

Trabajo de fin de grado

Grado en física

Análisis de datos del módulo "Blank" de ANAIS-112.

Autor: Diego Alcón Vela
Directora: María Luisa Sarsa Sarsa
Director: David Cintas González

Curso 2020/2021



**Departamento de
Física Teórica**
Universidad Zaragoza

*Gracias a mi directora del TFG por sus consejos, paciencia y tiempo,
y a Erwin, mi gato, por hacerme sonreír cuando mas lo necesitaba*

Índice

1. Introducción	1
2. Análisis de datos	3
2.1. Estudio del Rn-222 ambiental durante la operación de ANAIS-112 . . .	3
2.2. Estudio del ritmo del módulo de Blank	8
2.3. Correlación entre el ritmo del módulo Blank y el Rn-222 ambiental .	10
3. Simulación del efecto del Rn-222 en el módulo Blank mediante GEANT4	12
3.1. Resultados de la simulación	18
4. Conclusiones	21
Referencias	22
Anexo	24
Código de programación en ROOT	24

1. Introducción

Solo el 5% del contenido del Universo se encuentra en forma de materia convencional, que se denomina bariónica. El resto del universo estaría formado en un 68 % de Energía Oscura, responsable de la aceleración en la expansión del universo, y en un 27 % por otro tipo de materia invisible, denominada materia oscura, cuya principal interacción con la materia bariónica es gravitacional. La naturaleza de la partícula que podría explicar la materia oscura es desconocida, pues ninguna partícula del modelo estándar de la física de partículas tiene las propiedades adecuadas para ello [1].

ANAIS-112 es un experimento de detección directa de esta materia que se encuentra en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, cuyo objetivo es el de confirmar o refutar el resultado obtenido en el experimento DAMA/LIBRA. Este experimento utiliza 250 kg de detectores de yoduro de sodio dopado con Talio. Después de 20 años de toma de datos, dicho experimento observa una modulación anual compatible con la que producirían partículas de materia oscura[2] [3].

Los resultados de DAMA/LIBRA no han sido corroborados por ningún otro experimento, generando controversia y precisando su confirmación o refutación, preferiblemente por un experimento que utilice el mismo material blanco, para que la comparación de los resultados no sea dependiente del modelo considerado.

Para realizar este objetivo, ANAIS-112 consta de 112,5 kg de NaI(Tl) distribuidos en 9 detectores que se encuentran dentro de un blindaje que consta de plomo, polietileno y agua, así como una caja herméticamente cerrada anti-radón y 16 centelleadores plásticos como veto activo anti-muones(ver Figura 1)[4].

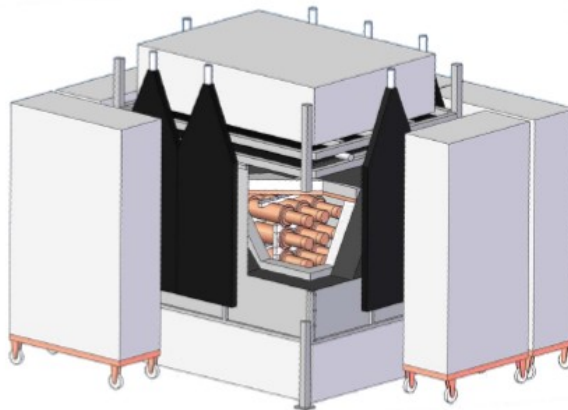


Figura 1: Montaje experimental de ANAIS-112 en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

Los detectores de ANAIS tienen una estructura formada por un cristal de NaI(Tl) encapsulado en cobre y dos fotomultiplicadores a los que está acoplado ópticamente. Cuando las partículas o radiación interactúan con el cristal, parte de la energía depositada se convierte en luz. Los fotomultiplicadores recogen esta luz y la convierten en señal eléctrica. Como los detectores de ANAIS-112 tienen una muy alta

recogida de luz (del orden de 15 fotoelectrones/keV). El experimento es sensible a energías mayores o iguales a 1 keV.

El objetivo de este trabajo será el de analizar el efecto del Radón-222 ambiental en los fotodetectores del módulo Blank, un detector similar a los usados en ANAIS-112 pero sin cristal.

En primer lugar se analizará la concentración de radón en el aire del laboratorio, que es monitorizada de forma continua durante la toma de datos de ANAIS-112 y se buscarán posibles correlaciones de dicha concentración con parámetros ambientales como la humedad y la temperatura del laboratorio. A continuación se analizará la posible correlación entre la concentración de radón y el ritmo de detección observado en el módulo Blank. Por último, se simulará mediante el paquete GEANT4 la energía depositada en los fotomultiplicadores del módulo Blank por la desintegración del radón-222 en sus proximidades, para a partir de la comparación del ritmo de medida del módulo Blank y la predicción de la simulación evaluar el efecto del radón en los detectores/fotomultiplicadores de ANAIS-112.

La presencia de Radón en el aire se debe a que el Uranio-238 y/o Radio-226 forman parte de la composición natural de la corteza terrestre, y están presentes en mayor o menor medida en casi cualquier material en el entorno de nuestros laboratorios (rocas, cementos, etc.).[5] Estos elementos se desintegran en una cadena radiactiva en la que se encuentra el Radón-222 que al ser gaseoso puede filtrarse a través de los materiales. La cadena radiactiva del Uranio-238 se muestra en la figura 2.

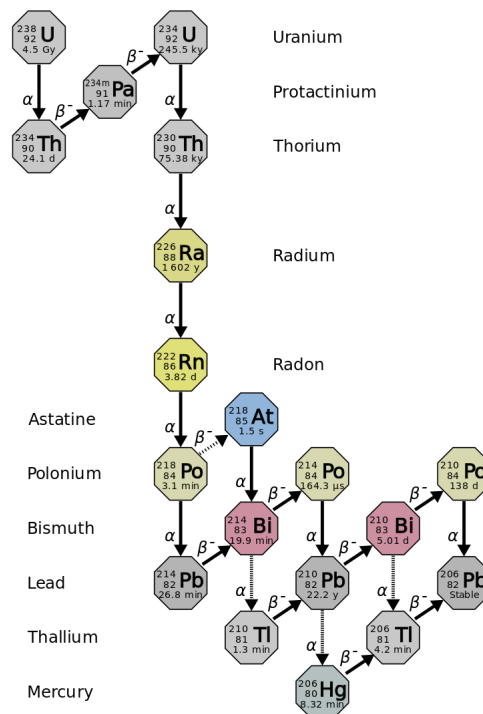


Figura 2: Desintegración radiactiva de la cadena del U-238

En la figura se puede observar que en la cadena de desintegración del Rn-222,

habiendo isotopos que se desintegran α y otros β^- . En varias de estas desintegraciones además se producen desexcitaciones gamma del núcleo hijo. Aunque la cadena termina en el Plomo-206, que es estable, el periodo de semidesintegración del Plomo-210 es de 22,3 años, por lo que a partir de ese isótopo, dado el tiempo de medida que estamos considerando en el trabajo, la cadena no habrá podido alcanzar el equilibrio.

2. Análisis de datos

Para la realización de este apartado y durante todo el trabajo, se ha hecho uso del programa ROOT el cual es un programa de código abierto, destinado al análisis de datos. [6] [7]

2.1. Estudio del Rn-222 ambiental durante la operación de ANAIS-112

Todos los parámetros ambientales del laboratorio son monitorizados de forma continua durante la toma de datos del experimento ANAIS-112. Uno de estos datos es la concentración de radón en el Hall B del LSC que se mide mediante el uso de un detector *AlphaGUARD*. [8]

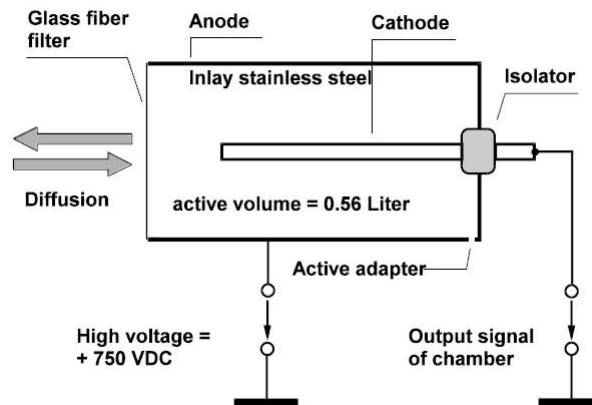


Figura 3: Esquema del detector de Radón

Mide el radón usando una cámara de ionización de 0,56 L de volumen activo (Figura 3) y 750 V de potencial. Las desintegraciones del radón producen partículas alfas que ionizan el gas, de modo que los electrones y los iones generados se aceleran en el campo eléctrico. Estos son recogidos por el cátodo y se convierten en señal eléctrica que se amplifica, permitiendo contar el número de desintegraciones por unidad de tiempo.

Ademas de la concentración de radón, se tomaron otros datos ambientales como la temperatura o la humedad relativa del aire del laboratorio, con el fin de controlar todos los parámetros medioambientales que puedan afectar al experimento. En este trabajo se usarán datos tomados entre el 3 de agosto de 2017 hasta el 23 de julio de 2019. En las figuras 4 y 5 se han representado los datos a lo largo del tiempo. Dado que estos datos se guardaban cada pocos minutos, el número de datos totales es enorme y difícil de representar, y además, en el caso de la medida del radón, los datos están afectados por una fluctuación grande que es conveniente reducir. Para ello, se calcula el valor medio de cada uno de estos parámetros en intervalos de un día y de 10 días para utilizarlo en las secciones posteriores.

