

**INCENTIVOS A PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE  
EXCELENCIA**  
*Convocatoria (2010)*

**MEMORIA (*3er Informe de Seguimiento*) DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

|  |
|--|
| <b>Investigador/a principal: JUAN PEDRO BOLÍVAR RAYA</b>   |
| <b>Código del proyecto: RNM6300</b>  |
| <b>Denominación del proyecto: CARACTERIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LAS BALSAS DE FOSFOYESO DE HUELVA PARA SU GESTIÓN Y CONTROL AMBIENTAL</b>  |
| <b>Organismo/Universidad: UNIVERSIDAD DE HUELVA</b>  |
| <b>Centro: Facultad de Ciencias Experimentales</b>   |
| <b>Departamento: Física Aplicada</b>   |
| <b>Fecha de inicio del proyecto: 15-marzo-2011</b>   |
| <b>Fecha de finalización del proyecto: 14-septiembre-2015</b>  |
| <b>Grupo/s que participa/n en el proyecto: RNM348 – RNM198 – RNM160 – RNM293</b>   |
| <b>En Huelva, a 27 de junio de 2014</b><br><br><br><b>Fdo.: Juan Pedro Bolívar Raya</b><br><b>Investigador Principal del Proyecto</b> |

SR. SECRETARIO GENERAL DE UNIVERSIDADES, INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA  
Avda. Albert Einstein, s/n Isla de la Cartuja  
41092 – SEVILLA

## A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS

### PROPUESTOS

A.1. *Describa las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto.*

#### **A.1. Describa las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto.**

La descripción de las actividades se realizará siguiendo el mismo orden de la memoria del proyecto.

##### **Actividad 1: Actualización bibliográfica**

Se han utilizado bases de datos diversas para la recopilación de artículos en revistas científicas, así como también se han consultado diversos tipos de informes realizados sobre las balsas de fosfoyeso, de forma que el investigador principal del proyecto posee una base de datos muy completa sobre las diversas investigaciones realizadas a nivel internacional sobre la evaluación del impacto ambiental de depósitos de fosfoyeso y de metodologías para su recuperación ambiental, y muy especialmente las seguidas en Florida (USA).

Por otra parte, en julio de 2011 realizó una estancia de 15 días del Professor Mark Baskaran (Wayne State University, Detroit), con objeto de transferir su conocimiento en evaluación de impacto radiactivo en medios marinos y métodos de medida de radionucleidos naturales.

El I.P. de este proyecto, el Prof. Dr. Juan Pedro Bolívar, ha realizado una estancia de dos semanas (14 al 30 julio 2012) en la Northern Arizona University con el Prof. Michael Ketterer, con objeto de transferir metodologías de medida de radionucleidos naturales por técnicas de “counting atoms” a través de la técnica de ICP-MS con multicolector.

Por último, el Prof. Michael Ketterer ha realizado una estancia de casi dos semanas en las Universidades de Huelva y Cádiz aprovechando que este investigador iba a asistir a un congreso en la India. Esta corta estancia ha servido para discutir resultados del proyecto relacionados con el impacto producido por las balsas de fosfoyeso en la ría del Tinto.

Obviamente la actualización bibliográfica continuará a lo largo de todo el proyecto, aunque la labor más intensa se realizó durante el primer año.

**Grado de ejecución: 90%**

##### **Actividad 2: Recogida de muestras de sedimentos, aguas superficiales y subterráneas**

Esta actividad se explicó en el 1er informe de seguimiento (fecha 26 junio 2012).

Sólo añadir que durante la segunda anualidad tomaron muestras de agua adicionales de forma periódica (tres muestreos), con objeto de analizar la evolución geoquímica (pH, conductividad, etc.) de estas aguas subterráneas a lo largo del tiempo.

**Grado de ejecución: 100%**

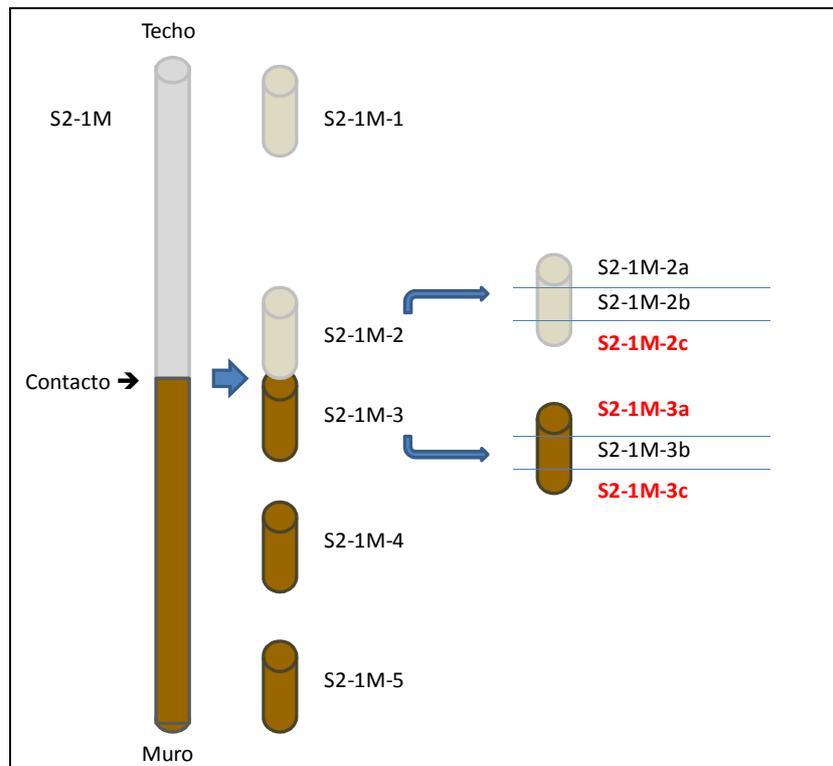
**Actividad 3: Técnicas analíticas: pretratamientos, medida de concentraciones de radionucleidos y análisis químicos de las muestras de agua de los piezómetros seleccionados.**

En las muestras recogidas se han medido los radionucleidos naturales con semivida del orden o superior al año, entre los que podemos destacar los isótopos de U ( $^{238,234}\text{U}$ ), de Ra ( $^{226, 228}\text{Ra}$ ), de Th ( $^{232,230,228}\text{Th}$ ), y  $^{210}\text{Pb}$  ( $^{210}\text{Po}$ ). Para la realización de estas determinaciones se han aplicado las técnicas de espectrometría alfa y gamma con detectores de semiconductor que tanto el grupo “Física de Radiaciones y Medio Ambiente” de la Univerisdad de Huelva ya tienen desarrolladas e implementadas en sus respectivos laboratorios.

Por otro lado, en las muestras anteriores también se han determinado parámetros físico-químicos como pH, conductividad eléctrica y potencial redox (Eh). Las muestras de agua se filtraron con filtros de teflón de 0.45  $\mu\text{m}$ , acidificadas y refrigeradas hasta su análisis. La concentración de diversos elementos químicos se han medido mediante espectroscopia óptica de emisión con fuente de plasma acoplada por inducción (ICP-OES), aunque algunas de ellas también se están midiendo por ICP-MS.

Aunque no estaba previsto en el proyecto, también se han medido muestras de fosfoyeso y sedimentos de las columnas sedimentarias recogidas. Como se ha indicado en los muestreos, en cada punto seleccionado para los nidos piezométricos se tomó un testigo corto (sólo fosfoyeso), uno intermedio (columna de fosfoyeso hasta 1-2 metros por debajo de la interfase fosfoyeso-marisma), más otro largo (columna de fosfoyeso más unos 15 m de marisma por debajo del fosfoyeso).

En la figura siguiente se muestran las muestras seleccionadas de cada testigo. Se hizo especial hincapié en la interfase fosfoyeso-sedimento, con objeto de analizar la migración de radionucleidos y metales desde el fosfoyeso hacia las primeras capas de la marisma sobre la que se asientan



En el momento de escribir este informe de seguimiento se ha finalizado totalmente esta tarea, estimándose en un total de más de cien muestras medidas por espectrometría alfa y gamma.

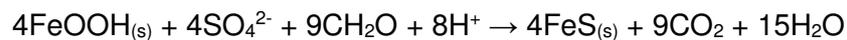
**Grado de ejecución: 100 %**

**Actividad 4:** *Evolución geoquímica de los fosfoyesos frente a diferentes condiciones ambientales*

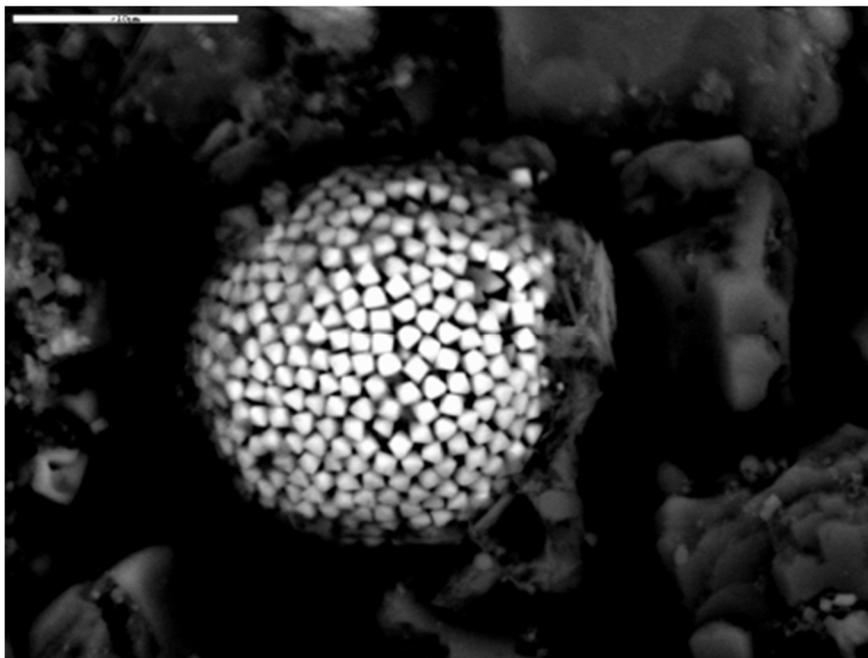
El objetivo principal fue el de determinar las diferentes especies de azufre que se encuentran presentes en el fosfoyeso situado en la base de la balsa en contacto con la marisma, para así evaluar la existencia de una posible atenuación natural del potencial de contaminación, por metales tóxicos, de la balsa de fosfoyesos al medioambiente circundante.

