

Marcano Prieto, Lourdes

Pérez Rodríguez, Diana

# **[PRÁCTICAS CUEVAS]**

**CUEVA DEL BUXU, PINDAL Y  
TITO BUSTILLO.**

Como ya sabemos, el radón es un gas noble indetectable a nuestros sentidos que emana del suelo, las rocas, los sedimentos... y los productos resultantes de su desintegración quedan en el aire.

Debido a la nefasta repercusión que tiene la exposición de radón en nuestra salud (segunda causa en el mundo de cáncer de pulmón según la OMS), es importante llevar un control de su concentración en lugares altamente radiactivos como pueden ser minas y cuevas.

Nuestra misión será estudiar el nivel de radiación existente en distintas cuevas asturianas de interés turístico, ya no solo con fines sanitarios, sino también de cara a la conservación de las antiquísimas pinturas de sus paredes. Después de estudiar los distintos parámetros ambientales que podrían influir en el nivel de ventilación (temperatura, humedad, presión,..) observaremos la morfología de la cueva, es decir, la composición geológica de sus paredes y suelos, sus dimensiones y sus entradas. En cuanto a lo que a composición geológica se refiere, sabemos que el radón procede principalmente de roca de fosfato, pizarras, rocas ígneas y metamórficas como granito, gneis y esquisto, y, a un grado menor, en rocas comunes como piedra caliza.

En nuestras prácticas realizaremos un estudio radiológico sirviéndonos de los detectores Gamma-Scout y Geiger multipropósito PM1405. Intentaremos que la estancia en la cueva, y por lo tanto el tiempo de medida, sea próximo al de una visita estándar, siguiendo la ruta típica de una visita.

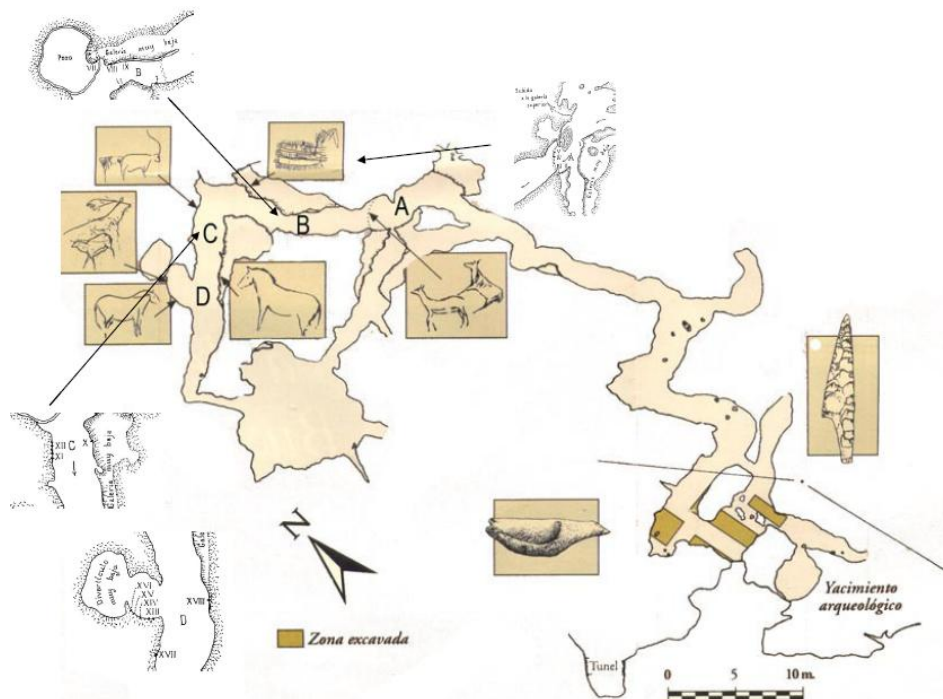
Para una mejor medida, la configuración de los detectores será en ambos casos con las ventanas abiertas, recogiendo así la mayor radiación posible,  $\alpha+\beta+\gamma$ . En el caso del detector GS, pondremos el contador a cero y trabajaremos en modo acumulado a lo largo de la visita, mientras tanto, emplearemos el modo de lectura instantánea en cps. Con el detector PM1405 trabajaremos en modo *search  $\beta\gamma$* , escanearemos suelo y paredes a una distancia suficientemente próxima para evitar una gran pérdida, pero lo suficiente alejada para no dañar la ventana (en torno a unos pocos cm), y lo moveremos a velocidades inferiores a 5cm/s para dar tiempo de reacción al detector. Durante el empleo de este último detector, dejaremos la señal sonora activada para que no pase desapercibida la señal.



### 1. Cueva del Buxu.

La cueva del Buxu está situada en las laderas de la Peña Ancueva, cuya composición se basa principalmente en calizas cretácicas, a unos 25m por encima del arroyo de Entrepeñas, que vierte al río Güeña por su derecha. Se accede a ella desde el pueblo de Cardés, por un camino de casi un kilómetro que sigue durante buena parte el curso del arroyo hasta cerca de la cueva.

La entrada de la cueva del Buxu está orientada al suroeste, y dispone de una puerta metálica que contiene una pequeña rejilla que contribuye, en cierta medida, a la ventilación de la misma. La cueva apenas tiene formaciones geológicas, ya que su origen fue un tubo por el que circulaba el actual arroyo de Entrepeñas a presión, hasta que con el tiempo se abrió un sifón por el cual se perdió, dejando libres las actuales galerías.



La cueva no destaca por sus grandes dimensiones. Su longitud aproximada es de 100m con una altitud media de 1.70m, llegando a haber lugares en los que los visitantes deben agacharse para pasar.

El número de visitas está restringido a un cupo de 25 personas al día, en pases de seis personas (más el guía) y se estima una duración de 30 min- 1 hora.

**1.1. Parámetros ambientales.**

La visita a la cueva del Buxu se hizo el 29 de noviembre. La temperatura en el exterior era aproximadamente de 10°C, y la humedad relativa del 47%, siendo el día de la visita un día lluvioso.

Sin embargo, lo que realmente nos interesan son los valores de temperatura y humedad en el interior de la cueva. Para la temperatura se encontró un valor mínimo de 14°C en la zona de la galería, en la cual hemos de notar que había filtraciones de agua. El valor máximo registrado fue de 17°C en torno al punto D. A sí mismo, a excepción de los valores de la entrada, las fluctuaciones en el interior no son demasiado pronunciadas ( $\Delta T = 3^\circ C$ ), pudiendo considerar que la temperatura en el interior de la cueva ondeaba los 16°C. En lo que a humedad se refiere ocurre algo parecido, encontramos valores mínimos del 76% en la zona de la galería, y valores máximos, en torno al punto D, del 84%.

De esta forma, consideramos:

