Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería del carbón en la comarca de El Bierzo

GOBIERNO DE ESPAÑA
ciudad de la energía

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los Espacios Degradados por la Minería del Carbón en la Comarca de El Bierzo

Avelino García Álvarez. Coordinador y Editor
Departamento de Medio Ambiente
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

Francisco Cantó Portillo. Editor adjunto
Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN)

2010

GOBIERNO DE ESPAÑA
ciudad de la energía

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Avenida Complutense, 22, Madrid
Tel. (34) 913 466 000
Internet: www.ciemat.es

Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN)
II Avenida de Compostilla, 2, Ponferrada
Tel. (34) 987 456 3223
Internet: www.ciuden.es

Depósito legal: LE- 606-2010
ISBN: 978-84-693-1146-2

6.3 Sobre la compatibilidad de la minería del carbón a cielo abierto con la sostenibilidad ambiental. El caso de las cuencas de Teruel

José Manuel Nicolau Ibarra, M. Tíscar Espigares Pinilla, Luis Merino Martín, Mariano Moreno de las Heras, Sara Nyssen González y Silvia Pérez-Domingo

6.3.1 Introducción

La minería del carbón a cielo abierto se inició en Teruel en 1976. En estos más de treinta años de actividad se han abierto 24 explotaciones, ocupándose una superficie en torno a las 3.000 hectáreas. Tras tres décadas, se puede considerar que la actividad se encuentra actualmente en una etapa de madurez / senectud, con pocas, pero estables, empresas y explotaciones operativas. La experiencia aragonesa del carbón –aunque diferente a la berciana- puede tomarse como una referencia de la que extraer conclusiones útiles de cara a abordar la necesaria compatibilización entre minería y medio ambiente.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en cuanto a la adecuación ambiental de la minería tras los esfuerzos realizados por empresas, administraciones, mundo académico y sociedad civil.

En concreto analizaremos los siguientes aspectos:

- Papel jugado por los actores implicados: empresas, administraciones y sociedad civil.
- Evaluación cuantitativa de los cambios de usos derivados de la actividad a cielo abierto.
- Caracterización de la evolución y del estado de las restauraciones mineras.
- Estimación del impacto hidrológico de la minería.

La hipótesis de partida es que en una sociedad donde el dinamismo del mercado es la fuerza directriz, siempre quedará un pasivo ambiental (externalidades) al que tendrán que hacer frente las administraciones públicas y/o las generaciones futuras. La magnitud del pasivo dependerá de diversos factores, entre los que se cuentan: la disponibilidad de normativa ambiental, la planificación minera, el grado de compromiso ambiental de los actores implicados y la disponibilidad de protocolos de restauración efectivos.

6.3.2 Evolución ambiental del cielo abierto

Se han identificado tres etapas en la evolución ambiental de la minería a cielo abierto en Teruel.

La fase inicial ("*boom*" del cielo abierto) se caracterizó por la apertura de numerosas explotaciones (Figuras. 6.6 y 6.7) que no tenían obligación legal de restaurar al haberse tramitado antes de octubre de 1982, cuando entró en vigor el RD 2994/82. Entre 1979 y 1985 se duplica la producción de lignitos, pasando de 2 millones y medio de toneladas a 5, con un 60% de la producción provincial procedente del cielo abierto. La demanda de carbón causada por la puesta en funcionamiento de la central térmica "Teruel", en al municipio de Andorra, justifica en parte la apertura de tantas explotaciones.

La regulación u "ordenación" del sector la llevó a cabo ENDESA a través de los cupos de compra de carbón para la central térmica "Teruel" que la empresa asigna de forma discrecional. Desde mediados de los 80 los cupos se fueron restringiendo y, en consecuencia, numerosas explotaciones pequeñas dejaron de operar, quedando tres empresas dominantes con más del 95% de la producción y dos o tres con una actividad intermitente y menor. Las tres compañías principales son ENDESA, cuya actividad se ha desarrollado en Val de Ariño y en Gargallo-Estercuel; SAMCA, en Val de Ariño y Val de la Piedra (Foz-Calanda) y MFUSA, en la cuenca de Utrillas. La producción de esta última ha estado más vinculada a la central térmica de Escucha.

Una de las resultantes del cierre de las explotaciones fue su abandono sin llevar a cabo la restauración de las zonas afectadas por no haber obligación legal de hacerla.

La segunda etapa corresponde a lo que denominamos restauraciones de "Primera Generación" (Nicolau, 2003a). Se aplica el modelo topográfico "talud-cuneta-berma" consecuencia de trasladar el concepto de escombrera tradicional de la minería de interior a la escala mayor del cielo abierto. El relieve se conforma en escombreras en forma de pirámide truncada, de laderas rectilíneas y abruptas (taludes de 30º), y drenaje a base de cunetas, todo ello sobre-impuesto en el paisaje natural (Fig. 6.8). Con estas morfologías se perseguía

ocupar la menor superficie posible y conseguir estabilidad geotécnica, evitando movimientos en masa y las consecuencias de los posibles accidentes derivados. Sin embargo, esta topografía inmadura no es capaz de albergar ecosistemas funcionales donde desarrollar usos agrarios o naturales debido a su escasa capacidad de retención de agua y a la intensa erosión hídrica superficial a la que se ve sometida (Espigares *et al.* 2009). Y, por otro lado, emiten altas tasas de sedimentos y escorrentía a los cauces naturales, ocasionando un intenso impacto ambiental. Es decir, son estables geotécnicamente, pero no favorecen la estabilidad ecológica (Nicolau, 2003b).

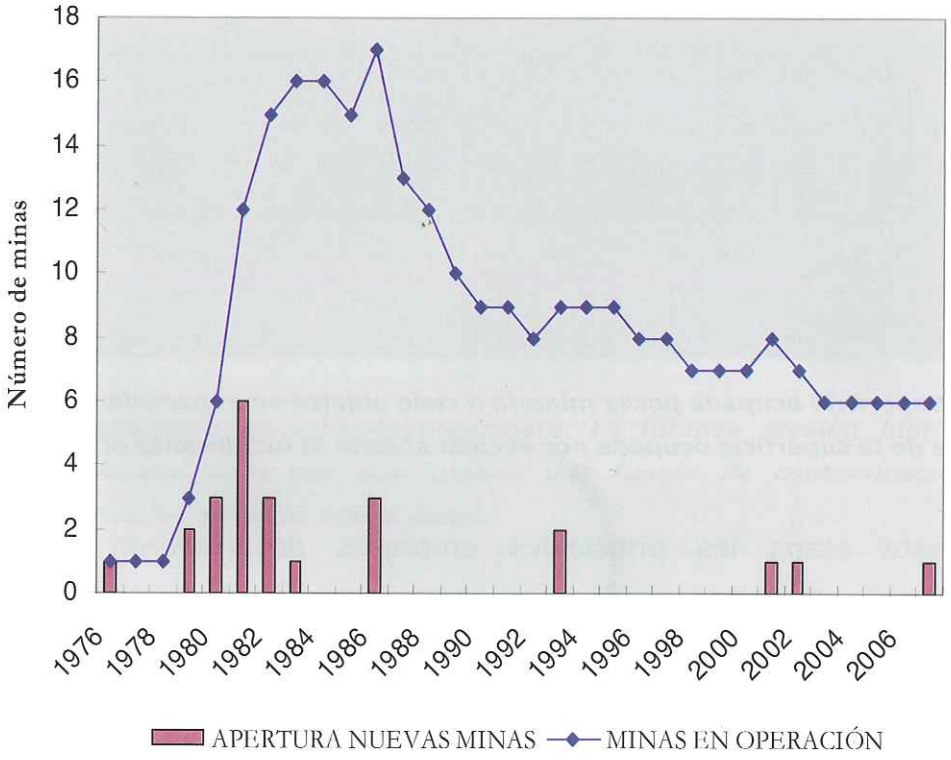


Fig.6.6. Número de minas de nueva apertura y operativas en el periodo 1976-2008. A principios de los años 80 se produjo el "boom" en la apertura de cielos abiertos

