



# IMPACTO ACÚSTICO DE UNA EXPLOTACIÓN EXTRACTIVA MINERA A CIELO ABIERTO

Santiago Jiménez<sup>1</sup>, Arnau Clot<sup>1,2</sup>, Robert Arcos<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratori d'Enginyeria Acústica i Mecànica, Universitat Politècnica de Catalunya (LEAM-UPC)

{santiago.jimenez@upc.edu, arnau.clot@upc.edu, robert.arcos@upc.edu}

<sup>2</sup>Serra Hunter Fellow, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

{robert.arcos@upc.edu, arnau.clot@upc.edu}

## Resumen

El Decreto 176/2009 de 10 de noviembre, por el cual se aprueba el Reglamento que desarrolla la Ley 16/2002 de Protección Contra la Contaminación Acústica de la Generalitat de Cataluña, [1] en su Anexo 10 especifica el contenido requerido para los estudios de impacto acústico de nuevas actividades. Este anexo es de aplicación a las actividades sometidas a régimen de intervención ambiental susceptibles de generar ruido y vibraciones, como es el caso que nos ocupa. En este trabajo se presenta el estudio de impacto acústico de una explotación extractiva minera. El estudio se inicia con la caracterización de las fuentes de ruido previstas en la futura actividad extractiva, así como el desarrollo de un modelo en 3D con la topografía del terreno, edificios receptores y la extensión de la explotación. Seguidamente se determinan los niveles de inmisión sonora que llegan a los receptores residenciales, generados por cada una de las fuentes sonoras presentes en la actividad extractiva. Los niveles obtenidos mediante la simulación acústica se presentan para cada una de las 3 actuaciones consideradas en la actividad extractiva (voladuras, perforaciones y extracción de áridos), así como para las diferentes fases de explotación.

**Palabras clave:** impacto acústico, modelo 3D, fuentes de ruido, simulación acústica.

## Abstract

The Decree 176/2009 of 10 November, approving the Regulations implementing Law 16/2002 on protection against acoustic pollution of the Generalitat de Catalunya, specifies along its Annex 10 the required content of acoustic impact studies for new activities. This annex is applicable to activities subject to environmental intervention regimes that can generate noise and vibrations, as is the case presented in the present study. In this work, the acoustic impact study of a mining extractive operation is presented. First, the characterization of the noise sources expected in the future extractive activity is performing, as well as the development of a 3D model with the topography of the ground, receiving buildings and the extension of the operation. Then, the levels of sound immission that reach the residential receivers generated by each of the sound sources present in the extractive activity are determined. The levels obtained through acoustic simulation are presented for each of the 3 actions considered in the extractive activity (detonations, perforations and extraction of aggregates), as well as for the different phases of exploitation.

**Keywords:** acoustic impact, 3D model, noise sources, acoustic simulation.

**PACS n°:** 43.50.Rq, 43.60.+d

## 1 Introducción

Los estudios de impacto acústico y de vibraciones normalmente se realizan mediante modelos de simulación, usando un programa informático de predicción. Para que el modelo sea lo más ajustado posible a la realidad y tenga la máxima fiabilidad, es necesario disponer de la información referente a la potencia acústica y al nivel de vibración de las diversas fuentes sonoras y vibratorias que intervendrán en el modelo de simulación. Los softwares de predicción sonora contienen, en sus librerías, algunos datos de potencia acústica de diferentes tipologías de fuentes: aeronaves, trenes, maquinaria..., más o menos actualizados. No disponiendo de datos de potencia de las fuentes específicas para este estudio.

Ante este entorno de fuentes de ruido complejas, que se prevé que actúen en la futura explotación extractiva minera, se determina la potencia acústica y directividad de cada una de las fuentes, mediante medidas de nivel de presión sonora de máquinas similares que estén en funcionamiento en una explotación con actividad similar. De esta forma se asegura la exactitud del modelo de simulación y la validez de la afectación sonora.

## 2 Objetivo

Con el objetivo de determinar la afectación sonora sobre la zona prevista para llevar a cabo la actividad extractiva minera, así como en su entorno, se realizan las siguientes tareas: la caracterización acústica de las fuentes de ruido de la actividad, la creación de un modelo en 3D de la explotación extractiva y su entorno, y la simulación del impacto acústico de la actividad extractiva. De los resultados obtenidos de la simulación, se extraen los mapas de impacto acústico.

