

LOS ESTUDIOS SOBRE LA EROSIÓN DEL SUELO: APORTACIONES DEL PROFESOR JOSÉ MARÍA GARCÍA-RUIZ

J. ARNÁEZ

Área de Geografía Física (DCH). Universidad de La Rioja, Edificio Luis Vives, 26004-Logroño
mail: jose.arnaez@unirioja.es

Cualquier sueño, por pobre que sea,
nos acerca más al lenguaje del universo.
Rafael Argullol

RESUMEN

Los estudios sobre erosión del suelo se han incrementado considerablemente en las últimas décadas. El interés de los geógrafos y geomorfólogos por este tema hay que relacionarlo con i) la amenaza ambiental que supone la erosión del suelo para la sostenibilidad y productividad en el Planeta, ii) el desarrollo de nuevas técnicas y metodologías de campo y laboratorio apoyadas en la informática y la computación, y iii) la necesidad de aportar medidas eficaces para el control de la erosión. El objetivo de este trabajo es revisar la aportación científica del profesor José María García-Ruiz en el campo de la erosión del suelo centrada, especialmente, en los efectos hidrológicos y geomorfológicos de los cambios de usos del suelo en áreas de montaña. En las últimas décadas, en la montaña mediterránea, se detectan transformaciones determinantes en la evolución y comportamiento de los sistemas naturales. Estos cambios han repercutido en la disponibilidad de recursos hídricos y en el transporte de sedimentos. El profesor García-Ruiz a lo largo de su dilatada carrera profesional ha pretendido y logrado, con una perspectiva integradora, analizar, cuantificar y valorar estos procesos.

Palabras clave: *Erosión del suelo, usos del suelo, repoblaciones forestales, pipes, montaña mediterránea.*

ABSTRACT

Studies on soil erosion have increased considerably in recent decades. The interest of geographers and geomorphologists for this topic must be related to i) the environmental threat of soil erosion to the sustainability and productive capacity of the Planet, ii) the development of new techniques and methodologies for field and laboratory supported by computer technology, and iii) the need to provide effective measures to control erosion. The purpose of this paper is to review the scientific contributions of Professor José María García-Ruiz on soil erosion and, especially, on hydrological and geomorphological effects of land use changes in mountain areas. In the last decades, in the Mediterranean mountains, decisive changes have been detected in the evolution and behavior of natural systems. These changes have affected the availability of water resources and sediment transport. Professor Garcia-Ruiz, in his long professional career, has tried and has been able to analyze, quantify and evaluate these processes with an integrative perspective.

Key words: *Soil erosion, land use, afforestation, pipes, Mediterranean mountain.*

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los ámbitos de la geomorfología que, sin duda, más atención ha despertado en las últimas cuatro décadas ha sido el estudio de la erosión del suelo. Una rápida búsqueda por las principales bases de datos internacionales así lo pone de manifiesto. ScienceDirect (Elsevier) suma más de ochenta mil publicaciones relacionadas con la erosión del suelo, de las que casi setenta y cinco mil corresponden a artículos científicos en revistas de alto impacto: *Geomorphology*, *Catena*, *Journal of Hydrology*, *Soil and Tillage Research*, *Geoderma*, etc. Wiley Online Library (John Wiley and Sons) acumula más de cuarenta mil publicaciones en revistas como *Earth Surface Processes and Landforms*, *Land Degradation and Development*, *Hydrological Processes*, *European Journal of Soil Science*, etc.

En España, el repositorio bibliográfico Dialnet (Universidad de La Rioja) recoge 486 documentos con la entrada "erosión del suelo" publicados en revistas científicas españolas como *Cuaternario* y *Geomorfología*, *Cuadernos de Geografía*, *Geogaceta*, *Cuadernos de Investigación Geográfica*, *Pirineos*, entre otras. Un repaso a las actas de las Reuniones Nacionales de Geomorfología (Sociedad Española de Geomorfología), celebradas bianualmente desde 1990, permite analizar, por un lado, el peso de este ámbito de investigación con relación a otras temáticas geomorfológicas y, por otro lado, los importantes avances conseguidos en el conocimiento de los procesos, modelos, cuantificación y predicción de las tasas de erosión. Hasta 1999 García-Ruiz (1999) contabilizaba 68 trabajos sobre erosión del suelo en estos congresos ocupando esta temática la pri-

mera posición en el listado de especialidades geomorfológicas y representando un 16% del total de lo presentado. Desde 1999 las aportaciones han seguido incrementándose, de modo que en el conjunto de las Actas de las Reuniones Nacionales de Geomorfología pueden leerse 164 comunicaciones sobre erosión del suelo.