Temperatura	Humedad relativa
16°C	84%

**1.2. Medidas Gamma-Scout.**

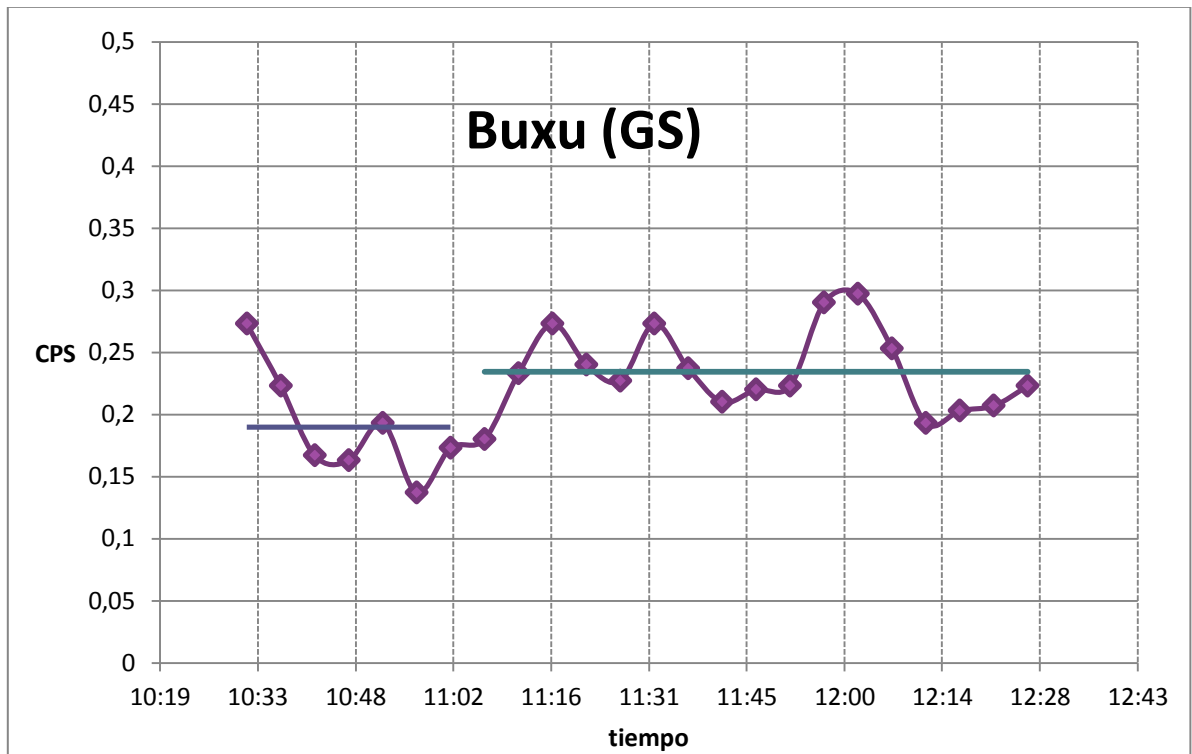
El detector Gamma-Scout nos servirá para medir el nivel de radiación que recibe una persona durante el tiempo que dura una visita. Para ello accionamos la función que nos permite este tipo de medida a la entrada de la cueva, y lo paramos en el momento de la salida. El tiempo de permanencia en la cueva fue de 55 minutos, aproximadamente lo que dura una visita normal, y el detector midió un total de 0,083μSv.

Este bajo nivel de radiación encontrado no supone ningún peligro para el visitante. La única duda posible es si para el guía, que realiza varias visitas al día durante el año, esta cantidad es o no perjudicial.

$$\frac{0,083\mu Sv}{1h (visita)} \cdot \frac{4h}{1d} \cdot \frac{5d}{1semana} \cdot \frac{50semanas}{1año} = 83\mu Sv/año$$

Vimos que según la instrucción IS-33, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural, en términos de dosis efectiva a los trabajadores debida a su actividad laboral, no es necesario aplicar medidas de control de ningún tipo hasta valores superiores de 1mSv/año. De esta forma, dado que la cantidad medida es varios órdenes de magnitud menor que la indicada, el personal tampoco presenta peligro laboral.

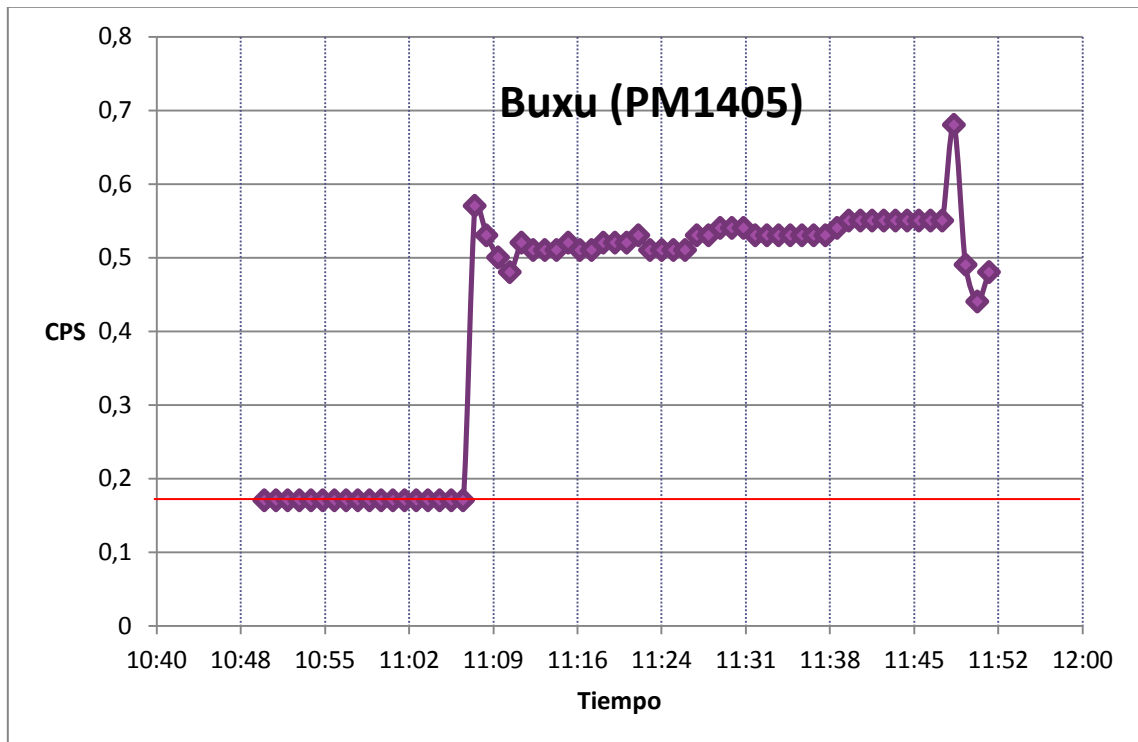
A continuación se presenta la radiación instantánea (en cps) durante todo el tiempo que estuvimos en la cueva, y se observa como en ningún caso se llega a medir media cuenta por segundo, lo que indica una baja actividad en el interior de la cueva.



Si tenemos en cuenta que la entrada a la cueva tuvo lugar a las 11:05 aproximadamente, calculando el valor medio de las cps en el exterior y el interior de la cueva, vemos que existe una diferencia entre el 15% y el 20%. Podremos atribuir a su vez un valor próximo a 0,2 cps al fondo.

### 1.3. Medidas Geiger multipropósito PM1405.

La alta precisión de este dispositivo con respecto al anterior, nos permitirá buscar la posible existencia de un pico de radioactividad en un lugar concreto. Durante el transcurso de la visita encontramos un pico de este estilo, tanto a la ida como a la vuelta de la visita, en la denominada zona B. Se trata de una bóveda con poca altura, por lo que creemos que se trate simplemente de una mala ventilación de la zona y una concentración de aire. De todas formas, en ningún momento se alcanzó la franja de una cuenta por segundo por lo que el nivel de radiación sigue siendo inofensivo de cara a nuestra salud.