El resultado de la meteorización que ocurre en las balsas de yesos es un lixiviado ácido con elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y metales tóxicos potencialmente bio-disponibles debido a su alta movilidad. Estas descargas ácidas y ricas en metales pueden afectar incluso a la calidad del agua y de los sedimentos de zonas alejadas de los ríos como resultado de la acción mareal.

La elevada cantidad de azufre pirítico es congruente con la presencia de elevadas proporciones de granos de pirita framboidal perfectamente esféricos como se observa al microscopio electrónico de barrido. En principio, la pirita framboidal precipita en ambientes ácidos a partir del sulfuro producido por acción de sulfato-reductoras, durante la oxidación de la materia orgánica, cuando los lixiviados del fosfoyeso alcanzan condiciones fuertemente anóxicas en contacto con la marisma basal. Estas elevadas concentraciones de sulfuro reaccionan con el  $\text{Fe}^{2+}$  disuelto producido también por reducción microbiana de óxidos de hierro. La reacción completa puede describirse como:



Como conclusión, puede afirmarse que la considerable presencia, en condiciones anóxicas, de precipitados de sulfuros metálicos insolubles, conlleva la inmovilización de metales potencialmente tóxicos y la atenuación natural del potencial de contaminación de la balsa de fosfoyesos al medioambiente circundante.

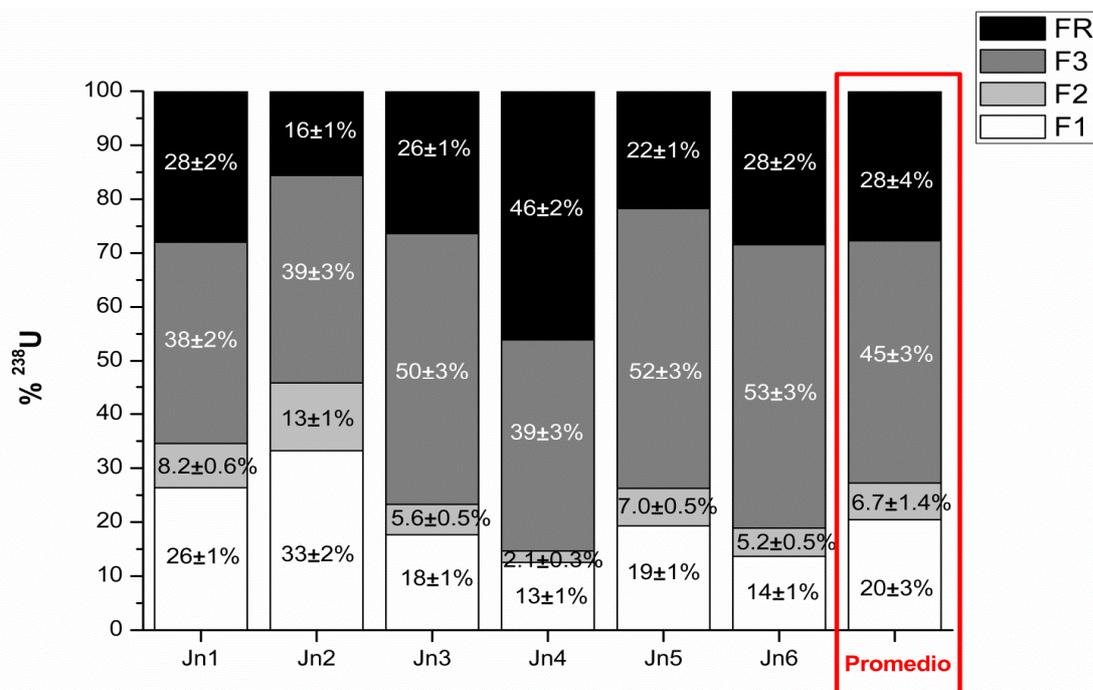


**Figura.** Fotografía de microscopio electrónico de pirita framboidal.

Dado que el proceso de precipitación de sulfuros metálicos en condiciones anóxicas reduce la movilidad y bio-disponibilidad de metales potencialmente tóxicos, un plan de actuación para la restauración de la balsa de fosfoyesos podría consistir en incentivar este proceso que de forma natural se está produciendo. El confinamiento de la balsa con una cubierta vegetal relativamente impermeable (como ya se está realizando en alguna de las zonas) podría favorecer este proceso por dos motivos: (1) limitaría la difusión de oxígeno en la balsa y extendería la existencia de condiciones anóxicas en todo el perfil de meteorización y (2) aportaría materia orgánica que implicaría un eficaz desarrollo de bacterias sulfato-reductoras.

También se ha aplicado un método de extracción secuencial (método del BCR) a una columna de fosfoyeso con objeto de analizar el grado de movilidad de los radionucleidos y metales contenidos en el fosfoyeso. En el momento de escribir este informe se han determinado los radionucleidos y se están midiendo los metales pesados.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo del comportamiento de U para una columna de fosfoyeso de código JN, tomándose una muestra aproximadamente cada 50 cm. Se observa que sobre el 20% del  $^{238}\text{U}$  está en una fase muy móvil soluble en agua.



**Grado de ejecución: 80 %**

**Actividad 5:** Caracterización de las emisiones de radón a través de la superficie de las balsas de fosfoyesos

El objetivo central de esta actividad ha sido la caracterización de las balsas de fosfoyeso como fuente de radón mediante la evaluación de sus tasas de exhalación, tanto desde el punto de vista experimental como por modelización, es decir, resolviendo un modelo de flujo de radón vertical unidimensional.

### 5.1. Medidas experimentales

Ver 1er informe de seguimiento, en el que se muestran los muestreos realizados y algunos de los resultados más relevantes sobre las medidas de tasas de exhalación y factores de emanación, que caracterizan el comportamiento del fosfoyeso como fuente de radón.

Lo realizado se ha completado con una campaña de intercomparación de radón realizada en abril de 2012, con el objetivo fundamental de intercomparar los diferentes métodos más habituales usados en la medida de tasas de exhalación de suelos. Ello ha servido para demostrar que el método de acumulación presenta serios problemas cuando se mide la exhalación en medios muy microfracturados o con porosidad abierta.

En la siguiente tabla se muestran los flujos de radón obtenidos para los diferentes equipos y métodos de medida, sobre una parcela homogénea de fosfoyeso (4x4 m<sup>2</sup>).

| EQUIPO     | FLUJO (Bq m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | COMENTARIOS                       |
|------------|---|-----------------------------------|
| DOSEMAN    | 260   | Envuelto en papel de aluminio     |
| DOSEMAN    | 210   | Promedio concentración            |
| ALPHAGUARD | 400   | Primera hora de medida            |
| ALPHAGUARD | 160   | De segunda hora a 5.5 h de medida |
| ALPHAGUARD | 250   | Promedio concentración            |
| RAD-7      | 600   | Plano                             |
| ELECTRETE  | 48 ± 12*                                    | Sin filtro                        |
| ELECTRETE  | 50 ± 15*                                    | Con filtro                        |
| ELECTRETE  | 65  | Con anillo                        |
| CANISTER   | 736 ± 246*                                  | Carbón activo                     |

Se ha realizado un modelo de difusión de radón en la columna del medio granulado, explicándose estas discrepancias por el hecho de las corrientes de fuga que se generan en la cámara por retro-difusión ("back-difusion") a través de las microfisuras y la porosidad abierta.

#### **Grado de ejecución de 5.1.: 100 %**

#### *5.2. Simulación numérica del flujo de radón en la balsa*

##### *Concentración de radón en aire*

Se ha realizado un primer estudio para evaluar los valores medios de radón (climatológicos) en Huelva, y su comparación con otras estaciones de medidas del Consejo de Seguridad Nuclear de la red de vigilancia radiológica que el mismo gestiona. Esta comparativa nos indicará si los niveles de radón medidos en Huelva son superiores a lo detectado en otras estaciones similares.

La red de estaciones automáticas de vigilancia ambiental (REA) está integrada por 25 estaciones idénticas distribuidas por todo el territorio nacional, compartiendo infraestructura con estaciones automáticas de la Agencia Española de Meteorología (AEMET). La recepción y gestión de los datos obtenidos, así como el mantenimiento de la red, es llevado a cabo por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). En la tabla siguiente se muestran las localizaciones de las estaciones de medida seleccionadas para este estudio.

