

LA EROSIÓN ENTRE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE

Discurso de ingreso como Académico Correspondiente del Ilmo. Sr. D. Francisco López Bermúdez, el 5 de julio de 2012 en la clausura del curso académico 2011-2012

INTRODUCCIÓN

La Tierra es un planeta, una ínfima parte del vasto universo que está en continuo cambio por eventos y procesos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, físicos, químicos y biológicos ligados a leyes universales, que de una manera u otra contribuyen a las distintas formas que tienen los paisajes terrestres. La Tierra, es el hogar de todos los seres vivos y suministra todos los recursos que sostienen la vida. La especie humana es parte de la naturaleza, y la vida depende del funcionamiento ininterrumpido de los sistemas naturales y de unos recursos imprescindibles y, muchas veces limitados, que son fuente de energía y alimento como el aire, el agua dulce, el suelo fértil y la biodiversidad.

La Tierra es un planeta vivo, cambiante, en continua transformación a través de fenómenos dinámicos que la modifican y originan paisajes. Los escenarios naturales actuales son el resultado de la continua interacción de procesos geodinámicos complejos durante millones de años, su dinámica interna está caracterizada por una enorme energía que mueve las placas tectónicas y fenómenos asociados como el vulcanismo, la sismicidad, la formación de vastos macizos montañosos, las cordilleras de montañas, etc.

Por otro lado, la atmósfera que la envuelve, es causa fundamental de la dinámica externa cuyas manifestaciones más importantes son los procesos de erosión, transporte y sedimentación ligados al ciclo hidrológico. La erosión y la distribución de los materiales liberados por ella, tienden a nivelar las irregularidades y desniveles originados por la interacción entre las dinámicas interna y externa; la conexión de sus energías tiene una capacidad creadora sin límites y alberga una gigantesca biblioteca de modelados. Genera una naturaleza imponente (Fig.1), un mundo en movimiento, dinámico, usando infinitos lenguajes mediante los modelados terrestres. Dice mucho a través de

un gran número procesos físicos, químicos y biológicos fuertemente conectados y forman un complejo sistema sensible capaz de regularse por si mismo como sostiene la hipótesis de Gaia formulada en los años 70 por Lovelock y Margulis.



Fig. 1. La interacción entre la geodinámica interna y externa del planeta Tierra tiene una capacidad creadora asombrosa, y origina paisajes naturales de extraordinaria belleza y seducción. Torres del Paine (Patagonia chilena).

En la actualidad, la naturaleza primigenia se halla forzada por el hombre, se asiste a una transformación del sistema terrestre, a causa de la enorme presión ejercida sobre los sistemas ambientales, que ha desembocado en el fenómeno del cambio global a nivel planetario cuyos principales motores son el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y los procesos de erosión y de desertificación. La humanidad, hoy, se enfrenta a problemas ambientales, que a la vez, son económicos, sociales y políticos derivados de la sobreexplotación y degradación de los ecosistemas y suelo fértil.

Los suelos productivos para la agricultura se están reduciendo de modo preocupante, siendo la erosión una de las principales causas (Fig.2).



Fig. 2. La erosión del suelo es una “crisis ambiental silenciosa” que degrada la fertilidad de los suelos, afecta a los cultivos y a la producción de alimentos. Viñedos (Jumilla, Murcia).

Esta reducción repercute en la capacidad de producir alimentos y para satisfacer la demanda de una población que cada día mayor. La erosión es un proceso complejo originado por factores naturales, pero acelerado por la creciente actividad humana, el mecanismo ha inutilizado millones de hectáreas que han dejado de ser productivas, e incluso se le atribuye la desaparición de varias civilizaciones en el pasado.

La historia de la Tierra, de los países, de las regiones y de los pueblos está escrita en las rocas, en los suelos, en los ecosistemas, por lo que conocer, explicar, comunicar y conservar esa fusión de universos geomorfológicos y ecológicos que son los paisajes terrestres, modelados por un amplio conjunto de procesos, en los que destacan los de erosión, es un reto imprescindible para mostrar la complejidad y valores del planeta, el funcionamiento de los sistemas naturales y, en definitiva, para la sostenibilidad y el descubrimiento de nosotros mismos.

LA EROSIÓN, UN PROCESO COMPLEJO QUE VARÍA EN TIEMPO Y ESPACIO

La erosión es un formidable proceso natural de denudación que transforma, continuamente, la superficie de la Tierra; fenómeno de desgaste y dismantelamiento de los materiales más superficiales que van dejando al descubierto los más profundos, ocurre en todos los ambientes, aunque con distintas intensidades. El proceso que actúa, ininterrumpidamente, desde el alba de los tiempos geológicos con la emersión de las tierras se le conoce como *erosión natural o geológica*. Es la que ha dado origen a la mayor parte de las topografías actuales y a la formación de los suelos. El fenómeno comienza con la meteorización de los materiales que prepara las rocas para ser erosionadas por cambios de temperaturas y mecanismos químicos o físico-químicos; le sigue el desplazamiento y transporte de los materiales removidos y, finalmente, la sedimentación o depósito de dichos materiales, ocurre cuando la energía

cinética del agente (agua, hielo, viento) no es capaz de seguir transportando el material por pérdida de competencia.

El mosaico de paisajes terrestres que hoy se puede contemplar, no es más que una instantánea de la larga historia del planeta. En el modelado de la superficie terrestre, las herencias del pasado y los fenómenos morfogenéticos activos, que con frecuencia se superponen a lo heredado, son los constructores de las geoformas erosivas y sedimentarias de los paisajes actuales.

La historia geomorfológica erosiva, está estampada en las rocas, en las robustas y erguidas montañas, en las cumbres aplanadas, en los altiplanos alzados, en los angostos valles, en las gargantas y cañones encajados, en las cuencas abarrancadas, en la fantasía en piedra de berrocales, canchales y karst, en los suelos fértiles y en el susurro de los paisajes. Estos escenarios erosivos expresan el lenguaje de la naturaleza, en ellos están escritas incontables páginas de una historia del modelado terrestre que se extiende, desde hoy, hasta un pasado tan lejano que apenas podemos imaginar. Leer el modelado de la Tierra, sus paisajes esculpidos por la erosión, es tratar de comprender y penetrar, con inteligencia y sensibilidad, en el complejo entramado de la naturaleza.



Fig. 3. Los paisajes naturales modelados por la erosión geológica, son un legado de la dinámica terrestre y presentan un excepcional valor emocional, cultural y científico. Cabecera del Valle de Aisa. Pirineo Central Aragonés.

Los paisajes naturales modelados por la erosión geológica (Fig.3), estimulan la sensibilidad por lo estético, nos hace disfrutar de la deslumbrante belleza de muchos escenarios que todavía guarda nuestro planeta, nos hacen

gozar emociones superiores y, además sirven, para estimular la conciencia ambiental que impulsa el movimiento conservacionista.

LOS PRINCIPALES TIPOS DE EROSIÓN NATURAL Y SUS FORMAS

Los factores que modelan los paisajes (agua, temperaturas, gravedad, biota, ...) desencadenan un conjunto de procesos que permiten establecer una tipología de la erosión.

La *meteorización* o intemperismo. Se trata de la alteración y descomposición de las rocas y minerales en la superficie terrestre o próxima a ella, como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos y, con frecuencia, con la participación de agentes biológicos. La meteorización incluye procesos físicos (descompresión, termoclastia, crioclastia, haloclastia e hidroclastia), químicos (oxidación, disolución, hidratación e hidrólisis) y biológicos, que activan mecanismos de ruptura, fracturación y remoción e incluso modifican la composición o estructura de los minerales que forman las rocas. Todas las rocas de la superficie terrestre se hallan involucradas en un ciclo de construcción y destrucción que se repite, sucesivamente, a lo largo de los tiempos geológicos, una historia que se repite sin fin.



Fig. 4. El agua, en sus distintos estados físicos, es el instrumento básico del modelado de los paisajes. Un poderoso agente de erosión que excava valles y transporta grandes volúmenes de sedimentos. Valle del río Agoyán (Ecuador).

Erosión por agua. El poder del agua como agente de erosión es formidable. El agua es la herramienta escultórica de la Tierra, el instrumento básico del modelado de los

paisajes, el lápiz del tiempo que ha dibujado y diseña la mayoría de los escenarios terrestres (Fig.4). Es un poderoso agente de erosión que desempeña una importante función geomorfológica tanto en la superficie del terreno como en su interior. La acción del agua engloba un conjunto de variados, selectivos, recurrentes y complejos procesos. Por un lado, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo que ocasiona la disgregación y la dispersión de sus partículas. Se conoce como *erosión por impacto, salpicadura o splash*. La eficacia erosiva depende, directamente, de su energía cinética que está en función de la masa de agua precipitada, del tamaño de las gotas y velocidad de caída (*erosividad*), y de la resistencia que opongan materiales y suelo a su poder erosivo (*erosionabilidad*).