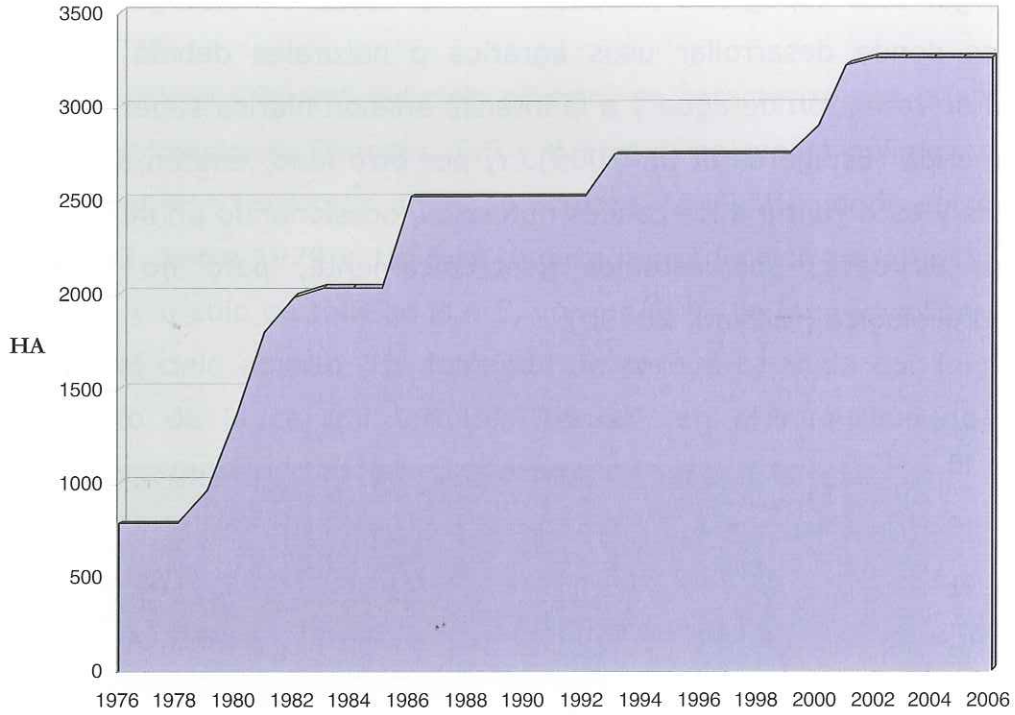


Figura 6.7. Superficie ocupada por la minería a cielo abierto en el periodo 1976-2006. La mayor parte de la superficie ocupada por el cielo abierto lo fue durante el "boom" inicial

En esta etapa las principales empresas desarrollaron técnicas de restauración más efectivas, preferentemente en relación al manejo de las tierras vegetales y a la revegetación con herbáceas y las plantaciones arbóreas. Este desarrollo de los métodos de restauración coincidió con la exigencia de la sociedad civil y de las administraciones locales de una mejora de los resultados de las restauraciones. Así, entre 1984 y 1985 tuvo lugar un conflicto entre vecinos de Alloza y ecologistas (OTUS-Ateneo) con ENDESA con motivo de la apertura de la corta Alloza en Val de Ariño. Se realizaron mesas redondas en el pueblo, concentraciones en Val de Ariño, así como una manifestación en Zaragoza de unas dos mil personas, en colaboración con la Coordinadora Ecologista de Aragón. El proyecto fue finalmente aprobado, aunque es probable que las movilizaciones surtieran un cierto efecto sobre el nivel de exigencia en las labores de restauración. Por otro lado en 1990 la *Coordinadora de Alcaldes de las Cuencas Mineras de Teruel* encargó un estudio a la consultora INYPSA

titulado "Estudio de Regeneración de Explotaciones Mineras de Lignitos en la Provincia de Teruel". El objetivo de esta iniciativa fue establecer criterios de actuación para la recuperación ambiental de las explotaciones.

Figura 6.8. Topografía en talud-berma-cuneta. La intensa erosión hídrica limita la colonización vegetal a la vez que supone una fuente de contaminación para los ecosistemas fluviales situados aguas abajo.

La administración autonómica, por su parte, aprobó una Orden (BOA, 10 Junio 1992) para la rehabilitación, con fondos públicos, de explotaciones y escombreras de la minería subterránea y a cielo abierto anteriores a los Reales Decretos, aunque no afectó a ninguna explotación de carbón a cielo abierto, sino a escombreras de minería de interior y de los antiguos lavaderos de carbón. Tras el traspaso de competencias ambientales desde el Estado a las Comunidades Autónomas, la Diputación General de Aragón desarrolló una normativa propia de restauraciones mineras en 1994 (Decreto 98/1994).

Desde mediados de la década de los 90 hasta la actualidad se puede identificar una tercera fase, denominada restauraciones de "Segunda Generación", caracterizadas por una topografía más suavizada y un manejo más experto de las técnicas de creación de suelo, de revegetación y de control de la escorrentía y los sedimentos. Corresponde con los modelos topográficos "Plataforma-talud suavizado" y "Cuencas" desarrollados por ENDESA y MFUSA, respectivamente (Figuras 6.9 y 6.10).

Figura 6.9. Topografía en "plataforma-talud suavizado". Explotación Gargallo, ENDESA.

En la Fig. 6.11 se representa la evolución ambiental de la minería en sus tres etapas conjuntamente con los eventos sociales más relevantes.

Figura 6.10. Topografía en "Cuencas". Explotación Alemanes, MFUSA

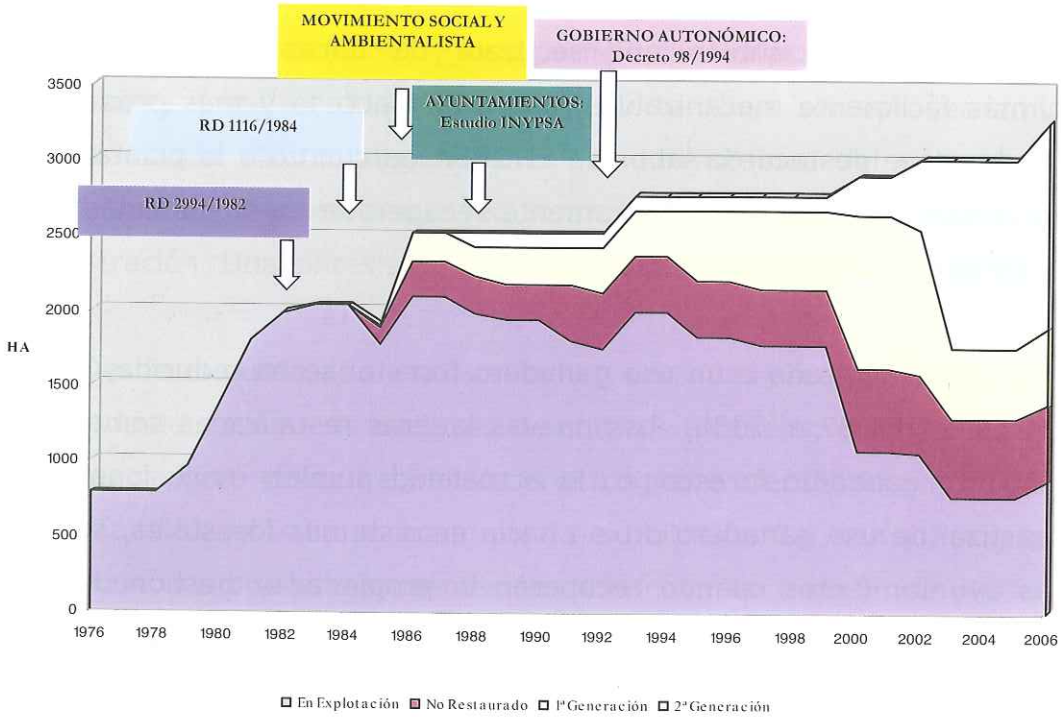


Figura 6.11. Evolución ambiental de la minería según los modelos de restauración topográfica. Se incluyen los eventos más relevantes desde el punto de vista social

6.3.3 Cambio de usos del suelo inducido por la minería a cielo abierto

Las 24 explotaciones a cielo abierto que existen en Teruel han ocupado una superficie de 3.266 ha hasta 2006. Esta cifra constituye un 0,22 % de la superficie provincial y el 0,5% y el 2,8% de las comarcas "Cuencas Mineras" y "Andorra-Sierra de Arcos", respectivamente. La mayor parte de la superficie correspondía originalmente a cultivos en secano de cereal (32%), matorral-pastizal (31%) y bancales abandonados (14%). Aproximadamente 1.517 ha de las ocupadas se han recuperado para otros usos tras el cese de la actividad minera; 865 ha, sin embargo, han quedado sin posibilidad de aprovechamiento. El resto, 884 ha, aún siguen en explotación.