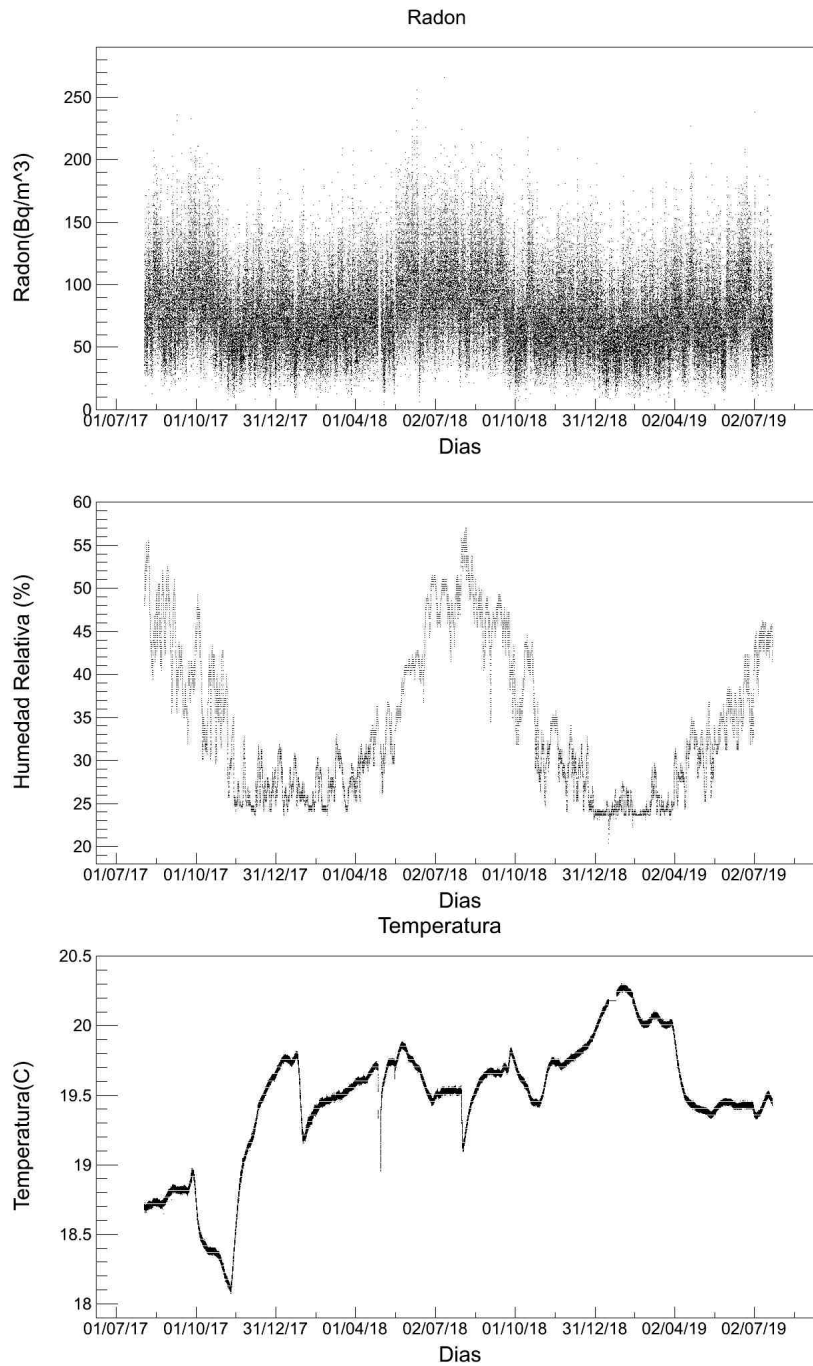


Figura 4: Evolución de los datos de la concentración de radón (arriba), la humedad relativa (medio) y la temperatura (abajo) en el Hall B del Laboratorio Subterráneo de Canfranc a lo largo del tiempo.

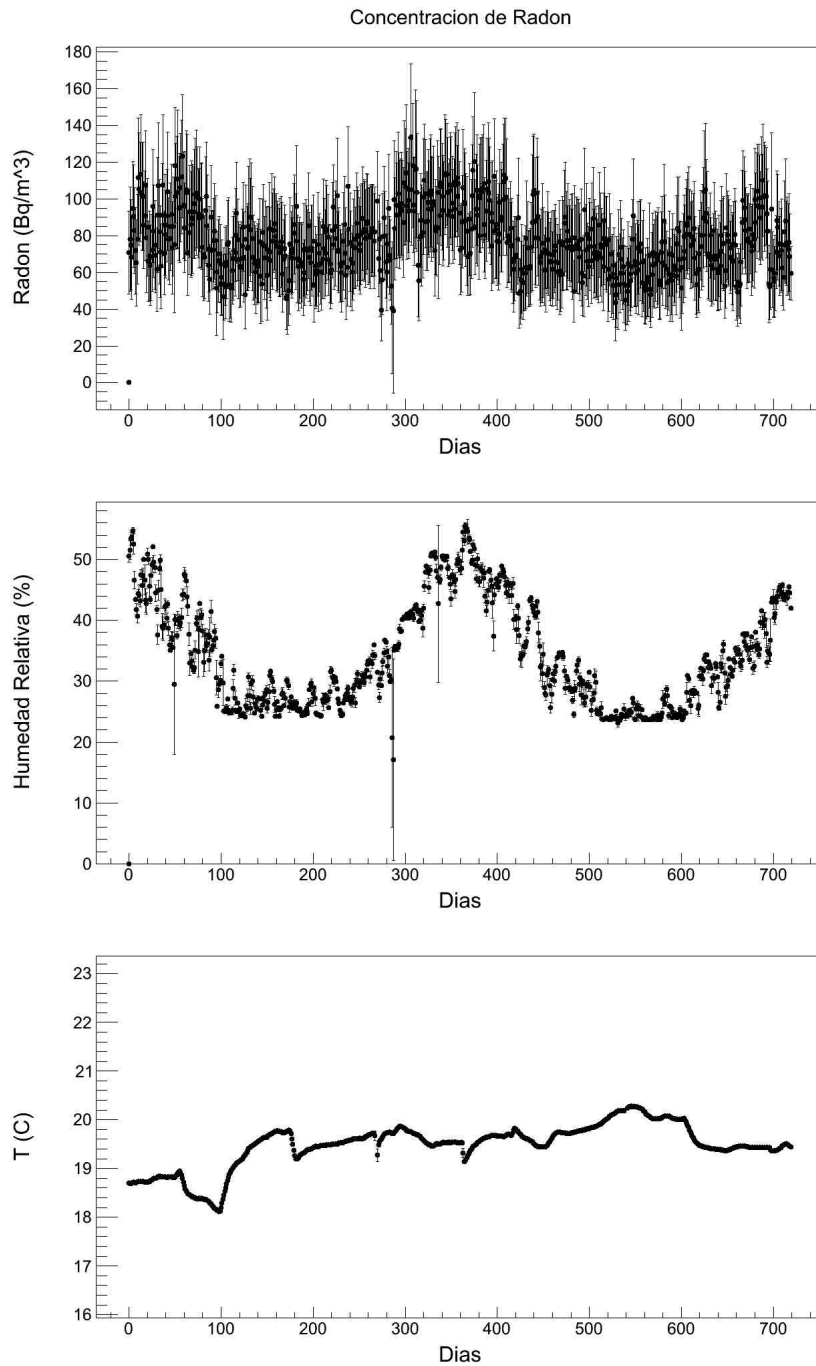


Figura 5: Datos de la concentración de radón (arriba), la humedad relativa (medio) y la temperatura (abajo) a lo largo del tiempo. Datos promediados por día.

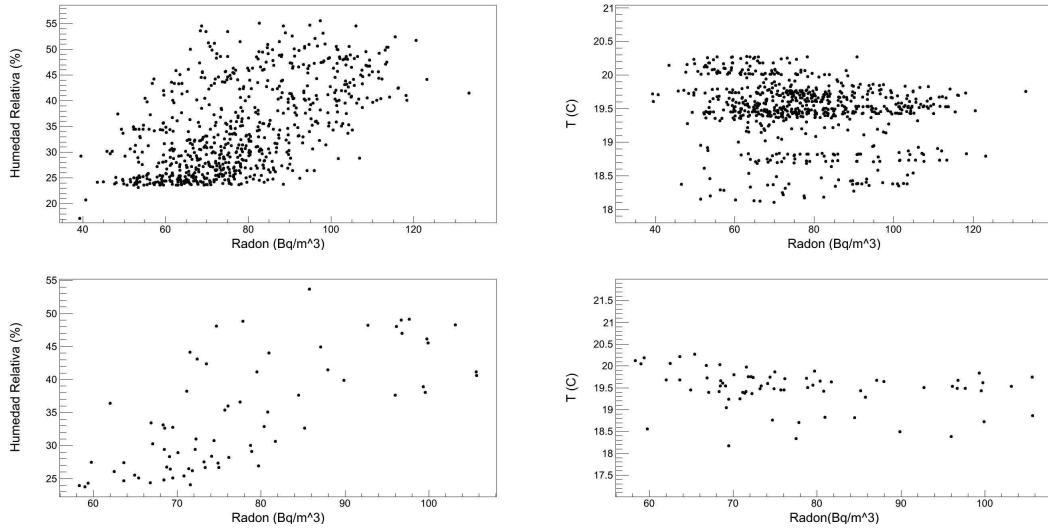


Figura 6: Representación de la temperatura (derecha) y la humedad relativa (izquierda) frente al radón con promedios de 1 día (arriba) y 10 días (abajo)

Las figuras 4 y 5 muestran variaciones a lo largo del tiempo en los parámetros observados. En este trabajo se analizará si estas variaciones están correlacionadas para distintos parámetros. Concretamente, es clara la fluctuación estacional de la humedad relativa, que aparentemente comparte la concentración de radón en el aire de laboratorio y que no se observa en la temperatura.

Para tratar de encontrar si hay correlación entre algunos de estos parámetros ambientales que podría indicar una conexión causal directa o indirecta entre ellos hemos calculado los coeficientes de correlación de Pearson. El valor de este coeficiente se encuentra en el intervalo $[-1,1]$, de forma que si este coeficiente vale 1 o -1 tiene una correlación perfecta, es decir, las dos variables muestran una dependencia lineal (positiva o negativa, creciendo ambas en el primer caso o decreciendo una cuando la otra crece en el segundo). Si es 0, no existe correlación lineal entre ambas variables, que se distribuyen de forma aleatoria una respecto a la otra. El coeficiente de correlación de Pearson [9] entre dos variables X e Y se define como:

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} \quad (1)$$

	Total	Por día	Por 10 días
Radón(Bq/m ³)	78.45±0.85	77.46±10.10	77.50±17.79
Humedad relativa (%)	36.12±0.08	34.22±2.85	34.30±8.13
Temperatura(°C)	19.49±0.00	20.45±0.17	19.85±1.19

Tabla 1: Media de los parámetros ambientales calculada con los datos sin promediar (primera columna) y con los datos promediados por día (segunda columna) y por periodos de 10 días (tercera columna).

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de los tres parámetros ambientales estudiados: la concentración de radón y la humedad relativa en el aire del laboratorio

y la temperatura. En la primera columna la media ha sido calculada con todos los datos disponibles, mientras que en la segunda y la tercera columna se ha calculado la media con los valores promediados en intervalos de un día y de diez días. Se puede observar que los valores promedio son compatibles entre sí, como era de esperar.

	T-Rn	HR-Rn
Total	-0.20	0.29
Por día	0.18	0.58
Cada 10 días	-0.08	0.72

Tabla 2: Coeficiente de correlación de la concentración de radón con la humedad y la temperatura para distintos promedios

En la tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación de la concentración de radón con la humedad relativa y la temperatura cuando se cogen los datos sin promediar, con promedios en intervalos de un día y cada 10 días. Se puede observar como, al disminuir la fluctuación mediante los promedios, el coeficiente de correlación entre el Radón y la humedad aumenta, confirmando por tanto una correlación positiva entre estos. Sin embargo, con la temperatura no se observa el mismo comportamiento, mostrando una ausencia de correlación.

A partir de la Tabla 2 podemos concluir que la concentración de Radón en el aire del laboratorio está fuertemente correlacionada con la humedad relativa que dicho aire contiene y no correlacionada con la temperatura. Esto no demuestra una relación causal directa entre la concentración de radón y la humedad relativa, aunque la explicación podría estar relacionada con el hecho de que la presencia de mayor cantidad de agua en la pared de roca puede facilitar la difusión del radón hacia el interior del laboratorio.

2.2. Estudio del ritmo del módulo de Blank

Como se ha mencionado en la introducción, el módulo Blank es un detector sin cristal. Este módulo está localizado en el Hall B del LSC, al lado del experimento ANAIS. Cuando el módulo Blank registra una señal es porque los dos fotomultiplicadores han detectado en una ventana de 200 ns al menos un fotoelectrón cada uno. Esto puede ser debido a coincidencias accidentales de sucesos debidos a la corriente oscura en cada uno de ellos, o bien a procesos que generen luz en uno de los fotomultiplicadores capaz de alcanzar el otro y generar en él una señal. En la figura 7 se muestra el ritmo de detección del módulo a lo largo del tiempo desde el 1 de agosto de 2018 hasta el 13 de agosto de 2020.

