



Methodology for the evaluation of the residual impact on landscape due to an opencast coal mine in Laciana Valley (Spain)

María Esther Alberruche-del Campo ^a, Julio César Arranz-González ^b, Virginia Rodríguez-Gómez ^c,
Francisco Javier Fernández-Naranjo ^d, Roberto Rodríguez-Pacheco ^e & Lucas Vadillo-Fernández ^f

^a Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. e.alberruche@igme.es

^b Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. jc.arranz@igme.es

^c Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. v.rodriguez@igme.es

^d Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. fj.fernandez@igme.es

^e Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. roberto.rodriguez@igme.es

^f Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. l.vadillo@igme.es

Received: March 27th, 2014. Received in revised form: June 16th, 2014. Accepted: December 16th, 2014.

Abstract

This work describes a methodology to evaluate the landscape residual impact of an opencast coal mine in Laciana Valley (Spain), applying a landscape impact index that evaluates: the loss of visual quality of the landscape due to the extractive activity and its visual influence, depending on the visual absorption capacity of the environment, the degree of restoration of the upset areas, and its visibility from the zones most frequented by the population. Final results of the evaluation show severe and moderate impacts on landscape depending on the landscape unit. The landscape impact index is shown as a useful tool that can be applied to restoration designs, environmental vigilance plans and recovery of areas degraded by mining activity.

Keywords: coal mining; landscape impact; visual quality

Metodología para la evaluación del impacto paisajístico residual de una mina de carbón a cielo abierto en el Valle de Laciana (España)

Resumen

Se describe una metodología para la evaluación del impacto paisajístico residual de una explotación de carbón a cielo abierto en el Valle de Laciana (España) tras el cese de la actividad, aplicando un índice de impacto paisajístico que evalúa: la pérdida de calidad visual del paisaje por la actividad extractiva, y su incidencia visual en función de la capacidad de absorción visual del medio, el grado de restauración de los terrenos alterados y su visibilidad desde las zonas más frecuentadas por la población. El resultado final de la evaluación es un impacto sobre el paisaje severo y moderado dependiendo de las unidades paisajísticas afectadas. Este índice paisajístico constituye una herramienta que puede ser aplicada en los diseños de restauración, en los planes de vigilancia de las evaluaciones de impacto ambiental y en la recuperación de áreas degradadas por la minería.

Palabras clave: minería de carbón; impacto paisajístico; calidad visual.

1. Introducción

El paisaje constituye la expresión externa del territorio y puede definirse como la percepción polisensorial y subjetiva del medio [1]. De acuerdo con este concepto, el medio se hace paisaje solo cuando es percibido por alguien [2]. El paisaje es un recurso natural y cultural que debe ser preservado, especialmente cuando muestra una alta calidad visual. La protección del mismo se justifica

no sólo por sus valores estéticos y visuales, sino también por su potencial para el uso recreativo y su conservación como patrimonio cultural. La degradación del paisaje es uno de los impactos ambientales más importantes de la minería a cielo abierto [3]. El objetivo de esta investigación es el diseño de una metodología basada en la aplicación de un índice paisajístico, que permita evaluar el impacto residual sobre el paisaje de una explotación minera a cielo abierto, sea cual sea el recurso

explotado. Este método ha sido aplicado en la mina de carbón Feixolín, que cesó su actividad en el año 2009.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La mina Feixolín se localiza en el Valle de Laciana situado en la cuenca alta del río Sil, al noroeste de la provincia de León (España), en plena Cordillera Cantábrica. Este valle ha sido declarado Reserva de la Biosfera por la Unesco, y es a su vez un espacio natural protegido incluido en la Red Ecológica Europea Natura 2000 (Fig. 1). La explotación se ubica en el municipio de Villablino, en la divisoria que separa las cuencas de los ríos de Orallo y San Miguel (Fig. 2).

2.2. Definición de unidades de paisaje

Las unidades de paisaje son sectores básicos del territorio que presentan una cierta homogeneidad en su composición y percepción, y sobre las que se realiza el proceso de evaluación. Se seleccionaron unidades visuales irregulares extensas [4], en las que uno o varios elementos del medio actuaban como definitorios, en este caso concreto, el relieve y los usos del suelo. Estas unidades presentaban además cierto grado de autocontención visual, esto es, constituían en sí mismas cuencas visuales más o menos cerradas. En este sentido, la cuenca hidrográfica se ajustaba bien a esta tipología de unidad paisajística. Se distinguieron tres unidades de paisaje: la cuenca hidrográfica del río de Orallo, que se subdividió en cuenca alta y cuenca media-baja, respectivamente; y la cuenca del río San Miguel (Fig. 1).

En la *cuenca alta del río de Orallo*, las Sierras del Gamonal, los Cerezales y el Cordal de Sierra Pelada, con culminaciones que superan los dos mil metros de altura, enmarcan el fondo escénico. Crestas y roquedos, circos y pequeñas lagunas glaciares, arroyos de aguas limpiadas y



Figura 1. Localización de la explotación Feixolín en el Valle de Laciana (España).

Fuente: los autores.

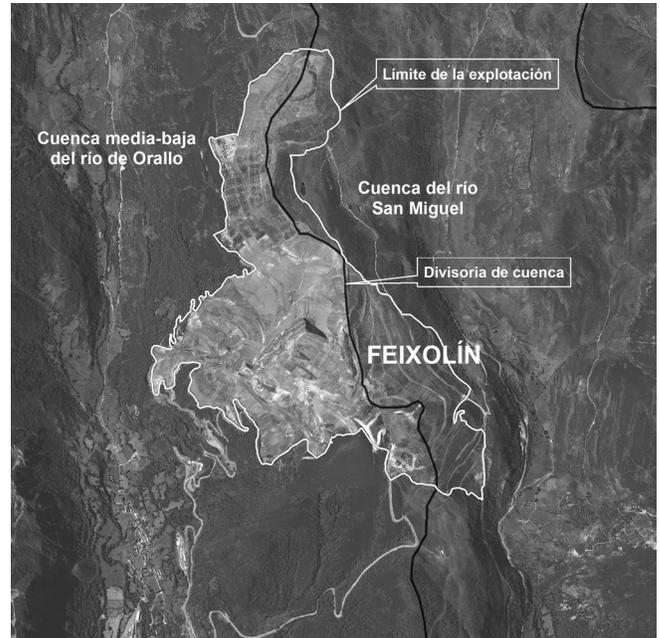


Figura 2. Unidades de paisaje afectadas por la mina Feixolín. Fuente: los autores. Ortofotografía PNOA

transparentes, y una vegetación constituida fundamentalmente por pastizales de alta montaña y brezales conforman una composición de alta calidad visual. La unidad muestra una cuenca visual redondeada y abierta aunque autocontenida visualmente por los cerramientos montañosos que la rodean.