Con toda probabilidad, varias circunstancias se han sumado para justificar este creciente interés. En primer lugar, la erosión del suelo se ha convertido en una amenaza ambiental de primer orden para la sostenibilidad y productividad en el Planeta. Cada año, 75 billones de toneladas de suelo son removidas por el viento y la erosión hídrica, especialmente en tierras cultivadas (Pimentel *et al.*, 2003) y climas contrastados. Las consecuencias directas de este fenómeno son, entre otras, la degradación de los suelos, el declinar de la fertilidad, la desertificación, y la reducción de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua en el suelo. Las indirectas más destacadas son la reducción de la vida útil de los embalses, la disminución de la calidad de las aguas y la alteración de los cauces fluviales. Como señalan García-Ruiz & López Bermúdez (2009), no es extraño, pues, que se hable de la erosión como un gran problema y que haya desbordado el ámbito de los puramente científico para entrar a formar parte de los tópicos ambientales del siglo XXI.

Importantes políticas y directivas europeas así como diferentes medidas agroambientales de la PAC se han orientado a la lucha contra la erosión del suelo. En nuestro país, la magnitud del problema ha obligado a la administración a desarrollar programas específicos que han animado a los investigadores a profundizar

en determinadas líneas de investigación y han posibilitado la financiación de un buen número de proyectos. En este sentido, se puso en marcha en 1981 el *Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo* (LUCDEME) con el objetivo de promover los estudios y trabajos que permitiesen conocer las áreas afectadas por los procesos de degradación de suelos y facilitar el diseño de las medidas de acción adecuadas para reducir la desertificación. Este proyecto ha creado un fondo documental de casi cuatrocientos trabajos. Posteriormente, se ha elaborado el *Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación* (2008) que pretende prevenir o reducir la degradación de los ecosistemas, la rehabilitación de los suelos parcialmente degradados y la recuperación de tierras desertificadas en todo el territorio nacional y, en particular, en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Además de estos programas, diferentes convocatorias de I+D+i de carácter regional, nacional y europeo han financiado a equipos de investigación muy dinámicos de universidades y centros del CSIC.

Los avances en los estudios de erosión del suelo no hubiesen sido posibles —y probablemente la aproximación a esta temática no hubiese sido tan atractiva— sin el desarrollo de un conjunto de nuevas técnicas y metodologías orientadas al trabajo de campo y de laboratorio apoyadas en la informática y la computación (sistemas de información geográfica, levantamientos topográficos de detalle, desarrollo de modelos, etc.). Las posibilidades ofrecidas por estas técnicas han animado a los investigadores a abordar retos a diferentes escalas espaciales y han permitido la obtención de información cuantitativa de

gran valor. El uso de parcelas y cuencas experimentales ha facilitado una importante base de datos hidrológicos y de pérdida de suelo. La disponibilidad de sistemas de información geográfica, cartografía digitalizada y modelos matemáticos ha ayudado a plantear el problema de la erosión a escala regional, facilitando el conocimiento y predicción de las escorrentías y del transporte de sedimentos en función de cambios en la cubierta vegetal, en los usos del suelo o incluso del clima.

Por último, el estudio de la erosión, al tener un necesario fin práctico con el objeto de solucionar problemas, se convierte en una especialidad de la geomorfología atractiva para diferentes disciplinas. No sólo es necesario conocer y predecir el impacto de los procesos de erosión, también se hace imprescindible abordar medidas para su control. La geomorfología, centrada en los problemas de la erosión, es una ciencia claramente aplicada.