## 3 Procedimiento

Se realizaron medidas de nivel de presión sonora en diferentes instalaciones extractivas que disponen de maquinaria y vehículos iguales o similares a los que actuarán en la futura planta extractiva minera. El objetivo de estas medidas es caracterizar acústicamente las diferentes tipologías de maquinaria que desarrollarán su actividad dentro de la explotación extractiva. Para llevar a cabo esta caracterización, se ha realizado el siguiente procedimiento:

- Determinación de la potencia acústica de las fuentes sonoras consideradas.
- Creación del modelo en 3D de la actividad extractiva minera.
- Cálculo del resultado final, en el cual se debe tener en cuenta el tiempo de funcionamiento de cada fuente de ruido.

El software de predicción acústica no dispone de información específica sobre la potencia acústica de las fuentes sonoras (maquinaria) que estarán presentes en la actividad extractiva. Por lo tanto, los valores del nivel de emisión sonora, obtenidos mediante las medidas con sonómetro, son procesados para obtener el espectro en frecuencia del nivel de potencia acústica de cada una de las fuentes.

La potencia sonora se determina mediante una adaptación simplificada del procedimiento descrito por la norma UNE-EN ISO 3744, [2] de determinación de los niveles de potencia acústica a partir de la presión acústica en una serie de puntos situados alrededor de la fuente (figura 3.1).

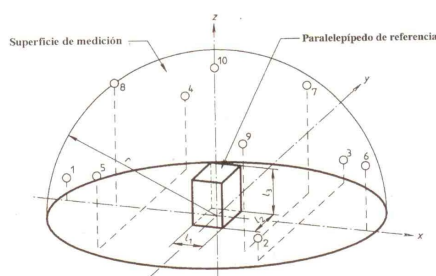


Figura 3.1 – Distribución de los puntos de medida según norma UNE-EN ISO 3744.

En concreto, las condiciones que se aplican en el proceso de caracterización son las siguientes:

- Se mide el nivel de presión sonora en el plano horizontal que contiene, de manera aproximada, el centro geométrico de la fuente a caracterizar. Al estar los receptores potencialmente afectados a gran distancia, se considera que la potencia radiada hacia arriba, o la directividad vertical, no tienen importancia para el cálculo de los niveles en los receptores de interés.
- Las medidas de nivel se toman siempre a una distancia del centro geométrico superior al doble de la dimensión máxima del paralelepípedo imaginario que contiene a la fuente.
- Los puntos de medida se sitúan en función de las posibilidades de cada fuente e intentando capturar los datos correspondientes a las direcciones de propagación de la máxima emisión si se da el caso.
- Las medidas de nivel de presión sonora se corrigen, siempre que sea necesario, con el ruido de fondo causado por otras fuentes. Alternativamente, se solicita la parada de la maquinaria y la desconexión de otras fuentes que causen ruido de fondo.
- Los niveles de potencia acústica se calculan considerando la posición relativa entre la fuente y los planos reflectantes (suelo, muros) que existan alrededor de la fuente.

Las medidas de ruido consisten en el registro temporal, tanto para el ruido causado por la actividad como para el ruido de fondo, del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación frecuencial (A) para cada segundo  $L_{Aeq 1s}$ , además del registro por bandas de octava y por bandas de 1/3 de octava. El resultado de este procedimiento consiste en determinar la potencia acústica por bandas de octava y la directividad de la fuente en el plano horizontal, si presenta esta característica.

Todas las medidas de nivel de presión sonora se realizaron en ausencia de lluvia y con una velocidad del viento en los puntos de medida inferior a 5 m/s.

Los espectros de potencia acústica por bandas de octava calculados, como el presentado en la figura 3.2, junto con la directividad y el tiempo de funcionamiento de cada fuente, son introducidos en el software para la simulación acústica.

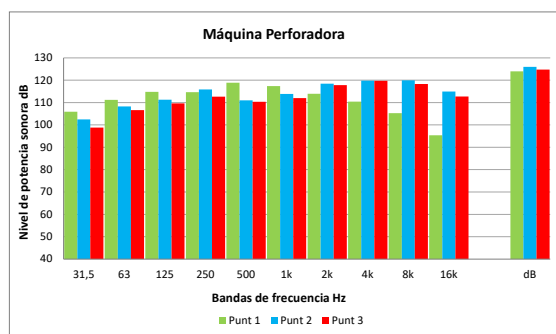


Figura 3.2 – Espectros de frecuencia de máquina perforadora, determinado en una explotación extractiva.