La superficie cultivada se ha mantenido (del 41% en 1979 al 39% en 2006). Y, teniendo en cuenta que la superficie que queda en explotación será restaurada presumiblemente dentro de esta categoría, puede decirse que la superficie dedicada al cultivo se recuperará íntegramente e incluso que aumentará.

Hay que señalar también que se trata de fincas mayores que las originales, más fácilmente mecanizables, con mejor acceso y más productivas. En concreto hay que destacar la labor de ENDESA en cuanto a la plantación de frutales, cuya superficie estaba prácticamente recuperada en su totalidad ya en el año 2000 y que actualmente es mayor.

La superficie dedicada a un uso ganadero-forestal se ha reducido, en este caso en un 16% (del 37 al 21%). Las nuevas laderas restauradas sometidas a aprovechamiento ganadero-forestal en la actualidad pueden evolucionar hacia matorral-pastizal de uso ganadero o bien hacia ecosistemas forestales, según lo decidan los ayuntamientos cuando recuperen la propiedad y gestión de estas áreas. Por el momento, en la cuenca de Utrillas se ha preferido el uso ganadero tras la devolución de los terrenos a los antiguos propietarios. Estos están haciendo un uso inadecuado de los mismos por sobre-pastoreo lo que conduce a su degradación, por erosión intensa, y sin posibilidades de evolucionar hacia comunidades de mayor complejidad. Sin duda esta experiencia nos señala algo que hay que incluir en los protocolos de restauración: la necesaria ordenación de

las actividades a desarrollar en las zonas restauradas una vez son reintegradas por las empresas a los nuevos propietarios. Por tratarse de paisajes con un sistema de drenaje de aguas artificial y con suelos y comunidades vegetales todavía muy poco desarrollados que los hacen muy frágiles, es necesario elaborar un "Manual de Buenas Prácticas". Este habría de establecer, entre otras cosas, la carga ganadera que pueden soportar las superficies restauradas.

Por otro lado, tras la restauración ha aparecido un nuevo uso, los humedales, que ocupan el 5% del territorio. Se trata de un ecosistema que contribuye singularmente a incrementar el valor natural del paisaje, especialmente en el ambiente semiárido de la provincia. También cumplen funciones recreativas, para la pesca deportiva y como abrevaderos de ganado. Destaca el humedal de corta Alloza realizado con criterios ecológicos con la participación de investigadores del Instituto Pirenaico de Ecología (Comín *et al.* 2005).

La superficie improductiva ha pasado del 22% al 35%. Esta categoría incluye los afloramientos rocosos generados por la minería (2%), los taludes revegetados sin éxito (12%) y la superficie sin restaurar (escombreras, huecos, instalaciones mineras, 21%). Se trata de terrenos sin aprovechamiento que, además, tienen efectos negativos en los ecosistemas del entorno al producir impacto hidrológico, por lo que requieren una actuación enérgica por parte de la administración. Una síntesis de los cambios de usos se indica en la Fig. 6.12.

Desde el punto de vista cualitativo, entre las áreas desaparecidas merece la pena destacar algunos enclaves de cultivos arbóreos, como el olivar de la Val de Ariño, de gran calidad e interés ornitológico e identitario para los vecinos de Alloza. También el valle ocupado por la explotación Carmen y Pura, la Val de la Piedra, con una buena representación de encinar en umbría, de pinar natural en solana y de agroecosistema con setos y encinas en el fondo. Y finalmente, los pastizales húmedos de Palomar de Arroyos, situados en la umbría de la Sierra de San Just, rica en surgencias de agua, y por ello, muy adecuada para el uso ganadero.

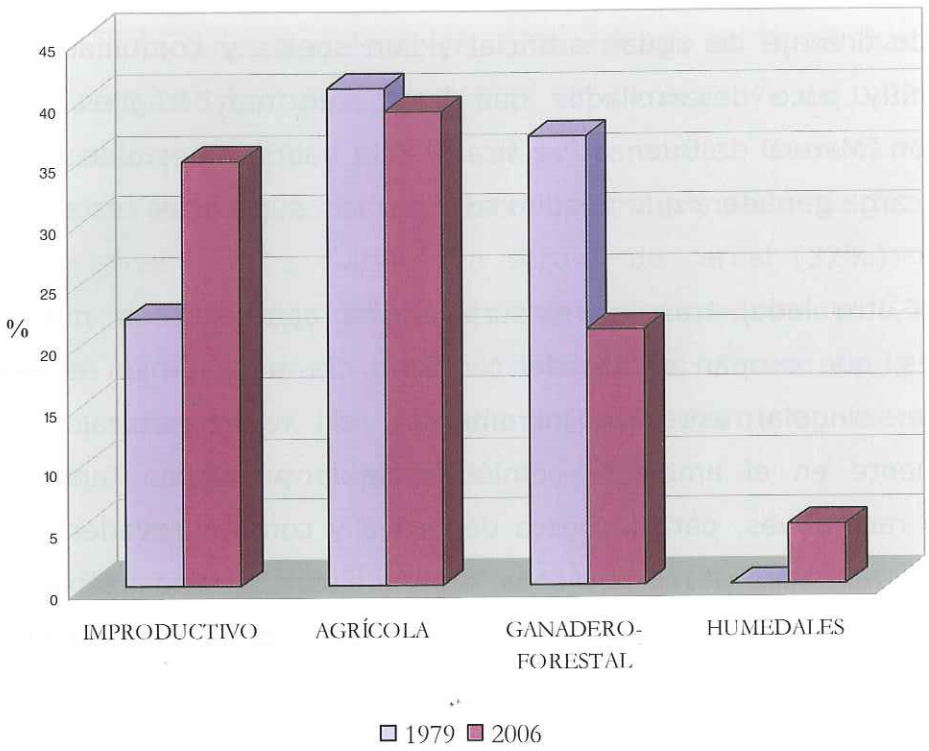


Figura 6.12. Cambios en los usos del suelo derivados de la minería a cielo abierto

Como síntesis, se puede afirmar que la minería a cielo abierto no ha supuesto una modificación en la estructura de usos con impacto socioeconómico en las comarcas mineras. Es destacable la mejora cualitativa en la agricultura de secano y la creación de espacios naturales (humedales). Sin embargo, son imprescindibles actuaciones que mitiguen el impacto hidrológico de las zonas improductivas.

6.3.4 Análisis de las restauraciones

Las minas anteriores a 1982 abandonadas sin restaurar

Las minas anteriores al RD 2994/82 abandonadas sin restaurar han dejado un paisaje formado por una serie de huecos de explotación inundados, escombreras interiores y exteriores sin restaurar, con escasa implantación de la vegetación e intensos fenómenos erosivos (cobertura vegetal menor del 5%, riqueza de especies vegetales inferior a 4 y tasa de erosión mayor de 30 t/ha

año; Moreno de las Heras *et al.* 2008). Estas minas constituyen un potencial foco de contaminación de los cauces fluviales naturales por la emisión de escorrentía y sedimentos; también intensifican los picos de crecida por su carácter más impermeable, incrementando el riesgo de inundaciones en las cuencas de los ríos Estercuel, Escuriza, Martín y Guadalope, y acelerando el proceso de colmatación de los embalses de Calanda, Gallipuen y Cueva Foradada. Otros problemas son el impacto paisajístico y la imposibilidad del aprovechamiento de los terrenos por las poblaciones locales.

Las restauraciones de Primera Generación

Las restauraciones de Primera Generación, basadas en el modelo "plataforma-talud-cuneta" se han dedicado al cultivo de secano en las plataformas. Sobre los taludes se extendió tierra vegetal (20-50 cm) realizándose labores de revegetación con mezclas comerciales de semillas de especies herbáceas (entre estas cabe destacar el uso de las siguientes especies: *Bromus willdenowii*, *Festuca rubra*, *F. arundinacea*, *Poa pratensis*, *Lolium perenne*, *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis* y *Onobrychis viciifolia*) y/o especies leñosas (fundamentalmente *Pinus halepensis*). Como se ha comentado, el relieve abrupto de los taludes, pistas y cunetas limita notablemente el desarrollo de la vegetación y se constituye en fuente de sedimentos que contaminan los cauces naturales (cubierta vegetal 15-25%, riqueza de especies 10-15 y tasa de erosión 10-20 t/ha año; Moreno de las Heras *et al.*, 2008). Este modelo no es sostenible a largo plazo.

