (1 de abril de 2025). Espeleobloc, Forat de la Ruda [link](#)

Wylie, C. D. (2009). Preparation in action: paleontological skill and the role of the fossil preparator. En *Methods in fossil preparation: Proceedings of the first annual fossil preparation and collections symposium* (pp. 3-12).

Yzaguirre, I. y Bifet, E. (2014). El Forat de la Ruda -193 m. *espeleoCAT*, 11. 37-41 p.

Yzaguirre, I. y Maura I., Grazioli, Domènec, M., Dulanto Zabala, D., Sitges, M. y Gutiérrez Rincón, J.A. (2016) Impacto del aire enrarecido de una cueva mediterránea en humanos, a nivel cardiovascular. *Apunts Med Esport*. [DOI](#)



8 Anexos

8.1 Tablas

Tabla 1. Riesgos identificados en las intervenciones de la sima de la Ruda.

Riesgos generales	
Seguridad	
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamientos, choques y golpes con la infraestructura y maquinaria • Zonas cortantes y estrechamientos en la galería
Electrocución	<ul style="list-style-type: none"> • Por fallos en los sistemas de iluminación que llevan los operarios.
Caídas	<ul style="list-style-type: none"> • A distinto nivel: resbalamientos y zonas de desnivel sin señalizar
Caída de objetos	<ul style="list-style-type: none"> • La caída de partes de la instalación por el cambio de condiciones en la galería • Caída de material fósil durante el transporte.
Físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Asociados al ambiente desfavorable: alta o baja temperatura dependiendo de la parte de la galería y alta humedad (que provocan desajustes de temperatura y mucha sudoración); • Falta de iluminación (nula): lo cual dificulta las labores de progresión y transporte/recuperación de material. • Ruido y vibraciones se amplifican en el entorno cerrado afectando al sentido de orientación de los trabajadores.
Ergonómicos	
Posturales	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones posturales y músculo esqueléticas, asociados al espacio limitado durante la recuperación del material • Exposición prolongada a posturas en suspensión. • Transporte por estrechamientos y transporte de material.

Higiénicos	
Desarrollados en riesgos específicos	
Psicosociales	
Mentales	<ul style="list-style-type: none"> • Al trabajar en un ambiente hostil los operarios van a sufrir carga física y mental • Asociados a comunicaciones: la comunicación con el exterior se limita a la línea de teléfono de emergencias con el encargado de custodiar la entrada. También conlleva un esfuerzo mental.
Horarios	Es necesaria una buena planificación para evitar trabajar fuera de los horarios normales que puede causar desajustes biológicos y mirar por las necesidades de todo el equipo tanto en el tema de la comida como en el de la seguridad.
Dietas	La alimentación para la actividad bajo tierra durante un solo día no precisa de grandes medidas extraordinarias y se puede pasar con agua y bocatas. Es aconsejable pero disponer de azúcares rápidos como golosinas y chocolate, para evitar posibles bajones energéticos. La hidratación tiene que ser adecuada, sobre todo si el trayecto hasta el yacimiento es largo y exigente físicamente, dado que el elevado grado de humedad provoca una falsa sensación de hidratación e inhibe la sensación de sed.
Riesgos específicos	
Seguridad	

Asfixia	<p>En condiciones normales y exteriores la atmósfera contiene un 21% de oxígeno al reducirse se da el riesgo por asfixia al darse una falta de oxígeno en la sangre del cuerpo o introducir otros gases al organismo. Los síntomas por falta de O₂ pueden aparecer desde concentraciones por debajo del 19,5%. Síntomas de dificultad de coordinación muscular, aceleración del ritmo respiratorio, pérdida del conocimiento (17%), vértigo dolores de cabeza, disnea y pérdida de conciencia (12-16%) y náuseas pérdida de conciencia seguida de muerte 6-8 min (6-10%). Causas más comunes</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Consumo de oxígeno, por la fermentación de materia orgánica, trabajos de soldadura, absorción por lechos filtrantes de carbono activo húmedo (en trabajos de filtraciones), oxidación de metal. ● Desplazamiento del oxígeno hacia arriba por acumulación de dióxido de carbono (CO₂), debido a ser más denso, producido por la fermentación orgánica, desprendimiento de metano (CH₄) aportes de gases inertes en limpieza de residuos. ● Asociadas a atrapamientos al sedimento, por derrumbes en la galería, dando un enterramiento y asfixia.
Incendio-explosión	<p>En recintos confinados son susceptibles de crear atmósferas inflamables, debido a la evaporación de disolventes inflamables, reacciones químicas, movimiento de productos inflamables (pienso). Un espacio confinado es muy peligroso cuando existe concentraciones de estas sustancias por encima del 25% del límite inferior de inflamabilidad. Causas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Atmósfera inflamable con varios puntos de ignición, por desprendimiento de productos inflamables absorbidos por superficies, vapores asociados a pinturas, asociados a gasolina, reacciones químicas que den productos inflamables (ácido sulfúrico-hierro dando hidrógeno o carburo