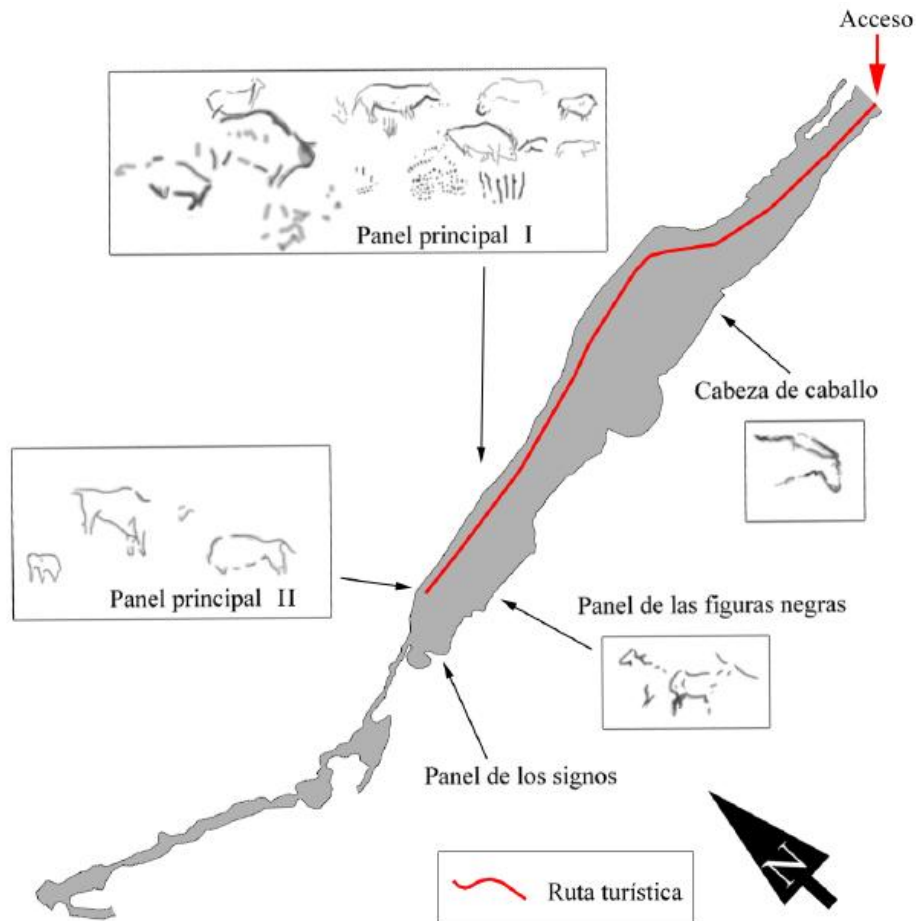


La situación que encontramos es semejante a la anterior pero con una notable mejora en la precisión de las medidas, se observa un clarísimo incremento en la señal a la entrada de la cueva. En este caso, encontramos un fondo de 0,17 cuentas por segundo (indicado con la línea roja). Si tenemos en cuenta este fondo para el resto de medidas, en el interior de la cueva se alcanzan valores próximos a la media cuenta por segundo. Así mismo, se observan los “picos” correspondientes a esa zona B de la que hablábamos.

## 2. Cueva de Pindal.

La cueva del Pindal es una cueva prehistórica del norte de España que se sitúa en las proximidades de la localidad de Pimiango (concejo de Ribadedeva), en el Oriente del Principado de Asturias.

Consiste en una larga galería de ancha boca que se abre a pocos metros del acantilado en un paisaje de singular belleza. La entrada está cerrada por una puerta de barrotes que permite una gran ventilación. En dicha gruta se distinguen dos sectores: el oriental, abierto al público, y el occidental, de acceso restringido. La zona visitable tiene una longitud que ronda los 300m, una anchura inferior a los 45 metros y una altura de aproximadamente 10 metros. La zona no visitable es algo más corta, tiene una longitud de 260 metros, que acaba en un fondo de saco tras atravesar zonas caóticas por el desprendimiento de bloques. En total resulta una longitud de unos 600 metros con una superficie de 69,37 Ha aproximadamente.



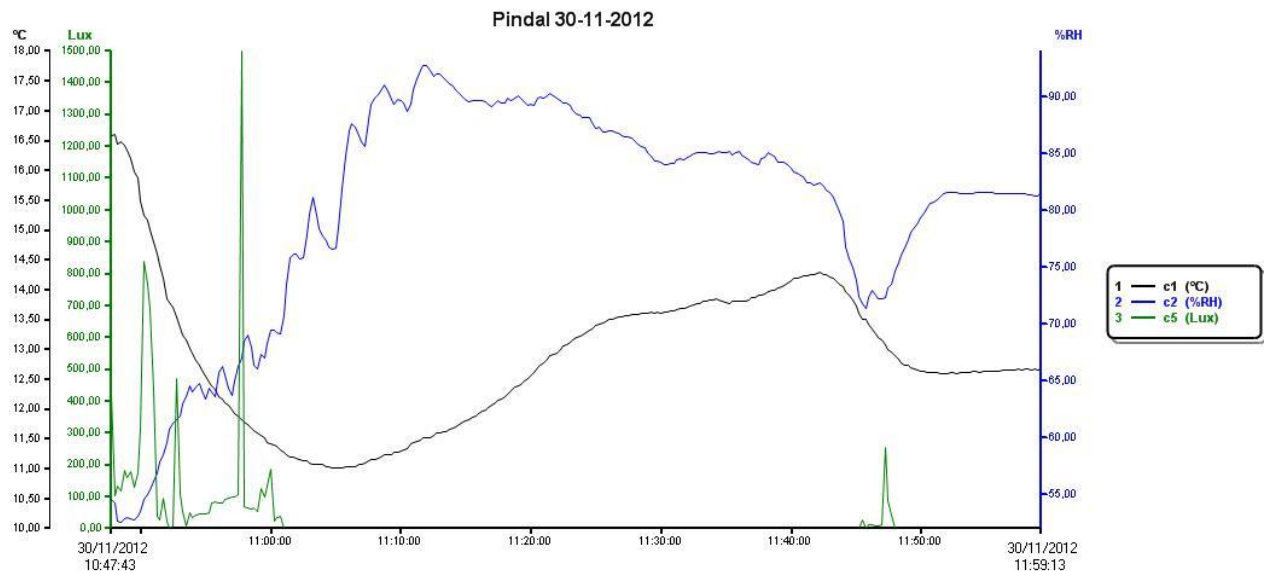
La cueva cobija una de las más bellas muestras del arte paleolítico de la región formado por un discreto grupo de representaciones animalísticas, entre las que destacan las figuras de un pez y de un mamut. A estos temas se unen otros de carácter simbólico cuyas interpretaciones aún siguen siendo un desafío: puntuaciones, claviformes, bastoncillos, triángulos y un laciforme se intercalan en la composición. En la ejecución de la obra del Pindal el hombre prehistórico se sirve de la pintura, predominantemente roja, y el grabado, técnicas que utiliza por separado o combina armoniosamente, en un estilo básicamente lineal. La generalidad de las imágenes del Pindal se dispone a lo largo de la pared derecha, agrupándose en varios conjuntos diferenciados de los que destaca el Panel Principal, que acoge la mayoría de las representaciones.

El número de visitas está restringido a unas 25 personas al día, y se estima una duración en cada una de 45min. No cierra en ninguna época del año.

La cueva de El Pindal fue declarada Bien de Interés Cultural con fecha 25-4-1924 (Gaceta 7-5-1924) y **Patrimonio de la Humanidad** por la Unesco el 7 de julio de 2008; al igual que la cueva de Tito Bustillo (Ribadesella) entre otras más asturianas.

## 2.1. Parámetros ambientales.

La visita de la cueva del Pindal se realizó el 30 de noviembre, de nuevo en otoño. La temperatura, así como la humedad relativa en el interior de la cueva, se reflejan en la siguiente gráfica:



Vemos cómo la temperatura, representada en color negro, presenta variaciones comprendidas entre los 11 y los 16°C ( $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ ). Por otra parte, la humedad relativa (línea azul) se estabiliza alcanzando valores superiores al 80%.

Podemos considerar los siguientes valores medios:

Temperatura	Humedad relativa
14°C	97%

## 2.2. Medidas Gamma-Scout.

Al igual que hicimos con la cueva del Buxu, con este detector somos capaces de dar un valor a la radiación que recibe un visitante a lo largo de una visita estándar. Nuestra visita duró 45 minutos, y el detector midió un total de  $0,058\mu\text{Sv}$ . Este valor, inferior al obtenido en la cueva del Buxu, no presenta ningún peligro para los visitantes de la cueva.

Teniendo en cuenta el número de visitas que se realizan a lo largo de un año, calculamos la dosis a la que se ve expuesto un el guía o guardia de la cueva.

