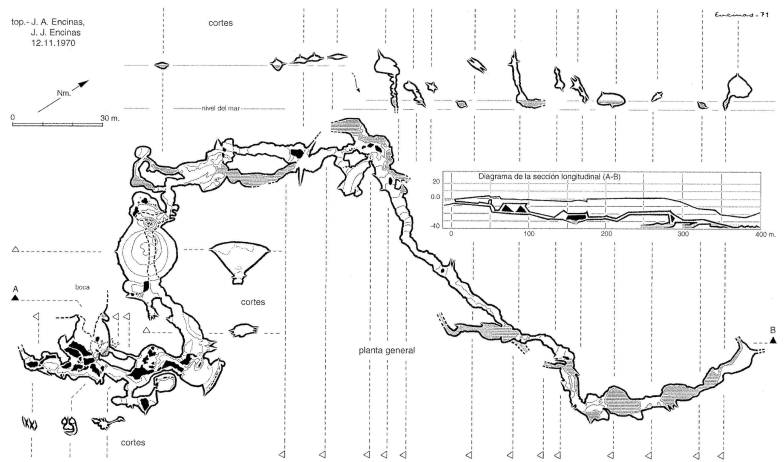


Un cielo casi negro amenaza con soltar su carga sobre nuestras cabezas. Las nubes ocultan la Serra de Tramuntana. Menos mal que sabemos donde refugiarnos. Vamos de camino a un sitio mágico, formado por el agua atravesando la roca caliza en un proceso laborioso durante milenios.

La Cova de ses Rodes tiene mala fama, por lo menos durante la mayor parte del año. En esta temporada, justo antes de las Pascuas, tenemos la esperanza que nos deje entrar. Hemos oído rumores que está transitable sin problemas.



Llevamos al “niño Raulito”. Al niño, le encantan las cuevas de mala fama. Tiene menos de un año, pero ya ha visitado muchas grutas con aire malo. Cuando nosotros jadeamos y sufrimos, el niño empieza a cantar de alegría. El niño no se mueve ni respira por su cuenta. Hay que llevarlo en brazos - o en una bolsa - y encender un pequeño ventilador para que pase aire por sus sensores de oxígeno y de dióxido de carbono. Luego hay que esperar unos veinte segundos para que pueda saborear la atmósfera que le rodea.

En la boca olfatea, pero no detecta otra cosa que un 20.2% de O_2 . La temperatura es de 13.3°C, la humedad de 87%.

Entramos en la primera galería. En verano se suele formar un “lago” invisible de aire viciado en el primer escalón. Si se entra sin mover mucho el aire, la nariz del homo erectus se queda fuera de la acumulación de aire viciado, y no respira más de los 0.04% de CO_2 de la atmósfera exterior. Entretanto, en el suelo se puede detectar aire casi irrespirable. Hoy no hay otra cosa que aire fresco.



Llegamos a la cabecera del primer salto, donde el día 2 de octubre del año pasado medimos un 6.1% de CO_2 (niño feliz). Hoy el Raulito se queda callado, casi desesperado. La concentración del oxígeno ha subido a un 20.4%.

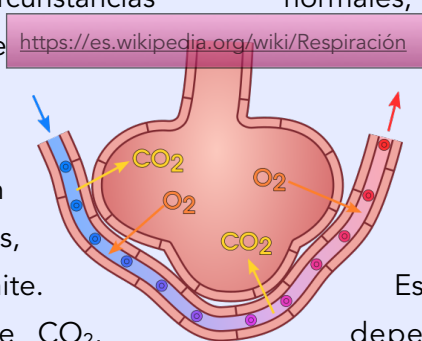
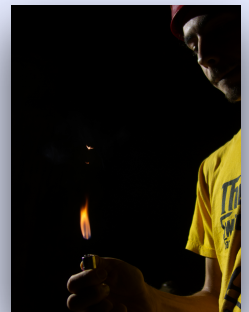
Instalamos una cuerda y bajamos. 0% CO_2 (el niño solo anuncia la presencia de CO_2 a partir de un 0.1%) y 20.3% de oxígeno. Lo sentimos, Raulito, es posible que te quedes con hambre hoy.