	<p>cálcico-agua da acetileno), descargas eléctricas y asociados con combustible. Se puede dar como resultado de los productos de la descomposición de materia orgánica en las zonas planas de la galería (los yacimientos)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sustancias combustibles o atmósfera inflamable de focos de ignición diversos y aumento de concentración de O₂ asociados a mejora de calidad de aire o bombeo de líquidos. En el caso de los químicos utilizados en las labores de recuperación del material fósil.
Intoxicación	<p>A determinadas concentraciones componentes químicos resultan tóxicos y producen enfermedades en operarios, en cualquiera de sus estados, pero con mayor ocurrencia en gas/vapor y polvo fino en suspensión. Pueden aparecer en la atmósfera debido al trabajo con contaminantes o por las labores de trabajo. Si la exposición es prolongada, la concentración es alta pueden dar riesgo de enfermedad profesional. De las más estudiadas son CO₂, SH₂, Cl₂ y NH₃, todavía queda trabajo para conocer los efectos de otras sustancias en el organismo humano. Las causas en la sima pueden ser son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Asociados a reacciones químicas que generan gases, muy frecuente por sulfídrico, en reacciones con materia orgánica, metales y liberación de gas cloro. ● Presencia de monóxido de carbono, ● asociados a soldadura: en los momentos de recuperación de grandes momias fósiles ● Al usar disolventes orgánicos ● asociados a residuos: debidos a la descomposición de la materia orgánica acumulada en la galería

Higiénicos	
Físicos	<p>Asociados al ambiente desfavorable,</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Alta o baja temperatura dependiendo de la parte de la galería y alta humedad (que provocan desajustes de temperatura y mucha sudoración). ● falta de iluminación (nula) que provoca dificultades en las labores. ● ruido y vibraciones se amplifican en el entorno cerrado afectando al sentido de orientación de los trabajadores. ● La acumulación de sedimentos terrígenos procedentes del exterior o de las impurezas de la roca, se acumulan en las depresiones de la cavidad en forma de arcilla. Estos sedimentos se adhieren a los EPIs y pueden aumentar significativamente el peso de los trabajadores dificultando la marcha. ● Se adhieren a la ropa y el calzado
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ● asociados a la descomposición de la materia orgánica y a los posibles gases procedentes del vertedero del Garraf. ● Espeleotemas de la galería: se compone de precipitados de carbonato cálcico y dolomita. Los carbonatos disueltos por la acción del agua al infiltrarse por el macizo, precipitan al interceptar la galería creando las conocidas formaciones de las cavernas o espeleotemas. Pueden sellar grandes espacios dentro de la cavidad, de manera que pueden dificultar la progresión y transporte de material a través de las galerías.

Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ● debido a la presencia de microorganismos, insectos y mamíferos. Sus residuos, junto con el de sus cuerpos se descomponen dando de la materia orgánica y metano. <ul style="list-style-type: none"> ○ Los animales más comunes en el macizo del Garraf son: escorpiones, víboras y garrapatas asociadas al ganado y jabalís. ● la escorrentía permite el transporte de materiales a la sima. Se ha comentado en los riesgos previos, pero al asociarse a material biológico entra en esta clasificación.
------------	--

8.2 Figuras

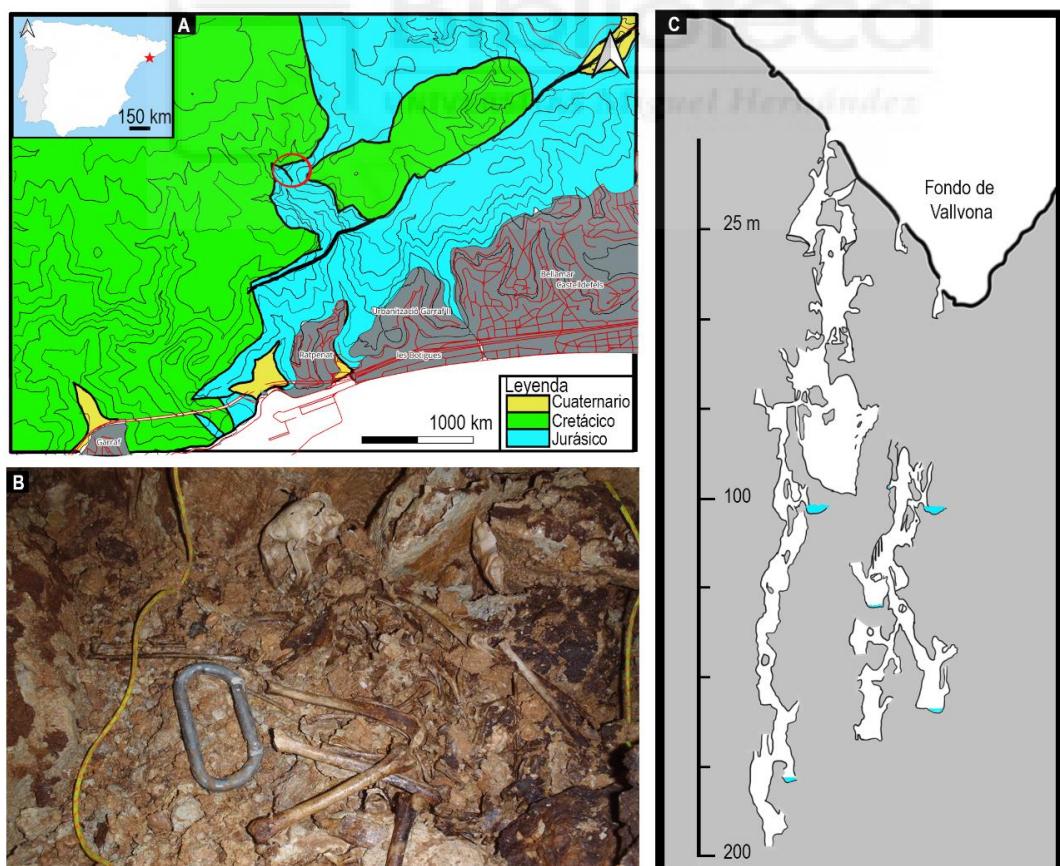


Figura 1. A) Mapa geológico del Macizo del Garraf