Las aportaciones del profesor José María García-Ruiz en el campo de la erosión del suelo recogen mucho de lo señalado en las líneas anteriores, pero, además, incorporan un valor añadido: una visión integradora entre el medio físico y el hombre que interpreta y gestiona el territorio. De este modo, el profesor García-Ruiz plasma en cada línea que redacta la formación geográfica que siempre ha estado presente en su trayectoria profesional. Estamos, pues, ante un geógrafo de primera línea por su abundante y rica producción científica, por la amplia variedad de temas que aborda, por el rigor de sus planteamientos, y por la perspectiva global que sabe infundir a sus trabajos.

El interés del profesor José María García-Ruiz por la erosión comienza en la dé-

Tabla 1. Publicaciones de José María García-Ruiz sobre erosión del suelo en revistas nacionales e internacionales

REVISTA	NÚMERO DE PUBLICACIONES
Earth Surface Processes and Landforms	1
Catena	4
Geomorphology	3
Journal of Hydrology	3
Hydrology and Earth System Sciences	1
Journal of Arid Environments	1
Journal of Soil and Sediment	1
Arctic, Antarctic and Alpine Research	2
Zeitschrift fur Geomorphologie	4
Physics and Chemistry of the Earth	6
Agriculture, Ecosystems and Environment	1
Geografiska Annaler	1
Geoöko Plus	1
Nordic Hydrology	1
Mountain Research and Development	5
IAHS Publication	4
Desertification Control Bulletin	1
Annales Geophysicae	9
Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest	2
Documents d'Ecologie Pyrénéenne	1
Cuadernos de Investigación Geográfica	9
Cuatenario y Geomorfología	2
Pirineos	3
Geographica	2
Cadernos Xeologico	1
ITEA	1
Zubía	2
	72

cada de los 80 y llega hasta la actualidad. En este periodo de tiempo ha dirigido o codirigido 15 proyectos de investigación relacionados directamente con la erosión y financiados por entidades públicas. En estos proyectos han participado decenas de investigadores y becarios de diferentes universidades y centros de investigación. Ha publicado 72 artículos en revistas de

impacto tanto nacionales como internacionales (Tabla 1) y ha abordando diferentes aspectos de la erosión del suelo (Tabla 2). Es autor de 30 capítulos de libros y 8 monografías y ediciones. El profesor García-Ruiz ha sido formador de investigadores de las ciencias ambientales. Ha dirigido 6 tesis doctorales sobre erosión del suelo y las ha dirigido de forma minuciosa,

Tabla 2. Publicaciones científicas del profesor García-Ruiz sobre erosión de suelo organizadas temáticamente

	ARTÍCULOS	CAPÍTULOS DE LIBRO	MONOGRAFÍAS Y EDICIONES	ACTAS CONGRESOS	TOTAL
Temática general			4	4	8
Revisión y síntesis	4	1			5
Campos abandonados y erosión	19	11	1	4	35
Usos del suelo y erosión	20	10	3	1	34
Replantaciones forestales y erosión	5				5
Nivel supraforestal y erosión	9	3			12
Sufosión	5	1			6
SIG y erosión	4	2			6
Vegetación y erosión	2	1			3
Otros	4	1			5
	72	30	8	9	119

Tabla 3. Tesis Doctorales dirigidas por el profesor García-Ruiz sobre erosión de suelo

AÑO	TÍTULO
1986	Procesos y formas de erosión en la evolución de vertientes de la Sierra de la Demanda (Sistema Ibérico)
1990	Las repoblaciones forestales en La Rioja: resultados y consecuencias ambientales
1992	Evolución geomorfológica de campos abandonados en áreas de montaña: el ejemplo del valle de Aísa, Pirineo Aragonés
2003	Identificación y características de las fuentes de sedimento en áreas de montaña: erosión y transferencia de sedimento en la cuenca alta del río Aragón
2008	Respuesta hidrológica y sedimentológica en una cuenca de montaña media afectada por cambios de cubierta vegetal: la cuenca experimental de Arnás, Pirineo Central
2010	Erosión del suelo y fuentes de sedimento en la cuenca del río Ésera (Pirineo Central). Análisis espacial y dinámica temporal mediante técnicas de simulación y teledetección