Tras la erosión por impacto, cuando una parte del agua precipitada escapa a la evapotranspiración, a la interceptación por la cobertura vegetal y a la infiltración, el agua fluye, se origina un escurrimiento superficial denominado *escorrentía*. Constituye una importante parte del sistema hidrológico de la Tierra y es una de las principales causas de la erosión del suelo a escala mundial; se expresa en términos de balances en un universo de formas de erosión mayores (barrancos, ramblas, ríos-rambla y valles fluviales), otras en modelados a escala más reducida (entre surcos, incisiones, acanaladuras, regueros y cárcavas), y en diversos tipos de depósitos, todos ellos traducen una historia compleja de amplia variación desde los dilatados tiempos geológicos a tiempos más recientes y actuales.

Al inicio, el agua que circula horizontalmente por la superficie del suelo fluye, por gravedad, hacia abajo, a lo largo de la pendiente, a modo de delgadas y amplias láminas, se la conoce como *escorrentía laminar, escorrentía difusa o embrionaria*, capaz de remover la superficie del suelo, a este proceso se denomina *erosión laminar o entre surcos* (Fig.5). Su eficacia geomorfológica es notable ya que decapita los suelos, moviliza, transporta y deposita gran cantidad de finos y es la responsable principal de los mantos aluviales, algunos tipos de glaciares y otras geoformas. Es una erosión insidiosa, la menos llamativa, por eso puede ser la más peligrosa, empieza a manifestarse cuando el color de la capa superficial del suelo comienza a tornarse claro por la remoción del horizonte superior

más o menos rico en humus, y la consiguiente y progresiva reducción de la productividad del suelo. Los terrenos y suelos con escasa cubierta vegetal protectora, con débil cohesión en sus agregados, reducido espesor, poca materia orgánica y subsuelo impermeable, son los que ofrecen condiciones más críticas para esta clase de erosión.



Fig. 5. Escorrentía laminar erosionando la capa superficial del suelo. Olivar de Baeza (Jaén)

Tras un recorrido más o menos largo por laderas inclinadas, la escorrentía laminar, en función de la intensidad y duración de la lluvia, textura del suelo, contenido en humedad precedente, pendiente del terreno, rugosidad y tipo y densidad de vegetación, puede incrementar el caudal de agua circulante, la velocidad y su eficacia erosiva y, en consecuencia, originar acanaladuras y surcos de diversos tamaños en los que el agua se concentra. A este tipo de arroyada erosiva se la conoce como *escorrentía concentrada o turbillonaria*, capaz de vehicular importantes caudales de agua y tener una relevante eficacia geomorfológica, por ser capaz de dismantelar y movilizar importantes volúmenes de suelo y materiales finos y gruesos. Geoformas asociadas son los *surcos o regueros*, incisiones elementales y longitudinales, canalizadas por el micromodelado, la vegetación y la pedregosidad, se originan durante los fuertes aguaceros y en terrenos en pendiente. Los flujos hídricos que vehiculan tienen un comportamiento breve o efímero y la erosión que producen afecta a los primeros centímetros del suelo. Los daños de este tipo de erosión en campos cultivados pueden ser muy importantes (Fig.6).

Las *cárcavas* constituyen una prominente forma de erosión del suelo y una importante

causa de la degradación de la tierra en todo el mundo. Son una de las expresiones más evidentes de los procesos erosivos, indican una mayor agresividad debido a la concentración y mayor velocidad de los flujos hídricos al ir agrandándose los surcos y arruinando el terreno. Se trata de hendiduras o canales producidas por la erosión hídrica en áreas de materiales blandos o no consolidados que evolucionan creciendo de forma longitudinal, vertical y lateral, por lo que son importantes fuentes de sedimentos.



Fig. 6. La escorrentía laminar, por el aumento del flujo de agua, se transforma en escorrentía concentrada, en surcos, cuya eficacia geomorfológica es relevante ya que es capaz de erosionar severamente al suelo. Olivar (Baeza, Jaén).

Presentan una topografía de empinadas paredes y perfiles con acusada pendiente capaces de transmitir importantes flujos hídricos, ocasionales o intermitentes, producidos por fuertes lluvias. Los surcos excavados por los aguaceros, cuando no se aplican medidas protectoras en suelos agrícolas y forestales, se van agrandando paulatinamente hasta formar cárcavas que acaban por asolar el terreno. Globalmente, la eficacia geomorfológica de surcos y cárcavas es

elevada, su presencia es síntoma de un estado de degradación de las tierras muy avanzado (Fig.7). El fenómeno constituye un serio problema agrícola y ambiental, con especial relevancia en los países mediterráneos; en el mundo hay millones de hectáreas afectadas por este tipo de erosión.



Fig. 7. Un mal uso del suelo puede desembocar en la formación de cárcavas, unas formas de erosión mayor, una manifestación de degradación de la tierra de cultivo muy avanzada. Campo de Lorca (Murcia)

Cuando los tipos precedentes se agravan y las entalladuras se profundizan, considerablemente, aparece el *barranco*, el término evoca cauces con fuertes pendientes y encajados, altas tasas de erosión en materiales finos y coherentes. La eficacia geomorfológica de este tipo de flujo hídrico torrencial y fuerte erosión, es muy elevada por las dimensiones y densidad de las incisiones y por la alta capacidad de transporte de sedimentos.

Algunas corrientes fluviales presentan, con una periodicidad e intensidad variable, eventos de grandes crecidas que expresan un enorme aumento de los caudales circulantes, un poderoso mecanismo de erosión y una extraordinaria capacidad de transporte de sedimentos: son las *ramblas* (ROSSELLÓ VERGER 1986, LÓPEZ BERMÚDEZ et al. 1998). Estos sistemas de erosión constituyen unos mecanismos hídricos de aguas intermitentes, estacionales, efímeros o espasmódicos que han desarrollado complejas redes de drenaje, singulares procesos de circulación de caudales, erosión y sedimentación y amplios valles bajo climas muy diferentes pero, especialmente en los dominios áridos, semiáridos y subhúmedos secos que registran una pluviometría irregular

en el tiempo y en el espacio, en volumen y en régimen. La magnitud, frecuencia y dinámica de estos singulares sistemas fluviales pueden constituir buenos indicadores de los procesos de erosión, transporte, sedimentación que registran los territorios semiáridos mediterráneos. Las ramblas, a la vez que son un poderoso sistema de erosión, son un medio de transporte muy dinámico, por la gran cantidad de sedimentos acarreados en periodos de avenida. En las regiones mediterráneas, los enormes volúmenes y energía de los caudales que movilizan, tipo riada o avenida-relámpago (*flash-flood*), se caracterizan por su rápida ocurrencia, por los espectaculares procesos erosivos que activan, las grandes cantidades de materiales que arrastran y por las catástrofes hidrológicas que ocasionan (Fig.8). Los anales hidrológicos de España, recogen un buen número de la frecuencia, características y repercusiones de estos sistemas torrenciales fluviales. Unos ejemplos:

Rambla de Nogalte (provincia de Murcia), 139 km² de superficie de cuenca. Precipitaciones registradas el 18 y 19 de octubre de 1973: más de 300 mm., que ocasionaron una descarga

máxima de 1974 m³/sg., de los que 814 m³/sg eran aporte sólidos. La riada causó 84 muertos.

Rambla de Albuñol (La Rábida, Granada). Cuenca de 116 km². Precipitaciones del 18 octubre 1973: 600 mm que ocasionaron una descarga máxima de 2831 m³/seg con un elevado volumen de sedimentos, 1062 m³/sg (más de un tercio el caudal), 80 muertos.

Rambla o Barranco de las Ovejas (provincia de Alicante), 226 km² de cuenca. Precipitaciones registradas el 20 octubre de 1982: 217 mm, de las cuales 136 mm lo fueron en dos horas con intensidad máxima de 180 mm/hora. Caudal generado del orden de 400m³/sg de los cuales se estimó que, aproximadamente, un tercio eran aporte sólidos (GIL OLCINA 1983).

Barranco de Arás (provincia de Huesca, valle del río Gállego, Pirineo aragonés), 18,8 km² de cuenca. Precipitaciones acaecidas el 7 de agosto de 1996: 250 mm, estimándose una intensidad superior a 500 mm.hr⁻¹ durante 8 minutos y un caudal de unos 500 m³/sg. Una aproximación al volumen de materiales desplazados por el evento meteoro-hidrológico fue de unos 68.000 m³ equivalentes a unas 122.000 y 136.000 toneladas.