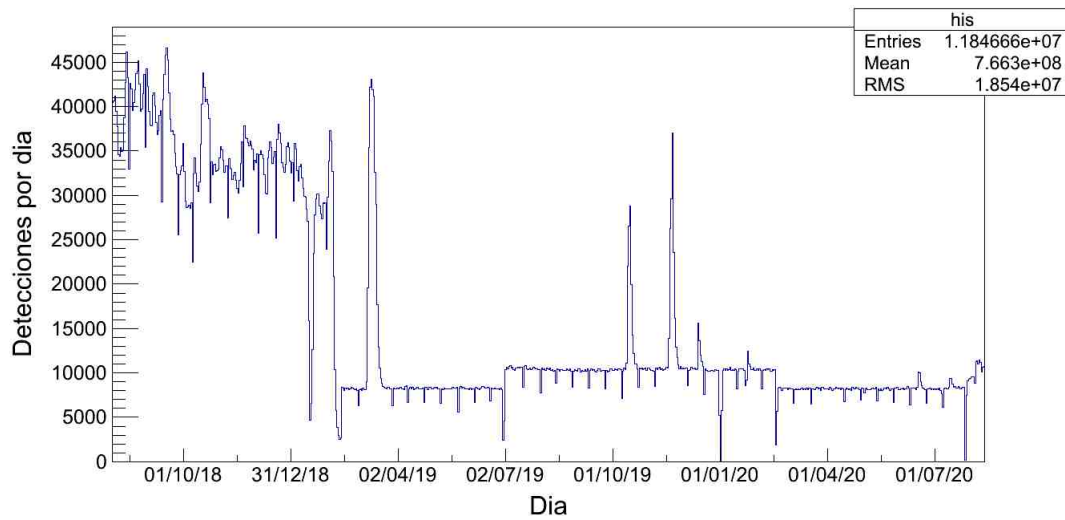


Figura 7: Detecciones en el módulo Blank

Como se puede observar, hay un cambio brusco en el ritmo de detección de sucesos a comienzos de 2019. Este cambio es debido a que en este momento de la toma de datos, se aisló el módulo Blank del aire del laboratorio, utilizando una sobrepresión de nitrógeno gas resultado de la evaporación de nitrógeno líquido para evitar que el radón pudiera acceder al volumen interior o exterior del módulo Blank. Esto redujo drásticamente el ritmo de detección del módulo, lo que ha llevado a plantear el estudio que sigue a continuación de si antes de aislar el módulo Blank del aire del laboratorio había correlación entre la concentración de radón en el aire y el ritmo de detección en el módulo Blank. En dicho estudio, solo vamos a considerar el periodo de tiempo en el que tenemos datos del radón ambiental y del módulo Blank, es decir, entre agosto de 2018 y julio de 2019. De nuevo, para reducir la fluctuación se agruparan los datos en intervalos de 1 y 10 días.

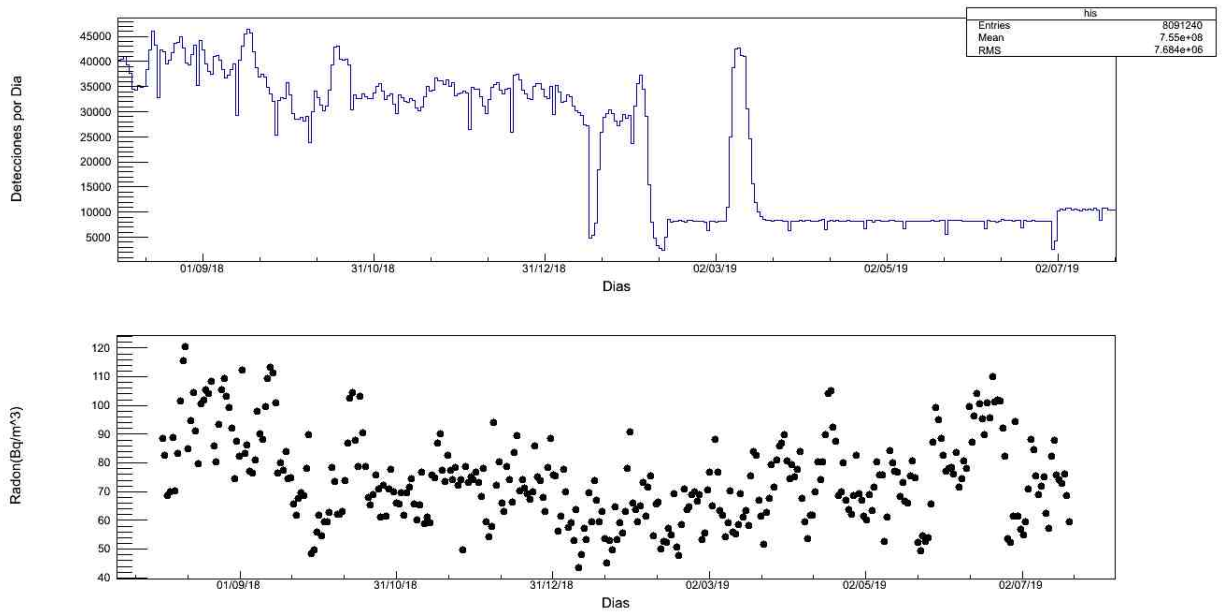


Figura 8: Representación del ritmo de detección de sucesos por día del módulo Blank (arriba) y de la concentración de radón en el aire del Hall del LSC (abajo).

2.3. Correlación entre el ritmo del módulo Blank y el Rn-222 ambiental

Se distinguirán dos zonas para el análisis de los datos: la zona previa al 9 de enero de 2019, antes de introducir el nitrógeno; y la zona posterior al 11 de abril de 2019 en la que estuvo siempre en correcto funcionamiento el aislamiento de los detectores del aire del laboratorio. También se realizará con todo el intervalo de tiempo.

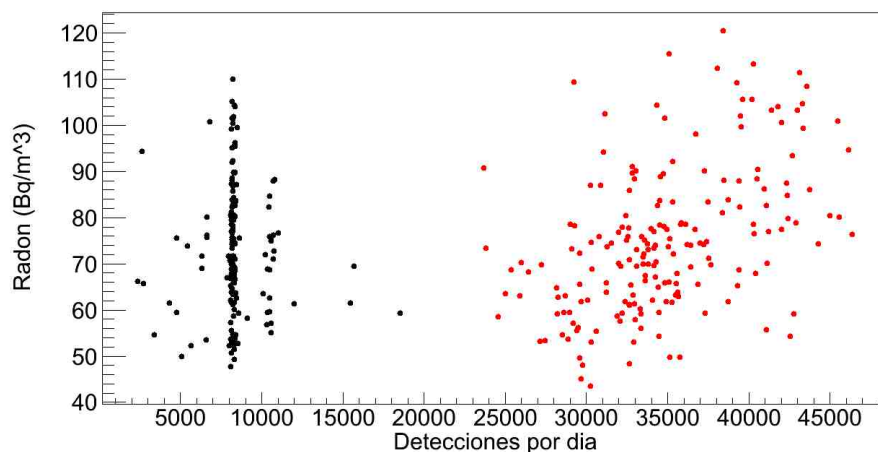


Figura 9: Representación del ritmo de detección de sucesos por día del módulo Blank respecto de la concentración de radón en el aire del Hall del LSC. Se muestran en rojo los datos correspondientes al periodo anterior al 9 de enero de 2019 y en negro al posterior.

En la figura 9 se muestra el ritmo de detección de sucesos por día del módulo Blank respecto de la concentración de radón en el aire del Hall del LSC, en rojo correspondiente al periodo anterior del filtrado con nitrógeno y en negro al posterior.

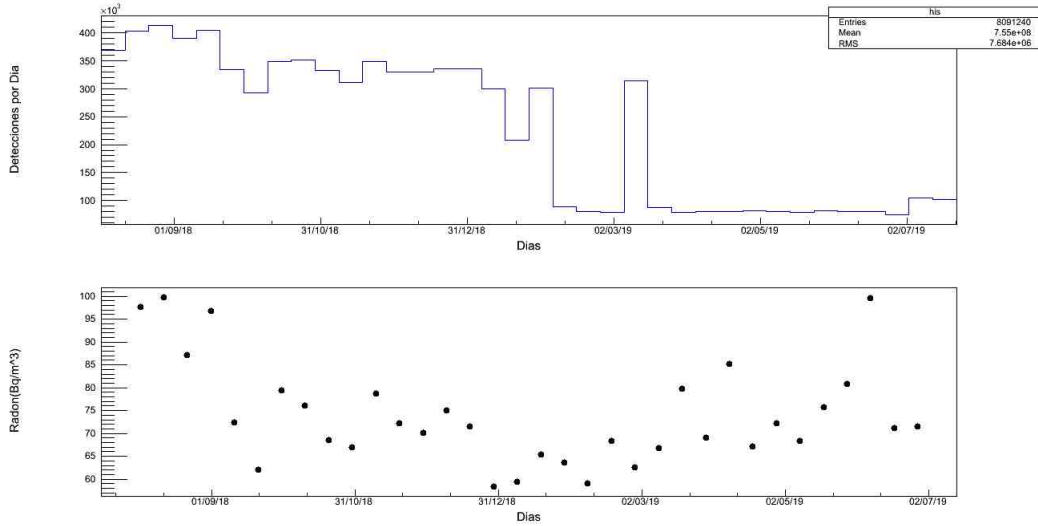


Figura 10: Representación del ritmo de detección de sucesos del módulo Blank y de la concentración de radón en el aire del Hall B del LSC. Promediado por 10 días.

En la figura 11 se muestran las detecciones del modulo blank respecto a la concentración de radón en intervalos de 10 días.

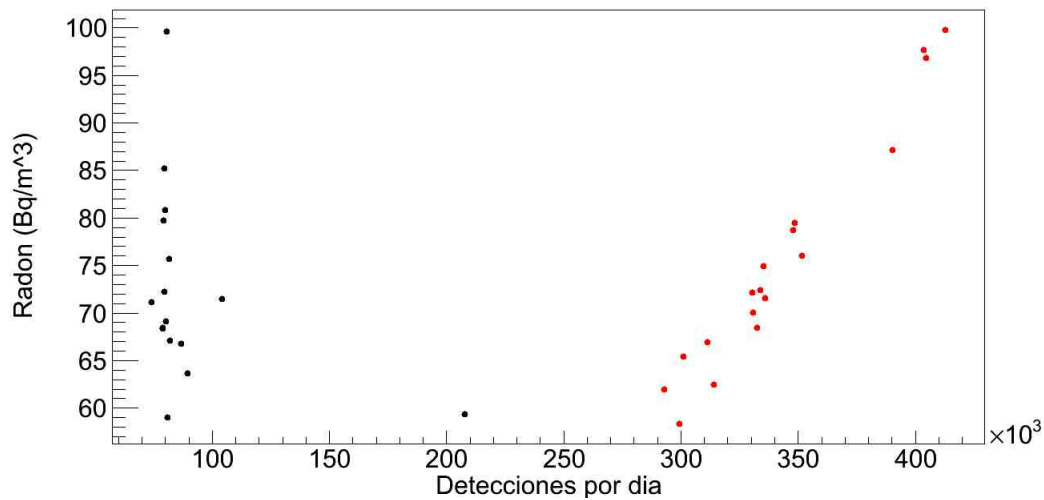


Figura 11: Representación del ritmo de detección de sucesos del módulo Blank respecto de la concentración de radón en el aire del Hall del LSC, promediando por 10 días. Se muestran en rojo los datos correspondientes al periodo anterior al 9 de enero de 2019 y en negro al posterior.

En la tabla 3 se muestran los promedios de los datos obtenidos para la concentración de radón y el ritmo de detecciones por día para los dos periodos mencionados

anteriormente con los datos promediados en periodos de 10 días. En la tabla 4 se muestran los coeficientes de correlación correspondientes.