Las restauraciones de Segunda Generación: El modelo plataforma-talud suavizado de ENDESA

Las restauraciones de Segunda Generación presentan un mejor comportamiento eco-hidrológico, que permite el desarrollo de la vegetación (pinares, matorrales) y reduce drásticamente los impactos hidrológicos (cubierta vegetal 35-45%, riqueza de especies 10-20 y tasa de erosión menor de 5 t/ha año; Moreno de las Heras, 2008).

Se han aplicado dos modelos de relieve. El primero es el modelo plataforma-talud suavizado desarrollado por ENDESA. La restauración se orienta hacia los usos agrarios, llegando a ser una referencia en el ámbito internacional. Los proyectos más avanzados constan de: a) Amplias plataformas donde se cultiva una variada diversidad de especies de secano b) Taludes suavizados en los que se han implantado comunidades forestales que alcanzan ya un buen desarrollo (Badía *et al.* 2007) y c) Humedales que aportan un valor estético y de naturalidad y biodiversidad a los agroecosistemas.

Este modelado permite un buen desarrollo de la vegetación y el control de las aguas superficiales, pues los taludes generan reducidas cantidades de escorrentía y sedimentos. Sus principales limitaciones son, por un lado, la generación de escorrentías en las pistas, que, en ocasiones, produce encajamientos de las cunetas y emisiones de sedimentos a los cauces naturales aguas abajo de las zonas restauradas, y por otro, su menor naturalidad, debido al carácter rectilíneo de las formas del paisaje y la baja variedad de hábitats.

En la actualidad se está llevando a cabo un trabajo experimental entre ENDESA, el Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) y la Universidad de Alcalá (UAH) a fin de mejorar el manejo de la escorrentía, en la línea que se indica en el apartado siguiente (Pérez-Domingo *et al.*, 2008).

Las restauraciones de Segunda Generación: El modelo Cuencas de MFUSA

En la cuenca de Utrillas las primeras restauraciones de los años 80 corresponden al modelo talud-cuneta-berma y siguen ocasionando un fuerte impacto hidrológico. La evolución de las restauraciones llevó a desarrollar el modelo de restauración en cuencas, lo que ha supuesto una relevante contribución al mundo de la restauración minera a nivel internacional (Nicolau & Moreno 2005).

A nivel conceptual este modelo se basa en el manejo experto de la escorrentía como la piedra angular sobre la que construir la restauración. Para ello, tanto la conformación del relieve (en cuencas) como el manejo de los

sustratos y la revegetación han de orientarse hacia la máxima reducción de las escorrentías.

La aplicación de este concepto en la cuenca de Utrillas por el equipo del ingeniero D. Luis Jiménez Alcaraz se basó en la compartimentación de las áreas restauradas, dividiéndose en cuencas hidrológicas independientes, con una gran capacidad de almacenar y regular en sí mismas la escorrentía procedente de la precipitación pluvial. Estas cuencas se hallan conectadas con la red de drenaje natural, recibiendo caudales de los barrancos situados aguas arriba y vertiéndolos aguas abajo en los eventos extremos, tras ser regulados internamente en los antiguos huecos de explotación restaurados como embalses que actúan de estructura de seguridad que amortigua los picos de crecida y retiene sedimentos. La restauración de estos embalses como zonas húmedas incrementa el valor ecológico y paisajístico de la restauración (Minas y Ferrocarril de Utrillas, 2001).

La red de drenaje está formada por pequeñas balsas de regulación a la entrada de los barrancos naturales y de los manantiales en el área restaurada, balsas de regulación intermedias y embalses finales situados en el extremo de la red de drenaje artificial, antes de su conexión con la red natural aguas abajo. Este sistema ha demostrado ser eficaz para el control de las escorrentías internas, evitándose las afecciones de las tormentas sobre los cauces naturales situados aguas abajo.

Las plataformas se dedican al cultivo de cereal y en las laderas se han establecido pastizales para el aprovechamiento ganadero. La construcción de las laderas artificiales en Utrillas presenta las siguientes características:

- Pendiente entre 18º y 21º.
- Aislamiento de la ladera de las escorrentías procedentes de las plataformas, pistas, o de las bermas superiores.
- Extendido de una capa de tierra vegetal de unos 50 cm. de espesor.
- Labrado transversal a la pendiente. Labor profunda.
- Aplicación de purines. Labrado para evitar los olores de los purines
- Siembra de la mezcla de herbáceas a finales de febrero tras el frío invernal.

- Labor superficial para el enterramiento de las semillas.
- Dos años después, en febrero, se realiza la plantación de vegetación leñosa.

La restauración de la última explotación, la mina Vinagre, se orientó hacia el turismo cultural. Para ello, en el hueco final, se dejaron visibles, sin rellenar, algunas estructuras geológicas de interés científico y didáctico habilitándose un mirador.

Otro elemento destacable de estas restauraciones es el aprovechamiento de oportunidades que ofrecía el terreno para crear una mayor heterogeneidad de hábitats. Se trata de actuaciones no previstas en los proyectos de restauración y que surgen sobre la marcha. Se han creado humedales dejando sin rellenar parte de los huecos de explotación para que quedasen en superficie estratos de arenas, acuíferos (de la Formación Utrillas) que dan lugar a agua emergente. Esta entrada de agua freática ha permitido la construcción de humedales y de cauces con vegetación de ribera. Se han dejado rodales de vegetación natural sin desmontar por la explotación enclavados dentro del área restaurada. Se han dejado escarpes rocosos en el área restaurada, sin ser afectados por la explotación, que mejoran estéticamente el paisaje y constituyen el hábitat de especies rupícolas. Se aprovechó el ligero hundimiento del terreno en alguna plataforma de cultivo por el fenómeno de subsidencia para crear un humedal.

En la actualidad, y tras la finalización de la actividad minera por parte de la compañía MFUSA, la propiedad de los terrenos restaurados ha sido transferida a los ayuntamientos y propietarios privados. Los principales usos que se realizan son la agricultura cerealista, la ganadería y el uso recreativo (pesca, senderismo), a los que hay que sumar el valor como espacios naturales de los humedales. Por sus especiales características hidrológicas y sus valores naturales, las zonas restauradas deberán tener unas normas de uso y gestión especiales que garanticen su conservación a la par que su aprovechamiento productivo. En algunos casos, los nuevos aprovechamientos han producido una severa degradación de la cubierta vegetal por sobre-pastoreo, alteración de cauces y abarrancamientos en laderas por prácticas agrícolas inadecuadas.

Funcionamiento eco-hidrológico de las restauraciones

Las investigaciones realizadas por nuestro equipo van arrojando luz sobre el funcionamiento ecológico e hidrológico de las zonas restauradas, lo que da paso a propuestas de protocolos de restauración más eficaces.

A escala regional se han identificado los principales factores que controlan la colonización vegetal de las escombreras mineras (Moreno de las Heras *et al* 2008). En condiciones de sustratos ácidos la colonización vegetal se ve muy limitada, prácticamente es inexistente, dado que la flora del entorno es basófila. En la zona oriental de la provincia, bajo mayor influencia mediterránea y donde los taludes fueron recubiertos con tierra vegetal aunque no revegetados, hay una activa colonización vegetal que es controlada por la distancia a que se encuentran los remanentes de vegetación natural que actúan como fuentes de propágulos. En la zona occidental, de carácter más continental, las herbáceas sembradas inhiben el establecimiento de las plantas del entorno. Cuando alguna perturbación –pastoreo o ataques fúngicos sobre las especies herbáceas mayoritarias- abren huecos, la colonización es factible.

Existe otro factor limitante más: el efecto erosivo de la escorrentía superficial. Este se ve favorecido por la impermeabilidad del sustrato y/o por morfologías topográficas convexas o abruptas en la parte superior de los taludes, o por conexiones con flujos hídricos procedentes de pistas o bermas externas a las laderas. En este sentido, diferentes investigaciones desarrolladas en relación a los efectos de la erosión en regueros sobre el desarrollo del suelo y la vegetación han identificado la entrada de escorrentía exógena por la parte superior de los taludes como una importante fuente de inestabilidad que hay que evitar a toda costa (Hancock y Willgoose, 2004; Moreno-de las Heras *et al.*, 2008; Espigares *et al.*, 2009).