Fig. 8. Las ramblas son uno de los más importantes sistemas dinámicos de erosión y transporte de agua y sedimentos en los ambientes semiáridos mediterráneos. Rambla de Regall (Xert, Castellón).

Este episodio hidrológico causó 87 muertos y casi 200 heridos (GARCÍA RUIZ et al. 1996, GUTIÉRREZ et al. 1999).

Rambla de Poyo-Barranc de Torrent (Provincia de Valencia), 462 km² de cuenca. Episodio de lluvias los días 22-24 octubre de 2000, precipitaciones acumuladas del orden de 500 mm, de los que 260 mm se registraron en menos de 24 horas generando un caudal máximo de 540 m³/sg y un volumen de sedimentos transportados de 50.000 m³ (RUIZ y CARMONA 2004).

La escorrentía y erosión en cárcavas, barrancos y ramblas representan diferentes estadios de encajamiento y jerarquización de la red de drenaje. Son la manifestación más destacada de la dinámica torrencial y erosiva que registra un territorio, y reflejan diferentes estadios de degradación del suelo. Son procesos de gran importancia ambiental y agrícola, con especial gravedad en los ecosistemas semiáridos.

Hay otro tipo de erosión de notable importancia, la erosión interna del agua encerrada, subsuperficial, conocida como

sufosión o *piping* (BRYAN & JONES 1997, GARCÍA RUIZ 2011, GUTIÉRREZ et al. 1997). Se trata de un proceso de drenaje erosivo en túnel, de gran significado morfogenético, hidrológico y erosivo. El desarrollo de estos conductos hipodérmicos va siempre ligado a la presencia de materiales no consolidados que pueden ser fácilmente evacuados, en estado disperso, por flujos hídricos. Es decir, la intensidad y desarrollo de este mecanismo está estrechamente relacionado a las propiedades del suelo o regolito y al gradiente hidráulico local. En superficie, el proceso se manifiesta en hoyos o agujeros que evolucionan hacia la formación de cárcavas. Globalmente, la erosión tubicular es un destacado fenómeno hidrológico y geomorfológico en ecosistemas y agrosistemas frágiles bajo condiciones ambientales semiáridas y otras climatologías. En estos ambientes, es frecuente que el fenómeno aparezca en campos de cultivo actuales y, sobre todo, en los abandonados. En todos los casos, la sufosión suele ser el inicio de cárcavas muy activas originadas por colapso de la red de conductos subsuperficiales, y puede ejercer una importante función en la configuración y evolución del paisaje (Fig.9).



Fig. 9. La sufosión engloba un conjunto de procesos de erosión hidromorfológicos que desarrollan túneles o conductos subsuperficiales en suelos poco coherentes que acaban colapsando y formando cárcavas. El mecanismo es frecuente en terrenos aterrazados para cultivo, posteriormente abandonados. Cuenca del río Mula (Murcia).

Las áreas que reúnen y mejor expresan todos estos tipos de escorrentía y mecanismos de erosión son los paisajes abarrancados conocidos como *badlands*, unos impresionantes escenarios de erosión.

Constituyen uno de los más espectaculares paisajes que han fascinado a los geomorfólogos por el fuerte impacto visual, por la elevada capacidad de respuesta hidrológica, suministro de altas tasas de erosión y la exportación de grandes cantidades de sedimentos a los sistemas fluviales. Bajo condiciones áridas y semiáridas, en estas áreas, el verde casi no existe. Se hallan muy extendidos por las depresiones topográficas rellenas de sedimentos terciarios y cuaternarios de las regiones áridas y semiáridas, si bien también aparecen en ambientes más húmedos. Con lluvias copiosas e intensas, aquí se originan unos abultados cursos de agua, tipo avenida-relámpago, de gran poder de incisión.



Fig. 10. Los territorios abarrancados o *badlands* son paisajes erosivos que contienen una vegetación escasa o nula, están extremadamente degradados porque el suelo ha sido removido y perdido su fertilidad. Estos paisajes son frecuentes en España y en toda la región mediterránea (Tabernas, Almería).

El paisaje de los badlands (CALVO et al. 1991, GALLART et al. 2002) expresa una gran severidad de la erosión hídrica, el de un territorio profundamente abarrancado, (Fig.10), con una densa red de drenaje, una gran variedad de cárcavas, alta proporción de suelo desnudo, someros deslizamientos en masa en laderas con fuerte pendiente, y numerosos pedestales y pináculos de erosión. La imagen que expresan estos ambientes se debe a unos procesos de erosión que han actuado durante siglos y, en algunos casos, durante milenios. Bajo condiciones ambientales

áridas y semiáridas, una vez iniciado un ciclo de erosión, la vegetación suele ser incapaz de detenerlo y colonizar esas áreas, por lo que, aunque el proceso erosivo sea lento, las superficies erosionadas se van agrandando, profundizando y acumulando (SOLÉ et al. 2009). Estos paisajes son abundantes por toda la región mediterránea, en España se hallan algunos escenarios bien conocidos: Las Bardenas (Navarra), Depresión Interior Altoaragonesa o Canal de Berdún, Los Monegros y estepas de Belchite (Zaragoza), cuenca del río Guadiana Menor (Guadix, Granada), cuencas de los ríos Mula y Chícamo (Murcia), cuenca del río Aguas (Vera, Almería), áreas de Alcaraz (Albacete) y Petrer (Alicante), etc.

EL HOMBRE AGENTE DE EROSIÓN. LA EROSIÓN ACELERADA

La erosión es también un hecho humano cuya importancia se manifiesta con la presión de los humanos sobre los recursos naturales, especialmente sobre el suelo y la cobertura vegetal protectora. Muchas actividades humanas alteran los procesos de la Tierra, actúan como un amplificador de los fenómenos erosivos naturales, se habla entonces de *erosión antrópica* o *erosión acelerada* debido a un uso inapropiado del territorio, a la deforestación, incendios, arado a favor de la pendiente, exceso de laboreo, sobrepastoreo, abandono de las buenas prácticas de conservación del suelo por la desruralización del campo, etc. Estas y otras acciones humanas sobre los ecosistemas, actúan de amplificadores de los fenómenos erosivos. Hoy, el concepto de *erosión del suelo* hace solo referencia a la *erosión antrópica*. Frente a ella está la *erosión natural* o *geológica* de evolución muy lenta.

La historia de la erosión antropógena es larga, la presencia del hombre ha ido ganando protagonismo, como agente geomórfico, desde el Pleistoceno al Holoceno, y a la actualidad. Hace veinte mil años el hombre era cazador y recolector, y hace unos 9000 años, con el fin de la glaciación, en el Oriente Próximo y otros lugares del Lejano Oriente, el hombre se encontró con una tierra fértil rodeado de plantas y animales. La humanidad dio un gran salto, todo empezó a cambiar con la domesticación de los animales y con el cultivo de plantas, es lo que se conoce como "la revolución neolítica", "revolución agrícola" y también

como “la revolución biológica”. La agricultura y ganadería empezaron a practicarse y a extenderse por todo el mundo, a la vez, surgió una revolución social poderosa ya que el hombre pasó de cazador-recolector, de errante y nómada, a productor, a establecerse, a ser sedentario, agricultor y ganadero. El hombre podía transformar y empezar a apropiarse de la naturaleza con unos medios técnicos que, con el tiempo, cada vez serían más y más eficaces. El establecimiento de la agricultura y ganadería significó una transformación productiva de la naturaleza y fue la base del desarrollo de las civilizaciones, pero también el inicio de la erosión antrópica.

El problema de la erosión del suelo se fue gestando a lo largo de la historia, Platón (siglo IV a.C) en Critias 111 a-d hace una detallada descripción de la deforestación y del fenómeno de la erosión del suelo en el paisaje que contemplaba el ateniense: *.... muchas y singulares avenidas se han producido,... la masa de suelo que descendió vertiginosamente de los lugares altos... se perdió en la profundidad. Lo que ahora queda, comparado con lo que existió entonces, es como el esqueleto de un hombre enfermo. De toda la tierra gorda y suave, tras ser devastada, queda solo el desnudo esqueleto ... Hay algunas montañas que ahora no tienen más que comida para las abejas, pero no hace mucho tiempo estuvieron llenas de árboles ... Desde entonces lo que permanece es la imagen de un cuerpo enfermo, descarnado de la tierra.* El texto es de una admirable claridad sobre la importancia del fenómeno de la erosión del suelo, rebela que el pensamiento griego tenía conciencia del mecanismo y consecuencias catastróficas de la pérdida de suelo, de la degradación del paisaje.