**Tabla.** Situación geográfica de las estaciones automáticas seleccionadas

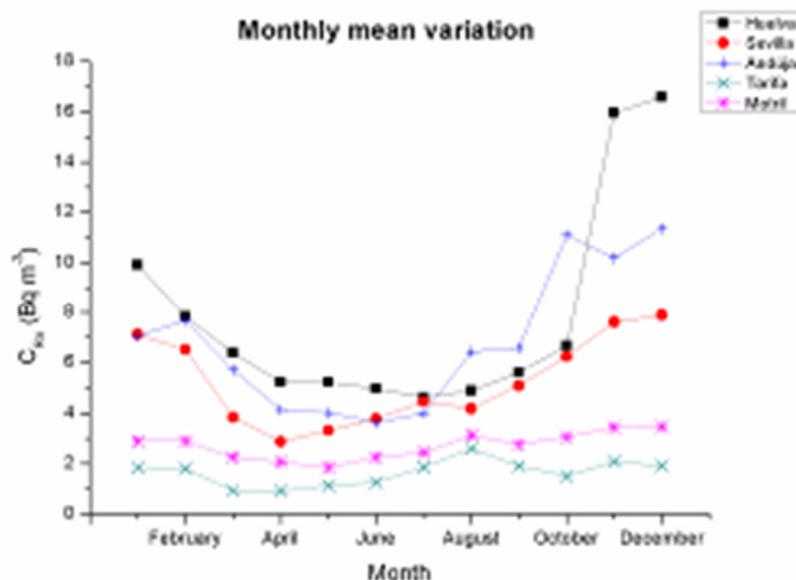
| Observatorio | Provincia | Latitud       | Longitud     | Altitud | Datos validos |
|--------------|-----------|---------------|--------------|---------|---------------|
| Huelva       | Huelva    | N 37° 16' 48" | W 6° 54' 33" | 20      | 91%           |
| Sevilla      | Sevilla   | N 37° 24' 00" | W 6° 01' 00" | 11      | 86%           |
| Andújar      | Jaén      | N 38° 02' 15" | W 4° 03' 00" | 220     | 85%           |
| Tarifa       | Cádiz     | N 36° 01' 00" | W 5° 36' 00" | 41      | 94%           |
| Motril       | Granada   | N 36° 44' 42" | W 3° 31' 03" | 50      | 88%           |

Los valores medios anuales muestran niveles típicos de radón atmosférico en todas las localizaciones. Huelva y Andújar presentan los valores medios anuales más elevados de 7.7 y 6.8 Bq m<sup>-3</sup> respectivamente. Sevilla muestra una media anual de 5 Bq m<sup>-3</sup>, mientras que Tarifa y Motril presentan los valores mínimos, 1.6 y 2.7 Bq m<sup>-3</sup>. El P10 toma por lo general un valor inferior a 1 Bq m<sup>-3</sup> en todas las estaciones. Sin embargo, el P90 muestra una diferencia notable entre las estaciones del interior y del exterior del Valle del Guadalquivir. Así, Huelva, Sevilla y Andújar presentan valores de este indicador entorno a 15 Bq m<sup>-3</sup>, mientras que Tarifa y Motril no superan los 6 Bq m<sup>-3</sup>. Coherentemente, los valores del SID reproducen el mayor rango de variación de las estaciones del interior. El valor más probable, la moda, se presenta en torno a 1.5 Bq m<sup>-3</sup> en todas las estaciones. Sin embargo, en Tarifa, el valor de la moda es aún menor, inferior a 1 Bq m<sup>-3</sup>. La diferencia notable entre la media y la moda revela la gran asimetría que presenta la distribución de probabilidad de los valores de radón en la baja troposfera.

Además de estas diferencias debidas a la localización de los emplazamientos, podemos estudiar la variabilidad temporal que presentan los diferentes indicadores. En la figura se presentan de forma comparativa, el valor medio y la moda a lo largo del año, observándose que las concentraciones en Huelva son ligeramente superiores a las del resto de estaciones estudiadas.

### *Simulación de la efectividad de la cubierta*

A partir de la ecuación de conservación de Rn, se ha construido un modelo de transporte difusivo en medios porosos en 3D. La resolución de 3 geometrías, se ha llevado a cabo mediante un algoritmo numérico basado en elementos finitos sobre una malla tetraédrica no estructurada.



Mediante los resultados obtenidos en los ensayos experimentales se han obtenido los parámetros fundamentales necesarios para las simulaciones: potencial de radón y coeficiente de difusión, el cual se determina a partir de la porosidad y el contenido en humedad de las muestras.

Se han llevado a cabo diferentes simulaciones de una columna de fosfoyeso descubierta en diferentes escenarios.

La exhalación se ve favorecida en escenarios secos, así como en escenarios fríos. El contenido en humedad es determinante para la exhalación en superficie. Así, escenarios muy húmedos presentan

valores de exhalación típicos de suelos no contaminados en condiciones normales. La porosidad del medio juega un papel importante en la exhalación, de esta manera el incremento de  $p$  se asocia con un aumento de la misma; sin embargo, influye en menor medida que la disminución de la humedad.

El aumento de temperatura supone una disminución en el coeficiente de Ostwald, por lo que los escenarios cálidos exhalan menos que escenarios fríos, en las mismas condiciones respecto a los otros parámetros.

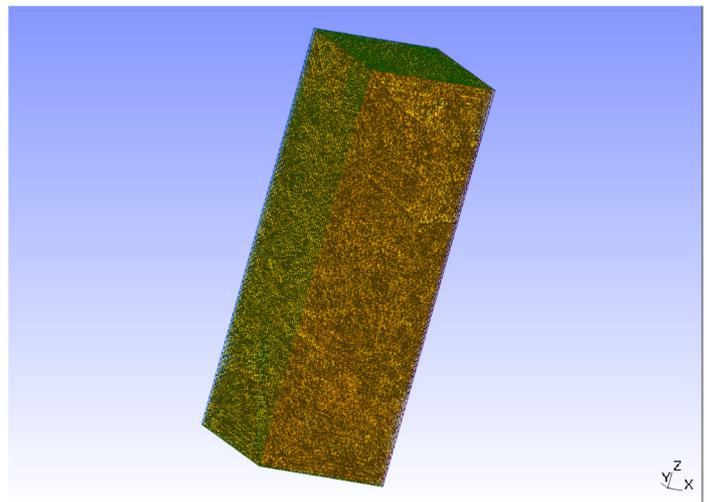
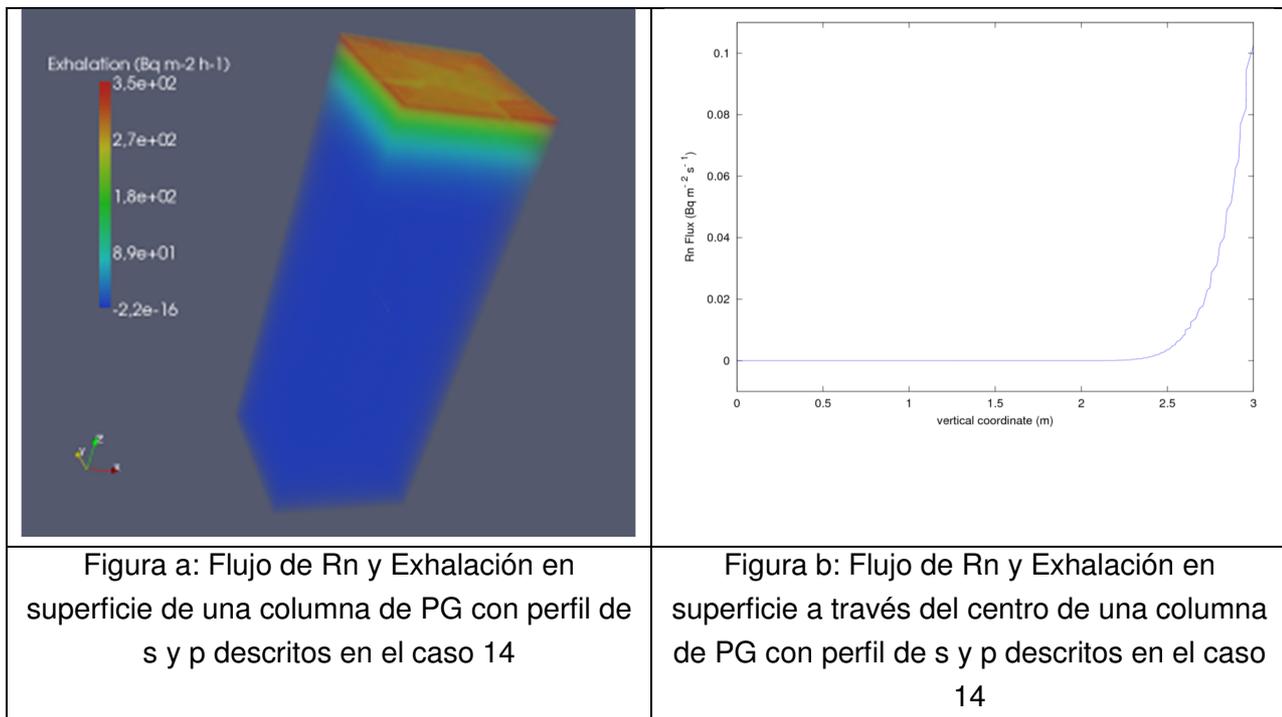


Figura: Malla empleada en las simulaciones



Con objetivo de evaluar la influencia de la cubierta, se han realizado simulaciones de dos configuraciones de la misma, además de una columna de referencia. De esta manera, se ha seleccionado un escenario de referencia con valores de  $s$  y  $p$  de 0.5, a 25°C y potencial de radón de 100 Bq/kg.