	Todo	1 ^{er} periodo	2 ^o periodo
Radón(Bq/m ³)	74.05±21.66	78.27±33.64	76.84±31.67
Ritmo (Hz)	(2.59 ±0.04)·10 ⁻¹	(3.89 ±0.01)·10 ⁻¹	(9.00 ±0.00)·10 ⁻²

Tabla 3: Medias de la concentración de radón y el ritmo de detecciones en el módulo Blank durante durante todo el intervalo, antes y después de introducir el nitrógeno para promedios de 10 días

	Todo	1er periodo	2 ^o periodo
10 días	0.26	0.81	-0.14
día	0.15	0.46	-0.15

Tabla 4: Coeficiente de correlación entre la concentración de radón y el ritmo de detecciones en el módulo Blank durante todo el intervalo, antes y después de introducir el nitrógeno utilizando los datos por día o por periodos de 10 días

La tabla 4 una clara correlación entre la concentración de radón en el aire del laboratorio y el ritmo de detección en el módulo Blank en el periodo de tiempo anterior al aislamiento de dicho módulo. Sin embargo no se observa dicha correlación en el segundo periodo considerado, cuando el módulo estuvo aislado del aire del Hall B. Por ello, se puede concluir que nuestros datos apuntan a la desintegración del radón como responsable de al menos una parte del ritmo de detección observado en el módulo Blank en el periodo previo a su aislamiento, justificando el estudio que sigue a continuación.

3. Simulación del efecto del Rn-222 en el módulo Blank mediante GEANT4

Para realizar la simulación, se hizo uso del programa GEANT [12]. Este programa está enfocado en simular interacciones de partículas con la materia, mediante el uso de métodos de montecarlo. GEANT permite generar una geometría del detector, además de permitir seguir el recorrido de una partícula al atravesar los distintos materiales que constituyen el dispositivo experimental simulado, y guardar información de las interacciones que dicha partícula experimenta, como por ejemplo, la energía depositada y las partículas secundarias generadas.

La estructura de cada componente del dispositivo experimental incluida en la simulación se define mediante tres volúmenes distintos:

- Volumen lógico: Contiene información sobre el material del que está compuesto el objeto.

- Volumen sólido: Contiene información sobre la forma del componente, por ejemplo cúbica o cilíndrica. También contiene la información sobre las dimensiones precisas del volumen.
- Volumen físico: Permite posicionar el volumen de cada componente en relación a las demás componentes a partir de un volumen madre con el que compartirá origen.

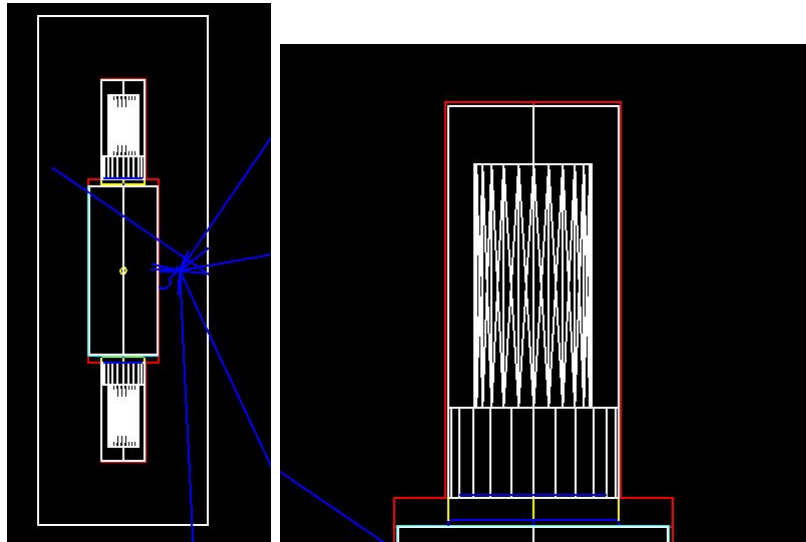


Figura 12: Representación de la geometría considerada en la simulación del módulo Blank (izquierda) y detalle de la estructura del fotomultiplicador (derecha).

En la figura 12 se ha representado la geometría considerada en la simulación. El módulo Blank se encuentra dentro de un blindaje de plomo, inmerso en un volumen "hueco" en el que el medio material simulado es aire. El módulo Blank consiste en un encapsulado de cobre cilíndrico internamente recubierto de Teflón. El volumen interior del módulo Blank está lleno de aire, pero para comprobar que el código funciona adecuadamente, en este trabajo consideraremos en algunos momentos que consiste en un cristal de yoduro de sodio, similar a los de los detectores de ANAIS-112. En ambas caras laterales del cilindro que define el volumen interior del módulo Blank hay acoplados dos fotomultiplicadores dentro de un encapsulamiento de cobre y también rodeados de aire. Los fotomultiplicadores consisten en un cristal de borosilicato y un fotocátodo. Cada fotomultiplicador está acoplado a una ventana de cuarzo.

El paquete de simulación GEANT permite elegir qué partícula inicial "lanzar", con que energía cinética, dirección y desde que posición. En este trabajo trabajaremos con las desintegraciones de Rn-222 en reposo. Se consideran dos diferentes posibilidades: la desintegración ocurre desde una posición fija o en una posición aleatoriamente elegida dentro de un volumen determinado. En el caso de este trabajo serán los volúmenes que contienen aire, y por tanto pueden contener radón. A continuación se describirá primero algunas pruebas realizadas para comprobar

que funcionaba adecuadamente el código y luego representaremos los resultados de la simulación.

Para comprobar que el código funcione bien, se realizaron varias pruebas. En estas pruebas se lanzó un ion de Rn-222 desde el centro de la geometría y de forma aleatoria en todo el volumen de aire 10^5 veces, para obtener una estadística lo suficientemente grade. Al lanzar las partículas de Rn-222 de forma aleatoria en cualquier volumen de aire, los depósitos energéticos que se depositan en los fotodetectores se observan en la figura 13.

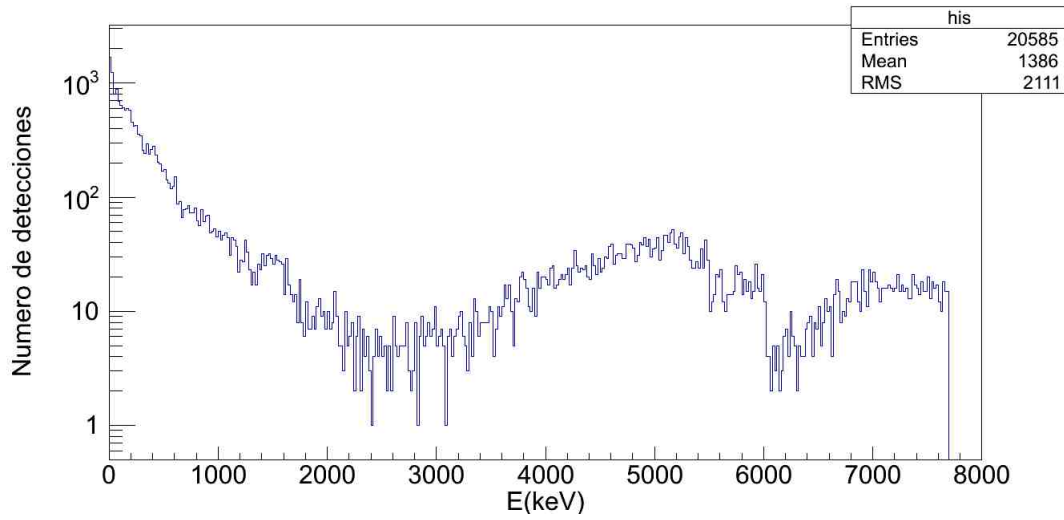


Figura 13: Energía total depositada en los fotodetectores cuando el volumen interior es aire

En la figura 13 se pueden ver los depósitos de energía que dejan las desintegraciones del radón-222 en los fotodetectores cuando en el interior del detector hay aire. Al haber aire en lugar de NaI, las partículas alfas y beta podrán recorrer una mayor distancia, haciendo mas probable su detección. La cantidad de esta energía es debido a los electrones se encuentra en la figura 14.

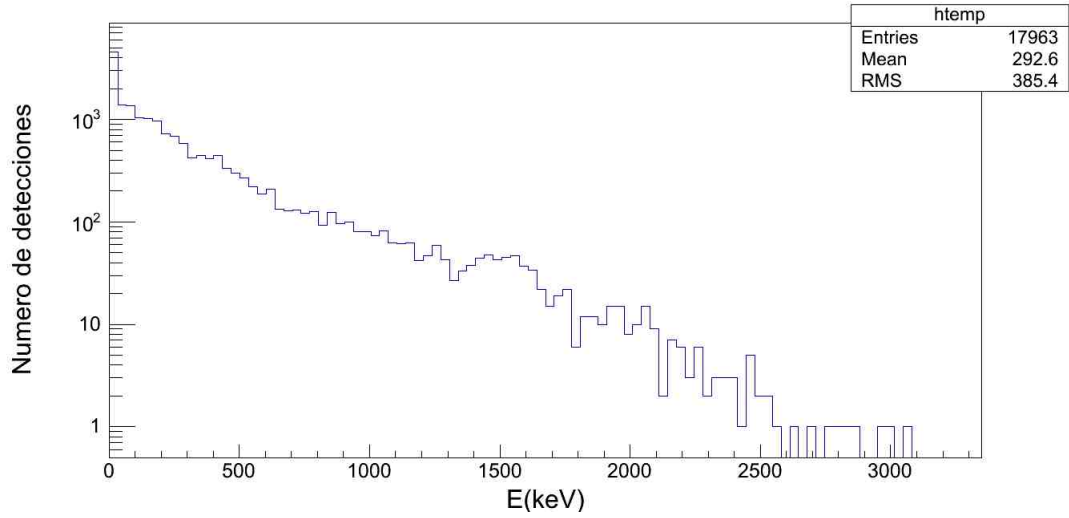


Figura 14: Energía total depositada por los electrones en los fotodetectores cuando el volumen interior es aire

En la figura 14 se observa la cantidad de energía que los electrones han depositado en los fotodetectores cuando el volumen interior es aire y se lanza el Rn-222 aleatoriamente en los volúmenes donde haya aire. El número total de deposiciones de energía por los electrones es 17983.

En los medios transparentes como el vidrio se produce efecto Cherenkov cuando una partícula se mueve rápido que la luz en un medio. [10]. La mínima energía cinética que una partícula relativista ha de tener para emitir esta radiación se puede calcular mediante la ecuación (2) [11].

$$E_{ch} = m_e c^2 \left(\frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} - 1 \right) \quad (2)$$

Donde m es la masa de la partícula y n el índice de refracción del material. En el caso del borosilicato, este tiene un índice de refracción de 1.53, por lo que la energía mínima que deberá tener un electrón para producir luz Cherenkov serán 164 keV. Este suceso no se dará en el aire, pues este tiene un índice de refracción de 1.0029 por lo que un electrón deberá tener una energía de al menos 20,71 MeV para producir el efecto Cherenkov. El Rn-222 no emite energías tan altas, por lo que no se observará este efecto en el aire.

De esta forma, los electrones que han tenido la energía necesaria de 164 keV como para poder haber emitido radiación Cherenkov son 8500.

En la figura 15 se muestran dos intervalos: uno con las deposiciones de energía menor a 2600 keV y otro con las que tengan energía superior.