La *cuenca media-baja del río de Orallo* se caracteriza por el encajamiento de la red hidrográfica dando lugar a un valle profundo intramontañoso de vertientes abruptas, y la configuración de una cuenca visual alargada y focalizada. La concentración de elementos artificiales relacionados con la presencia de asentamientos, infraestructuras viarias y la explotación de carbón ejercen un papel importante en la configuración del paisaje. La vegetación está dominada por robledales bien conservados y amplias extensiones de matorrales compuestos principalmente por brezales y piornales, y algunas repoblaciones de coníferas de escaso porte y pastizales. El fondo de valle aparece jalonado por bosques de ribera y prados de siega a modo de *bocage*.

La *cuenca del río San Miguel* presenta en su cabecera una composición escénica dominada por el Cordal de Sierra Pelada y Sierra Delgada, que configuran un relieve de elevado desarrollo vertical con culminaciones por encima de los dos mil metros de altitud, y la presencia de elementos singulares asociados a la geomorfología glaciar y periglaciar. El encajamiento de la red hidrográfica ha dado lugar también a un valle estrecho y disimétrico con vertientes escarpadas. La vegetación está dominada fundamentalmente por matorrales (brezos y piornos) y pastizales. Los prados de siega ocupan el fondo de valle, y aparecen algunos bosques de roble en el curso bajo. En la unidad no se localiza ningún asentamiento o núcleo de población, y la actividad extractiva aunque presente tiene una menor incidencia que en la unidad anteriormente descrita.

2.3. Evaluación de la calidad visual de las unidades de paisaje

La calidad visual de un paisaje o el grado de excelencia de éste, es el resultado de su calidad visual intrínseca y de su potencial de vistas [4]. La valoración de la calidad visual intrínseca del paisaje se realiza en base a la calidad visual y singularidad de los componentes biofísicos y biológicos que lo integran: relieve, vegetación y usos del suelo, agua y elementos artificiales, y sus características visuales y estéticas. La calidad visual intrínseca representa una evaluación de la unidad de paisaje como emisora de vistas. Por el contrario, el potencial de vistas evalúa la calidad visual de las mismas, o del paisaje extrínseco que es visible desde la unidad, y las condiciones de visualización (campo de visión y posición relativa de observación). El potencial de vistas representa, por lo tanto, una evaluación de la unidad de paisaje como receptora de vistas procedentes del entorno que la rodea [5]. La evaluación se centró fundamentalmente en las dos unidades de paisaje que se encontraban directamente afectadas por la explotación a cielo abierto: la *cuenca media-baja del río de Orallo* y la *cuenca del río San Miguel* (Fig. 2). En el caso de la unidad que ha venido a denominarse *cuenca alta del río de Orallo*, la afección paisajística producida por la mina Feixolín se limitó a una pérdida de calidad de su potencial de vistas, sin que los valores intrínsecos del paisaje se vieran afectados.

Para la valoración del impacto es preciso conocer la variación o cambio de valor de la calidad visual de las unidades de paisaje. Por lo tanto, el primer paso será la determinación de la calidad visual de dichas unidades antes y después del desarrollo de la actividad minera. Existen diversos métodos de valoración de la calidad visual del paisaje: directos, indirectos y mixtos [5,6]. Se ha aplicado un método indirecto de desagregación de la calidad visual en componentes cuya evaluación individualizada dará, por agregación, el valor total [7]. Este método consta de las siguientes fases: a) Identificación de los componentes que definen la calidad visual, hasta el nivel de desagregación que sea necesario. b) Evaluación individualizada de cada componente en una escala homogénea. Todos los factores de la calidad visual se han valorado en una escala relativa de valor de más bajo a más alto, de 1 a 4. c) Determinación del peso o importancia relativa de cada componente respecto al valor total de calidad visual. d) Obtención del valor agregado de calidad visual mediante la suma ponderada de los valores de los componentes que la integran. La asignación de los coeficientes de ponderación se realizó basándose en la opinión experta del equipo de trabajo, aunque se pueden aplicar otros métodos como la consulta a paneles de expertos (método Delphi), etc.

Para la determinación de la calidad visual agregada o global de las unidades de paisaje definidas, dada la fragmentación espacial y la autocontención visual de las cuencas hidrográficas afectadas, sólo se consideró la calidad visual intrínseca y no se evaluó el potencial de vistas. A continuación, se describen los criterios y el procedimiento de evaluación de cada uno de los componentes contemplados en la definición de la misma: relieve, agua, vegetación y usos del suelo y un factor denominado elementos artificiales.

Tabla 1. Criterios de valoración de la calidad visual intrínseca del factor relieve (C_{ViR})

Calidad visual intrínseca del factor Relieve (C _{ViR})	
Criterios de valoración	C _{ViR}
Presencia de elementos singulares geomorfológicos	4
Relieve escarpado: pendientes > 60%	4
Relieve con fuertes pendientes: entre 30-60%	3,5
Relieve con pendientes moderadas: entre 20-30%	3
Relieve suave: pendientes entre 10-20%	2
Relieve llano o muy suave: pendientes < 10%	1

Fuente: los autores

Tabla 2. Criterios de valoración del coeficiente reductor de la calidad visual intrínseca del factor relieve por la explotación minera (C_{TR})

Criterios de valoración	C _{TR}
Restauración topográfica completa	1
Superficie alterada sin rehabilitación y/o sin integración topográfica:	
- < 5% de la superficie total de la unidad de paisaje	1
- Entre 5 y 10% de la superficie de la unidad de paisaje	0,8
- Entre 10 y 20% de la superficie de la unidad de paisaje	0,6
- Entre 20 y 40% de la superficie de la unidad de paisaje	0,4
- > 40% de la superficie total de la unidad de paisaje	0,2

