

## Gestión de la subsidencia minera en la cuenca minera potásica de Cataluña

Lluís Sanmiquel (a)\*, Marc Bascompta (a), Carla Vintró (b)

a Cátedra Iberpotash en minería sostenible de la UPC

b Departamento de Organización de Empresas de la UPC

\* sanmi@emrn.upc.edu

### ABSTRACT

En la zona de Cabanasses del municipio de Suria, en la comarca del Bages (Barcelona) actualmente hay una mina de potasa inactiva desde el año 2010 y una mina de potasa activa, cuyo titular es la empresa Iberpotash, S.A. perteneciente al grupo ICL-Iberia. Una de las repercusiones ambientales que generan estas minas en el territorio es el fenómeno de la subsidencia que implica un desplazamiento vertical y horizontal de la superficie del terreno. El objetivo fundamental del presente estudio ha sido elaborar un sistema de gestión de la subsidencia minera en la zona susceptible de ser afectada por este fenómeno a través del software ArcGis, con la finalidad de llevar a cabo un control adecuado de la evolución temporal para cada punto de control de una serie de parámetros tales como: desplazamiento vertical, velocidad de hundimiento y el desplazamiento horizontal en módulo, dirección y sentido. Se ha partido de las mediciones topográficas efectuadas en las campañas 2009, 2011 y 2013 en la zona de Suria (Barcelona). El método utilizado se ha basado en la creación de un Sistema de Información Geográfico (SIG) vectorial, a partir del cual se ha podido conocer la evolución de los parámetros modelizados en el tiempo de forma gráfica y analítica.

**KEY WORDS:** Punto de control, Subsidencia minera, SIG vectorial, Cubeta de hundimiento.

### 1.- INTRODUCCIÓN

En el municipio de Suria se viene explotando desde las primeras décadas del siglo XX un importante yacimiento de potasa. Actualmente la empresa explotadora y titular de los derechos mineros es Iberpotash, S.A. perteneciente al grupo ICL-Iberia. La explotación minera de la potasa en Suria se ha desarrollado a través de 2 actividades extractivas subterráneas mediante el método de cámaras y pilares. Actualmente, sólo una de estas 2 minas (la denominada Cabanasses) está activa. La otra mina denominada "Pozo4" está inactiva desde el año 2010. La problemática surge debido al método de explotación utilizado, el cual genera unos huecos en el terreno que se ven sometidos a unas presiones y a un cerramiento progresivo a lo largo del tiempo. Esto provoca una transmisión a los estratos superiores de un

movimiento de hundimiento hasta la superficie dando lugar al fenómeno de la subsidencia minera, caracterizada por unos movimientos verticales y horizontales del terreno. Esta subsidencia minera puede provocar daños a edificaciones e infraestructuras en determinadas circunstancias, con lo que es necesario que la empresa titular de la actividad minera tenga el fenómeno lo más controlado posible. De hecho, la Ley de Minas en su artículo 81 [1] y el Reglamento General para el Régimen de la Minería en su artículo 104.1 [2] hacen responsables al titular o explotador de los derechos mineros de los daños y perjuicios que se puedan ocasionar a terceros con sus trabajos. Así mismo el artículo 167 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (RGNBSM) [3] establece que “El concesionario o explotador de una mina que se proponga abandonar su laboreo total o parcialmente solicitará del órgano competente la preceptiva autorización, estando obligado a tomar cuantas medidas sean necesarias para garantizar la seguridad de personas y bienes. Asimismo estará obligado a tomar las precauciones adecuadas en el caso de que el abandono pueda afectar desfavorablemente a las explotaciones colindantes o al entorno.