Asimismo ha podido establecerse que el principal efecto restrictivo de la erosión sobre la vegetación es la disminución del contenido de humedad edáfica a que da lugar la evacuación eficiente de la escorrentía por parte de los regueros. La intensificación del déficit hídrico propiciada por la erosión en regueros condiciona notablemente la colonización vegetal. En concreto se ha

comprobado que limita la germinación de las semillas, la supervivencia y la producción de semillas de las plantas (Espigares *et al* 2009).

Los regueros además, ocasionan la redistribución del agua en la ladera (concentrando la humedad del suelo en la base de los regueros), lo que afecta también a la distribución espacial de las plantas. Así, a partir de densidades de regueros de 0,60 m/m^2 sólo una comunidad pauciespecífica de *Medicago sativa* (alfalfa) es capaz de desarrollarse, concentrándose los individuos en los bordes entre los interregueros y los regueros (áreas donde estas plantas minimizan los niveles de estrés hídrico y, a la vez, evitan el fuerte impacto mecánico generado por los flujos concentrados de escorrentía). En estas condiciones, las pérdidas directas de recursos hídricos de las laderas en forma de escorrentía superficial representan más del 20% de la precipitación anual (Moreno de las Heras, 2009).

Por otro lado, las restricciones impuestas por la erosión al desarrollo vegetal dificultan considerablemente la incorporación de materia orgánica en el suelo. En consecuencia, los procesos de desarrollo y organización espacial de la estructura física y funcionalidad biológica del suelo se ven drásticamente limitados. Entre ellos, el desarrollo de la estabilidad de los agregados, el tamaño de las poblaciones microbianas y su actividad , así como la mineralización de la materia orgánica y el reciclado de elementos nutrientes del suelo (nitrógeno y fósforo). Incluso en condiciones de erosión moderada los procesos de formación edáfica son considerablemente lentos, probablemente debido a las pequeñas cantidades de materia orgánica acumuladas en el suelo (en general inferiores al 2%). Ello subraya la importancia de incluir enmiendas orgánicas dentro de las operaciones generales de restauración minera en ambientes mediterráneos (Moreno de las Heras, 2009b).

En síntesis, se han identificado tres posibles trayectorias de evolución para los sistemas de ladera restaurados (Moreno de las Heras, 2009): a) hacia la degradación, caracterizada por la reguerización y la formación de una comunidad muy poco productiva de alfalfa b) hacia la agradación, con la formación comunidades mixtas de matorral y gramíneas dominadas por *Genista scorpius y* c) una situación intermedia sobre cuya evolución existe incertidumbre. Con niveles de cubierta vegetal inferiores al 30% y tasas de erosión en regueros

superiores a 20 t ha^{-1} $año^{-1}$ la dinámica del sistema conduciría a situaciones de degradación. Con niveles superiores al 50% de cobertura vegetal y tasas de erosión en regueros inferiores a 5 t ha^{-1} $año^{-1}$, la dinámica del sistema conduciría a situaciones de desarrollo vegetal. En los niveles intermedios (5-20 t ha^{-1} $año^{-1}$ y 30-50% de cobertura vegetal) se organiza una cubierta vegetal discontinua en un patrón de matas y claros. En un reciente experimento aún no publicado se ha confirmado que el flujo de escorrentía desde los claros hacia las matas favorece a las plantas de las manchas de vegetación, que, al disponer de más agua, sufren menor estrés hídrico y desarrollan una mayor biomasa (L. Merino y T. Espigares com. personal). Cuando las condiciones favorecen el desarrollo de la vegetación (porque el volumen de escorrentía circulante por la ladera es menor) *G. scorpius* genera islas de fertilidad facilitadoras que controlan el balance hídrico en la ladera. Además, esta especie tiene capacidad de establecerse en los claros, contribuyendo al cerramiento del dosel arbustivo-herbáceo y a una optimización del uso del agua en la ladera.

Desde el punto de vista de la práctica de la revegetación en campo, se extraen dos conclusiones importantes de los resultados expuestos en los párrafos anteriores. Por un lado, el hecho de que a partir de una cubierta de herbáceas del 50% los procesos erosivos son controlados por el desarrollo vegetal obtenido (Moreno de las Heras *et al.*, 2009), permite definir mejor cuál ha de ser el objetivo de esa primera etapa de la revegetación. Para la fase de introducción de vegetación leñosa, la efectividad de las islas de fertilidad de *G. scorpius* en el control de la escorrentía y en el desarrollo de la comunidad vegetal, constituye una referencia para llevar a cabo un nuevo diseño de las revegetaciones alternativo a las plantaciones lineales.

Finalmente, hay un gran factor adicional del que depende la evolución de la vegetación en las laderas restauradas: la existencia de remanentes de vegetación que actúen como fuentes de propágulos. En la cuenca de Utrillas, donde ya se han establecido comunidades de matorral dominado por aliaga, la ausencia de manchas de vegetación natural en el entorno de las áreas mineras restauradas hace presagiar un estancamiento del proceso de sucesión que, de haber dispersión de semillas, podría dar lugar a una diversidad de comunidades arbóreo-arbustivas. Por ello, cabría plantearse la introducción de especies

mediante actuaciones de revegetación veinte años después las primeras actuaciones de restauración.

6.3.5 El resultado final de las restauraciones

En 2006 el 15% de la superficie total correspondía a explotaciones no restauradas; el 16% a primera generación; el 42% a Segunda Generación, estando en explotación activa un 27% (Fig. 6.13).

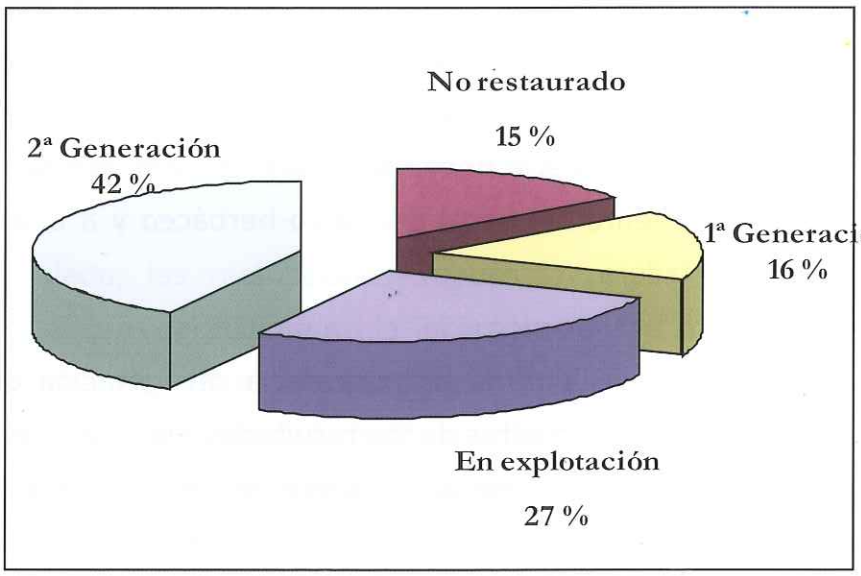


Figura 6.13. Distribución de la superficie afectada por la minería según su estado operativo y el tipo de modelo topográfico en 2006

Excluyendo la superficie actualmente en explotación -que previsiblemente, tendrá una restauración exitosa- el legado ambiental de estos 30 años puede resumirse en que se ha generado un pasivo ambiental del 33% (explotaciones no restauradas más explotaciones restauradas sin éxito) y un 67% restaurado con éxito (Fig. 6.14). Se ha considerado el éxito de la restauración cuando se han establecido a la vez plataformas agrícolamente productivas y taludes en los que la vegetación no tiene comprometido su desarrollo a causa de la erosión en regueros. Este criterio se ha establecido si las laderas no presentaban regueros visibles en la fotografía aérea y poseían una cobertura vegetal superior al 30% y se fundamenta en los umbrales identificados por Moreno de las Heras (2009). La

distribución de las explotaciones según el tipo de restauración se presenta en la Fig. 6.15.