Fuente: los autores

2.3.1. Calidad visual intrínseca del relieve (C_{ViR})

La calidad visual intrínseca del relieve (C_{ViR}) estará en función de la presencia de singularidades geomorfológicas, el grado de desarrollo vertical de éste y su complejidad topográfica, fundamentalmente. La consulta de estudios y cartografías geomorfológicas de la zona, la elaboración de mapas hipsométricos y de pendientes basados en mapas topográficos y Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) seriados temporalmente, antes y después de la explotación Feixolín, sirvieron de apoyo en la valoración de este componente. La calidad visual derivada del cambio de valor de las características visuales intrínsecas del relieve tras la actividad extractiva (ΔC_{ViR}), se evaluó de la siguiente forma: a) Se determinó la calidad visual intrínseca del mismo sin considerar las alteraciones introducidas por la explotación minera, en función de la existencia de elementos singulares geomorfológicos o del tipo de relieve predominante en la unidad (Tabla 1). b) Posteriormente, en función de la superficie ocupada por: huecos, frentes mineros y escombreras (botaderos) no rehabilitados o con una remodelación topográfica poco integrada que contrastaba con las formas y pendientes dominantes en el entorno, respecto a la superficie total de cada unidad de paisaje, se aplicó un coeficiente reductor (C_{TR}) del valor C_{ViR} de acuerdo con los criterios de la Tabla 2. De tal forma, que el valor de la calidad visual intrínseca de este componente tras la actividad extractiva se obtiene aplicando la eq. 1.

$$\Delta C_{ViR} = C_{ViR} \times C_{TR} \quad (1)$$

La ubicación en un espacio montañoso y accidentado o la presencia de algunas singularidades geomorfológicas de origen glaciario, justificó la asignación de valores de C_{ViR} elevados, en ambas unidades de paisaje (Tabla 7).

2.3.2. Calidad visual intrínseca de la vegetación y usos del suelo (Cv_{viv})

El componente del paisaje relacionado con la cubierta vegetal y los usos del suelo se evaluó a partir de la cartografía del *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España* (SIOSE), aplicando un índice de calidad visual (Ic_{vv}). Este índice se obtuvo para cada tipo de vegetación u ocupación del suelo presente en cada unidad de paisaje, mediante el promedio de los factores [8]:

- *Fisonomía (f)* o características visuales de las formas externas de la vegetación dominante. En este sentido, el porte y la frondosidad son algunas de las características visuales más sobresalientes. Esta es la razón por la que se asignan los valores más altos de este factor a las formaciones arbóreas y frondosas, y los valores más bajos a las herbáceas.

- *Estructura vertical (ev)* o diversidad de estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo). A mayor variedad de estratos, mayor calidad visual. Según este criterio, de las formaciones vegetales existentes en el área de estudio, son los bosques de frondosas los que muestran una estructura vertical más compleja y diversa.

- *Contraste cromático (c)* o diversidad cromática entre los componentes que integran la propia formación vegetal, y entre ésta y el suelo. A mayor contraste y diversidad cromática mayor es la calidad visual.

- Y *cambio estacional (ce)*, asignándose el máximo valor a las formaciones con variaciones cromáticas significativas en dos o más estaciones del año.

La Tabla 3 muestra los resultados de la evaluación de los factores que integran el índice de calidad visual de las distintas tipologías de vegetación y usos del suelo, de acuerdo con los criterios descritos anteriormente, y el correspondiente valor Ic_{vv} obtenido mediante la aplicación de la eq. 2.

$$Ic_{vv} = 0,25(f+ev+c+ce) \quad (2)$$

La cartografía SIOSE contempla dos tipos de coberturas del suelo: simples cuando están constituidas por un único tipo de vegetación o uso; y asociaciones de varios tipos de cubiertas de vegetación y/o usos, indicando el porcentaje de ocupación de cada uno de ellos en la asociación. En este último caso, el índice de calidad de una asociación se obtiene mediante la suma de los valores Ic_{vv} de cada tipología presente en la misma ponderados por la superficie ocupada. A efectos de simplificar la evaluación, en la asociación en que un único tipo de vegetación o uso representaba un porcentaje $\geq 70\%$ del área total de la misma, se le asignaba directamente el valor de éste. Hay que resaltar que sólo en el caso del índice Ic_{vv}, se ha aplicado una escala relativa de valoración de 0 a 4.

Por último, la calidad visual intrínseca de este componente en cada unidad de paisaje se obtiene mediante la suma de los valores Ic_{vv} de los tipos de ocupación del suelo, incluidas asociaciones, de la cartografía SIOSE presentes en las mismas, ponderados por el área ocupada. Con el objeto de reconstruir los usos del suelo previos a la ocupación minera, se consultaron ortofotografías de períodos anteriores

Tabla 3. Valores de los índices de calidad visual de la vegetación y usos del suelo (Ic_{vv}) de la cartografía SIOSE presentes en las unidades de paisaje

Vegetación/Usos suelo (SIOSE)	Fisonomía	Estructura vertical	Contraste cromático	Cambio estacional	Índice calidad visual (Ic _{vv})
Frondosas caducifolias	4	4	4	4	4
Frondosas de ribera	4	4	4	4	4
Coníferas plantación	2	2	2	1	1,75
Matorral: brezos y piornos	2	2	2	3	2,25
Pastizal	1	1	2	1,5	1,375
Prados	2	1	2	2	1,75
Cultivos herbáceos	1	1	1,5	1,5	1,25
Urbano	1	2	1	0	1
Mínero extractivo	0	0	0	0	0
Suelo desnudo	0	0	0	0	0
Afloramientos rocosos	0	0	0	0	0

Fuente: adaptado de Aramburu et al. 2005. [8]

a la extracción de carbón. Se determinó que las zonas actualmente ocupadas por la explotación Feixolín estaban previamente cubiertas por matorrales. En la Tabla 7, se recogen los resultados de la valoración de este componente en escenarios pre y post-mineros (Cv_{viv} y ΔCv_{viv}), en función del cambio de uso inducido por la actividad extractiva.

2.3.3. Calidad visual intrínseca del agua (Cv_{IA})

El componente agua fue valorado de acuerdo con los criterios recogidos en la Tabla 4. Ambas cuencas hidrográficas están asociadas a ríos de alta montaña con caudal permanente con una calidad visual intrínseca alta. La pérdida de calidad visual de este factor por la explotación Feixolín (ΔCv_{IA}), se ha evaluado aplicando un coeficiente reductor (Cr_A) de la Cv_{IA} en función del grado de afección al sistema de drenaje superficial y/o calidad del agua en sus aspectos visuales (Tabla 5), según la eq. 3.

$$\Delta C_{vIA} = C_{vIA} \times Cr_A \quad (3)$$

En la Tabla 7, se muestran los resultados de la valoración de este factor antes y después de la actividad extractiva. La localización de gran parte de la explotación sobre una divisoria y la afección directa a algún curso fluvial de escaso desarrollo, ha permitido aplicar un coeficiente reductor de la calidad visual de 0,8 para dicho componente, en ambas unidades de paisaje.