Avanzamos por la siguiente galería. En algún sitio, nos tenemos que agachar. Cuesta un poco, y notamos como la respiración aumenta por el esfuerzo físico. Seguimos pocos metros, pero a pesar de poder andar rectos y con facilidad otra vez, la respiración sigue acelerada. Sacamos al niño de su bolsa y dejamos que olfatee. Enseguida vemos como el CO_2 sube y, acto seguido, el O_2 baja. El sensor químico de oxígeno es un poco más lento que el sensor infrarrojo de dióxido de carbono. La medición se estabiliza en 3.5% de CO_2 y 15.8% de O_2 . Estamos a menos de veinte metros casi horizontales del primer salto.

¿El mechero nos va a salvar la vida?

Hay varios mecanismos por los que entra dióxido de carbono en una cueva. Carezco de los conocimientos para explicarlos científicamente. Para el espeleólogo común, equipado con su botiquín y punto caliente, es importante entender **porque su mechero no necesariamente sirve como detector de CO₂ de bajo coste**:

1. El aire seco de la troposfera contiene aproximadamente un 21% de oxígeno, un 78% de nitrógeno, 1% de otros gases, entre ellos un **0.04% de CO₂**. A esto se suman hasta un 4% de vapor de agua. La capacidad del aire de coger vapor de agua aumenta con temperaturas más altas y disminuye con temperaturas más frías.
2. La composición del aire puede variar en **espacios confinados y mal ventilados**, por ejemplo en **cuevas**. La ventilación de una cueva depende de muchos factores, entre ellos su morfología. El motor con capacidad de iniciar o parar movimientos de aire es el gradiente de temperatura entre la atmósfera interna de una cavidad y la externa. Cambios en la presión atmosférica influyen, también.
3. **Al mechero, la concentración de CO₂ le da igual**. Totalmente. Lo único que quiere es una **concentración aceptable de oxígeno**. No voy a poner una concentración concreta. Hemos experimentado con varios mecheros, y cada uno es diferente. Se han hecho estudios en laboratorio, pero hay que tener en cuenta que las condiciones ambientales en una cueva, como humedad y corrientes de aire, pueden influir.
4. Buenas noticias para el espeleólogo. El mechero necesita más oxígeno para funcionar que el hombre de las cavernas.
5. Malas noticias para el espeleólogo. Lo que mata **no** es la falta de oxígeno, sino el **exceso de dióxido de carbono**. Para poder vivir, tenemos que respirar. La respiración de los pulmones se llama respiración externa. La respiración interna se refiere al proceso bioquímico que ocurre en las células de nuestro cuerpo. Consumen oxígeno y liberan dióxido de carbono. Exhalamos ese CO₂ a través de los pulmones. Para que funcione la respiración interna, hace falta un gradiente de gases. En la atmósfera que nos suele rodear, hay un 0.04% de CO₂. En circunstancias normales, exhalamos unos 5.6% de CO₂. Si estamos en un ambiente cargado de dióxido de carbono, disminuye ese gradiente, y la respiración interna, es decir la oxigenación de nuestras células, se hace menos eficaz, porque les cuesta deshacerse del CO₂ a pesar de una respiración acelerada. El cuerpo se puede adaptar dentro de unos márgenes, pero si aumenta el nivel de CO₂ en el entorno, pronto llegará a su límite. Esto ocurre al alcanzar un cinco, seis o (como mucho) siete por cien de CO₂, dependiendo de varios factores. En cambio, la presión parcial de un 13% de oxígeno en el nivel del mar equivale la presión parcial de un 21% de oxígeno en unos 3700 metros de altitud. Nos dejará sin aliento, pero no nos va a matar.