Por todo ello, se hace necesario que la empresa establezca mecanismos que permitan tener un conocimiento adecuado de este fenómeno, a partir del cual, se puedan establecer medidas para mantener la subsidencia dentro de unos niveles aceptables. La industria minera normalmente es objeto de una atención significativa por parte de distintos agentes de la sociedad debido a la naturaleza de sus responsabilidades ambientales y sociales [4]. La adopción de prácticas responsables con el medio ambiente puede ayudar a las empresas a minimizar sus impactos negativos sobre el medio ambiente y también a mejorar su rendición de cuentas en cuestiones ambientales [5], [6]. Es importante indicar que las actividades mineras tienen una repercusión económica, ambiental, laboral y social tanto a nivel local como global [7]. De hecho, uno de los principales desafíos del sector minero es demostrar que contribuye al bienestar de la sociedad actual sin comprometer la calidad de vida de futuras generaciones [8].

La empresa Iberpotash, S.A. en la última década ha ido implementando un sistema de gestión ambiental de cara a gestionar correctamente todo el tema ambiental fruto de su compromiso con la realización de buenas prácticas en este campo. Así, la parte del sistema de gestión ambiental de la empresa, focalizado en este estudio en el control de la subsidencia minera, es un ejemplo de estas buenas prácticas ambientales. Cabe indicar que la implementación de este sistema de gestión ha implicado para la empresa Iberpotash, S.A., que determinadas prácticas se hayan convertido en obligatorias, a parte de las que lo eran por obligación legislativa, tal como se pudo demostrar que había pasado en aquellas empresas mineras de Cataluña que habían adoptado un sistema de gestión ambiental [9].

El objetivo fundamental del presente estudio es elaborar un sistema de gestión de la subsidencia minera en la zona de Suria-Cabanasses, afectada por las 2 minas indicadas (Cabanasses y Pozo4), que permita un control adecuado de la evolución temporal para cada punto de control de los siguientes parámetros: desplazamiento

vertical, velocidad de hundimiento y el desplazamiento horizontal en módulo, dirección y sentido.

## 2.- MATERIAL Y MÉTODOS

Se parte de las mediciones topográficas efectuadas en las campañas 2009, 2011 y 2013 de la zona estudiada. El método utilizado se basa en la creación de un Sistema de Información Geográfico (SIG) vectorial, diseñado de tal manera que permita el análisis y gestión de los parámetros modelizados en el SIG, pudiendo deducir la evolución de dichos parámetros en el tiempo y confeccionar mapas vectoriales indicativos de la evolución de los parámetros indicados en forma gráfica. Las mediciones topográficas de cada campaña se realizaron usando el sistema de posicionamiento global (GPS). Concretamente, el método que se utilizó fue el diferencial estático en post proceso mediante 4 receptores GPS de doble frecuencia de la casa comercial Topcon. Esta metodología, garantizaba una precisión de entre 1-1,5 cm en las coordenadas planimétricas y altimétricas, lo que fue corroborado por los controles de calidad efectuados.

Para la creación del SIG vectorial como herramienta de gestión de la subsidencia, se entraron en el ArcGis versión 10 las coordenadas de todos los puntos de control de cada campaña. Seguidamente se calcularon las diferencias en X, Y y Z, entre las coordenadas de 2 campañas consecutivas. A partir de estas diferencias se pudieron calcular las velocidades de desplazamiento vertical, dirección y módulo del vector de desplazamiento de todos los puntos de control entre campañas. Hasta el momento presente sólo se han podido obtener los parámetros indicados entre las campañas 2009-2011 y 2011-2013. Las variables que se han considerado en el SIG vectorial se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables del SIG vectorial

<b>Nombre variable</b>	<b>Tipo información</b>
Nombre punto de control	Dato de campo
X2009	Dato de campo
Y2009	Dato de campo
Z2009	Dato de campo
X2011	Dato de campo
Y2011	Dato de campo
Z2011	Dato de campo
X2013	Dato de campo
Y2013	Dato de campo
Z2013	Dato de campo