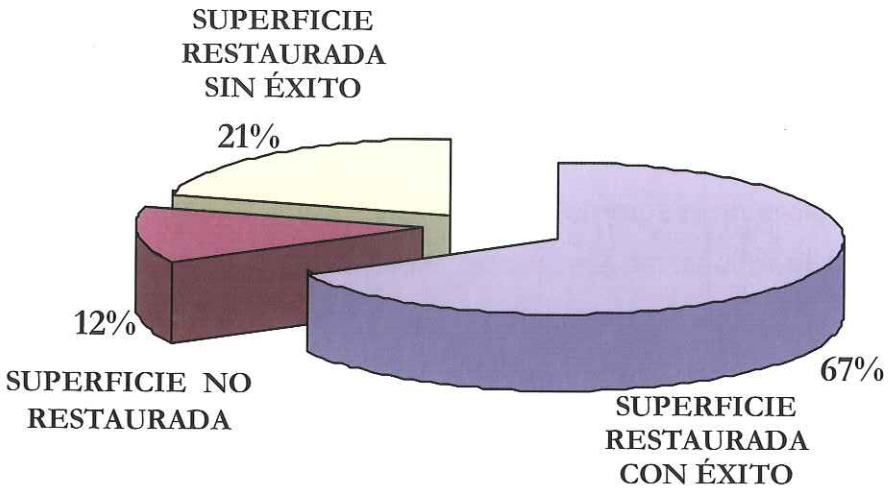
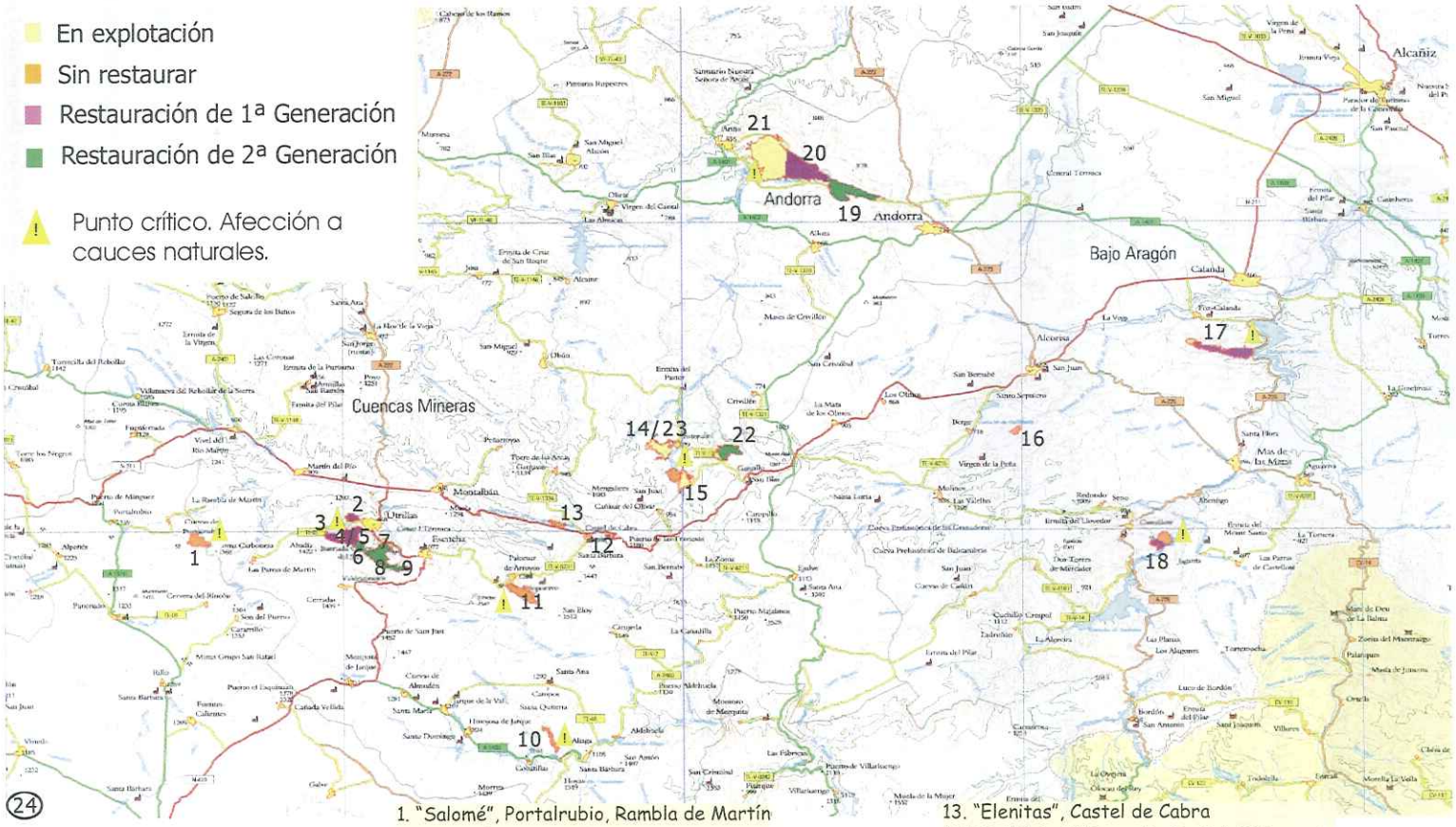


Figura 6.14. Distribución porcentual de la superficie ocupada por las explotaciones que han cesado ya la actividad extractiva según el estado de la restauración



1. "Salomé", Portalrubio, Rambla de Martín
2. "Murciélago", Utrillas
3. "Yermegada", Utrillas
4/5. "Umbrión/Sabina", Utrillas
6. "Vinagre", Utrillas
7. "El Moral", Utrillas
8. "Alemanes", Utrillas
9. "Bal-balsete", Utrillas, Escucha
10. "Los Ángeles", Aliaga
11. "Ernesto Ferrer", Palomar de Arroyos
12. "Covadonga", Castel de Cabra
13. "Elenitas", Castel de Cabra
14/23. "Elvira"/"Gargallo Oeste", Estercuel
15. "Mi Viña", Estercuel
16. "El Corredor", Berge
17. "Carmen y Pura", Foz-Calanda
18. "Palestina II", Castellote
19. "Barrabasa", Andorra, Alloza
20. "Alloza", Alloza
21. "Santa María", Ariño, Alloza
22. "Gargallo", Gargallo
24. "Paula", Camañas (No está representada)

Figura 6.15. Localización de las explotaciones a cielo abierto en la provincia según el tipo de restauración

6.3.6 Impacto hidrológico

El principal problema ambiental que ocasionan estas mil hectáreas de pasivo ambiental ocasionado tras la minería es, además de su carácter improductivo, el impacto hidrológico sobre los cauces naturales al ser importantes fuentes de escorrentía y sedimentos. La aplicación del programa *RUSLE 1.06 for mined lands, constructed sites and reclaimed lands* ha permitido disponer de una referencia sobre la magnitud del impacto hidrológico e identificar las principales minas que son focos emisores de sedimentos a los cauces naturales (Nyssen, 2007; Nyssen y Nicolau 2008).

Las estimaciones del modelo ponen de manifiesto que unas pocas explotaciones concentran el mayor peso en la emisión de sedimentos hacia los ríos de la provincia (Fig. 6.16). La mina Santa María emitiría casi una tercera parte de los sedimentos, las minas Umbrión-Sabina y Yermegada un 20% y Ernesto Ferrer (13%). Ello produce un mapa en el que la Val de Ariño, el río Mena en la cuenca de Utrillas, el río Palomar y el río Estercuel aparecen como los principales receptores de las emisiones de la minería del carbón (Fig. 6.17). Por otro lado, la mayor parte de los sedimentos se vierte a cauces permanentes, de mayor capacidad de dispersión por la red fluvial que los efímeros.

La magnitud del impacto hidrológico está en función de la superficie de cada mina conectada con la red fluvial y de la proporción en ellas de las unidades hidrológicas más erosivas, que son los taludes con redes de regueros. Esto está asociado a las restauraciones de Primera Generación (Fig. 6.18). Las de Segunda Generación con modelado topográfico en cuencas están desconectadas de la red fluvial, por lo que no emiten sedimentos. Las de Segunda Generación con modelado plataforma-talud-cuneta "ecológico" presentan aportes muy reducidos, mientras que las no restauradas tienen poca superficie conectada, por lo que su impacto hidrológico es menor del que cabría esperar, ya que la mayor parte de sus superficies vierten al hueco de explotación abandonado.