Pero fue, sobre todo a partir de la Revolución Industrial del XIX, cuando el problema de la erosión del suelo se acentúa en intensidad por el crecimiento demográfico y el enorme despegue tecnológico que se convirtió en el principal motor de cambio medioambiental. Para muchos a partir de la Revolución Industrial se entró en una nueva era, el *Antropoceno* (término acuñado en el año 2000 por el ganador del Nobel de Química Paul Crutz por analogía con el término Holoceno). A partir de esa época, la naturaleza pasó a ser considerada, por muchos, como fuente de materias primas para la producción, el desarrollo y el lucro. El sistema económico sacrificó a la naturaleza y el medio ambiente

deteriorando, degradando y empobreciendo sus ecosistemas y, notoriamente, el suelo fértil y productivo. En la actualidad, el desarrollo acelerado de la actividad económica y los sistemas de producción están superando, en muchos casos, los límites que la naturaleza y el suelo pueden soportar.

Durante los últimos cincuenta-sesenta años, la erosión se ha incrementado de manera dramática a nivel mundial, causando una degradación y deterioro irreversible que afecta a la biodiversidad, la agricultura, los sistemas de agua dulce, y la humanidad en general. El resultado final de la continua degradación y pérdida de fertilidad y del valor de la tierra, por contaminación, erosión y merma de vegetación, es la desertificación (Fig.11). Hoy en día la influencia humana predomina en la erosión del suelo de forma directa o indirecta y, aparece lo suficientemente generalizada por todo el mundo como para tenerla en cuenta y poner en marcha políticas de prevención y mitigación que protejan al suelo, uno de los bienes más apreciados de la humanidad porque permite la vida de vegetales, animales y personas en la superficie de la Tierra.



Fig. 11. La deforestación y sobrepastoreo en áreas sensibles suelen originar surcos y cárcavas y desencadenar importantes procesos de erosión del suelo que desembocan en la desertificación del territorio (altiplano entre Dar Cai Ouriki y Ait Ourit. Marruecos).

El hombre depende de la naturaleza en la consecución de su medio de vida y, con ello, entra en la compleja red que interconecta todos los elementos bióticos y abióticos del sistema ecológico terrestre, pero con una importante propiedad diferencial respecto a los demás animales, su actitud no es pasiva, sino

destacadamente activa. El hombre es la única especie viviente con capacidad para transformar conscientemente la naturaleza y el ambiente que le rodea. Los impactos ambientales se han ido acrecentando con el aumento de la población y, sobre todo, en función de los métodos y técnicas de uso y gestión de los recursos naturales. Hoy existe la convicción generalizada, de que el modelo actual de desarrollo económico no puede persistir indefinidamente por su alarmante incidencia en el suelo productivo de alimentos y servicios. Paulatinamente, en las últimas décadas se han levantado muchas voces denunciando el estado de devastación en que se encuentran amplias áreas de la Tierra y multitud de ecosistemas, porque se están originando paisajes erosivos por todo el mundo.

Hoy, sin embargo, tras miles de años de interrelación entre naturaleza y hombre, es difícil, casi imposible, separar y cuantificar lo que corresponde a los mecanismos de erosión natural y los debidos a la intervención humana. En todas las partes del mundo, los procesos geológicos "naturales" de erosión han sido alterados por las actividades humanas. Según la FAO (1967, 1996) y la FAO-PNUMA-UNESCO (1980), cada año, la erosión inducida por el hombre se lleva unos 25.000 millones de toneladas de la capa superior fértil de las tierras de cultivo. Un tercio de las tierras agrícolas del mundo, unos 400 millones de hectáreas, ocho veces la superficie de España, han dejado de ser aptas para usos agrícolas a causa, sobre todo, de la erosión del suelo. Más aún, la erosión afecta al 15% de los pastizales, a un 30% de los bosques del mundo y a más de 1500 millones de personas. El resultado final es que el suelo deja de proporcionar una serie de funciones y servicios ecológicos que comportan una pérdida de bienes ambientales, económicos y sociales de vital importancia para la sociedad y el desarrollo humano. En un buen número de países, sobre todo en África, la erosión tiene sus raíces en la pobreza.

Actualmente, la degradación de la tierra, basada en la erosión del suelo, se produce a pesar de que un total de 193 países ratificaron, en 1994, la *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación*, de esta manera, si no se consigue detener y revertir el proceso de erosión del suelo, el mundo no podrá alcanzar los *Objetivos de Desarrollo del Milenio* (ODM, 2000) de las Naciones Unidas

y, particularmente, el objetivo de reducir a la mitad la pobreza extrema y el hambre para el 2015. La pérdida del espesor útil del suelo y sus elementos de fertilidad, la reducción de la productividad agrícola, el deterioro de los ecosistemas básicos y otros mecanismos, tienen como consecuencia el aumento de la inseguridad alimentaria y que una cuarta parte de la población mundial sufra hambre. El problema puede agravarse con el Cambio Climático ya que la erosión del suelo conlleva la pérdida de biomasa y materia orgánica y, con ello, la liberación de carbono a la atmósfera y el correlativo efecto de calentador atmosférico.

En la *Región Mediterránea*, la calidad y el aceptable cuidado y grado de conservación de suelo y agua, a lo largo de siglos, contribuyeron a la expansión de las sucesivas civilizaciones. Por el contrario, su degradación por erosión y salinización, iniciada también en el pasado, fue causa de su declive. Hoy, la degradación del suelo inducida por las actividades humanas, en sus varias formas, constituye una seria amenaza para el futuro de los países de la cuenca mediterránea. La erosión de las tierras es cada vez mayor, cerca de 115 millones de hectáreas están afectadas por la erosión hídrica y 42 millones de hectáreas sufren erosión eólica. La erosión y salinización del suelo han incrementado el riesgo de desertificación en las zonas más vulnerables, en extensas superficies de suelo las pérdidas del recurso superan 20, 50 e incluso 100 t/ha/año y más, mientras que la tasa de "erosión normal" geológica es muy inferior. Se sabe, que el paisaje mediterráneo y el suelo pueden ser considerados como estables cuando existe un balance equilibrado entre morfogénesis (velocidad de la erosión natural) y edafogénesis (velocidad de alteración de las rocas y formación de suelo), se estima que este balance se sitúa entre 12 y 15 t/ha/año (alrededor de 1 mm de espesor/año) (UNEP, MAP, PLAN BLEU, 2003). Como ocurre en otras partes del mundo, en el dominio mediterráneo y también en España, las fuerzas motrices que pueden desencadenar e intensificar la erosión hídrica del suelo están relacionadas con:

- a) La *deforestación*, (talas abusivas, roturaciones, incendios recurrentes ...), modifica algunas propiedades físicas y químicas del suelo (porosidad, permeabilidad, contenido en materia orgánica, etc.) al mismo tiempo que

reduce la cubierta vegetal protectora. Estos cambios pueden aumentar el riesgo de erosión;

- b) El *pastoreo abusivo ha originado impactos de importancia* acelerando la erosión al hacer disminuir la cubierta vegetal. El pisoteo del ganado, con el tiempo, compacta el suelo, disminuye la infiltración, incrementa la escorrentía y la pérdida de suelo;
- c) *Abandono del campo y de la agricultura de secano.* Amplias extensiones de la región mediterránea se han visto afectadas por el abandono de las tierras de cultivo seguido de un pastoreo abusivo. El abandono de las buenas prácticas de conservación del suelo, sobre todo, en las centenarias terrazas de cultivo en ladera provoca una erosión grave;
- d) La *intensificación en las prácticas agrícolas en los últimos 60-70 años ha contribuido, substancialmente a esta tendencia.* Las prácticas agrarias no sostenibles en tierras en ladera, como la falta de medidas efectivas de control de la erosión, y aquellos sistemas de cultivo que dejan la superficie del suelo desnudo, sin la protección de las plantas, bajo los episodios de lluvias intensas. La creciente mecanización, la roturación en el sentido de las pendientes, la escasa rotación de cultivos en algunos sistemas agrícolas, laboreo excesivo y monocultivo que no protege el suelo, la quema de rastrojos y otros residuos de las cosechas, incrementan el ritmo de la erosión;
- e) La *alteración del terreno producida por la minería a cielo abierto,* la explotación de canteras y las excavaciones para crear vertederos pueden ser causa de erosión del suelo al modificar la topografía y degradar la cobertura vegetal protectora;
- f) La *expansión industrial y urbana,* puede ocasionar erosión del suelo, principalmente, con la destrucción de la cubierta vegetal y el diseño inapropiado de obras de infraestructuras viarias y otras;
- g) Por último, en muchas áreas del mundo mediterráneo, *la falta de estrategias* para prevenir y combatir la erosión del suelo, como el buen uso del recurso y la

forestación, puede ser también causa de la erosión edáfica.