tutelando al doctorando con gran generosidad desde el diseño del trabajo hasta la redacción final (Tabla 3). Inolvidables, para los que hemos tenido la fortuna de ser tutelados por el profesor García-Ruiz, han sido las jornadas de campo en las que con sus explicaciones hacía comprensible lo complicado. Por ello, no es de extrañar que García-Ruiz haya sabido crear una escuela con discípulos que son amigos y que hoy se encuentran repartidos por di-

ferentes centros y universidades: Instituto Pirenaico de Ecología, Universidad de La Rioja, Universidad de León, Universidad de Valladolid, Estación Experimental de Aula Dei, etc.

En su trayectoria profesional García-Ruiz no ha renunciado a la divulgación consciente de la importancia de transmitir los resultados científicos a la sociedad. Por ello, cuenta con aportaciones en revistas y periódicos en los que, con una escritu-

ra fácil, pero muy bien trabajada, explica temas medioambientales a todos aquellos que se sienten atraídos por estas cuestiones. Tampoco declina las invitaciones para impartir conferencias en universidades, centros de investigación o instituciones.

Si se tuviese que encontrar un hilo conductor a la producción científica del profesor García-Ruiz, éste sería el análisis de los importantes cambios ambientales detectados como consecuencia de la marginación o intensificación del territorio. Y si se tuviese que precisar dónde se focaliza con más intensidad su inquietud científica, habría que afirmar que en los cambios de usos del suelo en las áreas de montaña y sus efectos hidrológicos y geomorfológicos. Efectivamente, en la montaña mediterránea se detectan transformaciones en las últimas décadas determinantes en la evolución y comportamiento de los sistemas naturales: el número de habitantes desciende por debajo incluso de lo que sería conveniente para el mantenimiento de los paisajes, se abandona la mayor parte de los cultivos, se transforman los sistemas de pastoreo haciéndose más extensivos, y amplias áreas de cuencas y laderas se reforestan o son ocupadas por el matorral. Estos cambios han tenido repercusiones en la disponibilidad de recursos hídricos y en el transporte de sedimentos. El profesor García-Ruiz ha pretendido y logrado analizar, cuantificar y valorar todos estos procesos.

Su producción científica manifiesta una extraordinaria capacidad de síntesis al interrelacionar constantemente procesos naturales y acciones humanas. Pienso que el profesor García-Ruiz ha conseguido trabajos donde la síntesis permite acercarse a los problemas haciendo sencillo lo com-

plejo. Pongamos como ejemplo de lo dicho cuatro trabajos de revisión, reflexión y estado de la cuestión de la erosión en el mundo mediterráneo: *La erosión del suelo en España* (García-Ruiz & López Bermúdez, 2009), *The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review* (García-Ruiz, 2010), *Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region. A review* (García-Ruiz & Lana-Renault, 2011) y *Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges* (García-Ruiz et al., 2013).

El objetivo de este trabajo es reparar brevemente la aportación científica del profesor José María García-Ruiz en el campo de la erosión del suelo. Para ello se desarrollarán los ejes principales de su producción científica, lo que exigirá dejar de lado otras líneas que pueden ser de interés, pero inabordables por razones de espacio. Con toda seguridad, algunas de ellas serán tratadas en otros capítulos de este libro.

2. EROSIÓN, ABANDONO DEL ESPACIO CULTIVADO Y USOS DEL SUELO

Durante siglos las laderas de la montaña mediterránea se convirtieron en espacios cultivados por medio de campos en pendiente y bancales en el marco de una economía de subsistencia con escasos intercambios. A partir de la década de los 50 del siglo pasado, estos campos son abandonados activándose diferentes procesos: erosión del suelo, recolonización vegetal, modificaciones de las redes de drenaje, etc. Estos procesos comienzan a ser estudiados por el profesor García-Ruiz a finales de la década de los 80 y son con-

tinuados sin interrupción hasta la actualidad. De este modo, las aportaciones de García-Ruiz configuran un corpus científico de estimable valor para entender las relaciones entre el abandono del territorio y la erosión.