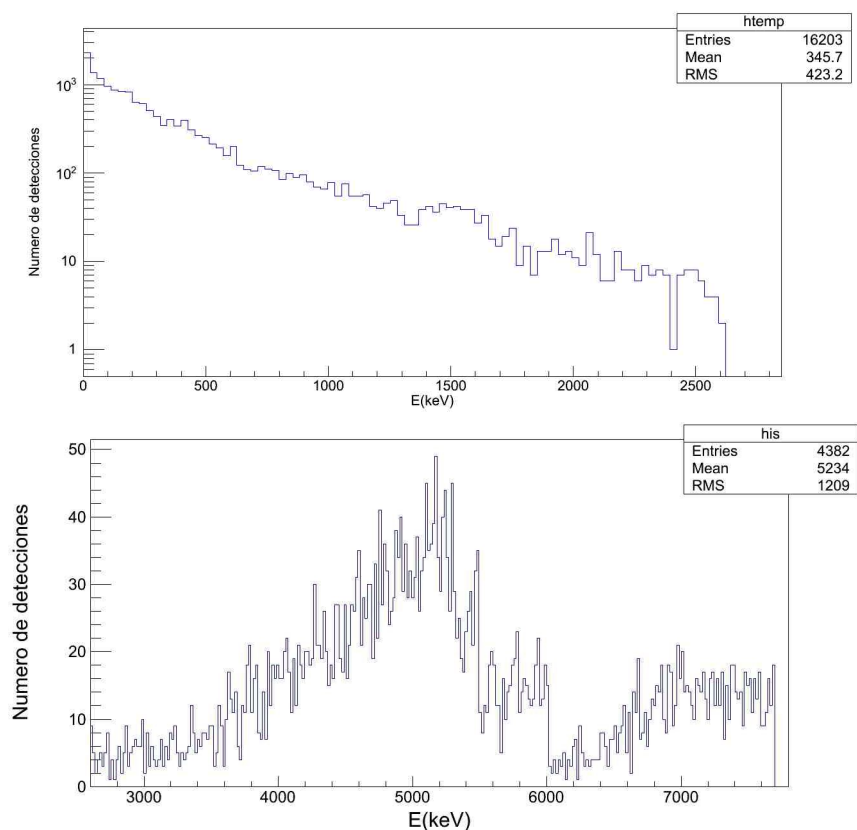


Figura 15: Energía total depositada en los fotodetectores cuando el volumen interior es aire por debajo de 2600 keV (arriba) y por encima de 2600 keV (abajo)

En la figura 15 superior podemos observar como hay un gran numero partículas de energías que podrían corresponder a las de las partículas gamma, producidas por distintas desintegraciones de la cadena del Radón, y partículas beta, producto de desintegraciones del ^{214}Bi [16] o el ^{214}Pb [17]. En la figura inferior, vemos las energías que corresponderían, en su mayoría, a partículas alfa. En concreto se pueden ver picos entorno a 5000 y 6000 keV que serian producto de la desintegracion del ^{222}Rn [13], al ^{214}Bi [16] o al ^{218}Po [14] y en torno a 7000 keV que correspondería al ^{214}Po [15].

Si nos fijamos en la figura 14 y en la figura 15 superior, se puede observar que la mayoría de las detecciones de la figura 15 corresponderían a electrones, así que los principales depósitos energéticos de la figura 13 se deberán a partículas alfa y beta, pero no a gammas.

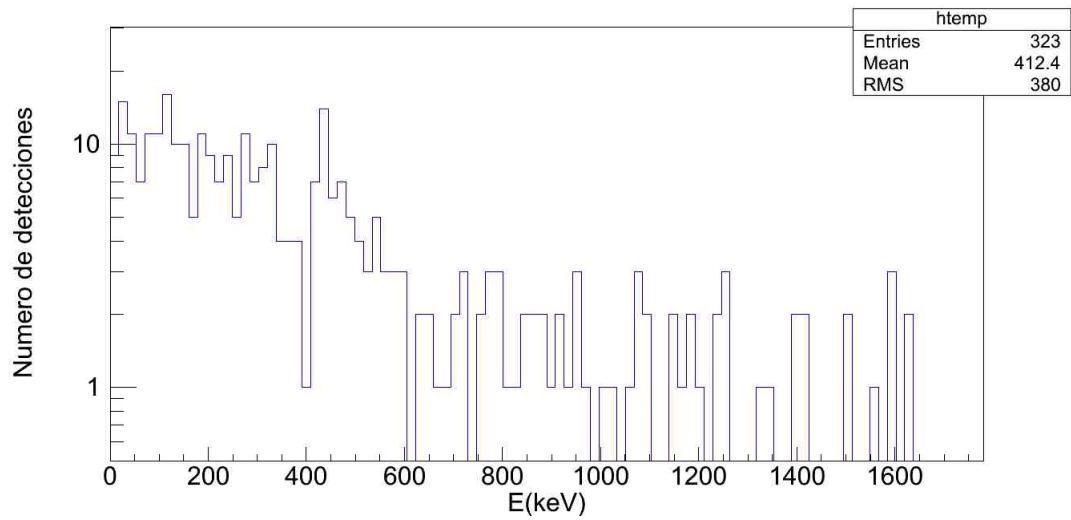


Figura 16: Energía total depositada en los fotomultiplicadores cuando esta el cristal de NaI

En la figura 14 se puede ver la energía depositada en los fotomultiplicadores cuando se lanzan los iones de Rn-222 desde el centro del cristal. En esta se muestra la energía depositada en el borosilicato de los fotomultiplicadores cuando lanzamos 10^5 iones de Rn-222. Hemos comprobado que todos estos depósitos corresponden a interacciones de electrones.

Si se lanzan los iones de Radón desde el exterior del detector, se detectarían fundamentalmente las partículas γ , pues serán las únicas que podrán traspasar el blindaje de este y llegar a los fotomultiplicadores.

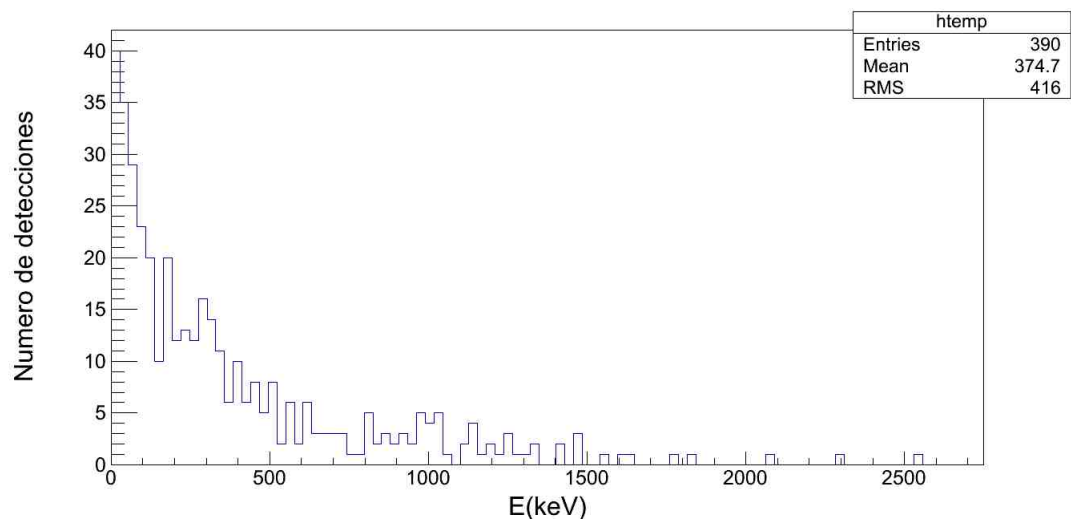


Figura 17: Energía total depositada en los fotomultiplicadores cuando no hay aire en el interior del módulo Blank, sino yoduro de sodio y se simulan las desintegraciones de radón en el aire del exterior del módulo.

En la figura 17 se puede observar los depósitos de energía que estas partículas han

tenido en los fotomultiplicadores. Cuando el espacio interior consiste en un material como el yoduro de sodio y lanzamos las desintegraciones de Rn-222 en el aire exterior, el número de interacciones en los fotomultiplicadores se reduce drásticamente porque es mucho menor el número de partículas alfa y beta que llegan a los mismos. En la figura 17 se observa que no solo el número total de depósitos energéticos es mucho menor sino que además también lo es la energía máxima depositada. Al compararla con la figura 16, se puede observar que el número de depósitos energéticos en ambos casos es muy escaso.

Como ya se ha mencionado, en la cadena de desintegración de Rn-222 hay multitud de desintegraciones, las cuales producen partículas α , β y γ . Se ha observado en las figuras 17 y 16, que la probabilidad de que un electrón o un fotón deposite energía cuando se lanzan los iones de Rn-222 desde el centro con el cristal es mucho mayor que las alfas. Sin embargo, cuando observamos la figura 13, la probabilidad de detectar alfas es mucho mayor cuando no existe cristal. Esto tiene sentido, debido a que las partículas alfa tienen muy poco recorrido en el cristal de NaI, de forma que si se lanzan desde el centro ninguna podrá llegar a depositar energía en el fotodetector. Sin embargo, cuando hay ausencia de cristal y se lanzan aleatoriamente desde cualquier punto, se puede comprobar en la figura 13 que las partículas alfa alcanzan los fotomultiplicadores porque hay depósitos energéticos de hasta varios MeV.

3.1. Resultados de la simulación

A continuación, se compararan los depósitos energéticos de la figura 13 con los que se esperaría para el valor medio de la concentración de Radón-222 en el aire del laboratorio que se ha calculado en la sección 2.1. En la simulación se han lanzado 10^5 partículas y se han detectado 20585 sucesos.

Concentración(Bq/m ³)	Volumen (m ³)	Ritmo (Hz)
78.45 ±0.85	0.02	1.47±0.02

Tabla 5: Concentración de radón en el Hall B del LSC, volumen total de aire en el módulo Blank y frecuencia de desintegración del Radón en el volumen del Blank que corresponde a estos valores

En la Tabla 5 se puede observar cuál es la frecuencia de desintegración del radón en el ambiente, que proviene del producto de la concentración de radón y el volumen de aire del Blank. Para obtener el volumen de aire, se sumó las contribuciones de los distintos volúmenes del detector siendo estos el del aire del interior del modulo (espacio que en los detectores de ANAIS-112 contiene el cristal de yoduro de sodio), el del exterior al detector y el de la encapsulación de los fotomultiplicadores.

Si se supone que este ritmo de desintegración es constante, el tiempo equivalente que tardarían en desintegrarse 10^5 partículas en las condiciones de concentración de Radón en el Hall B del LSC puede encontrarse en la tabla 6, así como el ritmo de sucesos que se obtendrían con los sucesos identificados en la figura 16.

Tiempo (s)	Detecciones	Ritmo (Hz)
68027.21±925.54	20585	0.30±0.01

Tabla 6: Tiempo que llevaría en desintegrarse 10^5 iones de Rn-222 en el aire del laboratorio del Hall B y ritmo de los depósitos de energía de la simulación

Los resultados de la tabla 6 implican que en condiciones del laboratorio, habría un ritmo de desintegración de 0.30 Hz. Para poder comparar con los resultados del módulo Blank, se calculará cuál es el ritmo en la primer periodo, antes de filtrar el aire. Estos resultados se pueden observar en la tabla 7.

Tiempo (días)	Detecciones	Ritmo(Hz)
160.34	5711057	0.41

Tabla 7: Tiempo del primer periodo de los datos del módulo Blank y ritmo de detecciones

En la tabla 7 se muestra el ritmo de detecciones del Blank que toma un valor de 0.41 Hz. Sin embargo, las detecciones del Blank no son todas procedentes del Rn-222 en el aire, pues cuando este fue filtrado con nitrógeno aun había detecciones en el segundo intervalo. Por tanto, podemos considerar el ritmo de detección de este segundo periodo como fondo. Las detecciones de fondo equivalentes al primer periodo se pueden encontrar en la tabla 8.