En la región mediterránea, no todas las intervenciones del hombre han degradado el suelo y deteriorado los ecosistemas. Con frecuencia, algunas técnicas de uso del suelo, desarrolladas desde antiguo, han permitido una explotación respetuosa y duradera de la tierra que, incluso mejoraba el equilibrio natural, como es el caso de las terrazas de cultivo en ladera y áreas de montaña. Las terrazas reducen la longitud continua de la ladera y la pendiente, reducen la energía de las escorrentías, favorecen la infiltración y moderan el riesgo de erosión del suelo. Sin embargo, la emigración, el despoblamiento rural y de las áreas de montaña en diversos períodos históricos, acentuado en los últimos cincuenta años, ha producido el descuido y abandono de las medidas de conservación y la destrucción de este sistema milenario de cultivo produciendo, en la mayor parte de los casos, una erosión acelerada con importantes o graves pérdidas del recurso suelo (Fig.12). La tendencia observada, en las últimas décadas, de los movimientos de la población rural hacia las ciudades y periferia refuerza el proceso.

En España, la erosión del suelo es problema muy antiguo. Diferentes estudios geoarqueológicos, palinológicos, sedimentológicos y paleoambientales ilustran sobre la progresiva pérdida de masas forestales y de matorral, y el correlativo incremento de la erosión del suelo a causa de la variabilidad climática y al aumento de la presión humana desde mediados del Holoceno, hace 6000-7500 años.

Muchas laderas estuvieron sujetas a pérdidas aceleradas de suelo, y muchos valles, como el del Ebro, se rellenaron de sedimentos a la vez que se iniciaría la progradación deltaica en muchos cursos fluviales de la vertiente peninsular mediterránea, tales como el mismo Ebro, Palancia, Mijares, Almanzora, Aguas, Andarax, Adra, Torrox y otros. Estos deltas son la respuesta a las fases erosivas registradas en sus cuencas, desencadenadas por la creciente presión humana sobre los ecosistemas, desestabilizando laderas, deforestando, roturando tierras marginales, truncando suelos y, como consecuencia, suministrando importante carga sólida de los cursos de agua que van a parar al mar.



Fig. 12. Las terrazas de cultivo en laderas desempeñan una importante función en el control de la escorrentía superficial, facilitando la infiltración y minimizando la pérdida de suelo. El abandono de las prácticas de conservación está ocasionando su destrucción y, a la vez, activando procesos de erosión del suelo (Orcera, Jaén).

La degradación del suelo y paisajes empezó a ser importante con la colonización romana y creció, progresivamente, desde los tiempos medievales a la actualidad. Desde el primer siglo antes de C., ocasionó profundos cambios en los ecosistemas mediterráneos, el bosque quedó reducido a la mitad del territorio que tiempos atrás había ocupado. En el siglo I de nuestra era, el escritor romano Columela, en su obra *De Rustica* y en carta dirigida a su amigo Publio Silvio expresa su preocupación por el deterioro del suelo por erosión cuando dice: ... *con frecuencia oigo a los hombres de nuestra ciudad culpar, el deterioro de nuestros campos unas veces a la esterilidad de los suelos y, otras, a la intemperie que se nota en el aire de mucho tiempo acá, como perjudiciales a los frutos ... tales motivos, tengo seguro que están muy lejos de ser verdaderos ... en vista de lo cual, no pienso que nos han sucedido estas cosas por la intemperie del aire, sino más bien por nuestra culpa* (Columela siglo I, GARCÍA ARMENDÁRIZ 2005).

Numerosos documentos de los siglos siguientes, ofrecen amplia y detallada

información sobre la erosión del suelo y la importancia del bosque en su protección, como *Las Siete Partidas* del Rey Alfonso X el Sabio y el *Libro de la Montería* de Alfonso XI de Castilla. Otros, por el contrario, expresan el efecto catastrófico para la agricultura y la cubierta vegetal que tuvieron instituciones como *El Honrado Concejo de la Mesta de Pastores* creada por el Rey Sabio en 1273 y elevada al rango de Ley por los Reyes Católicos en 1501 (Fig.13), "Fue un momento decisivo para la historia forestal de España y para la desolación de las regiones forestales del reino" (KLEIN 1936). El suelo, privado de la vegetación por el fuego y roturaciones para obtener mejores pastos, quedó desnudo degradándose a consecuencia de la erosión.

En *las Relaciones de los pueblos de España*, ordenadas realizar por Felipe II entre 1570 y 1580, se comprueba que en la mayoría de las regiones escaseaba la leña y madera para la construcción, a la vez que se continuaba con la roturación del bosque para pastos y aumentaban los rebaños de ovejas y cabras.

Estas acciones antrópicas ocasionarían fuertes pérdidas de suelo por erosión.

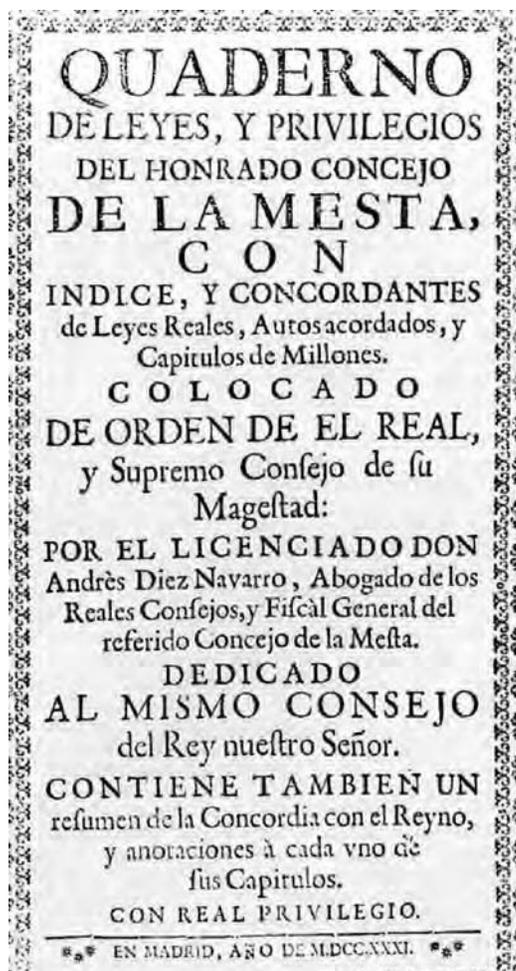


Fig. 13. En la época de los Reyes Católicos, la Mesta alcanzó un fuerte poder impulsando la ganadería lanar y la industria de ella derivada. Sin embargo, produjo un efecto catastrófico para la agricultura, selvicultura y erosión del suelo

En el s. XVII, la degradación de los bosques mediterráneos españoles era tan alarmante que se dictaron Ordenanzas específicas que prohibían su destrucción, a la vez que trataban de conservarlos y aumentar su extensión mediante reforestación.

Si durante el período de los Austrias, España fue primera potencia mundial en ganado lanar, con importantes afecciones sobre la cubierta vegetal y el suelo, durante la etapa de los Borbones, se propuso llegar a ser una potencia naval, una vez más a costa de los montes de la península. Durante los reinados de Felipe V, Fernando VI y Carlos III se promulgaron una serie de Ordenanzas

para el aumento y conservación de los montes, entre las que destaca la *Real Ordenanza para la conservación de Montes y Plantíos* promulgada por Fernando VI en 1748; sin embargo, a pesar de estas disposiciones con rango de Ley, no se contaba con un cuerpo técnico facultativo para aplicar la norma, ni organización administrativa alguna, por lo que la superficie forestal continuó disminuyendo para satisfacer las demandas de madera y leña para hornos, fraguas, astilleros, serrerías y minas y la erosión del suelo aumentando.

En el s. XVIII se producen cambios importantes en las ideas sobre la relación del hombre con la naturaleza, conviviendo, a la vez, viejas y nuevas concepciones, cambios que se manifiestan en la obra del economista y político Jovellanos (1744-1811), en particular en su compleja y contradictoria actitud hacia la naturaleza como fuente de recursos inagotables, como el gran escenario de la Creación, como escenario de belleza y de goce estético y espiritual. Sus escritos expresan que el hombre debe dominar a la naturaleza para hacerla más fecunda y bella, y toda transformación y explotación de sus recursos se justifica por el objetivo de hacerla más productiva y alcanzar mayor progreso económico. Se creía que la naturaleza tenía una capacidad de regeneración que compensaba el deterioro inducido por las acciones humanas y, por lo tanto, no eran necesarias actuaciones de protección de los suelos. El resultado no podía ser otro que los procesos erosivos continuasen desmantelando suelos y laderas.