Tabla 4. Criterios de valoración de la calidad visual intrínseca del factor agua (Cv_{IA})

Criterios de valoración	Cv _{IA}
Elementos singulares (cataratas, etc.) y láminas de agua: lagos, lagunas, embalses, etc.	4
Arroyos y ríos de agua limpias y transparentes, con caudal permanente	3
Arroyos y ríos de agua intermitentes limpias y transparentes. Puntos de agua (fuentes y manantiales)	2
Arroyos y ríos de aguas turbias y sucias	1

Fuente: los autores

Tabla 5.

Criterios de valoración del coeficiente reductor de la calidad visual intrínseca del factor agua por la explotación minera (C_{rA})

Criterio de valoración:	C_{rA}
Grado de alteración o afección del sistema de drenaje superficial y/o calidad del agua por la minería:	
- Sin afección	1
- Poco afectada	0,8
- Afección media	0,6
- Muy afectada	0,4
- Intensamente afectada: destrucción de la red de drenaje superficial y/o elevada contaminación	0,2

Fuente: los autores

Tabla 6.

Criterios de valoración de la calidad visual intrínseca de los Elementos Artificiales (C_{ViEA})

Calidad visual intrínseca del factor Elementos Artificiales (C_{ViEA})	
Criterios de valoración	C_{ViEA}
Ausencia de elementos artificiales	4
Los elementos artificiales representan:	
- < 1% de la superficie de la unidad de paisaje	4
- Entre 1% y 10% de la superficie de la unidad	3
- Entre 10% y 20% de la superficie de la unidad	2
- > 20% de la superficie de la unidad de paisaje	1

Fuente: los autores

2.3.4. Calidad visual intrínseca de los elementos artificiales (C_{ViEA})

El valor de la calidad visual intrínseca del componente *elementos artificiales* (C_{ViEA}) será función del grado de integración o discordancia de dichos elementos con el paisaje, y de la superficie ocupada. Salvo excepciones como es el caso de algunos elementos culturales singulares que refuerzan e incluso incrementan los valores intrínsecos de la calidad visual, una menor ocupación de elementos artificiales representará una mayor naturalidad y, por lo tanto, una mayor calidad visual intrínseca. Se han considerado como elementos artificiales: los núcleos de población, las vías de comunicación y el uso minero. El *bocage* que conforman las parcelas de cultivos y prados se encuentra plenamente integrado en el paisaje, por lo que no se ha incluido en este componente a pesar de su carácter antrópico. En la Tabla 6 se muestra el criterio de valoración aplicado para este factor. La variación del valor de la calidad visual intrínseca de este componente (ΔC_{ViEA}) en cada unidad de paisaje, será proporcional al incremento de la superficie ocupada por la explotación, instalaciones de almacenamiento de residuos (botaderos, etc.) e infraestructuras mineras. En la Tabla 7, se muestran los resultados de la valoración de este componente antes y después de la explotación minera.

2.3.5. Cálculo de la calidad visual de cada unidad de paisaje (C_v), antes y después de la explotación minera.

La calidad visual global de cada unidad paisajística (C_v) será el resultado de la suma ponderada de la calidad visual intrínseca de los componentes del paisaje en que éste se ha desagregado, en función del peso relativo de cada uno de ellos (eq. 4).

Tabla 7.

Calidad visual intrínseca de los componentes del paisaje de cada unidad paisajística, antes y después de la mina Feixolín

Factores del paisaje	Calidad visual intrínseca de los factores del paisaje (C_{vi})			
	Cuenca media-baja del río de Orallo		Cuenca del río San Miguel	
	Antes	Después	Antes	Después
Relieve (C_{vir})	3	2,4	4	3,2
Vegetación (C_{viv})	2,17	1,93	2	1,88
Agua (C_{vIA})	3	2,4	3	2,4
Elem. Artificiales (C_{ViEA})	4	2	4	3

Fuente: los autores

Tabla 8.

Calidad visual de las unidades de paisaje, antes y después de la mina Feixolín

Calidad visual del paisaje (C_v)			
Cuenca media-baja río de Orallo		Cuenca del río San Miguel	
Antes	Después	Antes	Después
2,97	2,09	3,10	2,53
Alta	Media-Alta	Muy Alta	Alta

Fuente: los autores

$$C_v = 0,2C_{vir} + 0,4C_{viv} + 0,1C_{vIA} + 0,3C_{ViEA} \quad (4)$$

Donde,

C_v = Calidad visual del paisaje.

C_{vir} = Calidad visual intrínseca del relieve.

C_{viv} = Calidad visual intrínseca de la vegetación/ usos suelo

C_{vIA} = Calidad visual intrínseca del agua.

C_{ViEA} = Calidad visual intrínseca de elementos artificiales.

Por último, se ha aplicado la siguiente escala cualitativa de valoración de la calidad visual: baja ($C_v \leq 1$); media-baja ($1 < C_v \leq 1,5$); media ($1,5 < C_v \leq 2$), media-alta ($2 < C_v \leq 2,5$); alta ($2,5 < C_v \leq 3$) y muy alta ($3 < C_v \leq 4$). Los valores de calidad visual de las unidades de paisaje: *cuenca media-baja del río de Orallo* y *cuenca del río San Miguel* y los valores C_{vi} de los componentes que la definen, antes y después de la explotación Feixolín, se muestran en las Tablas 8 y 7 respectivamente.

2.4. Evaluación del efecto o magnitud del cambio de la calidad visual del paisaje producido por la explotación minera (E_{cv})

El efecto sobre la calidad visual (E_{cv}) de las unidades de paisaje indica la magnitud del cambio de valor de la misma,

Tabla 9.

Criterios para evaluar el efecto o magnitud del cambio de la calidad visual del paisaje (E_{cv}) producido por la explotación minera.

Criterios de valoración	Efecto	E_{cv}
Sin alteración de la C_v	Sin efecto	0
Cambio de valor de la C_v :		
- < 5%	Sin efecto	0
- Entre un 5% y 10%	Poco significativo	1
- Entre 10% y 20%	Significativo	2
- Entre 20% y 30%	Muy significativo	3
- > 30%	Notable	4

Fuente: los autores

Tabla 10.

Efecto o magnitud del cambio de la calidad visual (E_{CV}) de las unidades de paisaje producido por la mina Feixolín

Unidades de Paisaje	Efecto	E_{CV}
Cuenca media-baja río de Orallo	Muy Significativo	3
Cuenca del río San Miguel	Significativo	2

Fuente: los autores

debido a la explotación minera. Por lo general, el efecto suele ser de signo negativo. En las Tabla 9 y 10 se muestran los criterios aplicados para la determinación de este parámetro y el resultado obtenido en cada unidad de paisaje.