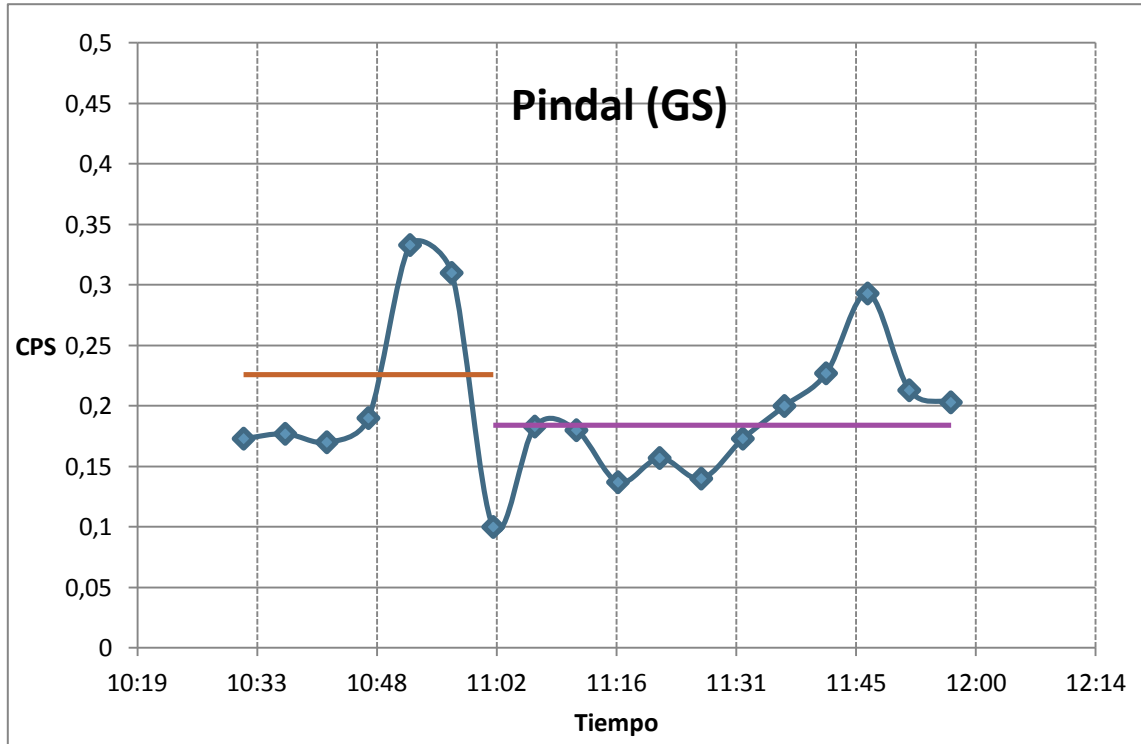
$$\frac{0,058\mu\text{Sv}}{45\text{min (visita)}} \cdot \frac{45\text{ min}}{1\text{ visita}} \cdot \frac{6\text{ visitas}}{1\text{ dia}} \cdot \frac{5\text{ dias}}{1\text{ semana}} \cdot \frac{50\text{semanas}}{1\text{ año}} = 87\mu\text{Sv/año}$$

Obtenemos que el personal de la cueva de El Pindal recibe mayor cantidad de radioactividad al año que el de El Buxu pero debido al mayor número de visitas realizadas, no a



que la cueva sea más radioactiva. Sin embargo, este valor sigue siendo inferior a 1mSv/año, que, como veíamos, es el umbral fijado por la instrucción IS-33 para la imposición de medidas de control.

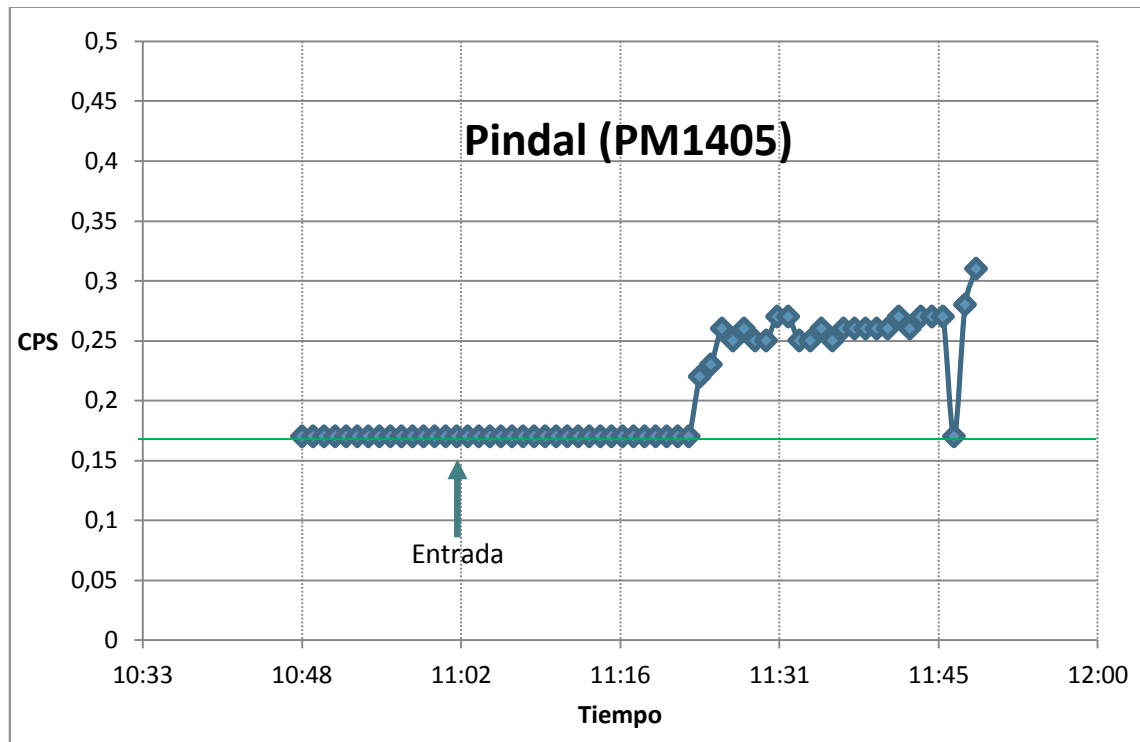
El siguiente gráfico muestra la detección a lo largo de la visita:



Si suponemos la entrada de la cueva a las 11:00, encontramos un resultado cuanto menos sorprendente, parece que detectamos mayor actividad en el exterior que en el interior. Pese a que en ningún caso se supera la media cuenta por segundo, antes de entrar a la cueva encontramos un pico en la radiación que eleva el valor medio en el exterior frente al valor medio en el interior. ¿Qué ocurre? La señal es tan baja, que prácticamente lo único que medimos es fondo. La baja precisión del detector G-S no nos permite diferenciar entre interior o exterior.

### 2.1 Medidas Geiger multipropósito PM1405.

Aprovechándonos de la mejora en la detección de este dispositivo, nos proponemos repetir el estudio anterior. En este caso, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica:



Con un fondo de 0,17 cps en el exterior, no se observa un aumento en la señal en el momento de entrar en la cueva, de hecho, durante los primeros veinte minutos de visita solo se detectan esas 0,17 cps correspondientes al fondo. La radiación aumenta ligeramente en la segunda mitad de la visita, sin embargo este incremento es inferior en cualquier caso a 0,2 cps. Esta baja señal se puede atribuir a la buena ventilación de la cueva, dado que en todo momento se notaba una brisa de aire.

### 3. Cueva de Tito Bustillo.

La cueva de Tito Bustillo es uno de los conjuntos rupestres mundiales del arte paleolítico incluyéndose dentro del listado de **Patrimonio Mundial**. Se encuentra en macizo de Ardines, una colina caliza situada en la orilla oeste del estuario que forma el río Sella en su desembocadura. Esta colina es en realidad un complejo kárstico de calizas carboníferas que está siendo excavado por el río San Miguel, responsable de las cavidades existentes en su interior, entre ellas Tito Bustillo, La Lloseta y La Cueva. El río San Miguel es hoy día un pequeño curso de agua que penetra en la montaña por un sumidero conocido como La Gorgocera, para pasar después al nivel inferior del sistema, recorriéndolo en sentido contrario al de la visita turística, y sale al exterior por el mismo lugar que se encuentra la entrada artificial a la cueva. Este sistema kárstico tiene 3 niveles, excavados por el río en diferentes periodos; el superior corresponde a la Cueva de La Lloseta, el medio a Tito Bustillo, y el inferior es el curso actual del río, que actúa como controlador de la temperatura y humedad de la cueva. Al tratarse de un sistema kárstico, las cuevas anteriores se encuentran comunicadas entre sí por chimeneas y galerías, si bien es casi imposible el paso de una a otra por el interior.