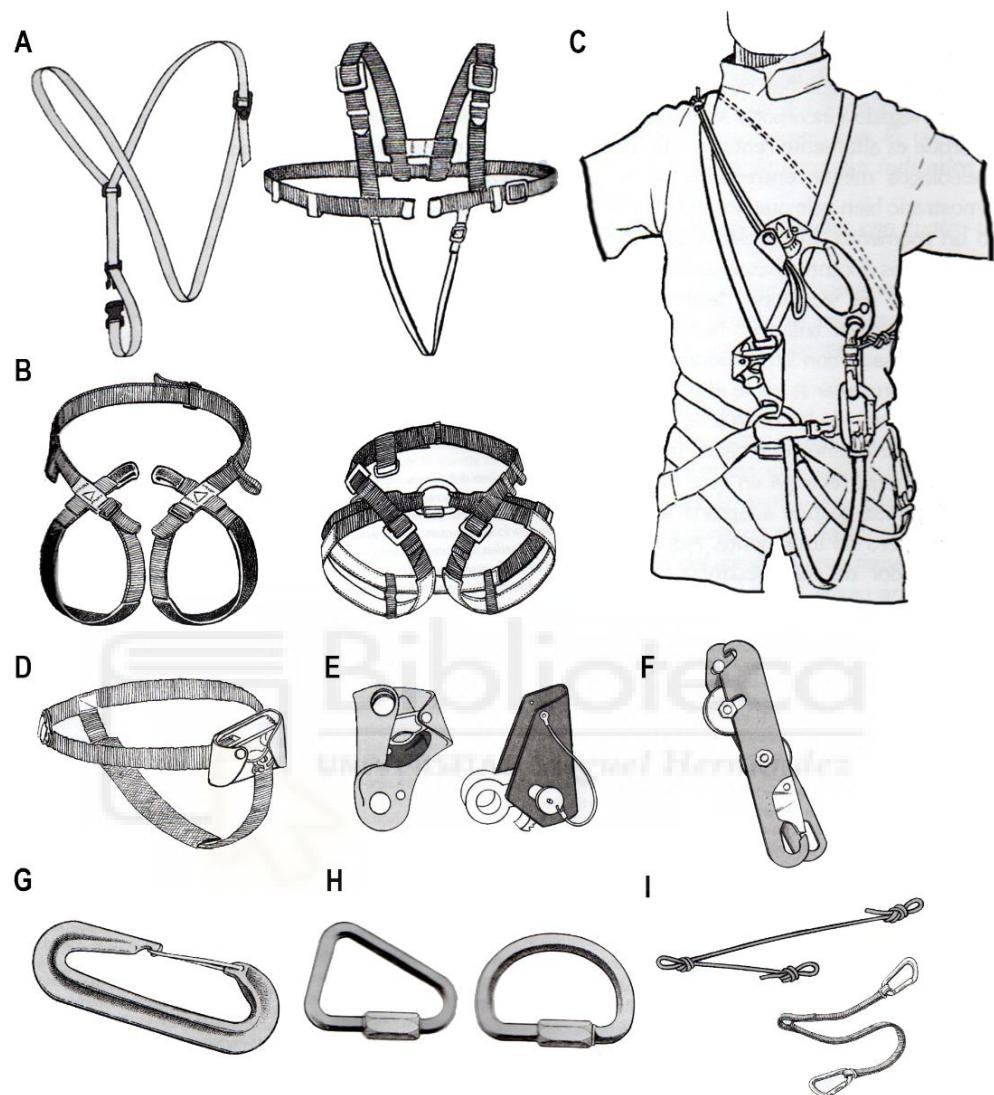


Figura 2. Sistemas de retención y anticaída



Figura 3. Señalización necesaria en la entrada de la sima de la Ruda



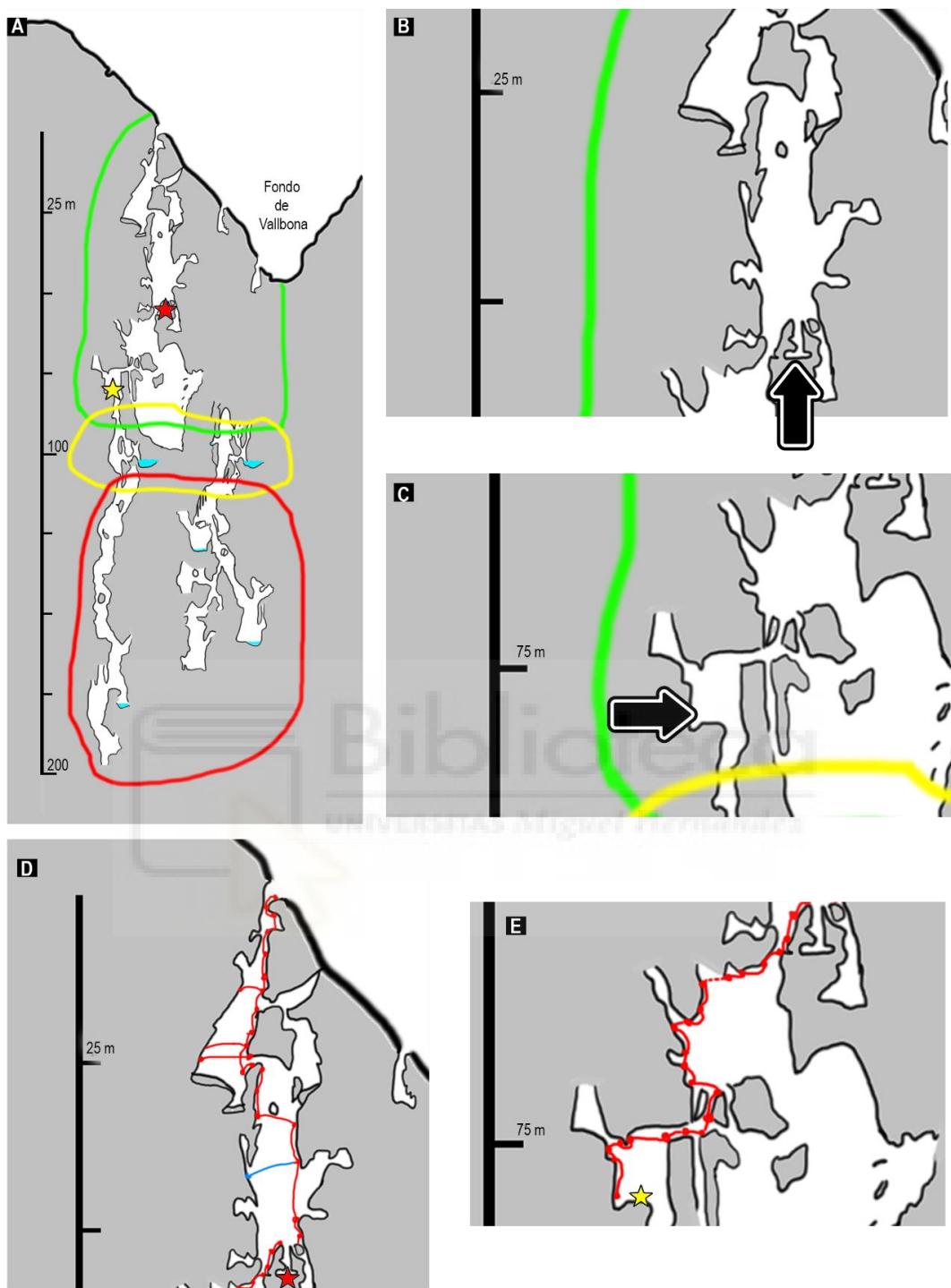


Figura 4. Situación de la intervención.

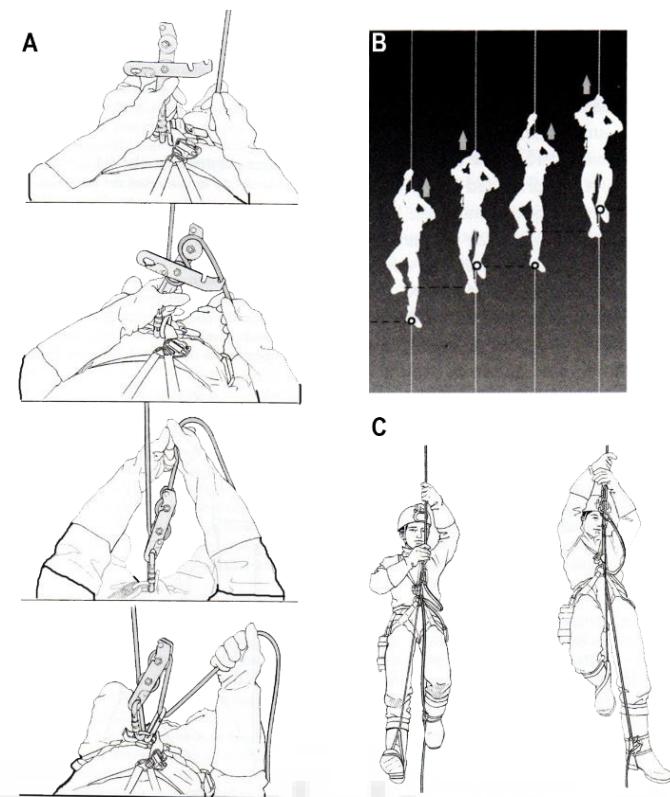


Figura 5. A) proceso de uso del descendedor