En 1991, tras la publicación de media docena de trabajos y prácticamente terminada una tesis doctoral (Ruiz-Flaño, 1993), García-Ruiz se pregunta sobre el problema de la erosión en campos abandonados y subraya que un campo abandonado es un natural y complejo laboratorio en el que interactúan tres factores: por un lado, los procesos de recolonización vegetal que dependen del contexto climático general y de la calidad de los suelos; por otro lado, el comienzo de procesos geomorfológicos severos cuya intensidad y frecuencia varía con el tiempo dependiendo de las características de la recolonización vegetal y de la erodibilidad del suelo; y, finalmente, los campos abandonados, aunque no estén cultivados, continúan integrados en la organización espacial de las áreas de montaña, de modo que en muchos casos son reutilizados con fines ganaderos. El uso ganadero tiene una gran influencia en los procesos de recolonización vegetal y, por consiguiente, en el funcionamiento hidrológico de los suelos (García-Ruiz *et al.*, 1991). Este laboratorio natural, como lo define el propio profesor García-Ruiz, le ocupará una buena parte de su trayectoria investigadora.

Es necesario remarcar que el estudio de la erosión del suelo en espacios agrarios abandonados ha sido abordado por García-Ruiz a diferentes escalas lo que necesariamente le ha obligado a utilizar distintas metodologías. De este modo, sus aportaciones facilitan una amplia pers-

pectiva del problema y unas conclusiones relevantes.

Sus primeros trabajos se apoyan en el uso de transectos geomorfológicos y microparcelas. El primer método permite detectar la presencia de procesos de erosión superficiales y conocer su diversidad, intensidad y grado de asociación (Ruiz Flaño *et al.*, 1991, 1992a). El segundo, a pesar de las limitaciones propias de este tipo de métodos, ayuda a conocer las órdenes de magnitud de pérdida de suelo bajo diferentes microambientes (Ruiz Flaño *et al.*, 1992b). La técnica se adapta muy bien, en consecuencia, a la diversidad geoambiental de los campos abandonados, diversidad que condiciona la producción de sedimentos. Estos trabajos explican el importante papel del matorral y la pedregosidad en la protección de los suelos. Una densa cubierta de matorral en las parcelas controla prácticamente toda la precipitación sin que se detecten pérdidas apreciables de suelo. La erosión se convierte en un problema cuando la vegetación no es capaz de cubrir densamente los antiguos campos o los procesos de recolonización vegetal se interrumpen por la gestión antrópica posterior. En este último caso, el uso de fuegos periódicos, que ayudan a mejorar temporalmente la calidad del pasto interrumpiendo la sucesión vegetal, puede favorecer la formación de rigolas, especialmente en campos abandonados con un estado avanzado de deterioro geomorfológico (Ruiz Flaño & García-Ruiz, 1990).

A partir de 1991, y en un intento de avanzar en el conocimiento de la erosión en campos abandonados, se diseña la estación experimental Valle de Aísa. Inicialmente, contó con seis parcelas cerradas

de 30 m². Con posterioridad, el número se amplió a nueve. Cada parcela fue ocupada por diferentes usos del suelo, con la finalidad de comparar el funcionamiento hidrológico y geomorfológico en relación con prácticas agrícolas tradicionales, cubierta de matorral e incendios. Los resultados, publicados en 1994 y 1995 (Lasanta *et al.*, 1994; García-Ruiz *et al.*, 1995), concluían que la artica (parcela de rozas o agricultura nómada en el Pirineo) y el barbecho, en alternancia con el cereal, mostraban una importante pérdida de suelo. La agricultura itinerante incrementa la escorrentía superficial, el transporte de sedimentos en suspensión y la concentración de solutos. La pérdida total de suelo es 14 veces más alta en este tipo de uso de suelo que en parcelas bajo densa cubierta de matorral (Lasanta *et al.*, 2006).