Durante el siglo XIX, los ideales decimonónicos mitificaban la propiedad privada frente a la pública, por lo que se inició un largo y vasto proceso de venta de montes públicos (del Estado, de las Comunidades y de la Iglesia) a particulares, al amparo de las *Leyes desamortizadoras* de Mendizábal (1837) y Madoz (1855). La consecuencia fue que en toda España se vieron amenazadas diez millones de hectáreas, de las cuales más de cuatro millones de bosques públicos fueron talados y roturados, el suelo quedó desnudo y expuesto a procesos de erosión que arrastraron millones de toneladas de sedimentos, además de incrementarse las escorrentías y las inundaciones en los años siguientes. Fue la destrucción forestal más grave de toda la historia de España (BAUER 1991). Además, las guerras napoleónicas dañaron también el

bosque, tanto por talas fraudulentas como por usurpaciones de montes públicos, así como por la gran demanda de madera requerida por la puesta en marcha del ferrocarril, telégrafo, la fabricación de papel y otras industrias.

Simultáneamente al expolio que sufrían los bosques españoles, también se manifestaba, en determinados grupos de personas sensibles por la naturaleza, la preocupación por las consecuencias que la masiva deforestación podía tener en la erosión de los suelos en las cuencas hidrográficas. En 1833 el ministro de Fomento Javier de Burgos propuso una Ley Forestal que contemplaba unas *Ordenanzas Generales de Montes* y una Dirección General de Montes, con la finalidad de administrar los montes realengos y tutelar los montes comunales. El interés por la ordenación, regeneración y gestión de los montes y paisaje, así como la creciente preocupación por la erosión del suelo y las medidas de protección que se debían llevar a cabo, dieron como fruto la creación, el 18 de octubre de 1848, de la *Escuela de Ingenieros de Montes* en Villaviciosa de Odón (Madrid).

En 1863 se promulgó una *Ley de Montes* y, dos años después se aprobó el Reglamento de la Ley que puede considerarse como el primer *Código Forestal Español*. Sin embargo, debido a las turbulencias políticas del período 1868-1874, la Ley no se aplicó hasta la Restauración. Mientras tanto, la opinión pública se iba percatando de las nefastas consecuencias que las desamortizaciones acarrearaban en los montes y suelos afectados, lo que propició la promulgación, en 1877, de la *Ley para la Mejora*,

Fomento y repoblación de los Montes Públicos exceptuados de la Desamortización. Ley que acabó con las políticas de las desamortizaciones de montes públicos y sentó las bases de una estrategia de restauración forestal que se inició a principios del siglo XX.

Las masivas deforestaciones de los montes públicos dejaron desnudo al suelo forestal ocasionando una importante pérdida de suelo y graves inundaciones en la mayor parte de los ríos ibéricos, especialmente en los de la vertiente mediterránea. Ante esta situación algunos de los sectores más degradados de las cuencas más afectadas fueron seleccionados para ser repoblados, siendo las sierras de María (Almería) y de Espuña (Murcia), las primeras en la que se inició, bajo la dirección del ingeniero Ricardo Codornú Estárico (1900), una repoblación sistemática para detener la grave erosión de sus laderas, recuperar la cubierta vegetal y disminuir el riesgo de inundación. Decía CODORNÚ (1908, 1913): *Asombra ver las erosiones que presenta la cuenca del Guadalentín desde su origen en la Sierra de María, como si un enorme monstruo hubiera hincado sus gigantes garras donde quiera halló desnudas de vegetación arbórea las laderas de la montaña, arrancando, por decirlo así, tiras de la patria, pues donde la roca quedó desnuda, aquello es sólo el esqueleto de la patria*.

La reforestación llevada a cabo en estas sierras, es considerada como la primera, en España y en Europa en controlar los procesos erosivos y de desertificación que registraba uno de los territorios más vulnerables como era el Sureste peninsular (Fig. 14).



Fig. 14. Sierra de Espuña a finales del siglo XIX (izda.). En la actualidad, muestra el éxito de la reforestación llevada a cabo por Codornú en el inicio del siglo XX (dcha.).

En los dos últimos decenios del XIX y principios del XX, el movimiento intelectual del Regeneracionismo encabezado por Lucas Mallada y Joaquín Costa expresaban con toda crudeza las causas de la decadencia de España como nación, destacando la pobreza y escasa fertilidad del suelo debidas a la erosión del suelo. Costa, en su magna obra *Colectivismo Agrario* (1898) y otros escritos, muestra una preocupación máxima por la agricultura y realiza una dura crítica a las desamortizaciones por la destrucción ocasionada a las áreas forestales y sus graves consecuencias sobre el suelo. Apuesta por un cambio radical en la aplicación y dirección de los recursos hacia la educación, obras hidráulicas, repoblación forestal y colonización interior con la intención de *desafricanar y europeizar* a España. Propone una acción realista de “calzón corto” y de “escuela y despensa” mediante la repoblación forestal y extensión del regadío. El regeneracionismo confiere una fuerte connotación simbólica a la pérdida mutiladora del suelo de la patria que tiene lugar por el “mal de piedra”, resultado de la torrencialidad y deforestación (GÓMEZ MENDOZA 1992).

El nuevo siglo va a marcar un nuevo rumbo en la política forestal que afectara a los suelos, con la creación, en 1901, de las *Divisiones Hidrológico Forestales*, con el objetivo de reforzar la función protectora de los bosques para fijar el suelo, regular el régimen de los cursos fluviales y proteger cultivos, infraestructuras y vidas humanas.

La desnudez de los montes españoles y la fuerte erosión del suelo, tampoco pasó desapercibida para algunos poetas como Antonio Machado, que si bien contempla a la naturaleza como un recurso lírico inagotable, también supo percatarse de las terribles consecuencias de la deforestación y pérdida de suelo. En algunos de sus poemas penetra, profundamente, en los factores de la erosión:

*El hombre de estos campos que incendia los pinares
y su despojo aguarda como botín de guerra,
antaño hubo raído los negros encinares,
talados los robustos robledos de la sierra.
Hoy ve a sus pobres hijos huyendo de sus lares;
la tempestad llevarse los limos de la tierra
por los sagrados ríos hacia los anchos mares;
y en páramos malditos trabaja, sufre y yerra.*

(Campos de Castilla 1910). Por tierras de España).

Las políticas forestales de las primeras décadas del siglo XX van a estar dirigidas hacia la defensa de los montes públicos, la lucha contra la erosión del suelo, la restauración forestal, la prevención de las inundaciones y, en general, hacia la conservación de la naturaleza, comenzando en el año 1916, con la promulgación de la *Ley de Parques Nacionales*, conocida como Ley Gasset. La necesidad de restaurar la cubierta vegetal en las laderas de los relieves desnudos y de reducir las grandes pérdidas de suelo era tan evidente, que no solo los forestales la reclamaban, sino que ciertos sectores sociales e intelectuales la demandaban con urgencia, como es el caso del histólogo y Premio Nóbel, Santiago Ramón y Cajal, que apuntaba hacia un regeneracionismo ambiental, moral y científico. En 1929, escribió: *España es una inmensa zona de terreno estéril rodeada de una estrecha faja de tierra fértil. Poblar nuestros montes y las inteligencias de los españoles son las dos cosas prioritarias que debe emprender España para entrar en el futuro con dignidad en el concierto de las Naciones.*

En el transcurso del siglo XX, se reconoce la gravedad de la situación en la que se hallaban los montes de España, en los que la deforestación secular y la pérdida de suelo eran la expresión más visible. A mediados de la década de los setenta se empieza a aplicar la *Universal Soil Loss Equation* (USLE) y los modelos revisados y adecuados a cuencas, MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) y RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), en proyectos de restauración hidrológico-forestal. En 1981, ICONA pone en marcha el proyecto LUCDEME siendo su primer Director el Dr. Ingeniero de Montes y Académico de esta Institución, José Ángel Carrera Morales, gran impulsor de los estudios sobre erosión del suelo y desertificación en España, al estimular e incorporar a estos trabajos, a decenas de investigadores de las Universidades Españolas y Centros del CSIC. El LUCDEME y el *Plan Nacional de Restauración Hidrológico-Forestal y Control de la Erosión*, promovieron un estudio piloto sobre *Paisajes Erosivos del Sureste Español* y los estados erosivos en las grandes cuencas hidrográficas españolas, con el objetivo de evaluar los procesos erosión, desertificación y degradación del suelo. El estudio sobre cada una de las cuencas hidrográficas culminó en 2003 con los *Mapas de Estados Erosivos. Resumen Nacional*. Estos estudios y la *Red de Estaciones*

Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y Desertificación (RESEL) creada en 1995 en el marco del Proyecto LUCDEME, han servido, a la Administración del Estado, como instrumento de acción para la restauración hidrológico-forestal y el control de la erosión.