La cueva de Tito Bustillo es una galería de unos 700m de longitud, a la que en la actualidad se accede por una entrada artificial que apunta hacia el noreste, localizada en el extremo

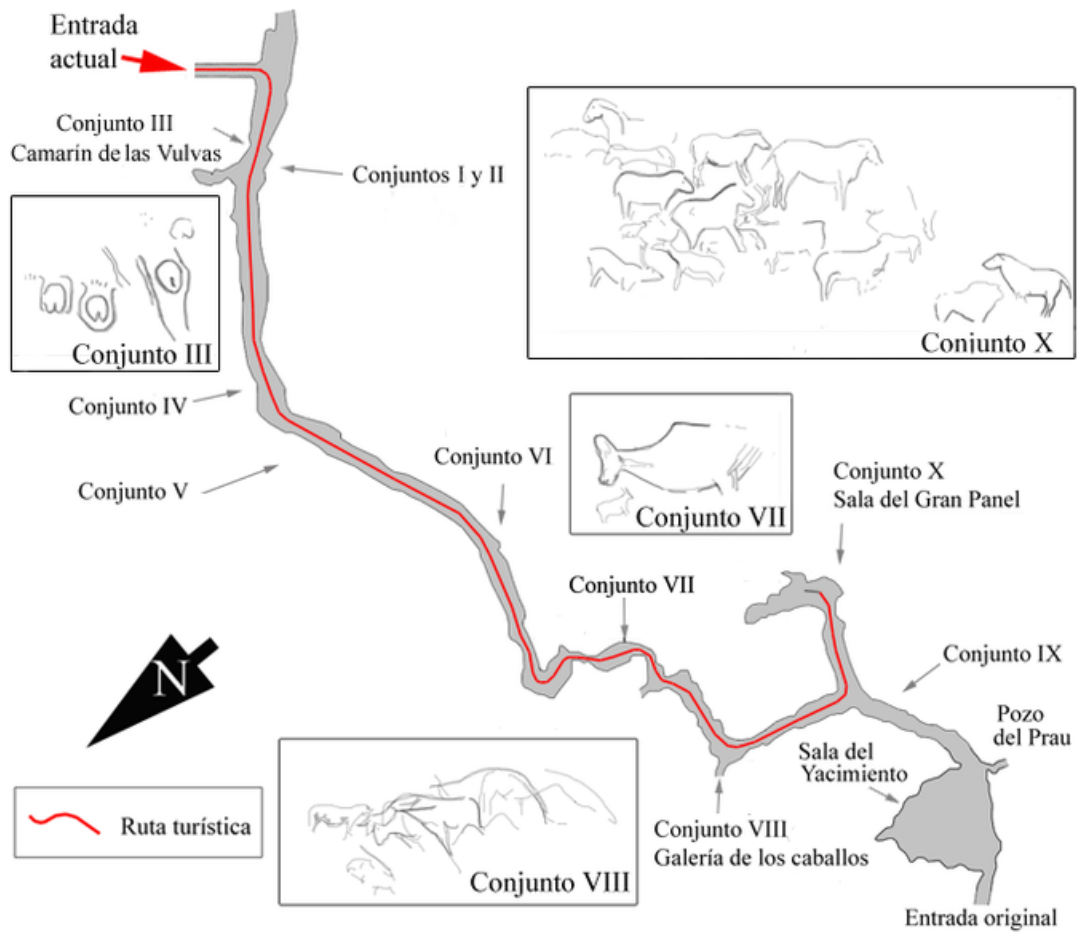
opuesto a la entrada prehistórica, ya que esta última entrada quedó cegada por un derrumbe, que selló la cavidad durante milenios y permitió la conservación de las pinturas. Inicialmente las visitas se realizaban por esta antigua entrada, en Ardines, donde en 1969 se abrió un pequeño acceso a través del derrumbe y que atravesaba la sala donde se encontraba el hábitat, lugar hoy de un importante yacimiento arqueológico. En 1970, sin estudios previos, se abrió un túnel, un pasadizo artificial de 165m de longitud dividido en 4 sectores por sucesivas puertas y que desemboca en el extremo oriental de la galería principal, que fue bautizada por Magín Berenguer como Galería Larga. La visita turística actual entra en la cueva por esta zona, y tras recorrer 540m se alcanza una sala en la que confluye por la derecha la galería que da acceso a la entrada original por Ardines y por la izquierda un corredor en el que se encuentra el Panel Principal de la cueva de Tito Bustillo. Así, la cueva cuenta con una longitud total de aproximadamente 1800 metros y una superficie de 243,38 hectáreas.

La gruta acoge algunas de las mejores pinturas y grabados rupestres de la Cornisa Cantábrica, y su importancia radica tanto en la cantidad como en la calidad de las representaciones que existen en sus paneles y que presentan la totalidad de técnicas empleadas por el hombre del Paleolítico.

Desde el punto de vista de la conservación de la cueva, ésta deja mucho que desear. Ha sufrido, y sufre, una excesiva presión turística que debería ser revisada. Además, a esto se suma el efecto de la actividad humana en el entorno, en especial en los alrededores de Ardines, donde las plantaciones de eucaliptos contribuyen a desecar la galería, los vertidos se infiltran en el interior y el río introduce contaminación en el interior. A este respecto, un estudio microambiental de la cueva (año 1999) arroja los siguientes datos:

- Aparece una gran variedad de microorganismos, incluso hongos, en todo el panel principal.
- Alto nivel de contaminación del agua, tanto del río como la infiltrada, éstas últimas de origen principalmente urbano, que introducían nitritos, amoníaco e incluso coliformes fecales en zonas pintadas de alto valor.

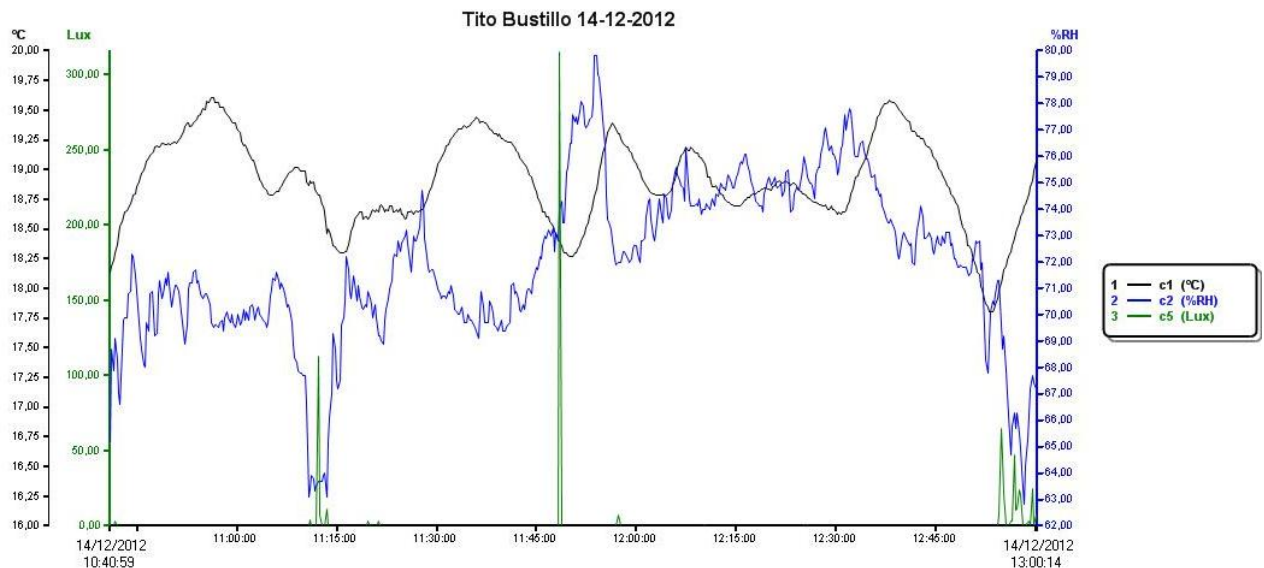
La gran cantidad de materiales que se acumulan en los sumideros del río San Miguel (ramas, animales muertos, basuras, restos de talas, ...), han hecho que en épocas de lluvias copiosas se rompa este tapón provocando la entrada brusca de agua en la cueva, no preparada para soportar dicho caudal, y por consiguiente originando inundaciones en el interior de la misma.