Diferencia X2009-X2011	Dato calculado
Diferencia Y009-X2011	Dato calculado
Diferencia Z2009-X2011	Dato calculado
Orientación desplazamiento Hz 2009-2011	Dato calculado
Módulo desplazamiento Hz 2011-2013	Dato calculado
Dirección desplazamiento Hz 2009-2011	Dato calculado
Diferencia X2011-X2013	Dato calculado
Diferencia Y2011-X2013	Dato calculado
Diferencia Z2011-X2013	Dato calculado
Orientación desplazamiento Hz 2011-2013	Dato calculado
Módulo desplazamiento Hz 2009-2011	Dato calculado
Dirección desplazamiento Hz 2011-2013	Dato calculado
Velocidad desplazamiento vertical 2009-2011	Dato calculado
Velocidad desplazamiento vertical 2011-2013	Dato calculado

Seguidamente, se introdujo toda la información de campo indicada en la Tabla 1 al ArcGis. Al disponer de coordenadas UTM de todos los puntos se procedió a dibujarlos en la ventana gráfica del ArcGis. Haciendo las operaciones oportunas de la base de datos asociada a los puntos dibujados, se llegó a una información gráfica y temática, en la que esta última estaba constituida por toda la información de la Tabla 1 y la parte gráfica por todo el conjunto de puntos de control, así como un plano de todas las labores de las minas.

A partir de aquí, se pudo empezar a hacer operaciones de análisis y gestión tales como, visualizar los puntos de control que en un determinado período (2009-2011 o 2011-2013) tuvieron un desplazamiento vertical u horizontal superior o inferior a un determinado valor; aquellos desplazamientos horizontales con una determinada dirección (Norte, Sud, Este, Oeste, Nordeste, Sureste, Suroeste y Noroeste); aquellos puntos de control con un desplazamiento vertical superior a un determinado valor y situados a menos de 10 metros de una carretera, etc. En definitiva, la posibilidad de hacer tanto análisis como gestión ambiental y territorial a través de un SIG vectorial focalizado en la subsidencia minera.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.- Resultados

A continuación se indica una muestra de mapas vectoriales y tablas de una zona determinada del territorio afectado referentes a: Isolineas de hundimiento, vectores de desplazamiento horizontal, localización de puntos de control con un

desplazamiento horizontal o vertical superior a los 20 cm y un mapa de deformaciones horizontales.