2.5. Determinación de la incidencia visual de la explotación minera

La incidencia visual de las zonas alteradas por la explotación minera va a ser función de: la fragilidad visual intrínseca del entorno y del grado de restauración e integración de las zonas alteradas, y de la accesibilidad visual o visibilidad de la afección minera desde zonas frecuentadas por la población. Para su determinación se ha aplicado también un método indirecto de desagregación en componentes [7], que han sido valorados en una escala relativa de menos a más valor, de 1 a 4.

2.5.1. Fragilidad visual intrínseca del entorno de la explotación Feixolín (F_{vi})

La fragilidad visual intrínseca expresa la capacidad de absorción visual de la alteración minera por el medio. A mayor fragilidad visual menor capacidad de absorción. Esta fragilidad visual depende de una serie de factores biofísicos del medio que van a amortiguar o realzar las alteraciones visuales que introduce la actividad extractiva. Estos factores son principalmente la cubierta vegetal dependiente de la densidad, contraste y diversidad cromática, altura y complejidad de la formación vegetal y cambios estacionales que afectan al camuflaje o el efecto pantalla de algunas formaciones y usos del suelo; la localización fisiográfica de la explotación respecto a los observadores potenciales; las características geomorfológicas y topográficas (pendiente del terreno); la orientación-iluminación del terreno afectado respecto al sol (umbrías o solanas) y la configuración de la cuenca visual, en este caso, de la cuenca hidrográfica. Es evidente, que la capacidad de absorción visual de las zonas afectadas por la explotación minera dependerá también de si se ha realizado o no algún tipo de restauración tras el cese de la actividad y del grado de integración conseguido.

La evaluación de la fragilidad visual intrínseca de la vegetación y usos del suelo (F_{viv}) presentes en el entorno inmediato de la explotación minera, se ha realizado en función de: su fisonomía, diversidad cromática interna y opacidad estacional. A las formaciones arbóreas, frondosas y complejas con diversidad de estratos y una alta variedad cromática y de texturas, y por lo tanto con un mayor poder de camuflaje, se les han asignado los valores más bajos de F_{viv} . Por el contrario, a las formaciones dominadas por el estrato herbáceo, monocromáticas o con muy bajo contraste cromático, les han correspondido los valores más altos de F_{viv} . Para su evaluación

Tabla 11.

Criterios de valoración de los componentes de la fragilidad visual intrínseca del entorno (F_{vi})

Vegetación/usos colindantes con la mina Feixolín	F_{viv}
Frondosas caducifolias	1,5
Coníferas plantación (bajo porte)	2
Matorral: brezales y piornales	2
Asociación Matorral-Pastizal (el matorral representa < 60% del área ocupada por la asociación)	2,5
Pastizal	4
Posición relativa respecto al observador	F_{vip}
Posición elevada	2
Al mismo nivel	1
Posición a menor altura	4
Restauración/Integración minera	F_{vim}
Muy baja (sin restauración)	4
Baja (remodelación topográfica sin revegetación)	3
Media (revegetación parcial integrada en el medio)	2
Alta (revegetación total integrada en el medio)	1
Pendiente del terreno	F_{vip}
Terrenos muy escarpados (pendiente > 60%)	4
Pendientes fuertes (30% – 60%)	3
Pendientes moderadas (20% – 30%)	2
Pendientes suaves (10% - 20%)	1,5
Terrenos llanos o pendientes muy suaves (< 10%)	1
Forma de la cuenca visual	F_{vifc}
Cuencas alargadas y focalizadas (elípticas) y compacidad baja (pocos huecos y sombras)	4
Cuencas alargadas y focalizadas (elípticas) y compacidad alta (muchos huecos y sombras)	3
Cuencas redondeadas y compacidad baja	2
Cuencas redondeadas y compacidad alta	1
Orientación/Iluminación	F_{vio}
Iluminación muy alta/Orientación S, SE y SW	4
Iluminación alta/Orientación W	3
Iluminación media/Orientación E	2
Iluminación baja/Orientación N, NE y NW	1

Fuente: los autores

se ha procedido de la siguiente forma: a) Identificación de las formaciones de vegetación, incluidas asociaciones, del SIOSE colindantes con la explotación minera. b) Asignación a cada una de ellas de su correspondiente valor de F_{viv} en función de los criterios antes mencionados. En la Tabla 11 se muestran los valores F_{viv} de las unidades de vegetación presentes en el entorno inmediato de la mina Feixolín. c) Determinación de la F_{viv} global del entorno de la explotación en cada unidad de paisaje, mediante la suma de los valores F_{viv} de cada tipo de vegetación y/o asociación colindantes con la explotación, ponderados por el peso relativo del límite común de cada una de ellas respecto a la longitud total del perímetro de la zona afectada en la correspondiente unidad de paisaje.

En la Tabla 11 se muestran también los criterios de valoración de todos los componentes que integran la fragilidad visual intrínseca del entorno inmediato a la explotación minera.

La fragilidad visual intrínseca global (F_{vi}) del entorno de la explotación minera se obtiene mediante la suma ponderada de los factores que la integran en función del peso relativo de cada uno de ellos (eq. 5).

$$F_{vi} = 0,1F_{vip} + 0,4F_{vim} + 0,1F_{vip} + 0,1F_{vifc} + 0,2F_{viv} + 0,1F_{vio} \quad (5)$$

Donde,

Tabla 12.

Fragilidad visual intrínseca del entorno de la explotación Feixolín (Fvi)		
Factores	Cuenca media-baja río de Orallo	Cuenca del río San Miguel
Posición observación (Fvi _{PF})	2	2
Restauración minera (Fvi _{IM})	2	2
Pendiente del terreno (Fvi _P)	3	3
Forma cuenca visual (Fvi _{FC})	4	4
Vegetación/usos del suelo (Fvi _V)	1,92	2,08
Orientación/iluminación (Fvi _O)	4	2
	2,484	2,316
Fragilidad visual intrínseca (Fvi)	Media-Alta	Media-Alta

Fuente: los autores

Fvi_{PF} = Fvi derivada de la posición relativa de la explotación respecto a observadores potenciales.

Fvi_{IM} = Fvi derivada del grado de restauración/integración del espacio minero.

Fvi_P = Fvi de la topografía o pendiente del terreno.

Fvi_{FC} = Fvi de la forma de la cuenca visual/hidrográfica.