A continuación resumimos las conclusiones más relevantes

1. Se ha realizado un estudio de las propiedades físicas de las tres zonas mencionadas poniéndose de manifiesto diferencias notables entre las mismas, con relación a los distintos parámetros físicos estudiados: densidad, porosidad, granulometría, humedad relativa y potencial de radón.
2. Las tasas de exhalación de radón determinadas en la balsa inactiva situada en la zona 3, se caracterizaron por su alta variabilidad a pequeña y gran escala. Numerosos factores (composición variable de los fosfoyesos, humedad y porosidad de estos, micro y macro-roturas en las balsas) pueden explicar esta alta variabilidad. Por otra parte los valores obtenidos para las tasas de

exhalación en la balsa desnuda son dos órdenes de magnitud superiores a los determinados en suelos agrícolas no contaminados.

3. Medidas realizadas en la zona restaurada 1 dieron valores de las tasas de exhalación inferiores a las determinadas en las balsas desnudas pero claramente superiores a los valores de referencia obtenidos en suelos no contaminados. La cubierta de suelo situada sobre los fosfoyesos en la zona 1 sólo mitiga parcialmente la exhalación de radón, probablemente debido a su pequeño espesor (30 cm).
4. Los valores de exhalación de radón en las zonas recuperadas (zona 1) presentan grandes dispersiones (40 a 590 Bq/m<sup>2</sup> h), aunque son en general inferiores al valor límite de 20 pCi/m<sup>2</sup>s (2660 Bq/m<sup>2</sup> h) fijado por la US Regulatory Guide 3.64 del año 1989.
5. La tasa de exhalación de radón de las zonas activas (sin cubrir) presenta también grandes dispersiones en función del grado de humedad, grado de compactación y espesor de la “costra” existente en su superficie cuando comienzan a secarse. Las tasas medias de exhalación de estas subzonas se encuentran entre 700 y 2940 Bq/m<sup>2</sup> h, pero con una gran dispersión en las medidas individuales, llegando a detectar hasta 7100 Bq/m<sup>2</sup> h.
6. Se han determinado que las concentraciones de radón medias, medidas en exteriores de la zona 2 (punto central de la zona de apilamiento) fue de  $13.1 \pm 1.6$  Bq/m<sup>3</sup>, valor no diferente, desde el punto de vista estadístico y de las incertidumbres experimentales, del obtenido en exteriores de Huelva ciudad ( $12.6 \pm 2.0$  Bq/m<sup>3</sup>) y en la zona de Mazagón tomada como fondo natural ( $11 \pm 2$  Bq/m<sup>3</sup>). Como a priori era esperable, la concentración de <sup>222</sup>Rn en una vivienda plurifamiliar de Huelva (4ª planta) fue  $11.3 \pm 1.8$  Bq/m<sup>3</sup>, similar a la medida en exteriores de las balsas y en el lugar de referencia (Mazagón). Los niveles de radón medidos son comparables a los existentes en la literatura científica. Así, para apartamentos de Europa se ha publicado un valor medio de 20 Bq/m<sup>3</sup> y para el promedio mundial de 15 Bq/m<sup>3</sup>. Estos valores son algo superiores a los de Huelva debido a que la brisa marina existente en zonas costeras produce un efecto de dilución del nivel de radón debido a que las masas de aire marítimas contienen menor cantidad de radón que las continentales.
7. Además, las concentraciones de Radón de Huelva se han comparado con 4 ciudades andaluzas, durante el período 1998 – 2006 y se ha obtenido que los valores medios anuales muestran niveles típicos de radón atmosférico en todas las localizaciones. Huelva y Andújar presentan los valores medios anuales más elevados de 7.7 y 6.8 Bq m<sup>-3</sup> respectivamente. Sevilla muestra una media anual de 5 Bq m<sup>-3</sup>, mientras que Tarifa y Motril presentan los valores mínimos, 1.6 y 2.7 Bq m<sup>-3</sup>. El Percentil 90 muestra una diferencia notable entre las estaciones del interior y del exterior del Valle del Guadalquivir. Así, Huelva, Sevilla y Andújar presentan valores de este indicador entorno a 15 Bq m<sup>-3</sup>, mientras que Tarifa y Motril no superan los 6 Bq m<sup>-3</sup>. Coherentemente, los valores de la desviación intercuartil (SID) reproducen el mayor rango de variación de las estaciones del interior. El valor más probable, la moda, se presenta en torno a 1.5 Bq m<sup>-3</sup> en todas las estaciones. Sin embargo, en Tarifa, el valor de la moda es aún menor, inferior a 1 Bq m<sup>-3</sup>. La diferencia notable entre la media y la moda revela la gran asimetría que presenta la distribución de probabilidad de los valores de radón en la baja troposfera.

8. Las estaciones del interior del Valle presentan valores medios mensuales más altos que las del exterior durante todo el año. Además, en los meses fríos, las concentraciones de radón presentan valores altos, siendo Huelva la que presenta los valores medios más altos desde Noviembre hasta Febrero. Durante los meses de Marzo hasta Agosto, los valores medios mensuales de las estaciones del Valle son menores que el valor medio anual de las mismas. Por otro lado, las estaciones exteriores presentan un ciclo ligeramente diferente, los meses que registran concentraciones más altas son los invernales como en el caso anterior, sin embargo, agosto registra valores próximos a los observados en los meses fríos, disminuyendo de nuevo en Septiembre.
9. De los resultados de concentración de radón se deduce que, como indica la literatura al respecto, no existe una influencia directa de la exhalación de las balsas de fosfoyeso sobre las zonas cercanas a éstas, a excepción de situaciones atmosféricas especiales de notable estabilidad. La concentración de radón sobre las balsas activas de fosfoyeso presenta un valor medio no distinguible del fondo ambiental natural de la zona, y muy similar a otras ciudades andaluzas como Sevilla o Andújar. Por tanto, no parece que exista influencia alguna de los depósitos de fosfoyeso de la Ría del Tinto en los niveles de radón medidos en la ciudad de Huelva.
10. Atendido a los resultados del modelo numérico propuesto. La exhalación de radón se ve favorecida en escenarios secos, así como en escenarios fríos. El contenido en humedad es determinante para la exhalación en superficie. Así, escenarios muy húmedos presentan valores de exhalación típicos de suelos no contaminados en condiciones normales. La porosidad del medio juega un papel importante en la exhalación, de esta manera el incremento de  $p$  se asocia con un aumento de la misma; sin embargo, influye en menor medida que la disminución de la humedad.
11. La efectividad de la cubierta monocapa (suelo agrícola) estará entorno al 60 % en condiciones normales de humedad. Este resultado está corroborado por las medidas experimentales realizadas en la zona 1 (recuperada).
12. La cubierta multicapa propuesta (arcilla-grava-suelo agrícola) presenta un eficiencia de más del 95 % en la reducción de la exhalación de radón en condiciones normales de humedad, por lo que aparece como solución óptima para la recuperación en cuanto a reducción de emisiones de radón en superficie.

**Grado de ejecución de 5.2: 100 %**

**Actividad 6:** *Modelización de la dispersión atmosférica en su entorno del radón emitido por las balsas y aplicación en la evaluación de la exposición radiológica recibida por la población.*

La evolución de las concentraciones de radón deberá ser analizada en paralelo con información relevante sobre el comportamiento general y local de la meteorología de las zonas de interés. De esta manera, el estudio de los episodios puntuales de radón se lleva a cabo mediante: 1) la descripción del marco meteorológico (distribución y evolución de los centros de acción, evolución de la estructura vertical de la atmósfera, condiciones de estabilidad, evolución de los vientos en las estaciones concretas y simulaciones de alta resolución), 2) la caracterización de las concentraciones de radón en superficie en las cinco estaciones andaluzas y su relación con el marco meteorológico específico (estadísticos, correlaciones y evolución temporal) y 3) la simulación de la

dispersión de radón desde una fuente local antropogénica puntual situada en Huelva y el estudio de la evolución de la pluma en el escenario concreto.

A partir de los datos de radón proporcionados por las estaciones de la REA (Red de Estaciones Automáticas del Consejo de Seguridad Nuclear), se han seleccionado varios episodios con diferentes escenarios meteorológicos. El criterio de selección se ha basado fundamentalmente en el comportamiento de la serie temporal de radón en la estación de Huelva con el objetivo de estudiar la evolución de este gas en diferentes escenarios meteorológicos, evaluar la influencia de las balsas de fosfoyeso sobre la concentración de radón de la ciudad de Huelva y determinar el alcance real de esta fuente local mediante el estudio de la evolución de la concentración en las otras cuatro estaciones andaluzas.

Las simulaciones meteorológicas de alta resolución se han empleado para estudiar la evolución temporal y espacial de los campos de vientos, presión y temperatura en superficie. A su vez, se han realizado secciones verticales a lo largo del Valle del Guadalquivir con el fin de estudiar la evolución de los movimientos verticales y de la concentración de vapor de agua en la Cuenca del Guadalquivir. Además, se están estudiando la evolución de la altura de la capa de mezcla y la concentración de vapor de agua para las 5 localizaciones correspondientes a las estaciones de la REA y se ha seguido su evolución a lo largo de cada uno de los episodios estudiados.