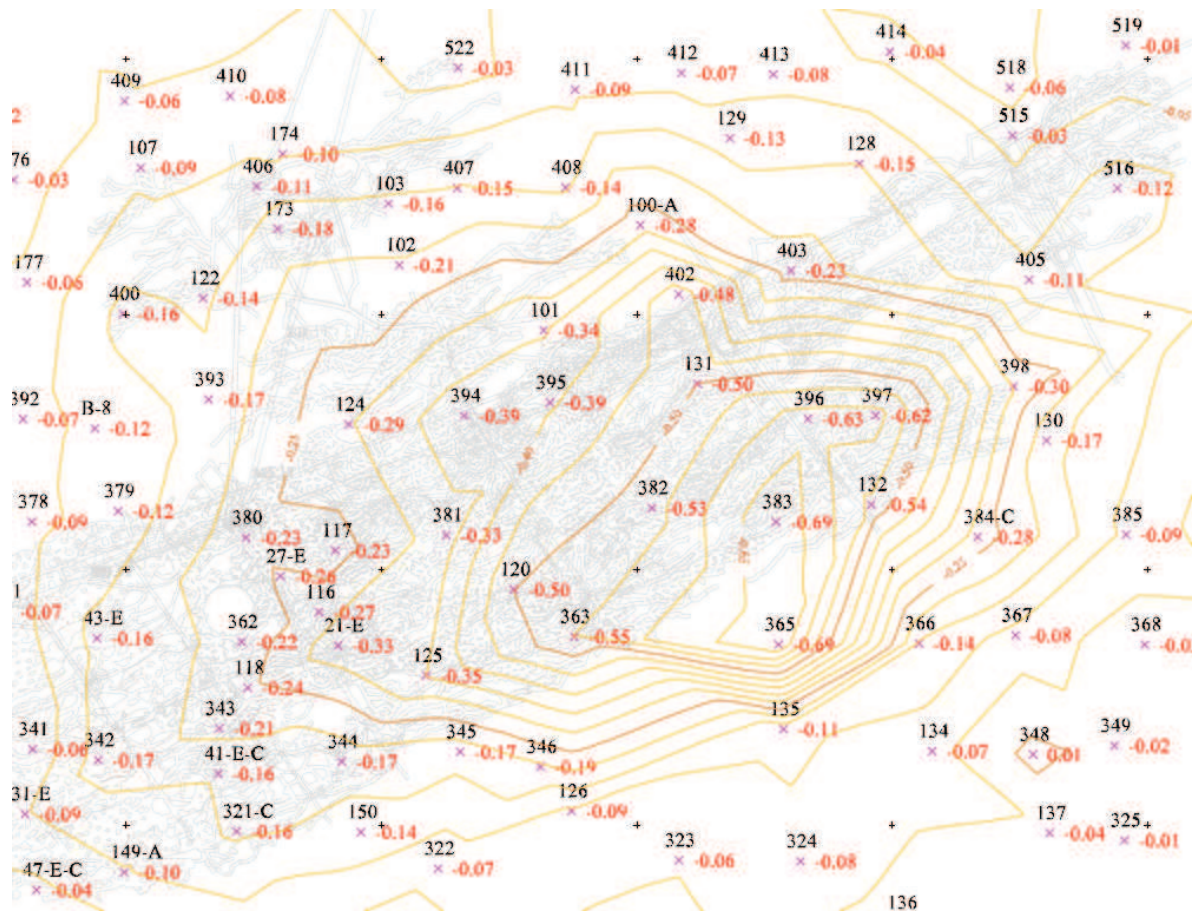


Figura 1. Mapa vectorial de isolíneas de hundimiento 2011-2013 en zona de máxima subsidencia de Cabanasses

La Figura 1 muestra la situación de puntos de control con el nombre de cada punto en color negro y el hundimiento en rojo entre los años 2009 y 2011, así como las isolíneas de hundimiento cada 5 cm. En gris están situadas las labores mineras.

En la Figura 2 se puede observar un mapa vectorial donde vienen representados los vectores de desplazamiento horizontal entre los años 2011 y 2013, así como los módulos de los mismos de forma gráfica. El tamaño de la flecha indica el valor del desplazamiento horizontal.