## 4 Caracterización de las fuentes sonoras

Las fuentes de ruido caracterizadas utilizando las medidas de nivel de presión sonora [3], actúan de diferente forma, pudiendo presentar varios periodos, ciclos o sucesos sonoros en función de la actividad que desarrollan. Seguidamente se definen cada una de las fuentes sonoras que se considera que estarán implicadas en los procesos de explotación extractiva minera. En particular, estas fuentes han sido clasificadas en las siguientes tipologías: máquina perforadora, voladura controlada, excavadora de cadenas (considerando de forma separada su movimiento y la carga de material) y camiones de transporte (considerando tanto el movimiento en la explotación extractiva como el transporte de los materiales a la planta de procesamiento). La tabla 4.1 muestra la denominación, el espectro de potencia acústica y el tiempo de funcionamiento en minutos durante el periodo de día de cada una de las fuentes consideradas.

### 4.1 Perforadora

La perforadora es la máquina encargada de realizar las operaciones de perforación sobre el terreno, con el fin de abrir los agujeros en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuadas al alojamiento de las cargas explosivas requeridas (figura 4.1).



Figura 4.1 – Máquina de perforación hidráulica, perforando en una explotación extractiva.

La perforación se basa en principios mecánicos de percusión y rotación. El proceso de corte rotativo utiliza una broca para hacer un agujero en el material rocoso. El ruido se genera principalmente por los golpes y por la fricción de la broca durante el proceso de perforación. Se han considerado dos etapas diferentes de funcionamiento, una, cuando la perforadora está en marcha, pero sin perforar y, la otra, durante las tareas de perforación. Para el cálculo de la potencia acústica se ha medido el nivel sonoro en tres direcciones diferentes, determinándose que se trata de una fuente omnidireccional. Al tratarse de una fuente sonora con dos fases diferenciadas de funcionamiento, para el cálculo del impacto acústico durante la jornada de trabajo, se ha tenido en cuenta el tiempo de actuación de cada fase. Extrapolando estos tiempos al periodo de evaluación de 180 minutos considerado por el Decreto 176/2009 para el horario diurno. Estos tiempos de actuación se introducen al modelo informático para la simulación.

## 4.2 Voladura

La voladura es uno de los medios principales de extracción de materiales rocosos en las explotaciones de minería a cielo abierto. El propósito principal de la operación de voladura es la fragmentación de la roca, requiriendo para ello de una gran cantidad de explosivos. En la caracterización acústica de la voladura se registra el nivel de presión sonora producido por la detonación en tres puntos situados a diferente distancia del frente donde se produce la detonación (figura 4.2).

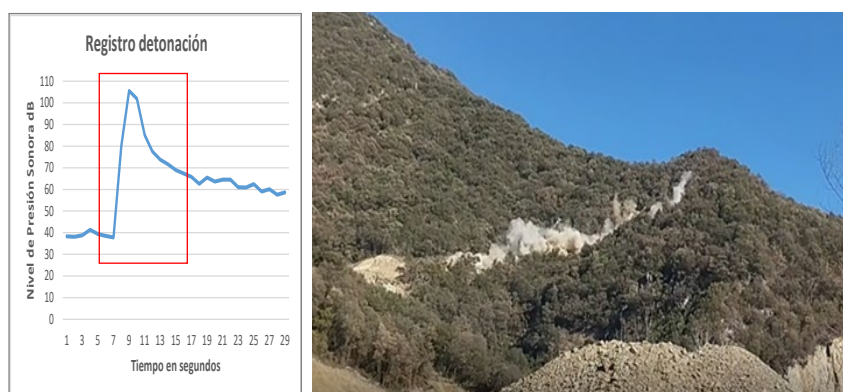


Figura 4.2 – Registro del suceso sonoro de una voladura.