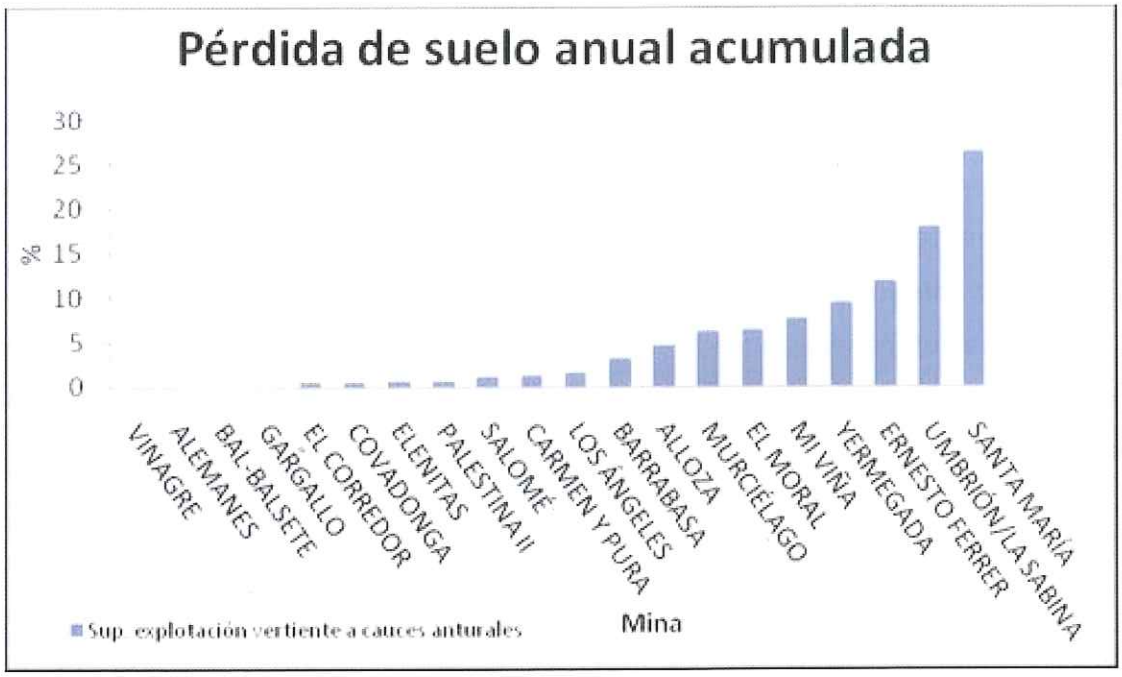


Figura 6.16. Emisión de sedimentos de las minas de Teruel, en porcentaje del total

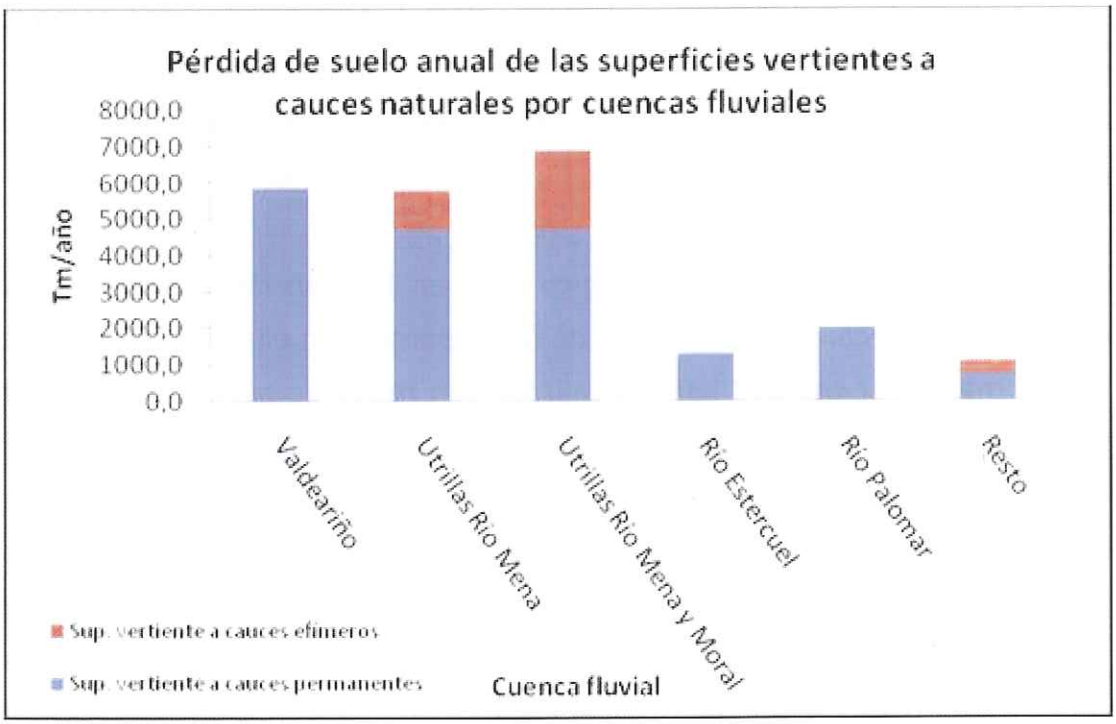


Figura 6.17. Emisión de sedimentos por cuencas hidrográficas

La pérdida anual de suelo (tm/año) de cada explotación puede ser un criterio cuantitativo para proponer una priorización de las explotaciones a la hora de su restauración por parte de las administraciones, a fin de reducir el impacto hidrológico. Este criterio debería complementarse con otros relativos al estado de conservación y resiliencia de los ecosistemas acuáticos receptores.

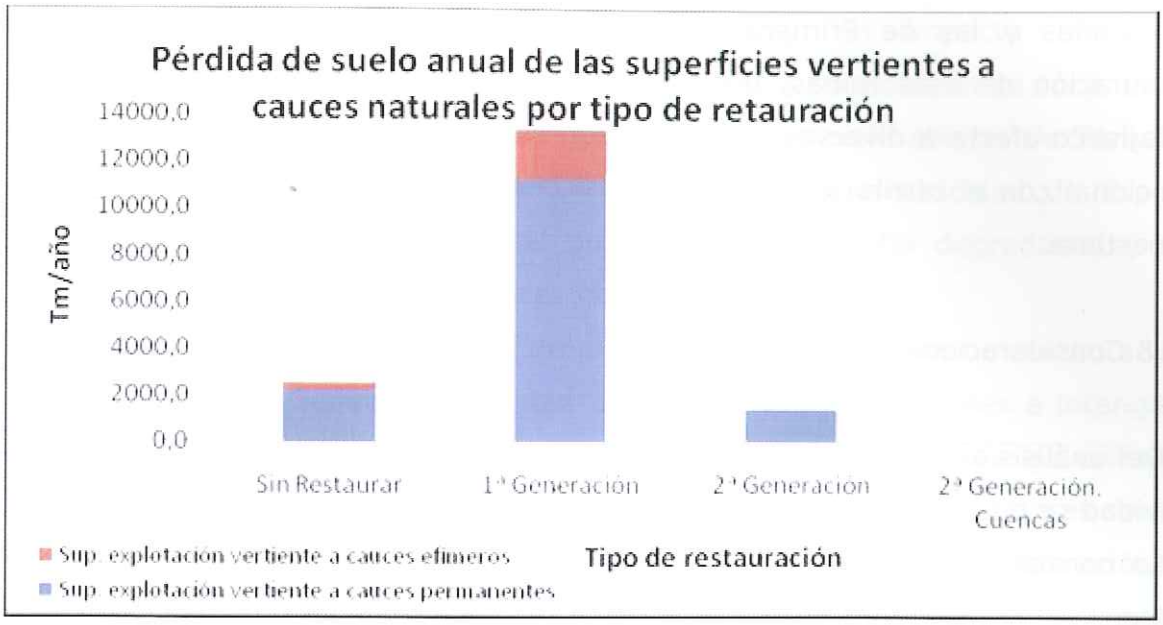


Figura 6.18. Emisión de sedimentos según el tipo de restauración

6.3.7 La minería del carbón a cielo abierto en Teruel y el desarrollo sostenible

El bienestar de la sociedad se sustenta en los servicios de la tecnología y en los que nos brindan los ecosistemas. Una estimación del valor económico de éstos se sitúa entre una y tres veces el producto mundial bruto (Costanza *et al* 1997). De esta manera, desde una perspectiva ecológica, el desarrollo sostenible es el que sostiene, mantiene y conserva los servicios ecosistémicos imprescindibles para nuestro bienestar. Como la tecnología ocasiona impacto ambiental, reduce los servicios que recibimos de los ecosistemas. Por ello se ha de llegar a un compromiso entre tecnología y naturaleza.