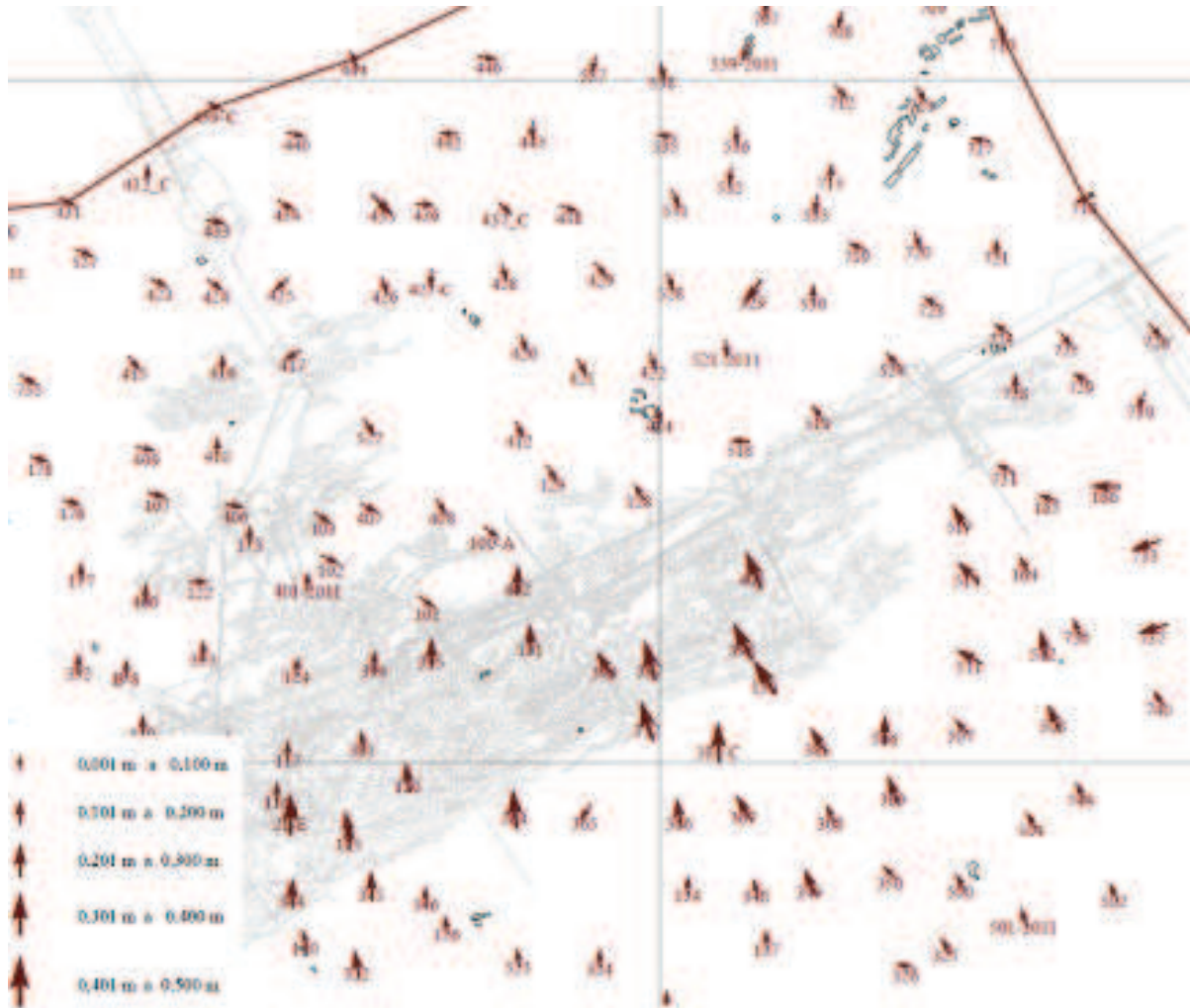


Figura 2. Mapa vectorial de vectores de desplazamiento horizontal entre los años 2011 y 2013 en la zona de máxima subsidencia de Cabanasses

En las Figuras 3 y 4 puede observarse la tabla de datos del SIG vectorial y el mapa vectorial de labores mineras y puntos de control; en los que se ven seleccionados aquellos puntos donde ha habido un desplazamiento en X, Y o Z igual o superior a 20 cm entre 2009 y 2011. En la ventana de selección de la Figura 3 viene indicado el “Script” (parte inferior) con el que se determina la selección que interesa.

X09	X11	Y09	Y11	Z09	Z11	Orient 09	Mòdul 09	Direcció 09	X11		
-0.045	0.016	0.345	121,747917	0.04776	SE	-0.033	0.039	0.206	155,292935	0.051088	SE
-0.028	0.073	0.159	176,683447	0.078186	SE	0.086	0.061	0.038	260,724259	0.105437	SO
-0.01	0.024	0.019	174,866617	0.026	SE	-0.05	0.042	0.086	144,478066	0.065299	SE
-0.031	-0.027	0.013	54,383541	0.04111	NE	-0.041	0.047	0.058	154,333882	0.06237	SE
-0.097	0.023	0.037	114,821388	0.09969	SE	0.011	-0.049	0.272	385,941604	0.05022	NO
-0.032	-0.056	0.23	33,049868	0.064498	NE	0.008	-0.142	0.499	396,417197	0.142225	NO
-0.095	0.062	0.142	136,810817	0.113442	SE	-0.047	-0.002	0.295	97,292613	0.047043	NE
0.084	-0.077	0.35	347,23383	0.113952	NO	0.061	-0.116	0.093	369,179801	0.131061	NO
0.036	0.048	0.149	240,966553	0.06	SO	-0.005	0.052	0.127	193,897417	0.05224	SE
0.105	-0.037	0.167	321,568319	0.111328	NO	0.06	-0.068	0.5	353,973705	0.090686	NO
0.159	-0.18	0.54	353,938629	0.240169	NO	0.099	0.122	0.067	367,23182	0.140161	NO