Por otro lado, los campos meteorológicos de alta resolución obtenidos se están empleando en la simulación de la dispersión de radón desde una fuente local, balsas de fosfoyeso, situada en las proximidades de la ciudad de Huelva, con objeto de estudiar la evolución de la pluma de radón durante los episodios y determinar la dimensión, tanto espacial como en magnitud, de la afección de la balsa sobre Huelva y el suroeste peninsular.

A fin de optimizar los tiempos de cálculo en las simulaciones realizadas en este trabajo, se han empleado cuatro plataformas hardware diferentes:

- Centro Informático Científico de Andalucía (CICA). Posee una plataforma de cálculo de memoria distribuida con 250 nodos de doble núcleo y 4Gb RAM por nodo. Procesadores intel Xeon dual-core.
- FiLiCo. Plataforma de memoria distribuida con 6 nodos de 4x2 núcleos y 4Gb RAM por nodo. Procesadores intel Xeon X5460
- FrYma 1. Plataforma de memoria compartida con 1 nodo de 2 núcleos y 4Gb RAM. Procesador intel Xeon dual-core
- FrYma 2. Plataforma de memoria compartida con 1 nodo de 4x2 núcleos y 4Gb RAM. Procesador intel i-7 840

El Weather Research and Forecasting System (WRF) es un modelo numérico de predicción meteorológica de mesoescala, determinista, euleriano, no hidrostático y compresible que incluye modelos físicos y parametrizaciones pertenecientes al estado del arte en física atmosférica. Ha sido diseñado para servir tanto como herramienta de investigación como para proporcionar predicciones operacionales con elevada resolución temporal y espacial. Ha sido desarrollado mediante un esfuerzo colaborativo entre el National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el National Center for Environmental Prediction (NCEP), la Air Force Weather Agency (AFWA), el Naval Research Laboratory (NRL), la Universidad de Oklahoma y la Federal Aviation Administration (FAA).

### *Modelo de dispersión (Hysplit)*

En un modelo lagrangiano de partículas, el proceso de dispersión se representa añadiendo una componente turbulenta al vector velocidad del viento obtenido de los datos meteorológicos. Así, la dispersión de las emisiones desde una fuente puede simularse mediante la emisión de un número elevado de partículas durante el periodo de interés. El desplazamiento de cada partícula se calcula mediante la adición de una componente aleatoria, que describe la turbulencia, a la componente advectiva propia del campo de viento. De esta manera, el clúster de partículas emitido en un punto se expande en el espacio y tiempo, simulando la naturaleza dispersiva de la atmósfera.

El modelo de dispersión empleado en este trabajo es HYSPLIT 4.8 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) desarrollado por el Air Resource Laboratory (ARL). Es un sistema completo para el cálculo de trayectorias simples hasta complejas simulaciones de dispersión incluyendo efectos de precipitación seca y húmeda y desintegración radiactiva. El modelo emplea conjuntos de datos meteorológicos georeferenciados en tres proyecciones diferentes (Polar, Lambert, Mercator). Permite el empleo de puffs (sucesión de emisiones puntuales subsecuentes), partículas 3D y una combinación de ambos, para el cálculo de la dispersión de las especies contaminantes. La dispersividad se calcula a partir del perfil vertical de difusividad, la cizalladura del viento y la deformación horizontal del campo de viento.

Teniendo en cuenta que la superficie de las balsas de fosfoyeso es de unas 1000 ha y la superficie de una celda de la malla es de 900 ha, es posible considerar la balsa como una fuente puntual. Por su parte, el aporte de radón a la atmósfera debido a las balsas cambia en función del contenido en humedad de las mismas y, por ende, de la estación del año y de la historia hídrica. A fin de tener un criterio comparativo entre los episodios estudiados, se ha escogido un valor promedio de referencia para la tasa de exhalación de la balsa de fosfoyeso en todas las simulaciones. De esta manera, la exhalación total de la fuente puede considerarse, en promedio, como  $3 \text{ GBq h}^{-1}$ .

Se han modelando tres episodios seleccionados de radón. El episodio 1 corresponde con un evento ocurrido en Abril de 2005 en el cual las concentraciones de radón se mantuvieron por debajo del valor medio calculado en el capítulo anterior. El episodio 2 transcurre en Enero de 2001 y presenta concentraciones de radón entorno al valor medio climatológico. Por su parte, el episodio 3 transcurre en Octubre de 2003 y presenta concentraciones de radón elevadas. Los resultados que se obtengan se indicarán en el tercer informe de seguimiento.

De esta manera, el estudio de los episodios puntuales de radón se ha llevado a cabo mediante:

- 1) la descripción del marco meteorológico (distribución y evolución de los centros de acción, evolución de la estructura vertical de la atmósfera, condiciones de estabilidad, evolución de los vientos en las estaciones concretas y simulaciones de alta resolución),
- 2) la caracterización de las concentraciones de radón en superficie en las cinco estaciones andaluzas y su relación con el marco meteorológico específico (estadísticos, correlaciones y evolución temporal), y
- 3) la simulación de la dispersión de radón desde una fuente local antropogénica puntual situada en

Huelva y el estudio de la evolución de la pluma en el escenario concreto.

Las simulaciones meteorológicas de alta resolución se han empleado para estudiar la evolución temporal y espacial de los campos de vientos, presión y temperatura en superficie, además de la altura de la capa de mezcla y la concentración de vapor de agua para las 5 localizaciones correspondientes a las estaciones de la REA. Por otro lado, los campos meteorológicos de alta resolución simulados se han empleado en la simulación de la dispersión de radón desde una fuente local, balsas de fosfoyeso, situada en las proximidades de la ciudad de Huelva con idea de estudiar la evolución de la pluma de radón durante los episodios.

A fin de optimizar los tiempos de cálculo en las simulaciones realizadas en este trabajo, se han empleado cuatro plataformas hardware diferentes y se ha evaluado su rendimiento. En general, el tiempo de cálculo empleado por cada plataforma es menor al periodo de tiempo simulado. Sin embargo, las características de los procesadores empleados se dejan notar de manera severa. El aumento de procesadores empleados en el cálculo no representa un aumento sustancial de la velocidad de cálculo en los sistemas de memoria distribuida debido a la velocidad de comunicación entre máquinas.

El primer episodio analizado, niveles bajos de radón, corresponde con una situación de gran forzamiento sinóptico donde los centros de convección o subsidencia se encuentran bordeando a la PI y, así, ésta será una zona de paso donde los vientos horizontales serán los dominantes. La atmósfera se mantiene estable en general, pero en capas bajas la inestabilidad tiende a aumentar a lo largo del episodio. Además, los vientos que se reciben en Huelva proceden del NW, circulando sobre el océano durante todo su recorrido. El gran acoplamiento que sufre la atmósfera propicia una situación de pocas pérdidas por cizalla y escasa competencia entre masas de aire que favorecen el desplazamiento rápido de las masas de aire y generan un gran forzamiento sinóptico en superficie.

A modo de resumen, cabe destacar que el gran forzamiento sinóptico presente durante el evento, junto con la orografía particular del Valle del Guadalquivir, propician una situación regional característica. De esta manera, durante la tarde, el aire del interior del Valle se renueva gracias al aporte de las masas de aire oceánicas advectadas desde la costa de Huelva. A su vez, el confinamiento del aire húmedo en el interior del Valle durante la noche propicia una situación de inestabilidad débil que mantiene la capa de mezcla ligeramente elevada. Este ciclo mantiene la concentración de radón baja durante el día y una acumulación nocturna débil. Además, mantiene en contacto las masas de aire del interior del Valle con las masas de aire de la costa mediterránea.

Los otros dos episodios se están analizando en el momento de escribir la memoria.

**Grado de ejecución: 80 %**

**Actividad 7:** *Desarrollo de un modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico del sistema y desde el interior de las balsas de fosfoyeso hacia el sustrato geológico y la ría del Tinto*

Tal y como se indicaba en los dos primeros informes de seguimiento, en esta actividad ya se han caracterizado los parámetros hidrológicos en la red de piezómetros establecida para el estudio de los lixiviados y flujos de contaminantes hacia el sustrato de las balsas.

Se ha realizado la caracterización de la secuencia de unidades geológicas presentes en la zona de estudio y los espesores de cada uno de los tramos litológicos bajo el apilamiento de fosfoyesos, obtenidos a partir de las columnas litológicas de los numerosos sondeos geotécnicos previos existentes en la zona de los fosfoyesos, principalmente concentrados en la zona 2.

De forma resumida, los resultados más relevantes obtenidos han sido:

1. Se ha obtenido la secuencia de unidades geológicas presente en la zona de estudio y los espesores de cada uno de los tramos litológicos bajo el apilamiento de fosfoyesos. Estos han sido complementados con los sondeos de investigación realizados específicamente para el presente estudio (campaña de noviembre de 2009), que han servido para confirmar y calibrar los perfiles geológicos de trabajo.

2. Se han identificado 3 unidades hidrogeológicas:

- a) Unidad de fosfoyesos: Constituye un conjunto monolítico relativamente homogéneo. Su geometría está determinada por las bermas y plataformas del apilamiento.
- b) Complejo Estuarino Superior: Este complejo superior culmina en su parte alta con una unidad de marisma, arcillosa y de color oscuro (unidad E6), de muy baja permeabilidad y con espesores de 0,25 a 1 m.
- c) Unidad Arenosa Intermedia: Existe una unidad arenosa intercalada entre los dos complejos estuarinos, superior e inferior, con un espesor de 1 a 3 m, cuya característica principal es su permeabilidad y su carga hidráulica, ya que corresponde a un nivel confinado que presenta además una sobrepresión debida a la carga adicional de los fosfoyesos.
- d) Complejo Estuarino Inferior: El complejo arcilloso-limoso E1-E2 presenta un espesor superior a 12 m en la zona central del estuario del Tinto y se acuña hacia el borde NW del estuario (sector de Huelva de la zona de estudio).
- e) Nivel Inferior: El Conjunto Aluvial Pleistoceno (PT2a y PT2v) presenta una morfología irregular y espesores variables entorno a los 10 metros.