Para el cálculo de la potencia acústica se han considerado los registros del suceso sonoro de la voladura, integrando los niveles de presión sonora de los 2 segundos que dura la detonación y los 10 segundos siguientes correspondientes a la cola de reverberación del suceso sonoro. Para el cálculo del impacto acústico, la voladura se representa en el modelo informático como una fuente lineal, y su potencia se introduce considerando la carga explosiva requerida y la corrección por presencia de componente impulsivo. En el modelo se considera que esta fuente actúa durante 12 segundos.

## 4.3 Posicionamiento de excavadora y camiones

El desplazamiento de la excavadora hasta la posición de carga, la colocación de piedras y movimiento de tierra para disponer de una plataforma donde situarse y que facilite la carga, así como varias maniobras para colocar los áridos antes de que llegue el camión, se han considerado conjuntamente como una fuente sonora denominada “posicionamiento de excavadora” (figura 4.3a). El ruido es producido por el motor de la excavadora y las diversas maniobras previas a la carga. Las maniobras de los camiones hasta situarse en la posición de carga se han considerado como una fuente sonora denominada “posicionamiento de camiones” (figura 4.3b). El ruido es producido por el motor del camión al maniobrar para situarse en posición de carga. En ambos casos la potencia acústica se ha determinado a partir de medidas de presión sonora en tres puntos situados en diferentes direcciones y a 15 metros de distancia de las fuentes de ruido implicadas. Los resultados de las medidas indican que el posicionamiento de la excavadora y de los camiones pueden ser modelizadas mediante una fuente puntual omnidireccional. El tiempo estimado tanto para el posicionamiento de la excavadora como para el posicionamiento del camión ha sido de 1 minuto.

El tiempo en que actúan estas fuentes durante una jornada de 8 horas dependerá del ritmo de la extracción de áridos. Este tiempo de actuación se tiene que extrapolar al periodo de evaluación de 180 minutos considerado por el Decreto 176/2009.

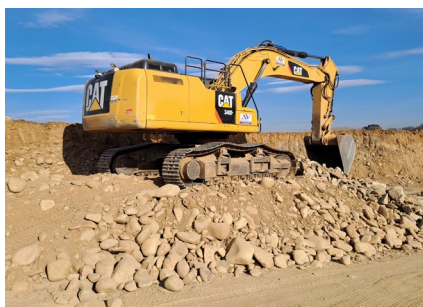


Figura 4.3a – Posicionamiento de excavadora.



Figura 4.3b – Posicionamiento de camión.

#### 4.4 Excavadora cargando camión

La caracterización acústica de la carga de camiones, también se determina en una explotación minera, donde se realiza una extracción de áridos (figura 4.4). El ruido es producido por el motor de la excavadora, las operaciones de carga de la pala y la descarga de los áridos al camión. Se cargan diferentes tipos de camión con 24.000 kg de áridos, realizándose entre 5 y 6 paladas de la excavadora para completar la carga de cada camión y empleándose unos 3 minutos aproximadamente. La potencia acústica se ha determinado a partir de medidas de presión sonora en tres puntos situados en diferentes direcciones y a 15 metros de distancia de las fuentes de ruido implicadas. Los resultados de las medidas indican que la excavadora puede ser modelizada mediante una fuente puntual omnidireccional. El tiempo en que actúa esta fuente dependerá del ritmo de la extracción de áridos (número de camiones cargados durante una jornada de 8 horas). Este tiempo de actuación se tiene que extrapolar al periodo de evaluación de 180 minutos considerado por el Decreto 176/2009.

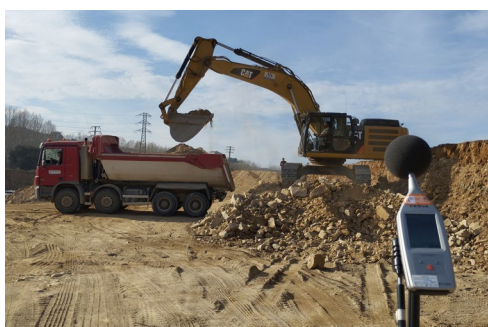


Figura 4.4 – Excavadora cargando camión en una explotación de extracción de áridos.

La tabla 4.1. muestra la denominación de la fuente y el espectro de potencia acústica para cada una de las fuentes sonoras que actuarán en la futura explotación extractiva.

Tabla 4.1 – Espectro de potencia acústica de las fuentes sonoras.