Select by Attributes

Enter a WHERE clause to select records in the table window.

Method : Create a new selection

"Y2013"  
"Z2013"  
"X09\_X11"  
"Y09\_Y11"  
"Z09\_Z11"

= <> Like  
> >= And  
< <= Or  
\_ % ( ) Not  
Is Get Unique Values Go To:

SELECT \* FROM Punts\_control\_dades WHERE  
"X09\_X11" >=0.20 OR "Y09\_Y11" >= 0.20 OR "Z09\_Z11" >=0.2

Clear Verify Help Load... Save...

Figura 3. Tabla de datos asociada del SIG vectorial y selección por atributos de aquellos puntos en que ha habido un desplazamiento igual o superior a 20 cm en X, Y o Z, entre las campañas 2009 y 2011 en la zona de Cabanasses

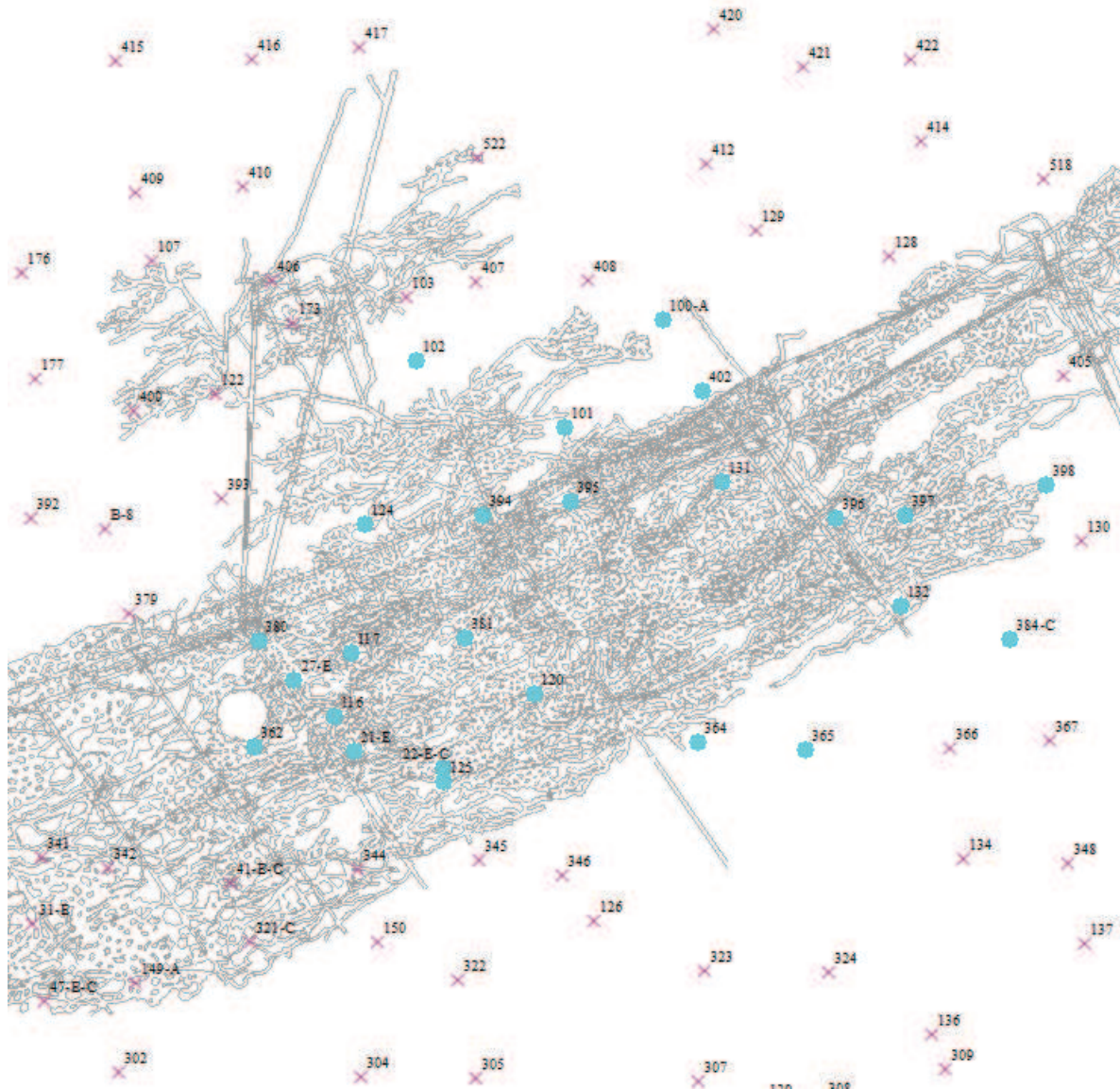


Figura 4. Mapa vectorial de situación de las labores mineras a finales del año 2011 con los puntos de control, así como los iconos azules de selección de los varios puntos en los que ha habido un desplazamiento superior o igual a 20 cm en X, Y o Z, entre las campañas 2009 y 2011 en la zona de Cabanasses

### 3.2.- Discusión

Tal y como se ha comentado, la precisión en los puntos medidos es de entre 1 y 1,5 cm. Ello implica que el error máximo que puede llegar a haber entre las coordenadas de un mismo punto de control entre campañas distintas, es entre 2 y 3 cm. De modo que sólo aquellas diferencias superiores a estos 2-3 cm serán significativas y presuntamente indicativas de un desplazamiento debido a la subsidencia minera.

El SIG vectorial es la base de este sistema de gestión ambiental focalizado en el tema de la subsidencia y actualmente solo dispone de datos de 3 años. Actualmente, se están llevando a cabo las mediciones de la campaña 2015, que finalizarán en el mes de noviembre de 2015. Es evidente que la potencialidad de



este SIG irá aumentando conforme se vayan introduciendo nuevas campañas de mediciones.

Cabe indicar que un futuro próximo este SIG dispondrá de una nueva aplicación que favorecerá el análisis y gestión de los datos. Se asociará a unos determinados puntos de control, debidamente señalizados, con un perfil de hundimiento similar al de la Figura 5. La importancia de estos perfiles de hundimiento es que muestran de una manera gráfica la velocidad de hundimiento y su evolución temporal.