Tiempo (días)	Detecciones	Ritmo(Hz)
102.65	872147	0.10

Tabla 8: Tiempo del segundo periodo de los datos del módulo Blank y ritmo de detecciones

En la tabla 8 se puede observar que el ritmo de desintegración en el segundo intervalo es de 0.10 Hz. Se podría considerar que este es un ritmo de fondo, ajeno al producido por la desintegración del Radón. Si restamos este ritmo al obtenido en la tabla 7, obtendríamos que el ritmo que se puede atribuir a las desintegraciones de Rn-222 sería de 0.31 Hz. Podemos por tanto concluir que el origen de sucesos observados en el Blank pueden ser explicados mediante los resultados de la simulación.

Hay cierta probabilidad de que cuando se detecta un suceso en los fotomultiplicadores haya una coincidencia. El número de coincidencias obtenidas en los resultados para depósitos energéticos en los dos fotomultiplicadores cuando se desintegra el Rn-222 en el aire del módulo Blank es de 40 coincidencias.

Usando el tiempo equivalente que se ha obtenido en la tabla 6 se puede obtener el ritmo al que sucederían estas coincidencias.

Tiempo (s)	Coincidencias	Ritmo (Hz)
68027.21±925.54	40	$(5.88±0.08) \cdot 10^{-4}$

Tabla 9: Ritmo de coincidencias entre los fotomultiplicadores que se podrían producir en las desintegraciones del Rn-222

En la tabla 9 se puede observar el ritmo que corresponde a esos sucesos en coincidencias. AL comparar estos ritmos con los obtenidos en la tabla 6, estos son mucho mas escasos, pues la probabilidad de que ocurra una coincidencia es baja. La cantidad de coincidencias en una simulación es del 0.20 %, por lo que se puede concluir que estas apenas influirían a los ritmos que vemos.

	Blank 1	Blank 2	Sim.	Coin	Chere.
Ritmo(Hz)	0.40	0.10	0.30	$(5.92 \cdot 10^{-4})$	0.12

Tabla 10: Ritmos obtenidos en el primer periodo de datos del módulo Blank (Blank 1), en el segundo periodo (Blank 2), en la simulación (Sim.), en las coincidencias de la simulación (Coin.) y del efecto Cherenkov en la simulación (Chere.)

Se puede observar que el ritmo asociado a las desintegraciones de Rn-222 en el módulo blank coincide bastante bien con los resultados de la simulación para el ritmo de depósitos energéticos de cualquier tipo en los fotomultiplicadores, siendo mayor que el correspondiente a posibles sucesos Cherenkov y mucho mayor que el de depósitos energéticos en coincidencia.

4. Conclusiones

El objetivo del trabajo ha sido el de analizar el efecto del Radón-222 ambiental en los fotodetectores del módulo Blank del experimento ANAIS-112, que está tomando datos en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Para ello, hemos estudiado los coeficientes de correlación de Pearson, llegando a la conclusión de que existe una correlación entre la concentración de Radón y la humedad relativa del ambiente. Por otro lado, hemos podido relacionar los ritmos de detección del módulo Blank con la concentración de Radón del Hall B, tanto antes como después de que dicho módulo se aislara del aire del laboratorio, llegando a la conclusión de que la desintegración de Radón es al menos responsable de parte del ritmo de detección observado en el módulo Blank, obteniendo un coeficiente de correlación en el periodo previo al aislamiento del módulo de 0.81 y un coeficiente de -0.14 en el posterior. Hemos simulado los efectos del radón ambiental en los fotodetectores, estudiando las distintas contribuciones que tienen las desintegraciones de la cadena radiactiva del Rn-222.

Por último, se han relacionado los resultados obtenidos en dicha simulación con el ritmo de de detecciones que se pueden atribuir al Rn-222 en el módulo Blank, llegando a la conclusión de que los sucesos observados en dicho módulo pueden ser explicados por los resultados de la simulación, obteniendo que los ritmos de detección de la simulación son de 0.30 Hz y los ritmos de detección en el Blank de 0.31 Hz.

Referencias

- [1] *Marta Pellicer Navarro, TFG: Búsqueda de axiones solares en los datos del experimento ANAIS-112 (2020)*
- [2] *ANAIS Experiment- Universidad de Zaragoza* URL: <https://gifna.unizar.es/anais/>
- [3] *J. Amaré et al. First results on dark matter annual modulation from ANAIS-112 experiment* *Eur. Phys. J. C* 79, 123 (2019)
- [4] *J. Amaré et al., Performance of ANAIS-112 experiment after the first year of data taking, Eur. Phys. J. C* 79, 228 (2019)
- [5] *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2006)* URL: http://www.unscear.org/docs/reports/2006/09-81160_Report_Annex_E_2006_Web.pdf
- [6] *ROOT Data Analysis Framework User's Guide* URL: <https://root.cern.ch/root/html/doc/guides/users-guide/ROOTUsersGuide.html>
- [7] *ROOT Data Analysis Framework* URL: <https://root.cern/>
- [8] *Saphymo ALphguard Portable Radon Monitor User Manual (2012)*
- [9] *Basic Concepts of Correlation En Real statistics using excel* URL: <http://www.real-statistics.com/correlation/basic-concepts-correlation/>
- [10] *Cherenkov radiation. (2021) En Chiyang Luo, et al., Cherenkov Radiation in Photonic Crystals, Science* 299, 368 (2003) URL: <http://www-math.mit.edu/~stevenj/papers/LuoIb03.pdf>
- [11] *Antonio Ganfornina Andrades, TFG: APLICACIONES DE LA RADIACIÓN CHERENKOV, 2017, Universidad de Sevilla* URL: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/63591/TFG%20Aplicaciones%20de%20la%20radiaci%F3n%20cherenkov.pdf;jsessionid=0BE9FCE7CF530022B3BEECF9075DD9BC?sequence=1>
- [12] *GEANT4, a simulation toolkit* URL: <https://geant4.web.cern.ch/node/1>
- [13] *Nuclear Data Table of Radioactive Isotopes. Rn-222* URL: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=860222>

- [14] *Nuclear Data Table of Radioactive Isotopes. Po-218* URL:
[http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?
iZA=840218](http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=840218)
- [15] *Nuclear Data Table of Radioactive Isotopes. Po-214* URL:
[http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?
iZA=840214](http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=840214)
- [16] *Nuclear Data Table of Radioactive Isotopes. Bi-214* URL:
[http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?
iZA=830214](http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=830214)
- [17] *Nuclear Data Table of Radioactive Isotopes. Pb-214* URL:[http:
//nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=
820214](http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=820214)

Anexo

Código de programación en ROOT

Funciones modificadas por el usuario. Calcula promedios y correlaciones de datos de SlowControl. macro funcionesSlowCc.C:

```
void Guardar(const char *nombre,const char *Variable1,
const char *Variable2, const float *a )
{
FILE *fp = fopen(Form("%s",nombre),"w");
fprintf(fp,"media %s = %lf \n",Variable1,a[0]);
fprintf(fp,"media %s = %lf \n",Variable2,a[1]);
fprintf(fp,"rms %s = %lf \n",Variable1,a[2]);
fprintf(fp,"rms %s = %lf \n",Variable2,a[3]);
fprintf(fp,"La covarianza es = %lf \n",a[4]);
fprintf(fp,"El error de la covarianza es = %lf \n",a[6]);
fprintf(fp,"El factor de correlacion es = %lf \n",a[5]);

fclose(fp);
}

TTree * tsc = 0;
int x=0;
TGraphErrors * drawAverageDay(const char *variable)
{

if (tsc==0)
{
TFile *f = new TFile("slowControl.root");
tsc = (TTree*)f->Get("tsc");
tsc->SetEstimate(tsc->GetEntries());
}

tsc->Draw("globalDay","", "goff"); // goff -> no dibuja

int nDays=(Int_t)tsc->GetV1()[tsc->GetSelectedRows()-1];
// numero de dias
int j=0;
std::cout << nDays << std::endl;

tsc->Draw(Form("%s:globalDay",variable),"", "goff");
Double_t *rH = tsc->GetV1();
// array con los valores variable para el dia i
Double_t *Days = tsc->GetV2();
int Data=tsc->GetSelectedRows()-1;
```

```

int * nData = new int[nDays];

double * media = new double [nDays];
double * rms = new double [nDays];
double * x_error = new double [nDays];
double * dias = new double [nDays];
int k=0;
std::cout << Data << std::endl;

TGraphErrors * gr;
TMultiGraph *mg;

for (int i=0; i<nDays; i++)
{
//inicializo
media[i]=0;
rms[i]=0;
x_error[i]=0;
nData[i]=0;
}

std::cout << "ok" << std::endl;

for (int j=0; j<nDays; j++){
do{

media[j]=media[j]+rH[k];
rms[j]=rms[j]+rH[k]*rH[k];
nData[j]=nData[j]+1;
dias[j]=Days[k];
k++;
//cout<<Days[k]<<"\t"<<Days[k-1] <<"\n";
}while((int)Days[k]==(int)Days[k-1]);

}

for (int p=0; p<nDays; p++){
media[p]=media[p]/nData[p];
rms[p]=rms[p]/nData[p]-media[p]*media[p];
rms[p]=std::sqrt(rms[p]);

}

```

```

TCanvas * tt= new TCanvas(Form("SC%d",x), Form("SC%d",x),1028,1028);

gr = new TGraphErrors(nDays,dias,media,x_error,rms);

gr->SetFillColor(0);
gr->SetMarkerSize(1);
gr->SetMarkerStyle(20);
gr->SetMarkerColor(kBlack);
gr->SetTitle(Form("%s",variable));

mg = new TMultiGraph();

mg->Add(gr);

mg->SetTitle("Concentracion de Radon");
mg->Draw("AP");

mg->GetXaxis()->SetTitle("Dias");
// mg->GetYaxis()->SetTitle("Radon (Bq/m^3)");
mg->GetYaxis()->SetTitle("Humedad Relativa (%)");
mg->GetXaxis()->CenterTitle();
mg->GetYaxis()->CenterTitle();
mg->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);
gPad->Modified();
gPad->Update();

//tt->SaveAs(Form("%s.jpg",variable));

x++;
return gr;
}

```

```

TGraph* Correlation(const char *variable1, const char *variable2)
{
if (tsc==0)
{

```



```

TFile *f = new TFile("slowControl.root");
tsc = (TTree*)f->Get("tsc");
tsc->SetEstimate(tsc->GetEntries());
}

TMultiGraph *mg1;
TGraph * gr1;

tsc->Draw(Form("%s:%s",variable1,variable2),"","goff");
Double_t *V1 = tsc->GetV1();
Double_t *V2 = tsc->GetV2();
int Data=tsc->GetSelectedRows()-1;

float meanV1=0;
float meanV2=0;
float rmsV1=0;
float rmsV2=0;

double * x_error= new double [Data];
double * v0_error = new double [Data];

for(int i=0; i<Data; i++){

//std::cout << i << std::endl;
x_error[i]=0;
v0_error[i]=0;

meanV1=meanV1+V1[i];
rmsV1=rmsV1+V1[i]*V1[i];
meanV2=meanV2+V2[i];
rmsV2=rmsV2+V2[i]*V2[i];
}
float * a = new float [7];

meanV1=meanV1/Data;
meanV2=meanV2/Data;
rmsV1=rmsV1/Data-meanV1*meanV1;
rmsV2=rmsV2/Data-meanV2*meanV2;

std::cout << Form("La media de %s es %f",variable1, meanV1)
<<std::endl;
cout << Form("La media de %s es %f",variable2, meanV2)