El funcionamiento geomorfológico más moderado, pues, se registró en las parcelas con matorral muy denso. En estas condiciones tanto la escorrentía como la producción de sedimentos se muestran muy moderadas. Las parcelas con quema de matorral implican un incremento inicial importante de las tasas de erosión aunque posteriormente, después de unos meses, éstas se moderan como consecuencia de la recuperación de la cubierta vegetal. Se concluye, pues, que el fuego es una causa seria de erosión del suelo cuando se repite el proceso anualmente con el objeto de mejorar los pastos.

Los resultados obtenidos en la estación Valle de Aísa muestran que, durante el llamado sistema tradicional, la agricultura cerealista con barbecho y la agricultura nómada se convirtieron en una importante fuente de sedimentos en las laderas más pendientes y con menos es-

tructuras de conservación. En todo caso, es innegable que las parcelas abandonadas muestran una tendencia a reducir la generación de escorrentía y la producción de sedimentos con el tiempo. Esta tendencia está condicionada por la colonización vegetal que afecta a las parcelas desde el momento en que los campos dejan de cultivarse, favoreciendo un creciente consumo de agua por la vegetación, una mayor infiltración y una reducción de los procesos de erosión (Lasanta *et al.*, 2010; Nadal-Romero *et al.*, 2012).

En el año 1996 se instrumentalizó la cuenca de Arnás y en 1997 la de San Salvador, ambas en el Pirineo (García-Ruiz *et al.*, 2000; Arnáez *et al.*, 2002; Lana-Renault *et al.*, 2004; García-Ruiz *et al.*, 2008). El propio profesor García-Ruiz señala que la utilización de cuencas experimentales representa un importante cambio de perspectiva en el estudio de la hidrogeomorfología. No es sólo un cambio de escala, sino también un marco conceptual distinto que permite abordar problemas científicos más complejos y con un horizonte más amplio (García-Ruiz & Gallart, 1997).

La cuenca de Arnás, con una superficie de 284 hectáreas, se localiza en el valle de Borau y representa un ambiente de montaña intensamente intervenido. Toda la cuenca fue cultivada, incluso las laderas más pronunciadas fueron ocasionalmente ocupadas por articas. En la actualidad, los campos de cultivo están abandonados y se encuentran sometidos a un proceso complejo de colonización vegetal. La cuenca de San Salvador ocupa 92 hectáreas y es un afluente del río Estarrún. Está cubierta por un denso bosque de *Pinus sylvestris* acompañado de bosquetes de hayas en las umbrías y robles dispersos. El seguimiento

de Arnás y San Salvador ayuda, pues, a conocer el comportamiento hidrológico y geomorfológico con diferente historia de usos del suelo y de cubierta vegetal.

En la cuenca de Arnás, el sedimento en suspensión es un componente muy importante de los materiales transportados en momentos de avenida y en el balance anual. Este tipo de transporte es un fenómeno casi exclusivo de las crecidas y muestra una fuerte estacionalidad. La mayor cantidad de sedimentos suspendidos es exportada en primavera, cuando el cauce es hidrológicamente más activo. En Arnás, la carga de fondo es relativamente importante sugiriendo el desarrollo de crecidas instantáneas y la existencia de áreas fuente de sedimentos muy cerca del cauce.

El predominio de campos en pendiente en la cuenca de Arnás y la existencia de laderas afectadas por agricultura itinerante explican la importancia de la erosión en el momento de máxima ocupación de la cuenca por la agricultura. Sin embargo, en estos momentos la recolonización vegetal de los antiguos campos cultivados, cubiertos de manera casi general por matorrales densos, limita cada vez más la superficie de las áreas fuente de sedimentos que se localizan en exclusiva en el propio cauce, en los taludes y en las áreas afectadas por la erosión difusa.

La cuenca de San Salvador, cubierta de bosque, se comporta de forma más moderada y homogénea tanto desde un punto de vista hidrológico como geomorfológico. En San Salvador, la mayoría del material es exportado en forma de solutos y, en menor medida, como sedimento en suspensión. Prácticamente no se recoge carga de fondo. Este comportamiento se

explica por la ausencia de áreas degradadas o erosionadas.