Fvi_V = Fvi de la vegetación y los usos del suelo.

Fvi_O = Fvi de la orientación/iluminación respecto al sol.

En la Tabla 12 se muestra el valor global y el de los componentes que definen la fragilidad visual intrínseca del entorno de la mina Feixolín, en cada unidad de paisaje. La fragilidad visual se ha calificado como: baja ($Fvi \leq 1$); media-baja ($1 < Fvi \leq 1,5$); media ($1,5 < Fvi \leq 2$), media-alta ($2 < Fvi \leq 2,5$); alta ($2,5 < Fvi \leq 3$) y muy alta ($3 < Fvi \leq 4$).

2.5.2. Accesibilidad visual de la explotación minera desde zonas frecuentadas por la población (V)

Un factor fundamental sobre la incidencia visual es la visibilidad de las alteraciones desde los lugares o puntos más frecuentados por la población, esto es, con mayor potencial de observadores. El análisis de visibilidad se basa en la determinación de cuencas visuales. La cuenca visual de un punto se define como la zona que es visible desde ese punto [9]. Por extensión se puede ampliar el concepto a un conjunto de puntos próximos o que constituyen una unidad u objeto (p.e. una carretera o un núcleo de población), y considerar la cuenca visual como la porción del territorio vista desde ellos [6]. En el análisis se asume que la cuenca visual es la receptora de la alteración paisajística producida por la explotación minera, pues los observadores que se encuentren en la misma podrán visualizarla desde cualquiera de los puntos que la forman, con mayor o menor nitidez en función de la distancia. El procedimiento seguido para determinar la accesibilidad visual ha sido el siguiente:

1) Selección de los puntos de observación que se van a utilizar para el cálculo de la cuenca visual. Se seleccionaron núcleos de población y carreteras de titularidad pública desde donde podría ser accesible visualmente la zona afectada. No se estableció una jerarquización de los puntos de observación en función del número de observadores potenciales y tiempo de observación. Es evidente que la accesibilidad visual de la zona afectada desde las vías con mayor intensidad de tráfico o los núcleos más poblados representarían una mayor accesibilidad visual, frente a otras

Tabla 13.

Puntos de observación seleccionados para el cálculo de la cuenca visual.			
Núcleos población	Habitantes	Carreteras	Intensidad media diaria de vehículos
Caboalles de Abajo	1180	CL-626	4273
Orallo	216	CL-631	2451
Ríoescuro	151	LE-493	712
Robles de Laciana	131	Otras vías	Sin datos
Sosas de Laciana	173		
Villablino	5634		
Villager Laciana	525		

Fuente: Nomenclator 2013 (INE); Mapa de Tráfico de León 2011

vías con menor tráfico o núcleos de población más pequeños; lo mismo ocurre con el tiempo de observación que es mayor desde un núcleo que desde una carretera. Aspectos todos ellos que pueden utilizarse para ponderar el análisis de visibilidad. En el caso concreto de la mina Feixolín, se optó por un criterio conservador asignando un mismo potencial de observación a todos los puntos seleccionados. En la Tabla 13 se recogen los puntos de observación utilizados en el modelo de visibilidad de la mina Feixolín.

2) Determinación de la cuenca visual de los puntos seleccionados. Se definió la misma de forma automática mediante el sistema de información geográfica ArcGIS, versión 9.3. El análisis de visibilidad se sustentó sobre un Modelo Digital del Terreno (MDT) del Instituto Geográfico Nacional obtenido mediante sensores LIDAR, con un paso de malla de 5 m. El modelo ráster de visibilidad aplicado presentaba una resolución o tamaño de pixel de 5x5 m. En dicho modelo solo se tuvo en cuenta la altura y características topográficas del terreno y no se consideró el efecto pantalla de construcciones, vegetación o cualquier otro elemento natural o antrópico al no disponer de información relativa a la altura de cada tipo de cubierta. Se trataba por lo tanto de un modelo conservador en el que las superficies realmente visibles posiblemente serían inferiores a las obtenidas por el modelo. No obstante, los resultados obtenidos se calibraron y verificaron con trabajo de campo y gabinete, confirmando la validez del método empleado.

3) Establecimiento de unos intervalos de distancia de observación que permiten definir la mayor o menor nitidez con la que el territorio puede ser observado (D). Existe una distancia crítica, a partir de la cual, se produce una disminución significativa de la visibilidad siendo los 3000 m un referente aceptado en España por muchos autores [4].

4) Establecimiento de unos intervalos de frecuencia de observación de las zonas accesibles visualmente (F_{ob}). Este parámetro evalúa el número de veces que un punto del territorio (pixel) es visto desde distintos puntos de observación. La fragilidad visual de un punto del territorio aumenta con la posibilidad que tiene cada punto de ser visto [5]. En el modelo de análisis de visibilidad de ArcGIS, las carreteras o los límites de los núcleos urbanos son elementos lineales formados por numerosos vértices que son procesados como puntos de observación individualizados. Las clases o intervalos de frecuencia de observación deberán definirse caso por caso, pues el número posible de veces que un pixel puede ser visto depende de la resolución del modelo de visibilidad y del número de puntos de observación

Tabla 14.
Clases de frecuencia de observación del modelo de visibilidad aplicado en la mina de Feixolín (F_{ob})

Nº de vértices o puntos de observación desde el que un punto del territorio es visto	Clases de frecuencia de observación (F_{ob})
- 50000	Muy Alta
- Entre 10000 y 50000	Alta
- Entre 5000 y 10000	Media-Alta
- Entre 2500 y 5000	Media
- Entre 1000 y 2500	Media-Baja
- < 1000	Baja

Fuente: los autores

Tabla 15.
Modelo de visibilidad aplicado en la mina Feixolín y asignación del valor de accesibilidad visual (V)

Definición de las clases de accesibilidad visual desde núcleos y vías de comunicación	Valor V
<i>Zonas visibles con:</i>	
- Visibilidad muy alta ($D \leq 3000$ m y F_{ob} = muy alta)	4
- Visibilidad alta ($D \leq 3000$ m y F_{ob} = alta)	3
- Visibilidad media-alta ($D \leq 3000$ m y F_{ob} = media-alta, o bien, $D > 3000$ m y F_{ob} = muy alta)	2,5
- Visibilidad media ($D \leq 3000$ m y F_{ob} = media, o bien, $D > 3000$ m y F_{ob} = alta o media-alta)	2
- Visibilidad media-baja ($D \leq 3000$ m y F_{ob} = media-baja o baja, o bien, $D > 3000$ m y F_{ob} = media)	1,5
- Visibilidad baja ($D > 3000$ m y F_{ob} = baja)	1
<i>Zonas no visibles o sin visibilidad</i>	0

Fuente: los autores

seleccionados. En la Tabla 14 se muestran los rangos de frecuencia de observación que se establecieron para la mina Feixolín.