DENOMINACIÓN DE FUENTES		Espectros de Potencia Acústica dB										
MÁQUINA, EQUIPO O PROCESO	Tipo	31,5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	A	lin
Perforadora con el motor funcionando	Lw	94,4	105,8	105,5	100,1	97,6	94,8	92,2	87,9	87,8	100,7	111,3
Perforadora con el percutor funcionando	Lw	100,3	106,1	109,4	111,6	112,3	112,0	114,1	115,3	114,5	121,0	121,7
Voladura	Lw	143,2	142,6	136,7	133,6	130,2	126,3	121,2	112,9	98,4	132,1	146,8
Posicionament de excavadora	Lw	100,9	101,6	105,7	104,1	105,4	107,2	104,8	106,5	100,9	112,5	114,2
Posicionament de camiones	Lw	103,1	105,8	101,3	96,1	94,3	93,3	91,1	85,3	79,1	98,2	109,2
Excavadora cargando camión	Lw	110,1	108,2	110,2	106,7	107,6	106,5	104,6	100,6	94,9	111,3	116,7
Camiones circulando por pista de acceso	Lw	105,9	103,4	98,4	96,1	94,6	94,5	93,7	86,4	83,3	99,4	109,1

#### 4.5 Caracterización de la carretera de acceso

Como fuente de ruido adicional se ha considerado el tráfico de los camiones que transportarán la materia prima (áridos) desde la explotación extractiva minera a la planta de procesado. Según el plan de movilidad de la futura actividad extractiva minera, se prevé que el transporte de áridos se realice mediante camiones, generándose un tráfico de camiones vacíos de ida a la planta extractiva y camiones cargados de vuelta a la planta de procesado (figura 4.5).

La caracterización acústica de estos vehículos se determina en la carretera que da acceso a una planta donde se está llevando a cabo la extracción de áridos. Se realizan medidas de ruido en diferentes puntos y durante el tiempo de paso de los vehículos, determinando el nivel de presión sonora de un número representativo de camiones, tanto cargados como vacíos, y no encontrando diferencias de nivel significativas entre ambos casos. Por lo tanto, se toma para la simulación la media de la potencia acústica de todos los camiones analizados, y se considera la fuente sonora como una fuente puntual que se desplaza a lo largo del eje central de la carretera que da acceso a la explotación extractiva. Para modelizar esta fuente, es necesario definir la potencia acústica de la fuente, el número de sucesos por hora (camiones/hora) correspondientes al periodo de evaluación que fija el Decreto 176/2009 para el caso de las infraestructuras, y la velocidad de desplazamiento en km/h.



Figura 4.5 – Caracterización acústica del tráfico de camiones.

### 5 Modelo de predicción sonora en 3D

En la elaboración del modelo de simulación se ha utilizado la cartografía del Instituto Cartográfico y Geográfico de Cataluña (ICGC) [4], incluyendo los datos topográficos vectoriales en 3D a escala 1:5000 de los elementos que intervienen en el modelo (topografía del terreno, edificios receptores y la extensión de la explotación extractiva con la localización de las distintas fases de explotación), además de cartografía específica, la cual facilita el posicionamiento de las actividades.

En la creación del modelo 3D se parte de las (curvas de nivel) y, sobre estas, se sitúan, tanto en posición como en altura, las fuentes sonoras que actuarán en la actividad extractiva. Estas fuentes se incorporan al modelo como fuentes puntuales, lineales o superficiales según las características requeridas. A continuación, a cada una de estas fuentes se les aplican los parámetros acústicos determinados previamente: espectro de potencia, directividad y tiempo de funcionamiento por periodo de evaluación. Se comprueba el comportamiento de todo el modelo y la interacción entre los diferentes

componentes, para seguidamente realizar la modelización acústica. La figura 5.1 muestra la situación con los elementos cartográficos considerados en el modelo informático de la explotación extractiva.