Finalmente, en un intento de comprender con más precisión el funcionamiento de los procesos de erosión en espacios fuertemente intervenidos, el profesor García-Ruiz, en colaboración con Alatorre y Beguería, aborda un estudio a escala regional (Alatorre *et al.*, 2010), aplicando un modelo de exportación de sedimentos y erosión del suelo espacialmente distribuido (WATEM/SEDEM) a las cuencas del Ésera e Isabena en el Pirineo. En el trabajo se indica que hay unas grandes diferencias en la producción de sedimentos dependiendo de los usos del suelo. Para la zona de estudio las principales fuentes de sedimentos se encuentran en las áreas de badlands, los cultivos en secano, el matorral en bosques de coníferas poco densos y en las áreas de suelo desnudo.

Los resultados obtenidos por el profesor García-Ruiz y su equipo tras años de experimentaciones sugieren que la agricultura tradicional contribuyó sustancialmente a la degradación y erosión de los suelos. El abandono de las actividades agrícolas y ganaderas, las reforestaciones llevadas a cabo por las administraciones públicas y la recolonización del matorral han afectado a la magnitud y frecuencia de las escorrentías y crecidas además de reducir las áreas fuente de sedimentos, por lo que es de esperar a corto y medio plazo una reducción de los procesos y tasas de erosión (García-Ruiz *et al.*, 2010).

Estos estudios han demostrado la importancia de considerar varias escalas espaciales y temporales. De este modo, la información puede complementarse para obtener una perspectiva de conjunto de los procesos. Los estudios llevados a

cabo con simulaciones de lluvia o parcelas experimentales aportan datos sobre infiltración, impacto de gotas de lluvia o generación de escorrentía, pero no incluyen información sobre la conectividad con las redes fluviales y las consecuencias de la salida de sedimentos de las cuencas. Los estudios a escala regional ayudan a conocer balances de sedimentos y a identificar las grandes áreas de aportación, pero no contribuyen a descifrar lo que ocurre en las laderas. García-Ruiz et al. (2010) terminan afirmando que una perspectiva holística del funcionamiento hidrológico de la región requiere una aproximación multiescalar que integre laderas, pequeñas cuencas, grandes cuencas y canales fluviales.

3. REPOBLACIONES FORESTALES Y EROSIÓN

A finales de los 80 el profesor García-Ruiz abre una línea de investigación centrada en los efectos ambientales de las repoblaciones forestales en el Pirineo que completa en la primera mitad de la siguiente década con investigaciones realizadas en el Sistema Ibérico riojano. Este línea de trabajo se concreta en la realización de una tesis doctoral (Ortigosa, 1991) y en la publicación de cuatro publicaciones editadas en prestigiosas revistas (García-Ruiz & Ortigosa, 1988; García-Ruiz & Ortigosa, 1992; Ortigosa & García-Ruiz, 1995a y b). Partiendo de la hipótesis de que los efectos en los ecosistemas de las políticas de reforestación son significativos, el objetivo de estos trabajos fue analizar el comportamiento hidrológico y geomorfológico de las cuencas reforestadas según la heterogeneidad ambiental y las técnicas de repoblación.

Los impactos de las reforestaciones sobre la dinámica geomorfológica de la ladera son diversos, mostrándose la técnica de repoblación como un factor de gran influencia. En el Sistema Ibérico riojano, con repoblaciones relativamente jóvenes y técnica de terrazas, la erosión anual fue calculada en $21.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, un valor elevado en comparación con los resultados obtenidos en repoblaciones realizadas con surcos ($4.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Ortigosa, 1991). En el Pirineo, se comprobó que el nivel del barranco explica una parte importante de la variabilidad de los resultados, de modo que los cauces de segundo orden en cuencas repobladas tienen un funcionamiento más regulado, con alto cubrimiento vegetal y escaso suelo desnudo. Así pues, los efectos positivos de las repoblaciones forestales en el comportamiento hidrológico de las cuencas se manifiestan especialmente en las cuencas de segundo orden y superiores y no tanto en las cuencas de primer orden, receptoras inmediatas de las escorrentías ocasionadas por las repoblaciones.