## Piezometría

A partir de los datos de niveles piezométricos de los sondeos que constituyen la red de control del estudio y teniendo en cuenta los elementos hidrogeológicos cartografiados y las condiciones de contorno de cada uno de los tres conjuntos litológicos diferenciados, se identifican tres superficies piezométricas, cada una de ellas asignable a un ámbito diferente de circulación del flujo subterráneo.

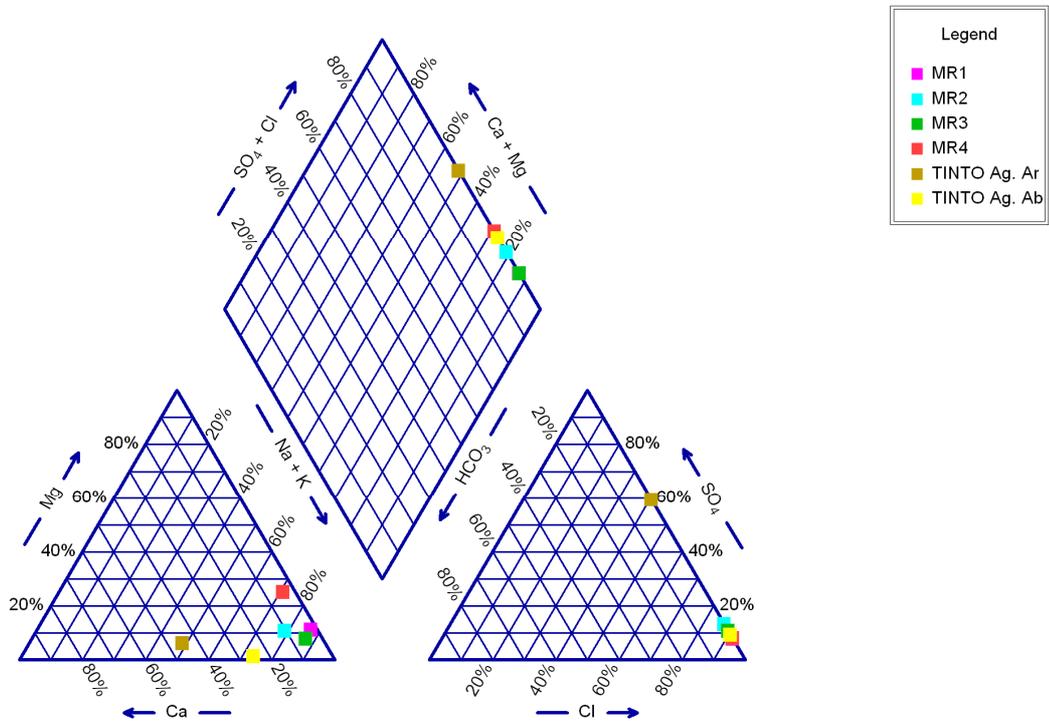
Se sigue trabajando en el modelo hidrogeológico, y a fecha de hoy se tiene un primer modelo conceptual de funcionamiento del mismo. Se ha demostrado que las líneas de corriente del sistema acuífero formado por la balsa está prácticamente impermeabilizado por la base, por lo que la mayoría de las aguas de lluvia que caen en su zona de recarga se evacúan del mismo a través de los taludes laterales que separan el fosfoyeso de la zona de marisma.

En la siguiente figura se indican, a modo de ejemplo, la ubicación de los sondeos, calicatas y salidas de borde pertenecientes a la unidad de fosfoyesos.



Se ha realizado una caracterización hidroquímica del agua subterránea, así como del medio receptor en el entorno inmediato de las balsas de fosfoyesos, como parte del estudio hidrogeológico. Además de esta caracterización, se definen las tipologías de las distintas aguas presentes a partir de los datos de parámetros físico-químicos medidos “in situ” y de los análisis químicos de componentes mayoritarios en las diferentes campañas de muestreo de la red de control. Se relacionan las aguas con su procedencia de las unidades hidrogeológicas establecidas anteriormente en el estudio hidrogeológico y las implicaciones que cada una de ellas tienen en el sistema.

El diagrama de Piper-Hill-Langelier de los puntos del **medio receptor** se muestra en la siguiente figura.

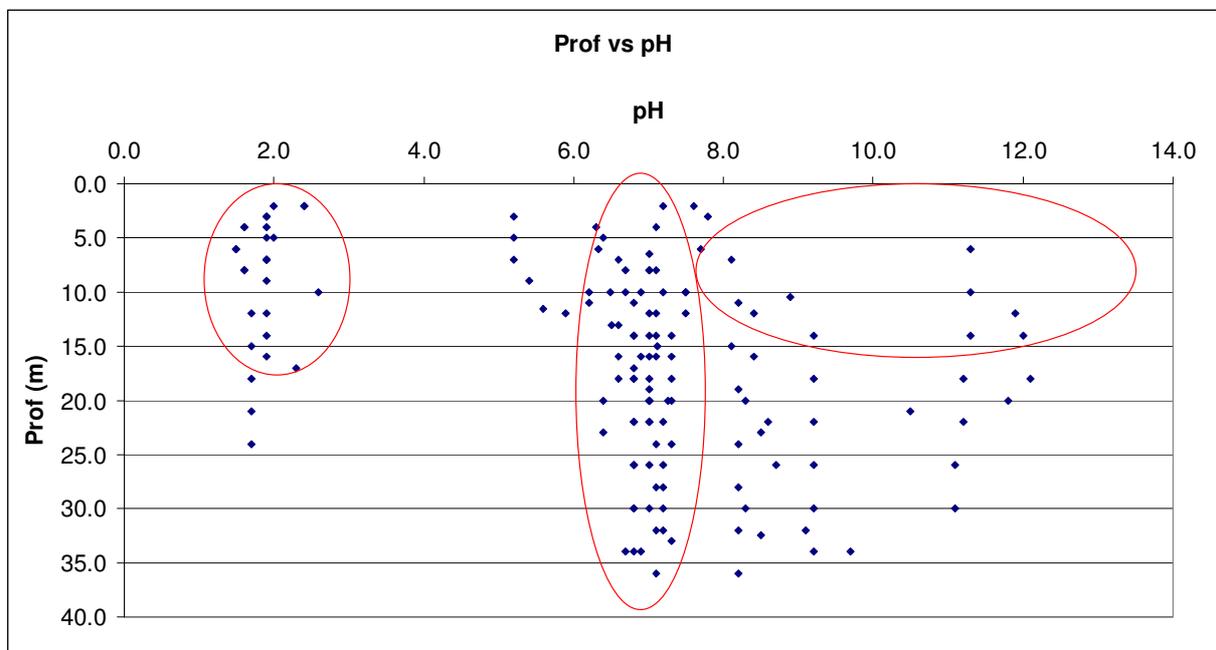


Asimismo, se muestra a modo de ejemplo los componentes mayoritarios de las aguas recogidas en el interior de la balsa y en el canal perimetral. Puede observarse los elevados contenidos en iones mayoritarios, debido a su alta acidez (pH en torno a 1-2). Estas aguas continen hasta un 8% de fosfatos, que realmente están en forma de fosfórico.

**Aguas de balsa y de canal perimetral: Componentes mayoritarios**

|                | Br <sup>-</sup> | Ca <sup>++</sup> | Cl <sup>-</sup> | F <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>===</sup> |
|----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                | mg/l            | mg/l             | mg/l            | mg/l           | mg/l                          | mg/l           | mg/l             | mg/l            | mg/l                          | mg/l                           |
| <b>CP-SE-5</b> | <L.D.           | 1246             | 1713            | 2261           | -                             | 144            | 542              | 4231            | 3131                          | 19471                          |
| <b>CP-6</b>    | 20              | 1408             | 3997            | 2403           | -                             | 82             | 731              | 2879            | 3317                          | 22517                          |
| <b>CP-7</b>    | <L.D.           | 848              | 1760            | 1818           | -                             | 80             | 451              | 3568            | 3714                          | 17970                          |
| <b>AB-1</b>    | 122             | 3620             | 3594            | 2211           | -                             | 1039           | 2230             | 4565            | 2897                          | 81695                          |
| <b>AB-1</b>    | 29              | 3121             | 3914            | 4910           | -                             | 305            | 1205             | 3457            | 3332                          | 28481                          |

Por último, indicar en la figura siguiente cómo varían los pH con la profundidad, observándose que la mayoría de las muestras ácidas corresponden con muestras no muy profundas y en general con niveles pertenecientes a balsas de fosfoyeso y no al sustrato geológico que las soportan.



**Grado de ejecución: 80 %**

**Actividad 8:** *Elaboración página web e intranet*

La página web del proyecto se ha incluido en la web del grupo de investigación:

<http://uhu.es/noticieros/gi-fryma/>

**Grado de ejecución: 80%**

**Actividad 9:** *Obtención de conclusiones, realización de informes y publicaciones*

Las conclusiones más relevantes del proyecto se han ido mostrando a lo largo del primer y segundo informes de seguimiento. No obstante, debido al retraso en la incorporación de fondos (casi un año), se ha concedido una prórroga de 18 meses con objeto de cerrar bien todas las actividades del proyecto y enriquecer los resultados y conclusiones del mismo.