Como regla general, si el mechero no se enciende, se ha agotado su combustible, se ha mojado - **o le falta oxígeno** para la combustión. Si al mechero apagado se suma malestar, es buen momento para **dar media vuelta y salir de la cueva de forma tranquila y ordenada**.

El origen del CO₂: El caso cuando su producción consume oxígeno

El metabolismo de microorganismos, la respiración de la fauna cavernícola y la respiración de las raíces de la vegetación en superficie consumen oxígeno y sueltan dióxido de carbono. Esto resulta en una **disminución de oxígeno de la misma magnitud que el aumento del dióxido de carbono**.

Si el CO₂ aumenta un 5%, disminuye el oxígeno un 5%.

Los demás componentes del aire quedan constantes. Los científicos denominan esta acumulación de dióxido de carbono "Type 2" (→ Gibbs Triangle and Cave Air Index). En este caso nos sirve el mechero para detectar la presencia de CO₂ a través de la falta de oxígeno.

El origen del CO₂: El caso cuando el mechero miente

Si se habla de "Type 2", existe un "Type 1", también. El dióxido de carbono del "Type 1" proviene de degradación de materia orgánica en superficie, y está disponible en el suelo (orgánico-vegetal) encima de la cavidad. Cuando pasa agua por esas capas cargadas de CO₂, lo disuelve. Durante el proceso de karstificación, el CO₂ es liberado en el interior de la cueva por desgasificación que, entre otras cosas, conlleva la precipitación de espeleotemas. En este caso, el CO₂ desplaza todos los componentes de la atmósfera cavernícola. Simplificamos la computación y asumimos que el aire contiene un 80% (4 partes) de nitrógeno y un 20% (1 parte) de oxígeno.

Si el CO₂ aumenta un 5%, desplaza 4% de nitrógeno y 1% de oxígeno.

En este caso **¿qué pasa con nuestro mechero?** Correcto. Se va a encender. Se encendería con un 10% de CO₂, dado que quedaría un 18% de oxígeno, una concentración más que suficiente para un mechero normal y corriente. **El hombre de las cavernas, por otro lado, ya no sería capaz de encenderlo** ☠️

El "Type 2" es el mecanismo predominante, pero suelen combinarse los diferentes mecanismos descritos más arriba. Sin emplear un medidor de CO₂ y O₂ es imposible saber en que medida. Por eso no hay que fiarse del mechero. **Síntomas como respiración y pulsaciones aceleradas, sensación de falta de aire, fatiga, dolor de cabeza, mareos, náuseas, entre otras, son motivo para marcharse.** Hay que tener en cuenta que cada cuerpo es un mundo. Tipo y magnitud de síntomas pueden variar en cada persona. Esfuerzo físico y estrés emocional van a agravar la situación. **La capacidad mental disminuye (mucho CO₂ = espeleólogo tonto 🤪).**

Cavidad	1	2	3 octubre 2025	3 marzo 2026	4
CO ₂	6.0	6.1	6.1	5.2	6.4
O ₂	16.1	15.9	15.2	14.2	13.2

Nosotros queremos saber que hay más adelante. Nos han dicho que en estos momentos se puede llegar al final de la cavidad sin problemas. Seguro que nos podemos fiar de los rumores y de la comunicación indirecta. Seguimos.

Pasamos por debajo de una piedra y por encima de algunas concreciones. En el otro extremo medimos un 4.1% de CO₂ y un 15.6% de oxígeno. Poco después llegamos al primer lago, sitio conocido por conservar una bolsa de aire viciado. Bajo hasta el nivel del agua. El Raulito se pone contento con un 5.1% de CO₂ y un 14.5% de oxígeno.

Subimos unos metros por una rampa de barro para rodear el agua por una galería estrecha. Allí se respira mejor. El CO₂ ha bajado a un 4.5% y se mantiene casi estable hasta la cabecera del segundo salto.