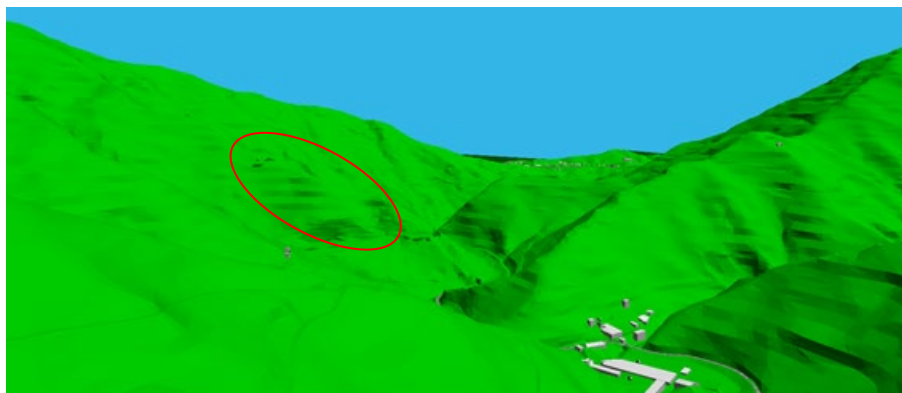


Figura 5.1 – Elementos cartográficos considerados en el modelo de predicción.

## 6 Impacto acústico generado por la explotación extractiva

Los resultados presentados en esta sección muestran los niveles de inmisión sonora que llegan a los receptores durante el periodo de día, debido a las fuentes sonoras presentes en la explotación extractiva. Los niveles han sido determinados en función de todos los datos y consideraciones expuestas en los apartados precedentes. Estos resultados, obtenidos mediante la simulación acústica, se presentan para las 3 actuaciones consideradas en la explotación extractiva (perforaciones, voladuras y extracción de áridos), así como para las diferentes fases de explotación: Fase 1 cota 350, Fase 2 cotas 300, 280, y Fase 3 cota 425 (figura 6.1).

El nivel sonoro recibido en cada receptor es función de, básicamente, tres parámetros:

- La potencia acústica de la fuente, de forma que una diferencia de 10 dB de potencia acústica, representa una diferencia de 10 dB de nivel de presión sonora en un receptor.
- La distancia entre emisor y receptor, de forma que cada vez que se duplica esta distancia, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB en el receptor.
- La presencia de elementos o condiciones del terreno que obstaculicen la propagación directa entre emisor y receptor. En este caso, el receptor solo recibe sonido difractado, menor que el sonido que llegaría directamente, con una disminución proporcional al tamaño del obstáculo.

De estas condiciones generales, y observando que algunos de los receptores se encuentran situados en una depresión del terreno respecto a la explotación extractiva, hay que esperar mayor impacto acústico de los equipos o procesos de mayor potencia acústica, situados más próximos a los receptores.