La aplicación de la "tecnología" del cielo abierto en Teruel en estas tres décadas ha permitido extraer carbón para generar entre un 0,7 y 2 % de la electricidad de España. Esta ha sido la aportación de la tecnología. En el otro lado de la balanza, las pérdidas como pasivo ambiental, se sitúan las cerca de

1.000 has degradadas en la provincia y su efecto negativo sobre los cauces naturales y la calidad del agua. Los efectos sobre los usos del suelo han sido muy escasos (especialmente sobre el potencial agrícola).

Este análisis a escala macro ha de complementarse por otros a escala micro. En este sentido, a los ayuntamientos y vecinos afectados por las minas no restauradas y las de Primera Generación les asiste el derecho a exigir la restauración de esas minas, pues además del impacto hidrológico, el de tipo paisajístico afecta a diversos valores intangibles relacionados con su vinculación emocional con el territorio, con la construcción de sus señas de identidad y su autoestima.

6.3.8 Consideraciones finales

Del análisis ambiental de la minería del carbón a cielo abierto tras 30 años de actividad se pueden extraer las siguientes consideraciones:

- La normativa ambiental de 1982 marcó un antes y un después, por lo que legislar resulta urgente para adecuar ambientalmente cualquier proceso productivo.
- Con ordenación minero-ambiental se podría haber evitado la degradación de un 15% del área: la que corresponde a las explotaciones llevadas a cabo en la fase inicial por pequeñas empresas, que se abandonaron sin restaurar. Finalmente, fue el mercado quien realizó la ordenación que no llevó a cabo con carácter previo la administración.
- El desarrollo de métodos de restauración efectivos implicó una década de esfuerzos a las grandes empresas del sector, que actuaron desde su compromiso con el territorio turolense. Es decir, aprender a restaurar lleva tiempo y requiere de un cierto compromiso con el territorio por parte de las empresas, así como llevar a cabo proyectos de investigación para desarrollar y/o adecuar los métodos de restauración.
- La Restauración es un instrumento necesario pero no suficiente para la óptima adecuación ambiental de la minería a cielo abierto.
- El esfuerzo de restauración de algunas empresas en colaboración con centros de investigación ha generado un activo ambiental, destacando el modelo de

cuencas y la implantación de vegetación arbórea (cultivos y forestal) en condiciones semiáridas.

- El concepto básico para que una restauración minera pueda ser exitosa a largo plazo es el manejo experto de la escorrentía, mediante la adecuada conformación del relieve, el manejo del sustrato y la revegetación.
- El desfase entre el dinamismo del mercado y el de la protección ambiental deja un legado de áreas improductivas y un impacto hidrológico (externalidades) al que tendrá que hacer frente la sociedad en su conjunto.
- El análisis a escala macro indica que la minería a cielo abierto de Teruel ha servido para generar entre el 0,7 y el 2% de la electricidad de España, generando un pasivo ambiental de cerca de 1.000 ha degradadas y que contaminan las aguas y los cauces naturales.
- El análisis a escala micro pone de manifiesto que las minas no restauradas y las de Primera Generación afectan a diversos valores tangibles e intangibles del territorio, que son muy importantes para los habitantes de las comarcas mineras. Por ello, les asiste el derecho a exigir la restauración de esas minas.
- Un criterio para establecer un orden de prioridades en la restauración del pasivo minero por parte de las administraciones públicas es el impacto hidrológico que ocasiona las explotaciones.

Capitulo 6.2. Perspectivas de la restauración en la situación económica actual

Fundación para Estudios sobre la Energía, VV.AA. (2008). *El Futuro del Carbón en la Política Energética Española*. Fundación para Estudios sobre la Energía, Madrid, 256 pp.

Rojo, T (1999). *El Futuro de las Cuencas Mineras de Castilla y León. Sociología Rural Prospectiva*. Fundación Santa Bárbara, León, 374 pp.

Sánchez Melado, J. (2006). *Crisis de la Minería del Carbón y Transformación del Espacio: El Caso de las Cuencas Orientales Leonesas*. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, 1067 pp.

Sánchez Melado, J. (2007). La reestructuración de la minería leonesa. *Pecvnia*, 4: 171-199.

Capitulo 6.3. Sobre la compatibilidad de la minería del carbón a cielo abierto con la sostenibilidad ambiental. El caso de las cuencas de Teruel

Badía, D., Valero, R., Gracia, A., Martí, C., Molina, F. (2007). Ten-year growth of woody species planted in reclaimed mined banks with different slopes. *Arid Land Research and Management*, 21:67-79.

Comín, F. A., Menéndez, A., Pedrocchi, C., Moreno, S., Sorando, R., Cabezas, A., García, M., Rosas, V., Moreno, V., González, E., Gallardo, B., Herrera, J. A., Ciancarelli, C. (2005). Wetland Restoration: Integrating Scientific-Technical, Economic and Social Perspectives. *Ecological Restoration*, 23(**3**): 182-186.

Costanza, R., Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O´Neill,R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 257-260.

Espigares, T., Moreno de las Heras, M., Nicolau, J.M. 2009. Performance of vegetation in reclaimed slopes affected by soil erosion. *Restoration Ecology*, D.O.I.: 10.1111/j.1526-100X.2009.00546.x.

Minas y Ferrocarril de Utrillas (2001). *Diseño de la morfología y red de drenaje en las restauraciones mineras*. Informe de difusión de proyectos nº 74. Oxicarbón-CIEMAT. Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 36 pp.

Moreno de las Heras, M. (2009). *Efectos ecológicos de la erosión en laderas derivadas de la restauración de la minería a cielo abierto.* Tesis Doctoral. Departamento de Ecología. Universidad de Alcalá. Madrid.

Moreno-de las Heras, M. (2009). Development of soil physical structure and biological functionality in mining spoils affected by soil erosion in a Mediterranean-Continental environment. *Geoderma*, 149: 249-256.

Moreno de las Heras, M., Nicolau, J.M., Espigares, T. (2008). Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering*, 34:168-178.

Moreno de las Heras, M., Merino, L., Nicolau, J.M. (2009). Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*, 77: 39-47.

Nicolau, J.M. (2003a). Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados. Implicaciones ecológicas. En: *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Posibilidades y limitaciones* (Rey Benayas, J.M., Espigares, T. y Nicolau, J.M., Eds). Universidad de Alcalá, Madrid, pp: 174-186

Nicolau, J.M. (2003b). Trends in relief design and construction in opencast mining reclamation. *Land Degradation and Development*, 14: 215-226.

Nicolau, J.M., Moreno, M. (2005). Opencast mining reclamation. In: *Forest Restoration in Landscapes: Beyond planting Trees.* (Mansourian, S., Vallauri, D., Dudley, N., Eds). WWF/Springer, Berlin. Germany, pp: 370-376.

Nyssen, S. (2007). *Estimación del impacto hidrológico de la minería del carbón a cielo abierto en Teruel.* Proyecto Fin de Carrera. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Alcalá.

Nyssen, S., Nicolau, J.M. (2008). Estimaciones de las emisiones de sedimentos de la minería del carbón a cielo abierto en Teruel mediante RUSLE 1.06. En: *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008* (Benavente, J. y Gracia F.J., Eds). Sociedad Española de Geomorfología. Universidad de Cádiz, Cádiz, pp: 157-160.

Pérez-Domingo, S., Nicolau, J.M., Comín, F., González, S., Trabucchi, M., de Miguel, L. (2008). Restauración geomorfológica de la minería de carbón a cielo abierto: hacia el modelado en cuencas hidrológicas. En: *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008* (Benavente, J. y Gracia F.J., Eds). Sociedad Española de Geomorfología. Universidad de Cádiz, Cádiz, pp: 161-164.