**Grado de de ejecución: 70%**

## ANEXOS:

*Plantillas de datos para los Resultados obtenidos a partir del Proyecto de excelencia*

### **PUBLICACIONES (AÑOS 2011-2012-2013)**

|                        | <b>Publicación 1</b>  |
|------------------------|---|
| Nombre publicación:    | Environment International 37 (2011) 1259–1264   |
| Editorial:             | ELSEVIER  |
| Título artículo/libro: | Radioactive impact of Fukushima accident on the Iberian Peninsula: Evolution and plume previous pathway     |
| Autor/es:              | R.L. Lozano, M.A. Hernández-Ceballos, J.A. Adame, M. Casas-Ruiz, M. Sorribas, E.G. San Miguel, J.P. Bolívar |
| ISBN / ISSN            | ISSN: 0160-4120   |

|                        | <b>Publicación 2</b>   |
|------------------------|--|
| Nombre publicación:    | Journal of Hazardous Materials 191 (2011) 269–276  |
| Editorial:             | ELSEVIER   |
| Título artículo/libro: | Physico-chemical and radioactive characterization of TiO <sub>2</sub> undissolved mud for its valorization |
| Autor/es:              | M.J. Gázquez, J. Mantero, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, F. Vaca, R.L. Lozano                            |
| ISBN / ISSN            | ISSN: 0304-3894  |

|                        | <b>Publicación 3</b>   |
|------------------------|--|
| Nombre publicación:    | Journal of Hazardous Materials 192 (2011) 234–245  |
| Editorial:             | ELSEVIER   |
| Título artículo/libro: | Microencapsulation of phosphogypsum into a sulfur polymer matrix: Physico-chemical and radiological characterization |
| Autor/es:              | Félix A. López, Manuel Gázquez, Francisco José Alguacil, Juan Pedro Bolívar, Irene García-Díaz, Israel López-Coto    |
| ISBN / ISSN            | ISSN: 0304-3894  |

|                        | <b>Publicación 4</b>  |
|------------------------|---|
| Nombre publicación:    | JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, D18213, doi: 10.1029/2011JD015675, 2011 (14 páginas)   |
| Editorial:             | American Geophysical Union  |
| Título artículo/libro: | Depositional fluxes and concentrations of <sup>7</sup> Be and <sup>210</sup> Pb in bulk precipitation and aerosols at the interface of Atlantic and Mediterranean coasts in Spain |
| Autor/es:              | R. L. Lozano, E. G. San Miguel, J. P. Bolívar, and M. Baskaran  |
| ISBN / ISSN            | ISSN 0148–0227 (Print)  |

|                        | <b>Publicación 5</b>  |
|------------------------|---|
| Nombre publicación:    | Marine Pollution Bulletin 62 (2011) 2787–2796   |
| Editorial:             | ELSEVIER  |
| Título artículo/libro: | Assessment of phosphogypsum impact on the salt-marshes of the Tinto river (SW Spain): Role of natural attenuation processes |
| Autor/es:              | Rafael Pérez-López, Julio Castillo, Aguasanta M. Sarmient, José M. Nieto  |
| ISBN / ISSN            | ISSN: 0025-326X   |

| <b>Publicación 6</b>          |  |
|-------------------------------|--|
| Nombre publicación:           | Journal of Environmental Radioactivity 110 (2012) 13-23  |
| Editorial:                    | Elsevier   |
| Título artículo/libro:        | Behavior of natural radionuclides in surficial sediments from an estuary impacted by acid mine discharge and industrial effluents in Southwest Spain |
| Autor/es:                     | A. Hierro, J.P. Bolívar, F. Vaca, J. Borrego   |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 0265-931X  |

| <b>Publicación 7</b>          |  |
|-------------------------------|--|
| Nombre publicación:           | Radiation Measurements   |
| Editorial:                    | ELSSEVIER  |
| Título artículo/libro:        | Atmospheric <sup>222</sup> Rn concentration and source term at El Arenosillo 100 m meteorological tower in southwest Spain |
| Autor/es:                     | C. Grossi, D. Arnold, J.A. Adame, I. López-Coto, J.P. Bolívar, B.A. de la Morena, A. Vargas                                |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 1350-4487  |

| <b>Publicación 8</b>          |  |
|-------------------------------|--|
| Nombre publicación:           | Science of the Total Environment   |
| Editorial:                    | ELSSEVIER  |
| Título artículo/libro:        | Tracking the complete revolution of surface westerlies over Northern Hemisphere using radionuclides emitted from Fukushima |
| Autor/es:                     | M.A. Hernández-Ceballos, G.H. Hong, R.L. Lozano, Y.I. Kim, H.M. Lee, S.H. Kim, S.-W. Yeh, J.P. Bolívar, M. Baskaran        |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 0048-9697  |

| <b>Publicación 9</b>          |   |
|-------------------------------|---|
| Nombre publicación:           | Thermochimica Acta 552 (2013) 114– 122  |
| Editorial:                    | ELSSEVIER   |
| Título artículo/libro:        | Thermal characterization of new fire-insulating materials from industrial inorganic TiO <sub>2</sub> wastes |
| Autor/es:                     | S.M. Pérez-Moreno, M.J. Gázquez, A.G. Barneto, J.P. Bolívar   |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 0040-6031   |

| <b>Publicación 10</b>         |  |
|-------------------------------|--|
| Nombre publicación:           | J. Radiol. Prot. 32 (2012) 397–411   |
| Editorial:                    | IOP PUBLISHING   |
| Título artículo/libro:        | Radioactive impact in South Korea from the damaged nuclear reactors in Fukushima: evidence of long and short range transport |
| Autor/es:                     | G H Hong, M A Hernandez-Ceballos, R L Lozano, Y I Kim, H M Lee, S H Kim, S-W Yeh, J P Bolivar and M Baskaran                 |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 0952-4746  |

| <b>Publicación 11</b>         |  |
|-------------------------------|--|
| Nombre publicación:           | Atmospheric Environment 63 (2012) 168e178  |
| Editorial:                    | ELSEVIER   |
| Título artículo/libro:        | Meteorological factors influencing the <sup>7</sup> Be and <sup>210</sup> Pb concentrations in surface air from the southwestern Iberian Peninsula |
| Autor/es:                     | R.L. Lozano, M.A. Hernández-Ceballos, E.G. San Miguel, J.A. Adame, J.P. Bolívar  |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 1352-2310  |

|                        |  |
|------------------------|--|
|                        | <b>Publicación 12</b>  |
| Nombre publicación:    | Atmospheric Environment (2012) 168-178   |
| Editorial:             | ELSEVIER   |
| Título artículo/libro: | Meteorological factors influencing the <sup>7</sup> Be and <sup>210</sup> Pb concentrations in surface air from the southwestern Iberian Peninsula |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
|                               | <b>Publicación 13</b>   |
| Nombre publicación:           | Chemical Geology 342 (2013) 110–118   |
| Editorial:                    | ELSEVIER  |
| Título artículo/libro:        | Uranium behavior during a tidal cycle in an estuarine system affected by acid mine drainage (AMD) |
| Autor/es:                     | A. Hierro, J.E. Martín, M. Olías, C. García, J.P. Bolivar   |
| ISBN / ISSN / Depósito legal: | 0009-2541   |

### COMUNICACIONES A CONGRESOS

|   |  |
|---|--|
|   | <b>Evento 1</b>  |
| Nombre evento:                                  | EU NORM 1st International Symposium  |
| Nombre ponencia/intervención:                   | Radioactive impact on estuarine sediments affected by Acid Mine Drainage (AMD) and effluents from NORM phosphate fertilizer industries |
| Ponente:  | Juan Pedro Bolívar Raya  |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | 5-8 June 2012, Tallinn, Estonia  |

|   |   |
|---|---|
|   | <b>Evento 2</b>   |
| Nombre evento:                                  | VII Jornadas sobre el control de la radiactividad ambiental   |
| Nombre ponencia/intervención:                   | Niveles de radionucleidos en el aire superficial de las balsas de fosfoyeso de Huelva; implicaciones radiológicas |
| Ponente:  | Rafael L. Lozano Bermejo  |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | Tarragona, 30 mayo a 1 junio 2012   |

|   |   |
|---|---|
|   | <b>Evento 3</b>   |
| Nombre evento:                                  | III Congreso conjunto SFM y SEPR  |
| Nombre ponencia/intervención:                   | BALANES DE RADIONUCLEIDOS Y ELEMENTOS TRAZA EN LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS RICOS EN YESO MEDIANTE UN PROCESO DE CAPTURA DEL CO <sub>2</sub> |
| Ponente:  | Juan Pedro Bolívar Raya   |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | 19 junio 2013, Cáceres  |

|   |  |
|---|--|
|   | <b>Evento 4</b>  |
| Nombre evento:                                  | EAN-NORM   |
| Nombre ponencia/intervención:                   | REVIEW OF DIFFERENT COMMERCIAL APPLICATIONS OF WASTES COMING FROM THE TIO <sub>2</sub> NORM INDUSTRY |
| Ponente:  | Juan Pedro Bolívar Raya  |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | Madrid, Diciembre 2013   |

c

c

|   |   |
|---|---|
|   | <b>Evento 5</b>   |
| Nombre evento:                                  | III Congreso Conjunto SEFM-SEPR   |
| Nombre ponencia/intervención:                   | BALANACES DE RADIONUCLEIDOS EN LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS RICOS EN YESO MEDIANTE UN PROCESO DE CAPTURA DE CO2            |
| Ponente:  | Pérez-Moreno, Silvia  |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | 2013  |
|   | <b>Evento 6</b>   |
| Nombre evento:                                  | III Congreso Conjunto SEFM-SEPR (.2013.CÁCERES, ESPAÑA)   |
| Nombre ponencia/intervención:                   | Evaluación del impacto radiactivo en las áreas limítrofes a las balsas de fosfoyeso previo a su restauración              |
| Ponente:  | M. Gázquez González   |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | 2013  |
|   | <b>Evento 7</b>   |
| Nombre evento:                                  | III Congreso Conjunto SEFM-SEPR (.2013.CÁCERES, ESPAÑA)   |
| Nombre ponencia/intervención:                   | COMPORTAMIENTO DE LOS ISÓTOPOS DE URANIO A LO LARGO DE UN CICLO MAREAL EN UN ESTUARIO AFECTADO POR DRENAJE ÁCIDO DE MINAS |
| Ponente:  | A. Hierro   |
| Lugar y fecha de celebración (Lugar, dd/mm/aa): | 2013  |