5) Definición del modelo de visibilidad o zonificación de la cuenca visual según clases o zonas con distinto grado de accesibilidad visual (V), y valoración de cada una de ellas. Estas clases han sido definidas en función de: la distancia (D) a los puntos de observación (≤ 3000 m y > 3000 m) y la frecuencia de observación (F_{ob}). El modelo de visibilidad definido y la asignación del valor de visibilidad aplicado en la mina Feixolín se muestra en la Tabla 15.

6) Determinación de la accesibilidad visual de la zona afectada por la explotación minera, desde las zonas frecuentadas por la población, en cada unidad de paisaje. El valor de accesibilidad visual para cada unidad paisajística se obtiene mediante la suma de los valores asignados a cada una de las clases de visibilidad presentes en la zona afectada, ponderada por la superficie ocupada por cada una de ellas respecto a la superficie total de la explotación, en cada unidad de paisaje. En la Fig. 3 y Tabla 16 se muestran las zonas visibles de la mina Feixolín y el valor de accesibilidad visual de ésta desde zonas frecuentadas por la población (V), en cada unidad de paisaje, respectivamente. Se puede observar que la mayor parte de la superficie de la explotación no es visible desde los núcleos de población y vías de comunicación seleccionados como puntos de observación. No obstante, se puede afirmar que existe una mayor accesibilidad visual de la zona de explotación ubicada en la cuenca media-baja del río de Orallo, en la que el 31% de la superficie alterada presenta una visibilidad muy alta o alta, respecto a la cuenca del río San Miguel, donde tan solo

Tabla 16.
Visibilidad o accesibilidad visual de la mina Feixolín en cada unidad de paisaje desde núcleos de población y vías de comunicación (V)

Clases Visibilidad	Cuenca media-baja del río de Orallo			Cuenca del río San Miguel		
	V	Peso	Feixolín Área m ²	V	Peso	Feixolín Área m ²
Muy Alta	4	0.11	166918	4	0.06	39578
Alta	3	0.2	309581	3	0.11	74133
No Visible	0	0.69	1092567	0	0.83	560409
Unidad P.	1,04	1	1569066	0,54	1	674120

Fuente: los autores



Figura 3. Visibilidad de la mina Feixolín en cada unidad de paisaje desde zonas frecuentadas por la población (núcleos de población y carreteras)

Fuente: los autores

el 17% de la zona explotada es visible aunque con una alta o muy alta visibilidad.

2.5.3. Cálculo de la incidencia visual de la mina Feixolín en cada unidad de paisaje (I_v)

La incidencia visual de la explotación minera en cada unidad de paisaje se obtiene mediante la suma ponderada de los componentes que la definen, en función de su peso relativo (eq. 6).

$$I_v = 0,6F_{vi} + 0,4V \quad (6)$$

Donde,

F_{vi} = Fragilidad visual intrínseca del entorno

V = Visibilidad de la explotación desde lugares frecuentados por la población

Tabla 17.

Índice de impacto paisajístico de la mina Feixolín en cada unidad de paisaje (IP)

Unidad de Paisaje	Efecto Ecv	Incidencia visual Iv	Índice de impacto paisajístico	
			IP	Clase IP
C. media-baja Orallo	3	1,91	2,46	Medio-Alto
C. río San Miguel	2	1,61	1,81	Medio

Fuente: los autores

Los valores más altos de Iv se corresponderán con terrenos mineros no restaurados ubicados en un entorno de elevada fragilidad visual, y muy alta o alta visibilidad desde zonas frecuentadas por la población. Por el contrario, las zonas restauradas y bien integradas situadas en un entorno de baja fragilidad visual (o alta capacidad de absorción visual) y una baja visibilidad, presentarán los valores Iv más bajos. En caso de que la zona afectada no sea visible desde ningún punto con un alto potencial de observadores, se considerará sin incidencia visual. En la Tabla 17 se muestra el valor Iv de la explotación Feixolín en cada una de las unidades de paisaje definidas.

2.6. Cálculo del índice de impacto paisajístico (IP)

El índice de impacto paisajístico (IP) integra: el efecto o magnitud del cambio de valor de la calidad visual del paisaje inducido por la explotación (Ecv) y la incidencia visual de las alteraciones producidas (Iv), mediante la suma ponderada de ambos factores (eq. 7)

$$IP = 0,5Ecv + 0,5Iv \quad (7)$$

Los valores IP se han agrupado en los siguientes intervalos: bajo (IP ≤ 1); medio-bajo (1 < IP ≤ 1,5); medio (1,5 < IP ≤ 2), medio-alto (2 < IP ≤ 2,5); alto (2,5 < IP ≤ 3) y muy alto (3 < IP ≤ 4). En la Tabla 17 se muestra el índice de impacto paisajístico producido por la explotación Feixolín.

3. Resultados y conclusiones

La tolerancia respecto a un determinado grado de afección que pudiera experimentar un paisaje por la actividad extractiva, dependerá de su calidad visual. La determinación última del impacto paisajístico se realizó a través de una matriz que integra la calidad visual que tenía el paisaje antes de la explotación minera y el índice de impacto paisajístico producido por la extracción del recurso mineral a cielo abierto (Fig. 4). El impacto ha sido calificado como: compatible (C), moderado (M), severo (S) y crítico (CR) de acuerdo con lo establecido por la normativa española sobre evaluación de impacto ambiental (EIA) (Reglamento de EIA, R.D. 1131/1988).

El resultado final del proceso de evaluación es un impacto residual de la mina Feixolín calificado como severo en la cuenca media-baja del río de Orallo, y moderado en la del río San Miguel (Tabla 18).

El modelo ha sido sometido a un análisis de sensibilidad paramétrica. Dicho análisis mostró la fuerte influencia de los pesos asignados a los parámetros en el resultado de las

Calidad Visual (Cv)	Muy Alta	C	M	M	S	CR	CR
	Alta	C	M	M	S	S	CR
	Media Alta	C	C	M	M	S	S
	Media	C	C	M	M	M	S
	Media Baja	C	C	C	M	M	M
	Baja	C	C	C	C	M	M
	Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Muy Alto	
Índice de Impacto Paisajístico (IP)							

Figura 4. Matriz de impacto sobre el paisaje

Fuente: los autores

Tabla 18.