Bajamos pocos metros. Abajo encontramos un 5.3% de CO₂ y un 14.3% de oxígeno. Para que quede claro

! niveles de dióxido de carbono tan elevados lo hacen totalmente desaconsejable seguir ! Pero... Nosotros nos arrastramos por el barro, jadeando y sudando. Mi compañero, alto y fuerte, se ha ofrecido para llevar la saca grande con el material, mientras yo solo llevo la bolsita del Raulito. Siendo de estatura bajita, me puedo mover bien en esas galerías estrechas. Mi compañero, por otra parte, se queda encajado de vez

en cuando. No puede levantar la cabeza ni tiene espacio suficiente para que se expanda su pecho como manda el CO₂. Hemos llegado a un pequeño riachuelo. Bajo por una grieta, echo un vistazo a una pequeña cascada y tomo la medida pertinente: 5.5% de CO₂. Mi compañero se ha retirado a un sitio un poco más amplio en la galería principal, donde hay espacio suficiente para que pueda levantar el tronco y sentarse. Le duele la cabeza. Mucho. Hemos medido en muchas cuevas, y hemos visto concentraciones más altas. Nunca ha tenido síntomas tan fuertes 🤢



Tenemos que tomar una decisión. Estamos a poco más de la mitad de la cavidad. La concentración de CO₂ no va a aminorar en las galerías más profundas. Todo lo contrario. El compañero ya está tocado, y es improbable que se recupere mientras esté en ese entorno. Yo me siento bien, pero no soy inmune a los efectos del CO₂. Si seguimos, arriesgamos que en algún momento mi compañero ya no pueda progresar. No quiero ni pensar en tener que abandonarlo para iniciar un rescate. Se tendría que llevar a cabo con equipos de respiración pesados y de un tamaño inadecuado para esos conductos estrechos. Supondría un riesgo no solo para mi compañero, sino también para los equipos de rescate. Activamos el plan que hicimos antes de empezar la campaña de mediciones:



<https://www.speleo.lt/speleo/aidas/knyga/>

Si alguien no está bien, lo dice, y nos vamos a casa.

La salida de una cueva de aire viciado



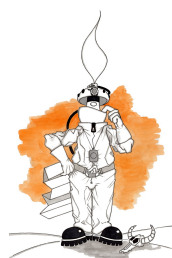
Ahora ocurre lo que tiene que ocurrir cuando se mueven bichos grandes (espeleólogos) en cuevas: Mueven el aire y **arrastran el CO₂**. Lo vemos en cuevas mayormente horizontales igual que en avencs. La magnitud del efecto depende de la concentración del CO₂, del volumen de aire viciado, de la morfología de la cueva y de la intensidad de la ventilación. **Hay que contar con un aumento de CO₂ en el camino de vuelta.** Un aumento de 1% es



muy común. Puede llegar a un un 3%. Esto puede ser desagradable en una cueva horizontal de progresión fácil. En una sima profunda supone un problema. No cuesta rapelar con concentraciones altas de CO₂, pero subir por una cuerda es otra historia. Si un grupo se ve enfrentado con aire viciado en el fondo de un avenc ¿quien sube primero? ¿El más afectado, para que no pierda la capacidad de subir? ¿O mejor un compañero

experimentado y menos afectado, para tener a alguien en superficie que podría avisar a los cuerpos de rescate si los demás no pudieran salir? Depende de la situación. **Lo que no conviene**

es intentar retirar a una persona incapacitada de una zona de aire viciado 🚫 Acabaría inevitablemente con más víctimas. Vale la



pena pensar en esas situaciones antes de meterse en cavidades afectadas por altos niveles de CO₂.



¿Cómo sabemos si una cueva puede estar afectada o no?

Nos gustaría hacer nuestras mediciones públicas, para que todo el mundo tenga la posibilidad de informarse si existen mediciones recientes o si una cueva tiene "antecedentes" de aire viciado. La idea es realizar esto a través del inventario de cuevas, pero conlleva mucho trabajo, y tardaremos en realizarlo. **Si alguien quiere ayudar con el proyecto del inventario, bienvenido sea.** Entretanto vamos a crear un apartado de "aire viciado" en la página web de la FBE.