## PROPIEDAD INDUSTRIAL / INTELECTUAL

|  |   |
|--|---|
|  | <b>Propiedad industrial / intelectual 1</b>   |
| Tipo (1):  | Patente   |
| Categoría (2):   | Nacional  |
| Nº solicitud:  | PCT/ES2012/070178   |
| Fecha solicitud (dd/mm/aa):  | 20 - marzo - 2011   |
| Título:  | Procedimiento de estabilización de fosfoyesos para la disminución de las emisiones de radionucleidos naturales. |
| Inventores:  | F. López, F. Alguacil, A. López, H. Tayibi, I. García, C. Gascó, J.P. Bolívar y M. Gázquez                      |
| Titular/es invención:  | CSIC - UHU - CIEMAT   |
| Codificación de la tecnología generada (3):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2)   | 2874  |
| Codificación de la tecnología de destino (4):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2) | 1542  |

(1) Opciones (excluyentes) posibles: Propiedad Intelectual / Patente / Extensión PCT / Modelo de utilidad / Marca / Material biológico, variedad vegetal y microorganismo

(2) Opciones (excluyentes) posibles en caso haber seleccionado PATENTE: Patente nacional / Patente europea / Patente estadounidense

(3) Elegir aquellos códigos SIC que describan, de la forma más exacta posible, la tecnología generada en la patente (ver Anexo Códigos SIC y detallar a nivel 2)

(4) Elegir aquellos códigos SIC que determinen el sector/es a los que se destina la patente (ver Anexo Códigos SIC y detallar a nivel 2)

## TESIS

| <b>Tesis 1</b>               |   |
|------------------------------|---|
| Título:                      | Variabilidad espacial y temporal de fuentes y concentraciones de radón en la baja atmósfera |
| Autor:                       | Israel López Coto   |
| Dirigida por:                | Juan Pedro Bolívar Raya - José Luis Más Balbuena  |
| Observaciones / comentarios: | Universidad de Huelva (Septiembre 2012)   |

| <b>Tesis 2</b>               |  |
|------------------------------|--|
| Título:                      | Radionucleidos naturales en aerosoles atmosféricos de Andalucía Occidental |
| Autor:                       | Rafael Luis Lozano Bermejo   |
| Dirigida por:                | Enrique Gutiérrez de San Migue - Miguel Ángel Hernández Ceballos           |
| Observaciones / comentarios: | Universidad de Huelva (Diciembre 2012)                                     |

| <b>Tesis 3</b>               |   |
|------------------------------|---|
| Título:                      | Behavior of radionuclides in an estuary affected by industrial wastes and acid mine drainage: the Ría of Huelva |
| Autor:                       | Almudena Hierro Gutiérrez   |
| Dirigida por:                | Juan Pedro Bolívar Raya - Federico Vaca Galán - Manuel Ollas Álvarez  |
| Observaciones / comentarios: | Universidad de Huelva (12 Julio 2013)   |

## NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

| <b>Líneas de investigación 1</b>   |  |
|--|--|
| Título nueva línea investigación:  | Valorización de fosfoyeso en la ingeniería civil           |
| Codificación de la tecnología generada (1):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2)                     | 1542   |
| Codificación de la tecnología de destino (2):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2)                   | 1531   |
| ¿Ha pensado presentarla a alguna convocatoria para su financiación? (en caso afirmativo especificar) | LIFE+  |
| Convocatoria:  | 2013   |
| Organismo de la convocatoria:  | Unión Europea (Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente) |

| <b>Líneas de investigación 2</b>   |   |
|--|---|
| Título nueva línea investigación:  | Fabricación de cementos                 |
| Codificación de la tecnología generada (1):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2)                     | 1542                                    |
| Codificación de la tecnología de destino (2):<br>(Códigos SIC: detallar a nivel 2)                   | 1531                                    |
| ¿Ha pensado presentarla a alguna convocatoria para su financiación? (en caso afirmativo especificar) | Plan Nacional de I+D                    |
| Convocatoria:  | 2013                                    |
| Organismo de la convocatoria:  | Ministerio de Economía y Competitividad |

(1) Elegir aquellos códigos SIC que determinen la tecnología generada por la línea de investigación (ver Anexo Códigos SIC y detallar a nivel 2)

(2) Elegir aquellos códigos SIC que determinen el sector/es a los que se destinaría la línea de investigación (ver Anexo Códigos SIC y detallar a nivel 2)

## COLABORACIONES CON EMPRESAS

| Contrato / Convenio 1        |   |
|------------------------------|---|
| Tipo (1):                    | Contrato de I+D   |
| Categoría (2):               | Nacional  |
| Título:                      | Diagnóstico ambiental de las balsas de fosfoyeso para su recuperación ambiental |
| Entidades contratantes:      | Ministerio de Medio Ambiente  |
| Investigador responsable:    | Juan Pedro Bolívar Raya   |
| Duración:                    | 1 año   |
| Cuantía contratada (€):      | 80.000 euros  |
| Observaciones / comentarios: | Este contrato se indicó en la memoria del proyecto                              |

| Contrato / Convenio 2        |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Tipo (1):                    | Contrato I+D                         |
| Categoría (2):               | Nacional                             |
| Título:                      | Diagnóstico radiológico de El Hondón |
| Entidades contratantes:      | FCC Ambito                           |
| Investigador responsable:    | Juan Pedro Bolívar Raya              |
| Duración:                    | 6 meses                              |
| Cuantía contratada (€):      | 10.000 euros                         |
| Observaciones / comentarios: | -                                    |

(1) Opciones (excluyentes) posibles: Convenio / Contrato de I+D / Contrato de Apoyo Técnico / Prestación de servicios

(2) Opciones (excluyentes) posibles: Regional / Nacional / Europeo / Internacional (no Europeo)

## CREACIÓN DE EMPRESAS (EBTs, SPIN-OFF y START-UPS)

| <b>NOMBRE SOCIAL</b>                        | ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY SOLUTIONS   |
|---|--|
| <b>TIPO (1)</b>                             | EBT  |
| <b>PROYECTO DEL QUE SURGIÓ (CAMPUS,...)</b> | CAMPUS   |
| <b>GRUPO I+D (del que procede)</b>          | Física de Radiaciones y Medio Ambiente (RNM-348)   |
| <b>RESPONSABLES</b>                         | Fernando Mosqueda Peña - Manuel Gázquez González – Juan Pedro Bolívar Raya – Federico Vaca Galán |
| <b>ACTIVIDAD</b>                            | Consultoría Ambiental especializada en estudios radiológicos                                     |
| <b>CÓDIGOS CNAE (2)</b>                     | 7022 Otras actividades de consultoría de gestión empresarial                                     |
| <b>CÓDIGOS SIC (3)</b>                      | -  |
| DATOS DE CONTACTO                           |  |
| <b>Director/a / Gerente</b>                 | Fernando Mosqueda Peña   |
| <b>Persona de contacto</b>                  | Fernando Mosqueda Peña   |
| <b>Dirección</b>                            | Dpto de Física Aplicada, Campus de El Carmen   |
| <b>Población</b>                            | Huelva   |
| <b>Provincia</b>                            | Huelva   |
| <b>C.P.</b>                                 | 21071  |
| <b>Teléfono</b>                             | 959 219 795 - 672 304 374  |
| <b>Fax</b>                                  | 959219777  |
| <b>E-mail</b>                               | <a href="mailto:info@entecsolutions.es">info@entecsolutions.es</a>                               |
| <b>Dirección web</b>                        | <a href="http://www.entecsolutions.es">http://www.entecsolutions.es</a>                          |

(1) Opciones (excluyentes) posibles: EBTs / Spin-off / Start-ups

(2) Ver Anexo códigos CNAE:

(3) Ver Anexo códigos SIC y detallar a nivel 2

## COLABORACIONES INTERNACIONALES

1. Colaboración con el Professor Michael Ketterer, de la Northern Arizona University, especialista en medida de radionucleidos por ICP-MS. Este verano el IP de este proyecto realizará una estancia de 2 semanas en dicha Universidad para aprender sobre este temática.
2. Colaboración con el Professor Mark Baskaran, de la Wayne State University, y colaboramos en el desarrollo de técnicas de medida de radionucleidos en filtros atmosféricos, así como en scavenging marino y atmosférico. Los trabajos que se están realizando con este investigador están relacionados con el proyecto de este informe.