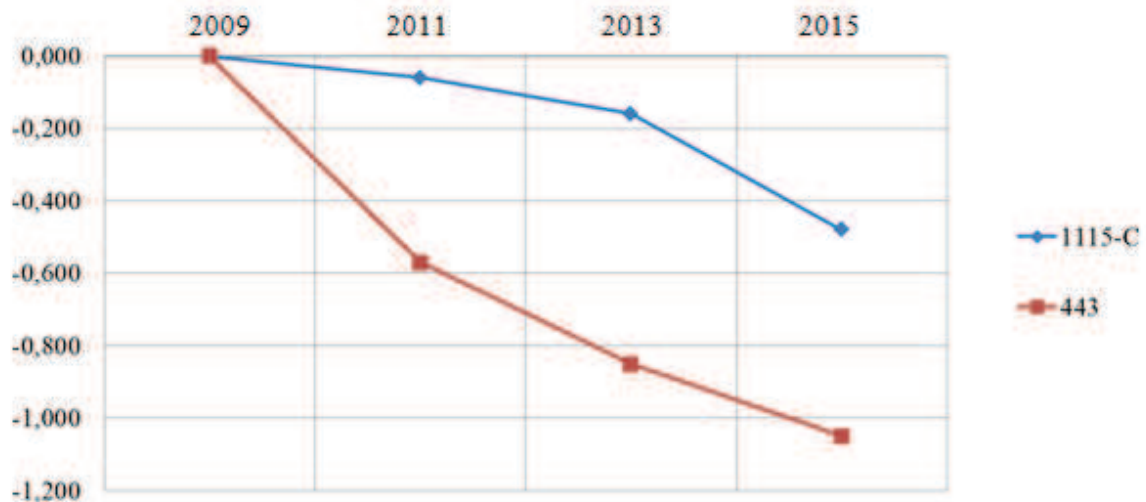


Figura 5. Imagen de la evolución temporal de la velocidad de hundimiento de 2 puntos de control de la zona de Cabanasses en las campañas 2009, 2011, 2013 y 2015

#### 4.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el sistema de gestión creado es una herramienta muy útil para el conocimiento y control en el tiempo de las repercusiones de una subsidencia minera, puesto que el sistema da información sobre las zonas del territorio que se ven más afectadas, la evolución temporal, etc. Las Figuras 1 y 2 son indicativas de cómo este SIG vectorial permite conocer rápidamente las zonas del territorio estudiado más afectados por la subsidencia minera. Mientras que las Figuras 3 y 4 son ilustrativas de cómo se pueden conocer aquellas zonas del territorio donde ha habido algún desplazamiento horizontal y/o vertical superior a un determinado valor. La Figura 5 da información gráfica de la evolución temporal del hundimiento de 2 puntos de control. Puede verse como en el punto 1115-C su velocidad de hundimiento aumenta, mientras que en el punto 443, disminuye. Ello es debido, a que el punto 1115-C está situado en una zona en la que en el último período las labores más avanzadas de la mina se le han acercado, mientras que respecto el punto 443 las labores se han ido alejando desde el año 2011.

En definitiva, todo este conocimiento permite a la empresa tomar decisiones que han de suponer una disminución de los potenciales riesgos que la subsidencia generada por la mina implica a nivel medioambiental y humano.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la empresa Iberpotash S.A. las facilidades y apoyo dado para llevar a cabo este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas. Publicado en BOE de 24 de Julio de 1973.
- [2] Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el régimen de la minería. Publicado en BOE de 11 de Diciembre de 1978.
- [3] Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de normas básicas de seguridad minera. Publicado en BOE de 12 de Junio de 1985.
- [4] Govindan, K., Kannan, D., Shankar, M., Evaluating the drivers of corporate social responsibility in the mining industry with multi-criteria approach: A multi-stakeholder perspective, *Journal of cleaner production*, 84(1) (2014) 214-232.
- [5] Driussi, C., Jansz, J., Pollution minimization practices in the Australian mining and mineral processing industries, *Journal of cleaner production*, 14 (2006) 673-681.
- [6] Kapelus, P., Mining, corporate social responsibility and the “community”: the case of Rio Tinto, Richards Bay Minerals and the Mbonambi, *Journal of Business Ethics*, 39 (2002) 275-296.
- [7] Escanciano, C., Fernández, B., Suárez, A., Organización de la actividad preventiva y gestión de la seguridad y salud laboral en la minería española: experiencia de las empresas certificadas ISO 9001, *Dirección Organ.*, 40 (2010) 86-98.
- [8] Azapagic, A., Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry, *Journal of cleaner production*, 12 (2004) 639-662.
- [9] Vintró, C., Sanmiquel, L., Freijo, M., Environmental sustainability in the mining sector: evidence from Catalan companies, *Journal of cleaner production*, 84 (2014) 155-163.