Impacto sobre el paisaje de la mina Feixolín

Unidad de Paisaje	Calidad visual previa	Índice impacto paisajístico	Impacto Paisaje
Cuenca media-baja Orallo	2,97	Alta	Medio Alto Severo
Cuenca del río San Miguel	3,10	Muy Alta	1,81 Medio Moderado

Fuente: los autores

evaluaciones, y la sensibilidad de éste a las variaciones de valor de la mayoría de las variables que intervienen en el mismo.

El método es transparente, sistemático y reproducible, y puede ser aplicado a cualquier explotación a cielo abierto, cualquiera que sea el recurso explotado. La metodología está soportada, además, en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas permiten la automatización de algunos de los procesos que intervienen en la valoración, y una actualización o revisión más eficiente y rápida de la evaluación del impacto paisajístico ante la aparición de nuevos escenarios. Este hecho resulta de gran utilidad cuando se lleva a cabo el seguimiento del éxito de medidas de integración paisajística.

Este índice paisajístico proporciona información y criterios para la rehabilitación de las explotaciones mineras. Puede acompañarse con el uso de otras técnicas como: la modelización 3D o la simulación fotorrealística a partir de fractales por ordenador [10], proporcionando una mejora potencial del diseño de planes de restauración.

El empleo de este índice de impacto paisajístico residual puede ser de gran utilidad en los programas de vigilancia y seguimiento ambiental, que deben acompañar a los estudios y declaraciones de EIA según la normativa española (Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental). La aplicación del índice en una secuencia temporal permitiría evaluar la eficacia de las medidas adoptadas en dicho plan para garantizar la rehabilitación paisajística, en proyectos mineros.

Por último, el método propuesto puede constituir una herramienta de apoyo a la decisión con respecto a la recuperación de espacios mineros degradados o la gestión de pasivos ambientales mineros, especialmente cuando es necesario establecer prioridades de actuación

Referencias

[1] González-Bernáldez, F., Ecología y paisaje, Editorial Blume, Madrid, 1981.

- [2] Morgan, M., Perspectives on landscape aesthetics, Progress in Human Geography, (2), University of Wollongong, Australia. 1978.
- [3] IGME., Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería, Serie: Guías y Manuales (2), IGME, Madrid, 2004.
- [4] Alberruche, E., El análisis de la fragilidad visual mediante SIG, En: Lain-Huerta, L., Ed., Los sistemas de información geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente. Publicaciones IGME. Serie: Medio ambiente. Riesgos geológicos, (3), M^o Ciencia y Tecnología-IGME, Madrid. 2002.
- [5] Pozo-Antonio, J.S., Alejano, L.R., Veiga, M. and Alberruche, E., Landscape assesment of engineered and man-made slopes. Engineering Sustainability, 167 (1), pp. 24-38. 2014. <http://dx.doi.org/10.1680/ensu.13.00003>
- [6] MOPT., Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Madrid, 1993.
- [7] Gómez-Orea, D., Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico, ITGE y Ed. Agrícola Española, SA., Madrid, 1994.
- [8] Aramburu, M.P., Escribano, R., López, R., Sánchez, P., Cartografía del paisaje de la Comunidad Autónoma de la Rioja, Tomo I, Memoria y Anexos, Gobierno de La Rioja-ETSI de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, Logroño, España. 2005.
- [9] Aguiló, M., Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, España. 1981.
- [10] Rosario-Amado, I., Pozo-Antonio, J.S., Lorenzo-Salgueiro, G., Feijoo-Conde, J. and Taboada-Castro, J., Photorealistic simulated modelling from fractals applied to mined-out pit restoration, DYNA 81 (186), pp. 57-64. 2014. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n186.38101>

M.E. Alberruche-del Campo, is Graduate in Geography and History, Geography section, in 1987 from the Universidad Complutense de Madrid, España, and achieved the MSc degree in Geological and Environmental Engineering in 1991 from the Universidad Politécnica de Madrid, España. She is Specialist Upper Level Technician of the Geological Service of Spain (IGME), España. He has developed his professional activities in areas such as environmental impact assessment of mining activities, environmental risk assessment of abandoned mine sites and land use planning in mining areas.

J.C. Arranz-González, is PhD in Agronomic Engineering and Environmental Engineering Specialist from the Universidad Politécnica de Madrid, España. Permanent Scientist at the Geological Survey of Spain (IGME), España. He has developed his professional activities in areas such as environmental rehabilitation of mining sites; inventory and environmental characterization of dumps, quarries, and open-cast mines, assessment of the environmental risks of abandoned mines and studies of soil characterization in mining sites.

V. Rodríguez-Gómez, received the degree in Environmental Sciences, in 2001 and a MSc. degree in Waste Management and Treatment in 2003, all of them from the Universidad Autónoma de Madrid, España. She has worked for more than nine years in environmental footprint of mining activities on the aquatic ecosystem and environmental impact assessment of energetic resources. Currently, she is working in the Spanish Geological Service (IGME), España, focused in environmental footprint of mining waste and environmental risk assessment.

F.J. Fernández-Naranjo, received the degree in Geology with a specialization in Hydrogeology, Engineering & Environment, in 2000 from the Universidad Complutense de Madrid, España and the MSc degree in Mineral Resources Engineering, in 2005 from the Universidad Politécnica de Madrid, España. He has worked in mining for fifteen years, ten of them in the field of mining safety. Currently he is developing his work in the Spanish Geological Service (IGME), España, focused in the security aspects of tailings dams.

R. Rodríguez-Pacheco, achieved the degree in Geological Engineer, in 1989 from the Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Huguín, Cuba. He has a specialization in Hydrogeology, obtained in 1997 from Fundación

Centro Internacional de Hidrogeología Subterránea, Barcelona, España. In 2002, he got his PhD in Geology from the Universidad Politécnica de Cataluña, España. Currently, he is a full researcher in the Geological Service of Spain (IGME), España with the specialization in the management of tailings dams and hydrogeology in mine areas.

L. Vadillo-Fernández, achieved the degree in Mining Engineer, in 1984 from the Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, España, specialized in Geology and Geophysics. Currently, he is Head of Division Energy Resources and Sustainable Mining of the Geological Service of Spain (IGME), España, with the specialization in the Mining and Environmental Impacts.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Especialización en Aprovechamiento de
Recursos Hidráulicos
Especialización en Gestión Ambiental
Maestría en Ingeniería Recursos Hidráulicos
Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo
Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos
Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar

Mayor información:

E-mail: acia_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5105