En 2001, el Ministerio de Medio Ambiente redacta *El Plan Nacional de Actuaciones Prioritarias en materia de Restauración Hidrológico-Forestal, control de la Erosión y lucha contra la Desertificación*, y en 2000, establece la realización, por provincias, de un *Inventario Nacional de Erosión del Suelo (INES)*, con el objetivo de: (a) localizar, cuantificar y analizar la evolución de los fenómenos erosivos, delimitar las áreas prioritarias de actuación, y definir y valorar las actuaciones a llevar a cabo, dentro de los planes y programas específicos; (b) formar un sistema de datos de fácil acceso que posibilite la educación y la participación ciudadana; (c) constituir un elemento de la red europea de información y comunicación medioambiental; (d) proporcionar indicadores paneuropeos sobre gestión sostenible de los bosques y (e) identificar formas de erosión para su inventariado y cartografiado: laminar y en regueros, en cárcavas y barrancos, en cauces, movimientos en masa y eólica. A partir de 1980, a estas iniciativas estatales hay que sumar el abultado número de trabajos de investigación, sobre erosión y degradación del suelo, llevados a cabo por equipos de investigación multidisciplinarios de las Universidades españolas y Centros del CSIC, mediante la aplicación de diversos métodos como: modelos, transectos geomorfológicos, piquetas y perfiladores microtopográficos, parcelas, estaciones y cuencas experimentales, simulaciones de lluvia, batimetría de embalses, cesio 137 y Sistemas de Información Geográfica.

Hoy se sabe que España es el país mediterráneo europeo con tasas más elevadas de erosión actual y potencial por la conjunción de factores ambientales y humanos tales como las condiciones climáticas semiáridas dominantes, con frecuentes acontecimientos meteorológicos extremos, suelos vulnerables, intensa deforestación en tiempos pasados, roturaciones e invasiones agrícolas y ganaderas de las áreas originariamente arboladas, abandono rural y los tradicionales buenos métodos de conservación del suelo, así como la práctica de una agricultura no conservacionista

que ha acelerado el proceso. Resultado: el 48 % de la superficie de España (unos 22 millones de ha) registran tasas de erosión por encima del umbral de tolerancia (12 t/ha/año), si bien los valores máximos y mínimos de pérdida de suelo presentan una gran variabilidad espacial y temporal en función del tipo de suelo, condiciones ambientales y método de evaluación. Así, por ejemplo, en suelos con vegetación natural la tasa de erosión media es del orden de 2 t/ha/año, con un mínimo de inexistencia de erosión y un máximo de 14. En campos abandonados los valores estimados oscilan entre 32 t/ha/año de máximo y 2 de mínimo. En campos de cultivo la tasa media es de 3 t/ha/año, máximo de 17 t/ha/año y campos en donde no se detecta pérdida alguna (Fig. 15). Suelo desnudo, tasa media de 8 t/ha/año, máximo de 28 y mínimo de 0,05.



Fig. 15. En campos de cultivo, en donde las labores suprimen la cobertura vegetal herbácea, dejan el suelo desprotegido frente a la lluvia y escorrentía de superficie, pudiendo originar importantes pérdidas de suelo. Campo de almendros (Mula, Murcia).

Finalmente, áreas de cárcavas, tasas media del orden de 57 t/ha/año, máximo de 150 t/ha/año y mínimos de 2 t/ha/año, (RESEL 2005, LÓPEZ BERMÚDEZ y GARCÍA RUIZ 2008, GARCÍA RUIZ y LÓPEZ BERMÚDEZ 2009). Estos datos tienen un valor relativo y solo sirven para una aproximación al problema, la dispersión de datos muestra la amplitud de tasas que se pueden encontrar en los diferentes ambientes. Para el conjunto del territorio español, el promedio de pérdida de suelo basado en la aplicación del modelo USLE, se ha estimado en 24,3 t/ha/año, equivalente a 1,9 mm de espesor anual. Los valores extremos

oscilan entre los 10,6 y 14,4 t/ha/año en las cuencas del Duero y Norte y los 44,6 y 47,8 en las cuencas Sur y Guadalquivir. Estos valores medios estimados esconden, en casi todas las cuencas, tasas que los rebasan ampliamente, sobre todo en las áreas más vulnerables a la erosión de las cuencas del Guadalquivir, Sur, Júcar, Ebro y Segura. En ellas se detectan sectores de cárcavas y badlands con valores altos (50-100 t/ha/año), muy altos (100-200 t/ha/año) y, excepcionalmente extremos (más de 200 t/ha/año) (ICONA 1987, 1988, 1990).

Estas tasas de pérdida de suelo, pese a su valor relativo ¿son admisibles? La tolerancia a la pérdida de suelo es la cantidad de tierra que, expresada en toneladas por unidad de superficie y año, puede perder un perfil edáfico manteniendo su nivel de productividad actual durante un largo período de años (FAO 1967). Es evidente que la tolerancia a las pérdidas de suelo debería ser similar a la tasa de formación. Entre los diversos valores manejados los más comúnmente aceptados (*Soil Survey Staff* de los Estados Unidos, basado en WISCHMEIER 1960; HUDSON 1971; WISCHMEIER & SMITH 1978; MORGAN 1979, 1986; KIRKBY & MORGAN, 1980; ROELS & JONKERS 1983; MORGAN et al. 1984; OECD 2003), son aquellos que oscilan entre 2 y 12 t/ha/año, equivalentes a pérdidas superficiales de 0,2-1 mm/año, según los tipos de suelo y propiedades físicas.

Las 12 t/ha/año es el máximo aceptable para suelos profundos, permeables, bien desarrollados, mientras que de 2 a 4 t/ha/año se suelen considerar como admisibles para suelos poco profundos y frágiles. En consecuencia, parte de los suelos de España bajo las diferentes condiciones bioclimáticas y usos, sufren una pérdida no tolerable por ser superior a lo que genera la naturaleza. Si a ello se le suma la remoción y pérdida de materiales geológicos y suelos que ocasionan muchas actividades, tales como la minería a cielo abierto, movimiento de tierras en obras de infraestructuras viarias, expansión urbana y otras, se puede afirmar que el hombre es un destacado agente geomorfológico que está erosionando la superficie del territorio español. Su cuantificación global es tarea de interés pero difícil de obtener, se trata de un reto a los científicos y técnicos, evaluar la "huella geomorfológica del hombre" en España, es decir, como indicador de impacto ambiental, cuantificar la cantidad de rocas y suelos, que

cada español "remueve" al cabo de año, con las actividades que inciden, directamente, en la naturaleza. Investigar y conocer las tasas máximas de erosión del suelo agrícola y forestal admisibles, es esencial para conservar su capacidad productiva, poder aplicar medidas correctivas, y una adecuada política de conservación y uso durable del recurso vital: el suelo (Fig.16).



Fig. 16. Los cultivos y labores agrícolas en pendiente y eliminación de la vegetación en las calles, originan el desarrollo de surcos y pérdida de suelo. Conocer las tasas máximas tolerables, en este y otros tipos de ambientes, es fundamental para aplicar medidas de conservación y uso sostenible del suelo (Olivar de Jaén).

CONCLUSIÓN

La Tierra es un planeta modelado por la tectónica, el clima, los humanos y otros seres vivos como las plantas y animales. Los procesos erosivos han esculpido la casi totalidad de los escenarios terrestres dotando, a muchos, de una belleza espectacular. Uno de los resultados más sobresalientes de la erosión natural o geológica, ha sido el suelo fértil y productivo, uno de los bienes más preciados de la humanidad. Recurso que permite la vida de los vegetales, los animales y las personas en la superficie de la Tierra, por lo que debe ser protegido contra la erosión y otros procesos de degradación (Carta Europea del Suelo. Consejo de Europa, 1972).

La erosión geológica es la que ha modelado, a lo largo de millones de años, la mayor parte de los paisajes terrestres, y originado el suelo productivo. Es un proceso lento, pero constante y afecta a la totalidad de las tierras emergidas. Frente a ella, la erosión activada por el hombre, erosión intensa, de ritmos rápidos que acelera la erosión

natural. Hoy, la erosión del suelo se identifica, exclusivamente, con la erosión antrópica, su origen aparece en la historia cuando empezó a aumentar la presión de las sociedades sobre los medios naturales. Los balances de erosión natural y antrópica, sus escalas temporales y espaciales son muy diferentes, como lo es discriminar, en muchos paisajes lo debido a una y otra.