```

```

<<std::endl;
cout << Form("La rms de %s es %f",variable1, rmsV1)
  <<std::endl;
std::cout << Form("La media de %s es %f",variable2, rmsV2)
  <<std::endl;

float Covarianza=0;
float r;

for(int j=0;j<Data;j++)
Covarianza=Covarianza+V1[j]*V2[j];

Covarianza=Covarianza/Data-meanV1*meanV2;
double errCv = sqrt(pow(meanV2*rmsV1,2)+
pow(meanV1*rmsV2,2))/sqrt(Data);
r=Covarianza/std::sqrt(rmsV1*rmsV2);
double errR =sqrt(pow(r*errCv/Covarianza,2));
a[0]=meanV1;
a[1]=meanV2;
a[2]=rmsV1/sqrt(Data);
a[3]=rmsV2/sqrt(Data);
a[4]=Covarianza;
a[5]=r;
a[6]=errR;
Guardar("Correlacion.txt",variable1,variable2,a);

cout << Form("La Covarianza es %f",Covarianza) <<endl;
cout << Form("El factor de correlacion es %f",r) <<endl;

TCanvas * tt= new TCanvas("SC", "SC",1028,1028);

gr1 = new TGraphErrors (Data,V1,V2,x_error,v0_error);

gr1->SetFillColor(0);
gr1->SetMarkerSize(1);
gr1->SetMarkerStyle(20);
gr1->SetMarkerColor(kBlack);
gr1->SetTitle(Form("%s",variable1));

mg1 = new TMultiGraph();

mg1->Add(gr1);

mg1->SetTitle("Slow Control 2");

```

```
mg1->Draw("AP");
```

```
mg1->GetXaxis()->SetTitle(Form("%s",variable2));  
mg1->GetYaxis()->SetTitle(Form("%s",variable1));  
mg1->GetXaxis()->CenterTitle();  
mg1->GetYaxis()->CenterTitle();  
mg1->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);  
mg1->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);  
mg1->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);  
mg1->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);
```

```
gPad->Modified();  
gPad->Update();
```

```
//tt->SaveAs(Form("%s-%s.jpg",variable1,variable2));
```

```
return gr1;  
}
```

```
TGraph* CorrelationAverage(const char *variable1,  
const char *variable2)  
{  
if (tsc==0)  
{  
TFile *f = new TFile("slowControl.root");  
tsc = (TTree*)f->Get("tsc");  
tsc->SetEstimate(tsc->GetEntries());  
}
```

```
TGraphErrors * g1 = drawAverageDay(variable1);
```

```
int nData=g1->GetN(); // numero de puntos  
double *Var1=g1->GetY(); // array con valores y de g1
```

```
TGraphErrors * g2 = drawAverageDay(variable2);  
double *Var2=g2->GetY(); // array con valores y de g1
```

```
float meanV1=0;  
float meanV2=0;  
float rmsV1=0;
```

```

float rmsV2=0;

double * x_error= new double [nData];
double * v0_error = new double [nData];

TMultiGraph *mg1;
TGraph * gr1;

for(int i=0; i<nData; i++){

//std::cout << i << std::endl;
x_error[i]=0;
v0_error[i]=0;

meanV1=meanV1+Var1[i];
rmsV1=rmsV1+Var1[i]*Var1[i];
meanV2=meanV2+Var2[i];
rmsV2=rmsV2+Var2[i]*Var2[i];
}

meanV1=meanV1/nData;
meanV2=meanV2/nData;
rmsV1=rmsV1/nData-meanV1*meanV1;
rmsV2=rmsV2/nData-meanV2*meanV2;

std::cout << Form("La media de %s es %f",variable1, meanV1)
<<std::endl;
cout << Form("La media de %s es %f",variable2, meanV2)
<<std::endl;
cout << Form("La rms de %s es %f",variable1, rmsV1)
<<std::endl;
std::cout << Form("La media de %s es %f",variable2, rmsV2)
<<std::endl;

float Covarianza=0;
float r;

for(int j=0;j<nData;j++)
Covarianza=Covarianza+Var1[j]*Var2[j];

Covarianza=Covarianza/nData-meanV1*meanV2;
double errCv = sqrt(pow(meanV2*rmsV1,2)+
pow(meanV1*rmsV2,2))/sqrt(nData);

```

```

r=Covarianza/std::sqrt(rmsV1*rmsV2);
double errR =sqrt(pow(r*errCv/Covarianza,2));

float * a = new float [7];
a[0]=meanV1;
a[1]=meanV2;
a[2]=rmsV1/sqrt(nData);
a[3]=rmsV2/sqrt(nData);
a[4]=Covarianza;
a[5]=r;
a[6]=errR;
Guardar("CorrelacionMedia.txt",variable1,variable2,a);

cout << Form("La Covarianza es %f",Covarianza) <<endl;
cout << Form("El factor de correlacion es %f",r) <<endl;

TCanvas * tt= new TCanvas("SC2cc", "SC2cc",1028,1028);

gr1 = new TGraphErrors (nData,Var1,Var2,x_error,v0_error);

gr1->SetFillColor(0);
gr1->SetMarkerSize(1);
gr1->SetMarkerStyle(20);
gr1->SetMarkerColor(kBlack);
gr1->SetTitle(Form("%s",variable1));

mg1 = new TMultiGraph();

mg1->Add(gr1);

mg1->SetTitle("Slow Control 2");

mg1->Draw("AP");

mg1->GetXaxis()->SetTitle(Form("%s",variable2));
mg1->GetYaxis()->SetTitle(Form("%s",variable1));
mg1->GetXaxis()->CenterTitle();
mg1->GetYaxis()->CenterTitle();
mg1->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg1->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg1->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg1->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);

```

```

gPad->Modified();
gPad->Update();

// tt->SaveAs(Form("%s:%s_media.jpg",variable1,variable2));

return gr1;

}

TGraphErrors * drawAverageDay10(const char *variable)
{
if (tsc==0)
{
TFile *f = new TFile("slowControl.root");
tsc = (TTree*)f->Get("tsc");
tsc->SetEstimate(tsc->GetEntries());
}
tsc->Draw("globalDay","", "goff"); // goff -> no dibuja
int divi= 10;
int nDays=(Int_t)tsc->GetV1()[tsc->GetSelectedRows()-1]/divi;
// numero de variables que vamos a manejar
int res=(Int_t)tsc->GetV1()[tsc->GetSelectedRows()-1]%divi;
if (res>0)
{
nDays=nDays+1;
}
int j=0;
std::cout << nDays << std::endl;

tsc->Draw(Form("%s:globalDay",variable),"", "goff");
Double_t *rH = tsc->GetV1();
// array con los valores variable para e$
Double_t *Days = tsc->GetV2();
int Data=tsc->GetSelectedRows()-1;
int * nData = new int[nDays];

double * media = new double [nDays];
double * rms = new double [nDays];
double * x_error = new double [nDays];
double * dias = new double [nDays];
int k=0;
std::cout << Data << std::endl;

```

```

TGraphErrors * gr;
TMultiGraph *mg;

for (int i=0; i<nDays; i++)
{
//inicializo
media[i]=0;
rms[i]=0;
x_error[i]=0;
nData[i]=0;
}
std::cout << "ok" << std::endl;

for (int j=0; j<nDays-1; j++){

for(int j2=0;j2<divi;j2++)
{
do{

media[j]=media[j]+rH[k];
rms[j]=rms[j]+rH[k]*rH[k];
nData[j]=nData[j]+1;
dias[j]=Days[k];
k++;
}while((int)Days[k]==(int)Days[k-1]);

}
}
for(int j3=0;j3<res;j3++)
{
do{

media[nDays-1]=media[nDays-1]+rH[k];
rms[nDays-1]=rms[nDays-1]+rH[k]*rH[k];
nData[nDays-1]=nData[nDays-1]+1;
dias[nDays-1]=Days[k];
k++;
}while((int)Days[k]==(int)Days[k-1]);

}
cout << Form("El numero de dias es %d",nDays)
<<std::endl;

```

```

for (int p=0; p<nDays; p++){
media[p]=media[p]/nData[p];
rms[p]=rms[p]/nData[p]-media[p]*media[p];
rms[p]=std::sqrt(rms[p])/divi;
}

```

```

TCanvas * tt= new TCanvas(Form("SC%d",x), Form("SC%d",x),1028,1028);

```

```

gr = new TGraphErrors(nDays,dias,media,x_error,rms);

```

```

gr->SetFillColor(0);
gr->SetMarkerSize(1);
gr->SetMarkerStyle(20);
gr->SetMarkerColor(kBlack);
gr->SetTitle(Form("%s",variable));

```

```

mg = new TMultiGraph();

```

```

mg->Add(gr);

```

```

mg->SetTitle("Slow Control");

```

```

mg->Draw("AP");

```

```

mg->GetYaxis()->SetTitle("Radon (Bq/m^3)");
mg->GetXaxis()->CenterTitle();
mg->GetYaxis()->CenterTitle();
mg->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg->GetXaxis()->SetTitle("Days");

```

```

gPad->Modified();

```

```

gPad->Update();

```

```

x++;

```

```

//tt->SaveAs(Form("%s_10.jpg",variable));

```



```
return gr;
```

```
}
```

```
TGraph* CorrelationAverage10(const char *variable1,  
const char *variable2)
```

```
{  
if (tsc==0)  
{  
TFile *f = new TFile("slowControl.root");  
tsc = (TTree*)f->Get("tsc");  
tsc->SetEstimate(tsc->GetEntries());  
}
```

```
TGraphErrors * g1 = drawAverageDay10(variable1);
```

```
int nData=g1->GetN(); // numero de puntos  
double *Var1=g1->GetY(); // array con valores y de g1
```

```
TGraphErrors * g2 = drawAverageDay10(variable2);  
double *Var2=g2->GetY(); // array con valores y de g1
```

```
float meanV1=0;  
float meanV2=0;  
float rmsV1=0;  
float rmsV2=0;
```

```
double * x_error= new double [nData];  
double * v0_error = new double [nData];
```

```
TMultiGraph *mg1;  
TGraph * gr1;
```

```
for(int i=0; i<nData; i++){
```

```
//std::cout << i << std::endl;  
x_error[i]=0;  
v0_error[i]=0;
```

```

meanV1=meanV1+Var1[i];
rmsV1=rmsV1+Var1[i]*Var1[i];
meanV2=meanV2+Var2[i];
rmsV2=rmsV2+Var2[i]*Var2[i];
}

meanV1=meanV1/nData;
meanV2=meanV2/nData;
rmsV1=rmsV1/nData-meanV1*meanV1;
rmsV2=rmsV2/nData-meanV2*meanV2;

std::cout << Form("La media de %s es %f",variable1, meanV1)
<<std::endl;
cout << Form("La media de %s es %f",variable2, meanV2)
<<std::endl;
cout << Form("La rms de %s es %f",variable1, rmsV1)
<<std::endl;
std::cout << Form("La media de %s es %f",variable2, rmsV2)
<<std::endl;

float Covarianza=0;
float r;

for(int j=0;j<nData;j++)
Covarianza=Covarianza+Var1[j]*Var2[j];

Covarianza=Covarianza/nData-meanV1*meanV2;
double errCv = sqrt(pow(meanV2*rmsV1,2)
+pow(meanV1*rmsV2,2))/sqrt(nData);
r=Covarianza/std::sqrt(rmsV1*rmsV2);
double errR =sqrt(pow(r*errCv/Covarianza,2));

float * a = new float [7];
a[0]=meanV1;
a[1]=meanV2;
a[2]=rmsV1/(sqrt(nData));
a[3]=rmsV2/(sqrt(nData));
a[4]=Covarianza;
a[5]=r;
a[6]=errR;
Guardar("CorrelacionMedial0.txt",variable1,variable2,a);