La cueva de Tito Bustillo está abierta únicamente del 1 de abril al 30 de octubre, cerrando durante el otoño e invierno. La visita a la cueva está restringida a un máximo de 15 personas por pase (más el guía). A su vez, La duración de la visita es, aproximadamente de 45 min. La temperatura estimada es de 13°C y la humedad relativa del 98%.

### 3.1. Parámetros ambientales.

La visita a la cueva de Tito Bustillo se realizó en otoño, el 14 de diciembre. Tanto la variación de temperatura como la humedad relativa en el interior de la cueva, se reflejan en la siguiente gráfica:



La temperatura, línea negra, varía ligeramente entre los 18,25°C y los 19,75°C, dejando un  $\Delta T = 1,5^{\circ}C$ . A diferencia de lo que encontrábamos en las otras cuevas, esta variación no es tan alta. La humedad relativa (azul) varía entre el 63% y el 80%. La poca variación de estos parámetros en comparación con lo encontrado para El Buxu y Pindal, se debe a que el transcurso del río actúa como controlador de temperatura y humedad.

Los valores que se consideran son los siguientes:

Temperatura	Humedad relativa
19°C	70%

### 3.2. Medidas Gamma-Scout.

Dado que la duración de nuestra visita fue superior que la de una visita estándar, normalmente suele durar unos 45 minutos y nuestra visita fue de aproximadamente dos horas y cuarto, debemos tenerlo en cuenta a la hora de estudiar el impacto en los visitantes y los trabajadores.

A lo largo de las dos horas y 15 minutos, el detector midió un total de 0,30  $\mu Sv$ .

Aunque sea una pésima aproximación, dado que la actividad de la cueva no es homogénea, haciendo una sencilla regla de tres podemos estimar la radiación a la que se ve sometido un visitante durante los 45 minutos de visita:

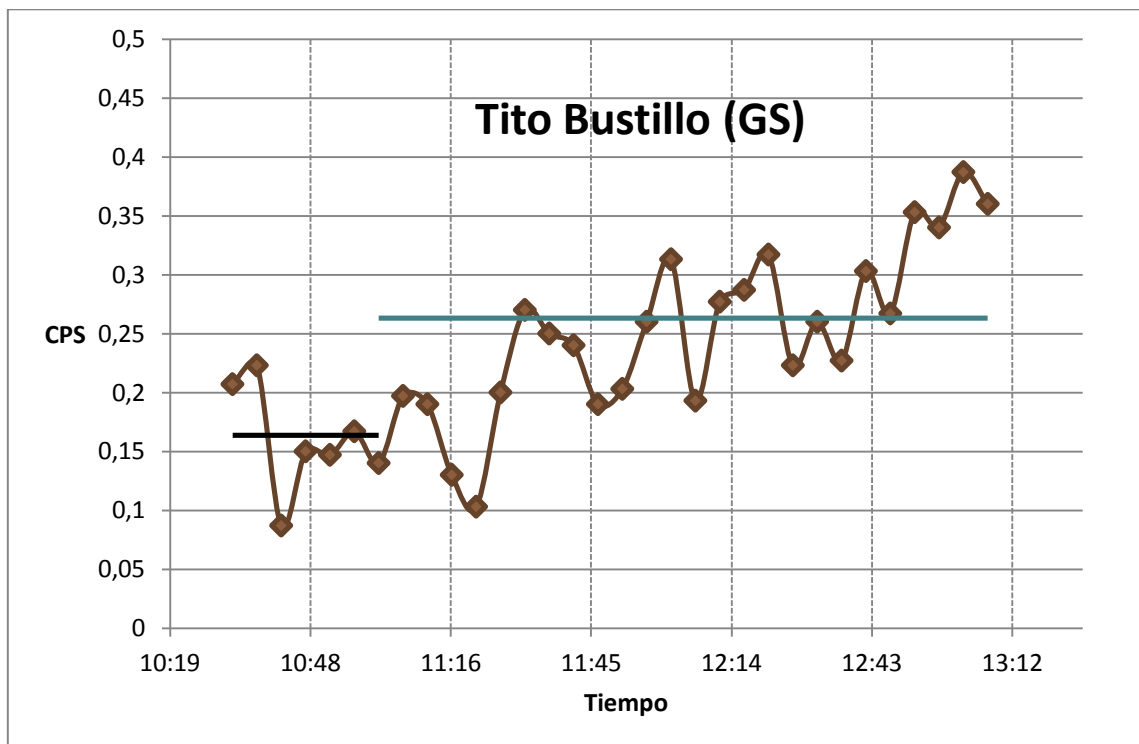
$$0,3 \mu Sv \cdot \frac{45 \text{ min}}{135 \text{ min}} = 0,1 \mu Sv$$

Y de igual modo, suponiendo los 6 meses de visitas al año a 7 u 8 visitas diarias llegamos a:

$$0,1 \mu \frac{Sv}{\text{visita}} \cdot \frac{8 \text{ visitas}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{5 \text{ dias}}{1 \text{ semana}} \cdot \frac{25 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} = 100 \mu \frac{Sv}{\text{año}} = 0,1 \text{ mSv/año}$$

De nuevo, el valor obtenido es inferior al valor umbral de peligrosidad tal y como lo hemos definido. Sin embargo, para esta cueva, encontramos un valor superior que en los casos anteriores aún teniendo un régimen de visitas más estricto.

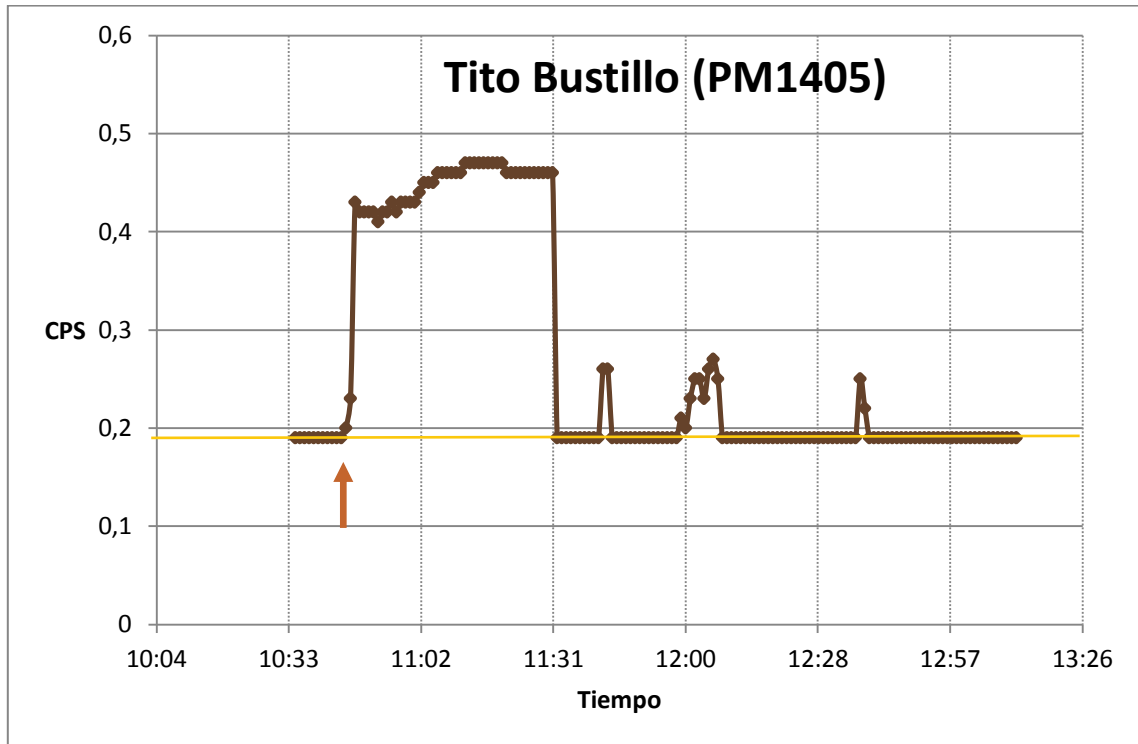
El siguiente gráfico muestra la detección a lo largo de la visita:



Observando el gráfico anterior, suponiendo la entrada a la cueva a las 10:55, nos damos cuenta cómo, calculando valores medios, existe una diferencia de la señal entre el interior y el exterior de la cueva de aproximadamente 0,1 cuenta por segundo.