El suelo fértil es un recurso limitado y fácil de degradar, de destruir por los procesos erosivos vinculados a la actividad del hombre, éste está ocasionando la reducción gradual y progresiva de la capacidad de la tierra para sustentar las comunidades animales y vegetales, la agricultura y silvicultura, la propia humanidad, está poniendo en peligro vastas zonas del planeta.

En la actualidad, la erosión del suelo es problema ambiental, económico y social por las afecciones que tiene en la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y forestales. Es una crisis global silenciosa que afecta a la producción de alimentos, a la vez, genera la liberación de gases que provocan el Cambio Climático. Por su contribución al avance de la desertificación, se ha definido como uno de los problemas más importantes del mundo, especialmente en ambientes subhúmedos, semiáridos y áridos, donde amenaza la supervivencia de millones de personas siendo, además, una de las causas de inestabilidad social y política, y de migraciones ambientales de muchas poblaciones, especialmente en África. El problema puede agravarse por la creciente presión demográfica, intensificación de las actividades humanas y los cambios de uso de la tierra. La erosión del suelo y la desertificación son una amenaza para el futuro de la humanidad.

Las condiciones climáticas y la larga historia de la ocupación del territorio hacen de la región mediterránea y del territorio español, unos espacios muy sensibles al fenómeno erosivo. El paisaje refleja el deterioro de muchos suelos y, en no pocas ocasiones, una degradación irreversible. La pérdida de suelo por erosión antrópica reduce el valor de la tierra, los beneficios en la producción, afecta al recurso paisajístico, ocasiona pérdida de biodiversidad y se pierde capacidad como sumidero de carbono. Por ello, si los factores ligados a las condiciones ambientales naturales son el origen de la erosión geológica, los factores

agro-socio-económicos, es decir, la erosión antrópica, es la que está acelerando el proceso. A escala mundial, el hombre está en el centro del preocupante problema de la erosión del suelo, como inductor y como potencial víctima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUER E. 1991. *Los montes de España en la Historia*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 613 p.
- BRYAN R.B. & JONES J.A.A. 1997. The significance of soil piping processes: inventory and prospect. *Geomorphology* 20: 209-218.
- CALVO CASES A., HARVEY A.M. & PAYA-SERRANO J. 1991. Processes interactions and badlands development in SE Spain. En Sala M., Rubio J.L. y García-Ruiz J.M. (eds.) *Soil Erosion Studies in Spain*: 75-90. Geofoma Ed., Logroño.
- COLUMELA, siglo I. *La Labranza*. Obra completa. Editorial Gredos, Madrid.
- CODORNÍU R. 1908. *Crecimiento y fructificación de algunas especies arbóreas empleadas en la repoblación forestal de la Sierra de Espuña*. Presentado al Congreso de Zaragoza de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias.
- CODORNÍU R. 1913. *Efectos de algunos trabajos hidrológico-forestales realizados en España, según datos de los ingenieros de montes que los proyectaron y dirigen*. Presentado al IX Congreso Internacional de Meteorología, Climatología y Geología. Madrid.
- FAO 1967. *La erosión del suelo por el agua*. Cuadernos de fomento agropecuario. Núm. 81. Roma, 207 p.
- FAO 1996. Degradación antropogénica de los suelos. <http://www.fao.org/sd/spdirect/gis/wfs12.htm>.
- FAO-PNUMA-UNESCO 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNESCO).

- GALLART F., SOLÉ A., PUIGDEFABREGAS J. & LÁZARO R. 2002. Badlands systems in the Mediterranean. In L.J. Bull & M.J. Kirkby (eds.): *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels*: 299-325. John Wiley & Sons Ltd.
- GARCÍA ARMENDÁRIZ, J.I. 2005. *Agronomía y tradición clásica: Columela en España*. Secretariado de Publicaciones. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- GARCÍA-RUIZ J.M. 2011. Una revisión de los procesos de sufosión o *pipping* en España. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 37 (1): 7-24.
- GARCÍA RUIZ J.M., WHITE S.M., MARTÍ, C., VALERO B., PAZ ERREA M. & GÓMEZ VILLAR A. 1996. *La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Zaragoza. 54 p.
- GARCÍA RUIZ J.M. & LÓPEZ BERMÚDEZ F. 2009. *La Erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza. 441 p.
- GIL OLCINA A. 1983. Lluvias excepcionales en la noche del 19 al 20 de octubre de 1982 y riada en el barranco de las Ovejas. *En Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, p.5-24.
- GÓMEZ MENDOZA J. 1992. *Ciencia y Política de los Montes Españoles (1848-1936)*. ICONA, Madrid. 260 p.
- GUTIÉRREZ M., SANCHO C., BENITO G., SIRVENT J. & DESIR G. 1997. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. *Geomorphology* 20 (3-4): 237-253.
- GUTIÉRREZ F., GUTIÉRREZ M. & SANCHO C. 1999. La avenida del 7 de agosto de 1996 en la cuenca y abanico aluvial de Arás (Valle de Tena, Pirineos centrales). Aspectos geomorfológicos y sedimentológicos. *Revista Sociedad Geológica de España* 11: 71-85.
- HUDSON N.W. 1971. *Soil Conservation*. Batsford, London. 320 p.
- ICONA, 1987, 1988, 1990. Mapas de Estados Erosivos. Cuencas Hidrográficas del Ebro, Duero, Guadiana, Júcar, Segura, Sur de España, Pirineo Oriental, Tajo... con Mapas de Estados Erosivos a E 1:400.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- KIRKBY M. & MORGAN R.P.C. 1984. *Soil Erosion*. John Wiley, Chichester. 312 p.
- KLEIN J. 1936. *La Mesta. Estudio de la historia económica española. 1273-1836*. Madrid, 450 p.
- LÓPEZ BERMÚDEZ F., CONESA GARCÍA C. & ALONSO SARRÍA F. 1998. Ramblas y barrancos mediterráneos: medio natural y respuesta humana. *Mediterráneo Lisboa* 12/13: 223-242. Universidâde Nova. Lisboa.
- LÓPEZ BERMÚDEZ F. & GARCÍA RUIZ J.M., 2008. La degradación del suelo por erosión hídrica en España. En A. Cerda (ed.): *Erosión y degradación del suelo agrícola en España* 11-49. Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia.
- MORGAN R.P.C. 1979. *Topics in applied Geography. Soil erosion*. Longman. London. 114 p.
- MORGAN R.P.C. 1986. *Soil Erosion and Conservation*, 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, 304 p. paperback. Traducido al español: *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa. 1997. Madrid. 343 p.
- MORGAN R.P.C., MORGAN D.D.V. & FINNEY H.J. 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30: 245-253.
- ODM 2000. *Declaración del Milenio. Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Naciones Unidas. Asamblea General A/RES/55/2. Nueva York. 10 p.
- OCDE 2003. *Agricultural impacts on soil erosion and soil developing indicators for policy Analysis*. Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators. Proceeding from on OCDE Expert Meeting. INEA. Rome, Italy. 654 p.
- RESEL 2005. *Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión*

- y Desertificación. Proyecto LUCDEME. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- ROELS J.M. & JONKERS P.J. 1983. Probability sampling techniques for estimating soil erosion. *Soil Science Society of America Journal* 47: 1224-1228.
- ROSSELLÓ VERGER V. 1985. Ramblas y barrancos: un modelo de erosión mediterránea. Actas, Discurso y Ponencias: 177-184. *IX Coloquio de Geógrafos Españoles*. Universidad de Murcia. Murcia.
- RUIZ J.M. & CARMONA P. 2004. Flujos y sedimentos de inundación (octubre del 2000) en el entorno de la Albufera de Valencia. En G. Benito y A. Díez Herrero (eds.), *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*: 59-67. Actas de la VII Reunión Nacional de Geomorfología. Toledo 22-25 septiembre de 2004. SEG y CSIC. Madrid.
- SOLÉ BENET A., CANTÓN Y., LÁZARO, R. & PUIGDEFABREGAS J. 2009. Meteorización y erosión en el subdesierto de Tabernas, Almería. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 35 (1): 141-163.
- UNEP/PLANT BLEU. 2003. *Threats to soils in Mediterranean countries. Document Review*. Sophie, Antipolis. 78 p.
- WISCHMEIER W.H. 1960. Cropping-management factor evaluation for a universal soil-loss equation. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 24: 322-326.
- WISCHMEIER W.H. & SMITH S.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook*, No. 537. 2. Secretary of Agriculture, Washington D.C.