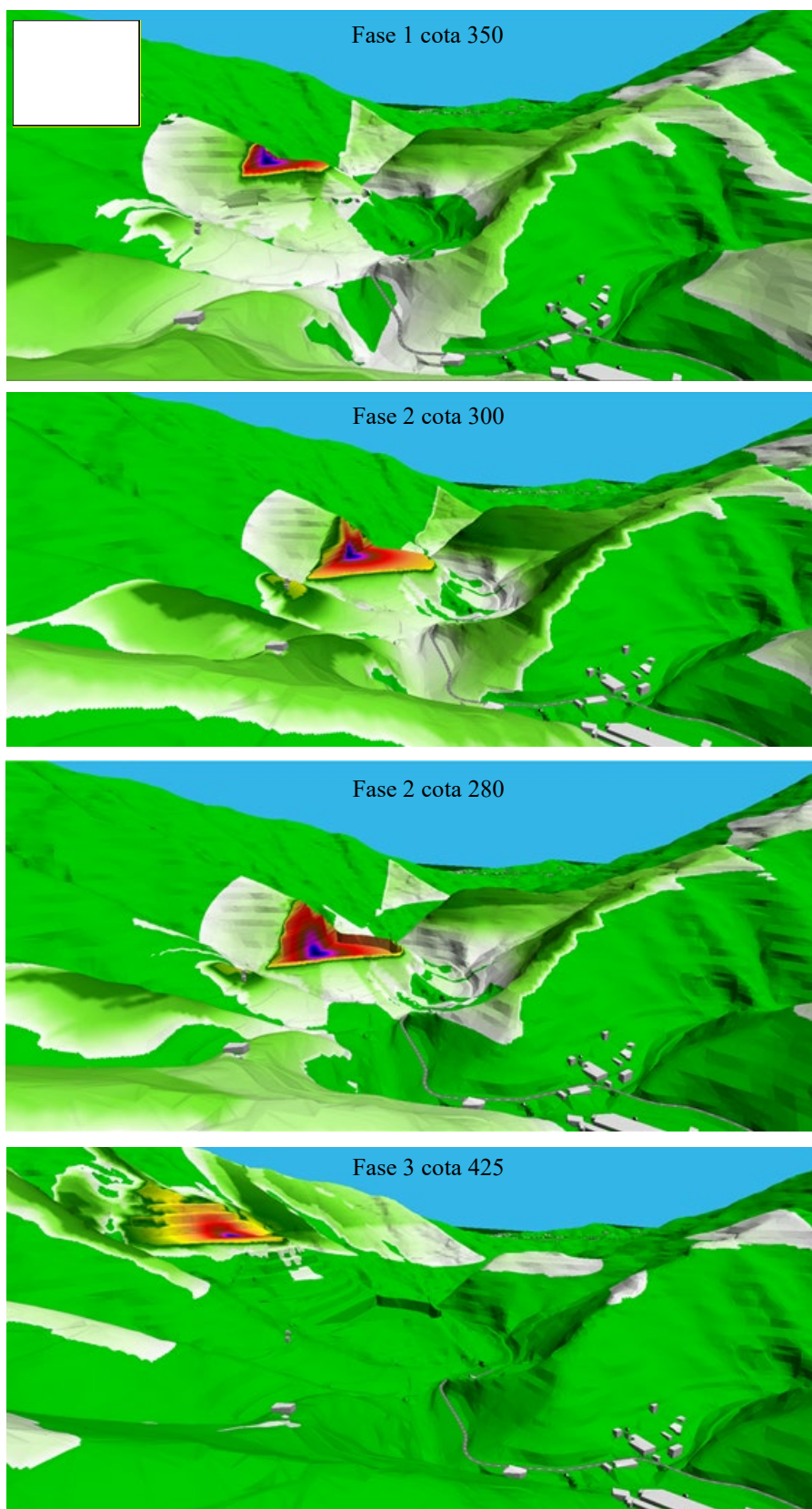


Figura 6.1 – Impacto acústico generado por la planta extractiva en sus diferentes fases de explotación.

## 7 Conclusiones

Los principales resultados y conclusiones del estudio de impacto acústico son:

1. Las fuentes de ruido implicadas en los procesos de explotación extractiva minera que se han identificado y caracterizado acústicamente son: Perforadora con motor funcionando y Perforadora con percutor funcionando, Detonación de la voladura, Posicionamiento de excavadora y camiones, Excavadora cargando camiones, Camiones circulante por la pista de acceso.
2. La caracterización de las fuentes de ruido previstas en la futura actividad extractiva se realiza mediante medidas de nivel de presión sonora, determinando la potencia acústica, directividad y tiempo de funcionamiento de cada una de ellas en entornos similares.
3. Se elaboró un modelo de predicción de ruido en 3D de la explotación extractiva, incluyendo los datos topográficos vectoriales de los elementos que intervienen en el modelo (topografía del terreno, edificios receptores y la extensión de la explotación extractiva con la localización de las distintas fases de explotación) extraídos del ICGC y de cartografía específica. Se han modificado estos datos para crear nuevos elementos volumétricos sobre los cuales se han situado las fuentes sonoras implicadas, incorporando sus parámetros acústicos: espectro de potencia, directividad y tiempo de funcionamiento por periodo de evaluación. Seguidamente se realizó la modelización acústica.
4. Se ha determinado el impacto acústico generado por la explotación extractiva que llegan a los receptores durante el periodo de día. Los niveles obtenidos mediante la simulación acústica, se presentan para las 3 actuaciones consideradas en la actividad extractiva (perforaciones, voladuras y extracción de áridos), así como para las diferentes fases de explotación.

## Referencias

- [1] Decreto 176/2009 de 10 de noviembre, por el cual se aprueba el Reglamento que desarrolla la Ley 16/2002 de Protección Contra la Contaminación Acústica de la Generalitat de Cataluña.
- [2] Norma UNE-EN ISO 3744:2010 Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante. (ISO 3744:1994).
- [3] Cyril M. Harris. (1995). Manual de medidas acústicas y control de ruido, McGraw-Hill, Madrid
- [4] Instituto Cartográfico y Geográfico de Cataluña. Base cartográfica 1/5000.