### 3.3. Medidas Geiger multipropósito PM1405.

Si analizamos ahora los resultados obtenidos con el detector PM1405:



En este caso nos encontramos con un fondo de 0,19 cps. La señal aumenta rápidamente en el momento que entramos en la cueva llegando a valores cercanos a la media cuenta por segundo. A partir de las 11:31 parece que la radioactividad decrece tomando valores próximos a lo que hemos considerado como fondo.

Aunque no aparece en el gráfico, durante un breve periodo de tiempo, la señal del detector subió rápidamente alcanzando valores de 1,55 cps en mitad de la galería IV-V. No hay explicación aparente a esta repentina subida, la emisión parecía provenir de una estalagmita de pequeño tamaño o del propio suelo.

4. Comparativa de las medidas en todas las cuevas.

A continuación se presenta una tabla que muestra las características principales en cuanto a geología, morfología, situación y parámetros de las distintas cuevas. Con estos datos trataremos de ver si los resultados experimentales se corresponden con lo esperado, tal y como vimos en las prácticas de aula.

	<b>El Buxu</b>	<b>Pindal</b>	<b>Tito Bustillo</b>
<b>Apertura</b>	Todo el año (Miércoles-Domingo)	Todo el año (Miércoles-Domingo)	1 abril-30 octubre (Miércoles-Domingo)
<b>Nº de visitas (sin guía)</b>	6 personas/visita (máx. 25 al día)	20 personas/visita (6 visitas/día)	15 personas/ visita (7-8 visitas/día)
<b>Composición geológica</b>	Calizas bioclástica	Rocas cuarcíticas, y calizas	Calizas bioclástica
<b>Puerta</b>	Metálica (150x50cm) con rejillas.	Verja (10x2,7m altura máxima)	Verjas y varias puertas metálicas que permiten salida del agua.
<b>Orientación de la puerta</b>	Suroeste	Este	Sureste
<b>Morfología</b>	Pequeña superficie. Curvada y con muchos recovecos.	Amplia. Rectilínea y zona de visitas ancha.	Amplia. Rectilínea y conexiones con otras galerías.
<b>Presencia de agua</b>	Agua de escorrentía parietal, goteos y río intermitente (estacional)	Goteos discontinuos	Río San Miguel, goteos y gours.
<b>T (°C)</b>	16	14	19
<b>Humedad relativa (%)</b>	84	97	70
<b>Dosis visitante (µSv/t<sub>visita</sub>)</b>	0,083 (55 min)	0,058 (45 min)	0,1 (45 min)
<b>Dosis guía (µSv/año)</b>	83	87	100

**¿Qué esperaríamos obtener?**

Puesto que en las tres cuevas encontramos prácticamente el mismo tipo de roca en paredes y suelos, los aspectos geológicos que hacen referencia a la emanación del radón y a la fijación del mismo, podremos obviarlos en primera aproximación.

Además, teniendo en cuenta que en los tres casos la temperatura en el exterior era de 10-11°C, la diferencia de temperatura interior-externo, que como habíamos visto en las prácticas de aula era sumamente importante para una buena ventilación, es aproximadamente la misma,  $\Delta T \sim 5^\circ C$ , en el caso de El Buxu y Pindal, y levemente superior para Tito Bustillo, lo cual favorecería ligeramente su ventilación.

A priori, podríamos decir que vamos a encontrar una menor concentración de radón en la cueva de El Pindal, ya que presenta una estructura recta sin escondrijos en los que se estanque



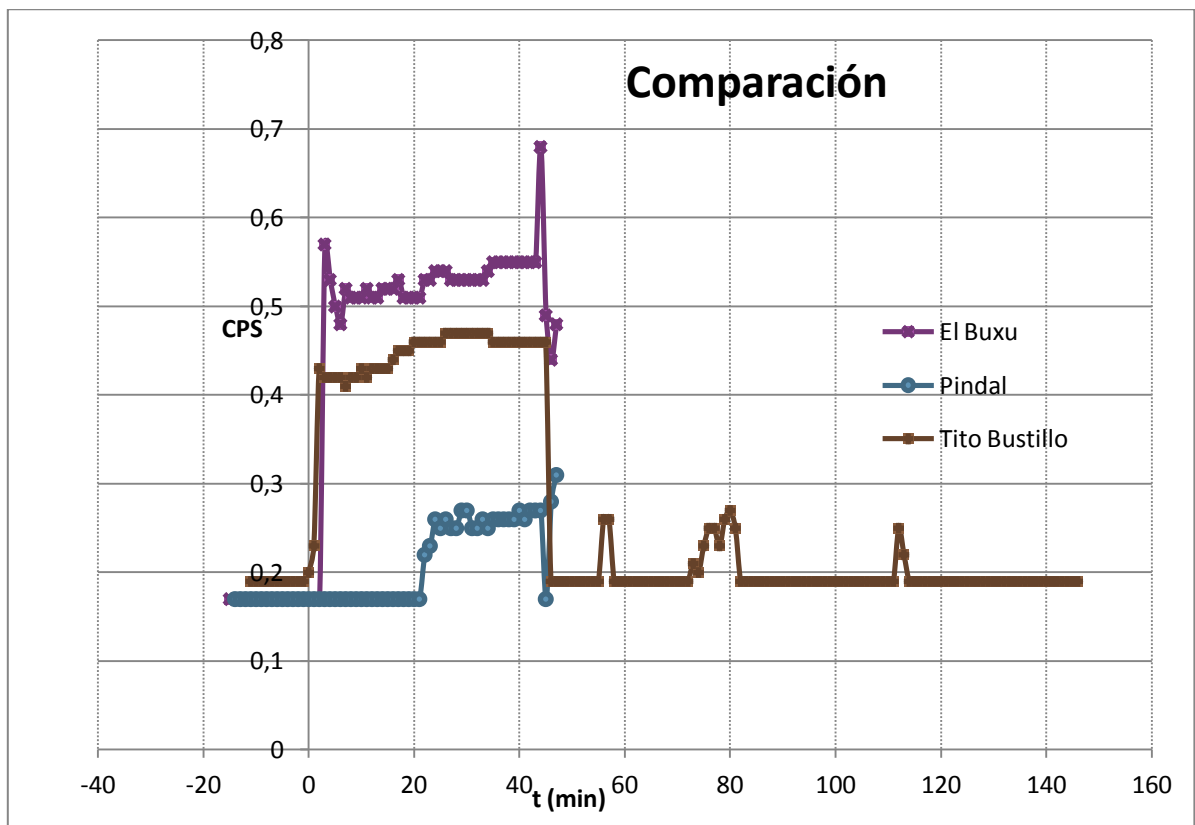
el aire. Además, la puerta, formada por una verja de amplias dimensiones, permite una buena ventilación. Así mismo, no disponemos de corrientes subterráneas de agua portadoras de radón, la presencia de agua tiene su origen en goteos discontinuos procedentes del exterior.

Tito Bustillo cuenta con una estructura rectilínea y sus conexiones con otras galerías que permiten una correcta ventilación. Además, hemos visto que la diferencia de temperatura exterior-interior era ligeramente mayor que en los otros dos casos. Sin embargo, las múltiples puertas, las enormes dimensiones y la existencia de corrientes subterráneas de agua portadoras de radón, así como filtraciones externas, favorecen a la concentración del gas noble.