```

```

cout << Form("La Covarianza es %f",Covarianza) <<endl;
cout << Form("El factor de correlacion es %f",r) <<endl;

TCanvas * tt= new TCanvas("SC2c", "SC2c",1028,1028);

gr1 = new TGraphErrors (nData,Var1,Var2,x_error,v0_error);

gr1->SetFillColor(0);
gr1->SetMarkerSize(1);
gr1->SetMarkerStyle(20);
gr1->SetMarkerColor(kBlack);
gr1->SetTitle(Form("%s",variable1));

mg1 = new TMultiGraph();

mg1->Add(gr1);

mg1->SetTitle("Slow Control 2");

mg1->Draw("AP");

mg1->GetXaxis()->SetTitle(Form("%s",variable2));
mg1->GetYaxis()->SetTitle(Form("%s",variable1));
mg1->GetXaxis()->CenterTitle();
mg1->GetYaxis()->CenterTitle();
mg1->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg1->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg1->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg1->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);

gPad->Modified();
gPad->Update();

// tt->SaveAs(Form("%s:%s_10.jpg",variable1,variable2));

return gr1;

}

```

Funciones definidas por el usuario. Calcula la correlación entre dos array dados.
macro funcionesVector.C

```
void Guardar(const char *nombre, const float *a )  
  
{  
FILE *fp = fopen(Form("%s",nombre),"w");  
fprintf(fp,"media 1 = %lf \n",a[0]);  
fprintf(fp,"media 2 = %lf \n",a[1]);  
fprintf(fp,"rms 1 = %lf \n",a[2]);  
fprintf(fp,"rms 2 = %lf \n",a[3]);  
fprintf(fp,"La covarianza es = %lf \n",a[4]);  
fprintf(fp,"El error del factor de correlacion es = %lf \n",a[6]);  
fprintf(fp,"El factor de correlacion es = %lf \n",a[5]);  
  
fclose(fp);  
}
```

```
double correlation(const double * media1,const double * media2,  
const int nDays)  
{
```

```
double * errorr1 =new double[nDays];  
double * errorr2 = new double[nDays];  
for (int i=0; i<nDays; i++)  
{  
  
errorr1[i]=0;  
errorr2[i]=0;  
  
}
```

```
double meanV1=0;  
double meanV2=0;  
double rms1=0;  
double rms2=0;  
double covarianza=0;  
double r=0;
```

```

for(int la =0; la<nDays; la++)
{
meanV1 = media1[la]+meanV1;
meanV2 = media2[la]+meanV2;
rms1=rms1+media1[la]*media1[la];
rms2=rms2+media2[la]*media2[la];
}

meanV1=meanV1/nDays;
meanV2=meanV2/nDays;
rms1=sqrt(pow(( rms1/nDays -meanV1*meanV1),2));
rms2=sqrt(pow(( rms2/nDays -meanV2*meanV2),2));

cout<< meanV1<< endl;
cout<< meanV2<< endl;
cout<< rms1<< endl;
cout<< rms2<< endl;
for(int me =0; me<nDays;me++)
{
covarianza = covarianza + media1[me]*media2[me];
}

covarianza= covarianza/nDays - meanV1*meanV2;
r=covarianza/sqrt(rms1*rms2);
cout<< "Media1: \t " << meanV1<< "\t" << "mas menos \t"
<<rms1<< "\n";
cout<< "Media2: \t " << meanV2<< "\t" << "mas menos \t"
<<rms2<< "\n";
cout<< "Correlacion: \t" << r<< "\n";
cout<< "Covarianza: \t" << covarianza << "\n";

float * a = new float [7];

double errCv = sqrt(pow(meanV2*rms1,2)+
pow(meanV1*rms2,2))/sqrt(nDays);
double errR =sqrt(pow(r*errCv/covarianza,2));
a[0]=meanV1;
a[1]=meanV2;
a[2]=rms1/sqrt(nDays);
a[3]=rms2/sqrt(nDays);
a[4]=covarianza;
a[5]=r;

```

```

a[6]=errR;
// Guardar("CorrelacionVector.txt","Primero","Segundo",a);
Guardar("CorrelacionVector.txt",a);

TCanvas * tt= new TCanvas("SC", "SC",1028,1028);

gr1 = new TGraphErrors (nDays,media1,media2,errorr1,errorr2);

gr1->SetFillColor(0);
gr1->SetMarkerSize(1);
gr1->SetMarkerStyle(20);
gr1->SetMarkerColor(kBlack);
gr1->SetTitle("Correlacion");

mg1 = new TMultiGraph();

mg1->Add(gr1);

mg1->SetTitle("");

mg1->Draw("AP");

mg1->GetXaxis()->SetTitle("Detecciones por dia");
mg1->GetYaxis()->SetTitle("Radon (Bq/m^3)");
mg1->GetXaxis()->CenterTitle();
mg1->GetYaxis()->CenterTitle();
mg1->GetXaxis()->SetLabelSize(0.05);
mg1->GetXaxis()->SetTitleSize(0.05);
mg1->GetYaxis()->SetLabelSize(0.05);
mg1->GetYaxis()->SetTitleSize(0.05);

gPad->Modified();
gPad->Update();

cout<< r<< endl;
return covarianza;

}

```


Macro que calcula el volumen de aire.

```
{

//Calculamos el volumen de los blindajes
double pi = 3.141592;
double CobreG= 0.29845*pi*((60.325+0.5+1.5)/1000)*
((60.325+0.5+1.5)/1000);
double CobreP= CobreG*(3+10)/1000/0.29845;
double CobrePMP = pi*(175+1)*(38.2+1)*(38.2+1)/(1000*1000*1000);
double Boro = 26.25*26.25*129*pi;
double HeadBoro = 26.25*26.25*40*pi;

//Y los volumenes de aire

double VNaI = 0.29845*pi*0.060325*0.060325;
double VAire =0.15*0.15*0.9-CobreG-2*CobreP-2*CobrePMP;
double VMylar = 5*5*pi*(1,5-0.02)/(1000*1000*1000);
double VEncap = (38.3*38.3*175*pi-Boro-HeadBoro)/(1000*1000*1000);

cout<<VNaI<<endl;
cout<<VAire<<endl;
cout<<VMylar<<endl;
cout<<VEncap<<endl;

//El volumen total sera la suma
double scal = VNaI+VAire+VMylar+2*VEncap;
cout<<scal<<endl;

}
```


Macro que pinta los datos de la concentración de Radón y las detecciones de Blank juntos y calcula su índice de correlación

```
{
gStyle->SetTitleXSize(0.04);
gStyle->SetTitleYSize(0.04);
gStyle->SetLabelSize(0.04,"X");
gStyle->SetLabelSize(0.04,"Y");

//int tins = 1501711207;
//int tinb = 1356998398;

int tins = 712792807;
int tinb = 568079998;

TGraphErrors * g1 = drawAverageDay("Radon");
//TGraphErrors * g1 = drawAverageDay10("Radon");

int n1=g1->GetN(); // numero de puntos
double *RadonS=g1->GetY(); // array con valores y de g1

cout<<"OK"<<endl;

TChain ch("t2");
int n=63;
int i=0;

while(n+i*2<100)
{
ch->Add(Form("/media/storage/data/A112DM/A112Blank.00%d.root",n+i*2));
i++;
}
```

```

while(n+i*2<170)
{
if(n+i*2==137)
{i++;}

ch->Add(Form("/media/storage/data/A112DM/A112Blank.0%d.root",n+i*2));
i++;
}

```

```

TFile *file1 = TFile::Open("slowControl.root");
TTree * tsc = (TTree*)file1->Get("tsc");

```

```

tsc->SetAlias("x2",Form("timeGlobal+%d",tins));
t2->SetAlias("x1",Form("time+%d",tinb));
cout<<"Bien"<<endl;

```

```

Double_t max = tsc-> GetMaximum("timeGlobal") + tins;
Double_t min = tsc-> GetMinimum("timeGlobal") + tins;

```

```

Double_t maxi = ch -> GetMaximum("time")+tinb;
Double_t mini = ch -> GetMinimum("time")+tinb;

```

```

Double_t mat = maxi;
Double_t mit = mini;
if(mini<min)
mit=min;
if(max<maxi)
mat=max;

```

```

cout<<"Bien"<<endl;
cout<< mit<<endl;
cout<< mat<<endl;

```

```

//mat= 1547000000; //Zona antes de nitrogeno

//mit=1555000000; // Zona de despues

mat = 758081600; //zona antes del nitro con nuevo tiempo
//mit = 766081600; //zona despues

//int nDays = (mat-mit)/(24*3600*10) +1;
int nDays = (mat-mit)/(24*3600) +1;
cout<<nDays<<endl;

TH1F * his = new TH1F("his","",nDays,mit,mat);
t2->Draw("x1>>his",Form("%lf>x1 && x1>%lf",mat,mit));

his->Scale(1./(3600*24));

double * timeB = new double [nDays];
for (int alf=0;alf<nDays;alf++)
{
timeB[alf]=his->GetBinContent(alf+1);
}

cout<<timeB[1]<<endl;

double * timeB2 = new double [nDays-2];
double * RadonS2 = new double [nDays-2];
double * dias = new double [nDays-2];

int n3=(mit-tins)/3600/24+1;
//int n3 =(mit-min)/3600/24/10+1;
cout<<n3<<endl;

```

```

for (int i=0; i<nDays-2;i++)
{
timeB2[i]=timeB[i+1];
RadonS2[i]= RadonS[n3+i];
//dias[i]= mit+24*3600*10*i;
dias[i]= mit+24*3600*i;
}
g3 = new TGraph(nDays-2,dias,timeB2);
g2 = new TGraph(nDays-2,dias,RadonS2);
g3->SetFillColor(0);
g3->SetMarkerSize(1);
g3->SetMarkerStyle(20);
g3->SetMarkerColor(kBlack);
g2->SetFillColor(0);
g2->SetMarkerSize(1);
g2->SetMarkerStyle(20);
g2->SetMarkerColor(kBlack);

mg3 = new TMultiGraph();
mg3->Add(g3);

mg2 = new TMultiGraph();
mg2->Add(g2);

TCanvas * c1 = new TCanvas("c1","c1");
c1->Divide(1,2);
c1->cd(1);
his->Draw();
his->GetXaxis()->SetTitle("Dias");
his->GetYaxis()->SetTitle("Detecciones por Dia");
his->GetXaxis()->CenterTitle();
his->GetYaxis()->CenterTitle();
his->GetXaxis()->SetTimeDisplay(1);
his->GetXaxis()->SetTimeFormat("%d/%m/%y");
his->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
his->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);
c1->cd(2);
mg2->Draw("AP");
mg2->GetXaxis()->SetTitle("Dias");
mg2->GetYaxis()->SetTitle("Radon(Bq/m^3)");
mg2->GetXaxis()->CenterTitle();
mg2->GetYaxis()->CenterTitle();

```

```
mg2->GetXaxis()->SetTimeDisplay(1);
mg2->GetXaxis()->SetTimeFormat("%d/%m/%y");
mg2->GetXaxis()->SetLabelSize(0.04);
mg2->GetYaxis()->SetLabelSize(0.04);

cout<<"Aqui"<<endl;

double asi = correlation(timeB2,RadonS2,nDays-2);
cout<< asi<< endl;

}
```