Necesitamos vuestra ayuda para ampliar nuestro listado de cuevas afectadas por aire viciado. Si sabéis o habéis oído de una cueva con altas concentraciones de CO₂, si habéis vivido alguna experiencia, o si tenéis alguna duda acerca del tema, avisarnos por correo electrónico.



CO2enCuevasMallorca@yahoo.com



Hay pocas publicaciones específicas sobre altos niveles de dióxido de carbono en cuevas. Destacan las del **espeleólogo australiano Garry K. Smith**. Lleva unos treinta años investigando el tema. Adjunto dos de sus publicaciones más básicas.

Foul Air in limestone caves and its effects on Cavers

<https://wasg.org.au/specialties/environmental-hazards/foul-air>

Dióxido de Carbono, las Cavidades y Tú

<https://espeleominas.blogspot.com/2011/06/dioxido-de-carbono-las-cavidades-y-tu.html>

En Mallorca, se han realizado algunos estudios, el más reciente y detallado siendo una investigación de la **Societat Espeleològica Balear (SEB)** en la Cova de sa Font de Dragonera.

Estacionalitat dels paràmetres atmosfèrics de la Cova de sa Font (sa Dragonera): un registre detallat del cicle anual dels valors de temperatura, CO₂ i O₂

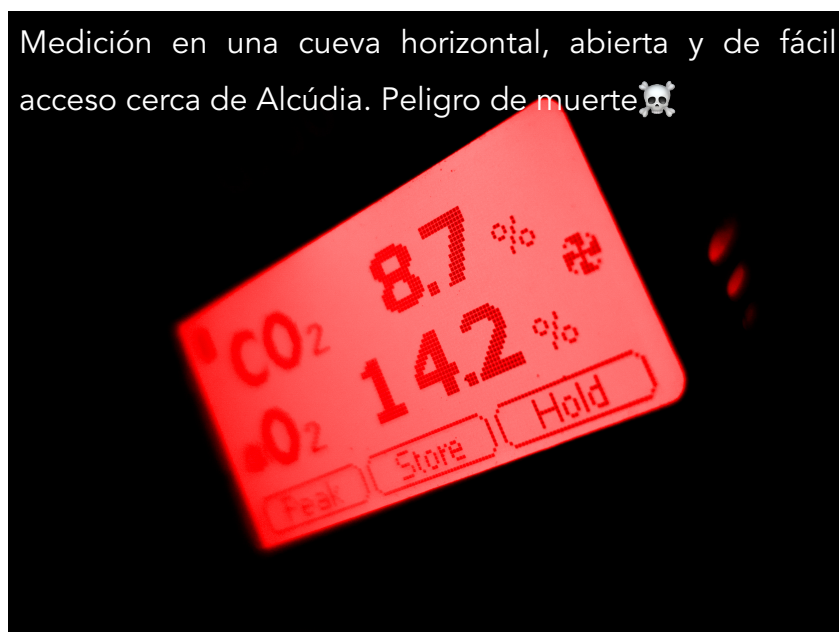
<https://raco.cat/index.php/PapersSeb>

Los espeleólogos de la federación americana, National Speleological Society (NSS) emplean un **detector de CO₂** con sensor químico, homologado hasta un 5% (50.000 ppm), que se calibra al aire libre. Vale una pasta, pero es más asequible y requiere menos mantenimiento que otros medidores de concentraciones tan altas de CO₂.

CO₂ Meter

<https://www.co2meter.com/es-es/collections/handheld/products/portable-co2-safety-detector-monitor?variant=1604764762132>

Medición en una cueva horizontal, abierta y de fácil acceso cerca de Alcúdia. Peligro de muerte 💀



¿Qué es lo que mata en esta cueva?

- A Falta de oxígeno 🤔
- B Falta de un bar en el fondo 🍷
- C Exceso de dióxido de carbono 💀
- D No mata. Esa es la composición normal que tiene la troposfera de la tierra 🌍