La cueva de El Buxu, a pesar de ser una pequeña cueva, presenta una estructura altamente irregular y cuenta con una puerta de pequeñas dimensiones que no permite el paso del aire salvo por una pequeña rejilla. A esto hemos de sumar la presencia de agua de diversos orígenes, que incrementa la concentración de radón.

**Resultados obtenidos:**

Si representamos gráficamente los resultados obtenidos hasta el momento con el detector PM1405, llegamos al siguiente resultado:



(Consideramos t=0 min el instante de entrada en la cueva)

Tal y como esperábamos, El Pindal es la cueva con menor actividad, menor concentración de radón, y por lo tanto, mejor ventilación. Le sigue la cueva de Tito Bustillo y por último El Buxu.

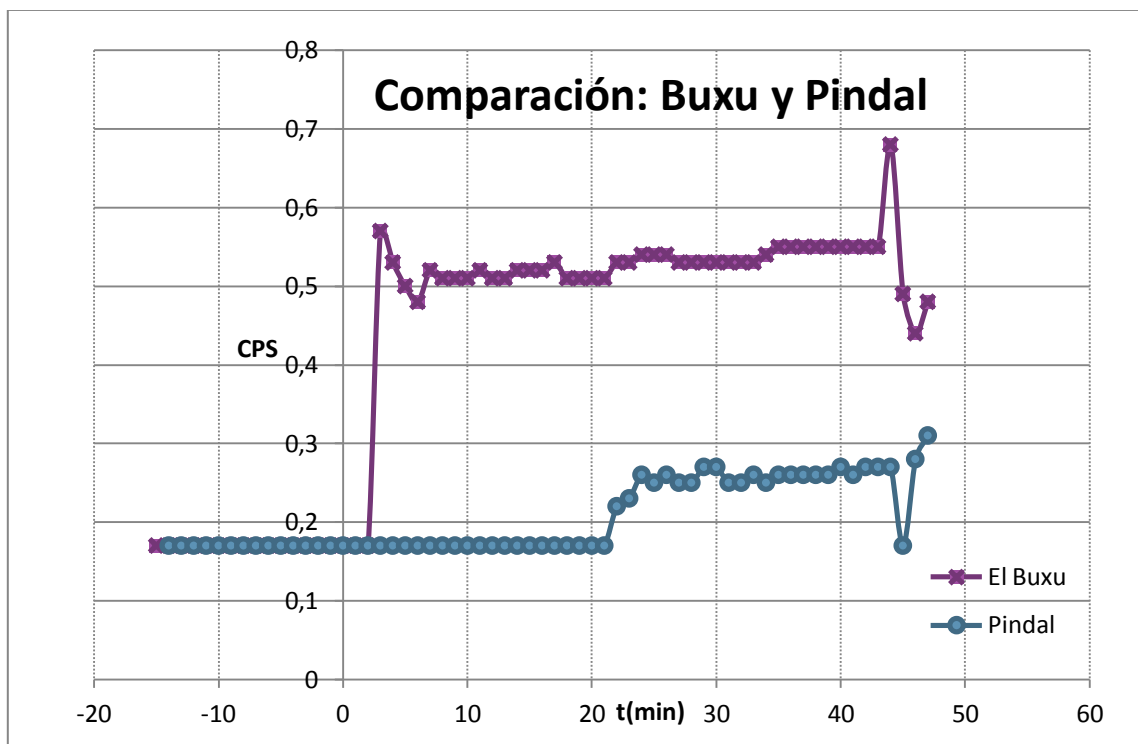
Si calculamos el valor medio de cps a lo largo de la visita para cada una de las cuevas:

	<cps>
El Buxu	0,426
Pindal	0,206
Tito Bustillo	0,267

Vemos que la actividad de El Buxu es un factor 1,5 mayor que la de Tito Bustillo y más del doble que la de El Pindal. A su vez, Tito Bustillo presenta un promedio de cps un factor 1,3 mayor que el encontrado para el caso de El Pindal.

En cuanto al fondo que se encuentra fuera de la cueva, véanse valores negativos de tiempos, se encuentran valores muy próximos en los tres casos, 0,17 cps para El Pindal y El Buxu y 0,19 cps para Tito Bustillo.

La larga duración de la visita de Tito Bustillo impide comparar claramente de forma gráfica las tres cuevas. Dado que las dos primeras presentan duraciones similares, a continuación se muestra la comparación de estas dos por separado.



Se observa claramente que la actividad radioactiva que se recoge en El Buxu es superior a la de El Pindal, y verificamos la relación que obtuvimos considerando un valor medio de las cuentas (*Buxu ~ 2 Pindal*).

## 5. Conclusiones.

A lo largo de la práctica se ha analizado la radiación en tres cuevas del Principado de Asturias. Su estudio, tanto de forma individual, como de manera colectiva, nos lleva a los siguientes resultados:

- Según la instrucción IS-33, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural, en términos de dosis efectiva a los trabajadores debida a su actividad laboral, no es necesario aplicar medidas de control de ningún tipo hasta valores superiores de 1mSv/año. Hemos visto cómo este valor no se alcanza en ninguna de las tres cuevas. En el caso de que estos valores se superasen, habría que imponer un cierto control en la duración de las visitas. De hecho, Tito Bustillo que es la que más se acerca, ya cuenta con un régimen de visitas mucho más estricto que en los otros dos casos. A su vez, la radiación a la que se ve sometido un visitante eventual no supera  $0,1 \mu Sv$ , con lo que su salud no se ve amenazada.
- La señal que llega a nuestro detector es proveniente, en gran parte, de la cadena de desintegración ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) del radón. La concentración de radón, y por lo tanto la señal que le llega a nuestro detector, es menor cuanto mejor sea la ventilación de la cueva. Parámetros como la morfología y la geología de la cueva, así como temperatura, presión, etc. intervienen en dicha ventilación.
- La duración de las medidas coincide con la duración de una visita estándar, a excepción del caso de Tito Bustillo que el tiempo de estancia en la cueva fue algo superior. Un buen estudio de las condiciones de la cueva requiere mucho más tiempo además de tecnología. Sería recomendable realizar un análisis continuo de los parámetros de la cueva (concentración de radón, presión, temperatura interna y externa, humedad relativa...) al menos durante un año completo, realizando comprobaciones periódicas.

\*Nota: A lo largo de la práctica no hemos entrado en el funcionamiento y calibración de los detectores, ni hemos hecho hincapié en la cadena de desintegración del radón ni los parámetros que influyen en la ventilación de la cueva. Se ha supuesto que estos temas son competencia de los informes correspondientes a las prácticas de aula.

6. **Bibliografía:**

<http://www.hep.uniovi.es/jfernan/Radiofisica/Medidas/estudio2001.pdf>

<http://www.hep.uniovi.es/jfernan/Radiofisica/Medidas/protocolo.pdf>

<http://www.hep.uniovi.es/jfernan/Radiofisica/Medidas/TitoBustillo2006.pdf>

Medidas detectores GS y PM1405.

- Buxu:  
<http://www.asturnatura.com/turismo/cueva-de-el-buxu/1504.html>

- Pindal:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Cueva\\_del\\_Pindal](http://es.wikipedia.org/wiki/Cueva_del_Pindal)  
<http://www.asturnatura.com/turismo/cueva-del-pindal/1156.html>

Parámetros:

<http://www.hep.uniovi.es/jfernan/Radiofisica/Medidas/Pindal%2030-11-2012.jpeg>

- Tito Bustillo:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Tito\\_Bustillo](http://es.wikipedia.org/wiki/Tito_Bustillo)  
<http://www.asturnatura.com/turismo/cueva-de-tito-bustillo/1297.html>  
<http://www.centrodearterupestredetitobustillo.com/>

Parámetros:

<http://www.hep.uniovi.es/jfernan/Radiofisica/Medidas/Tito%20Bustillo%2014-12-2012.jpeg>