4. LA EROSIÓN EN EL NIVEL SUPRAFORESTAL

La acción humana también ha estado presente en la alta montaña mediterránea, lo que ha supuesto importantes cambios en el límite superior del bosque. La necesidad de ampliar la superficie dedicada a los pastos de verano para alimentar al ganado ha causado un descenso de este nivel varios cientos de metros. Este ambiente de la montaña también ha llamado la atención del profesor García-Ruiz. En concreto, sus estudios se han centrado en el nivel supraforestal del Pirineo Central. Aquí, el descenso del nivel del bosque

hasta los 1500-1600 metros ha favorecido el incremento de la superficie de prados alpinos y la reducción del área forestal.

Inicialmente, la aproximación a estas áreas se llevó a cabo por medio de la descripción y análisis detallado de los procesos geomorfológicos y su relación con diferentes variables geoambientales (García-Ruiz & Arbella, 1981; Puigdefábregas & García-Ruiz *et al.*, 1984; García-Ruiz *et al.*, 1990). Con posterioridad, se consiguió cuantificar la erosión a partir de la instalación de una estación experimental en la cuenca de Izas (Alvera & García-Ruiz, 2000; Alvera *et al.*, 2009; Lana-Renault *et al.*, 2011). Ésta se extiende sobre 33 hectáreas, entre los 2060 y 2280 metros de altitud, y está ocupada por una densa cubierta de pastos subalpinos con importantes descarnaduras en cabecera.

En Izas, la erosión está condicionada por la acumulación de la nieve y los periodos de fusión (entre 2 y 3 meses). En los meses de fusión el transporte de sedimentos en suspensión representa el 60% del total anual. El transporte de solutos es constante a lo largo de todo el periodo de fusión, mientras que el sedimento en suspensión es más destacado con la fusión avanzada, cuando una amplia área de la cuenca queda libre de la nieve. Los sedimentos movilizados provienen de las áreas más próximas al cauce y de las áreas saturadas. En contraste, durante los eventos en los que se suma la fusión de la nieve y la lluvia el sistema de cárcavas contribuye a la carga de sedimentos. Estos resultados demuestran el importante papel de la acumulación de la nieve y los procesos de fusión en el control hidrológico y geomorfológico de los ambientes de alta montaña.

5. SUFOSIÓN

Si bien la preocupación principal del profesor García-Ruiz ha sido el análisis de los espacios marginales, también ha centrado su interés en áreas intensamente explotadas de la Depresión del Ebro. En algunos sectores de terrazas y glaciares o en fondos de valle cultivados y sometidos a un excesivo riego, se desarrollan *pipes*, con la consiguiente degradación del suelo y una pérdida potencial de la capacidad productiva. A esta línea de trabajo se ha dedicado el profesor García-Ruiz durante algunos años. En el 2011 publica, en la revista científica *Cuadernos de Investigación Geográfica*, un artículo en el que revisa los trabajos realizados en España sobre este tema y subraya la importancia de este proceso de erosión en materiales poco consolidados sobre litologías blandas (García-Ruiz, 2011). Los *pipes* juegan un papel destacado en el desarrollo de canales por erosión subsuperficial y colapso de techos, intervienen en la generación de escorrentía y contribuyen a activar una amplia variedad de procesos de erosión (Jones, 1994).

Con anterioridad, el propio García-Ruiz había analizado las causas que originan los *pipes* y cuantificado sus consecuencias en campos cultivados y regados (García-Ruiz *et al.*, 1986 y García-Ruiz *et al.*, 1997). En concreto, estudia campos cultivados con alfalfa en los que el arado apenas altera las grietas superficiales o la red de canales subsuperficiales. En estos ambientes la formación de *pipes* está vinculada a un elevado gradiente hidráulico, a la existencia de sales solubles en el suelo y a un descenso de la permeabilidad en profundidad por transporte vertical de arcillas. Los conductos de sufosión tienden a loca-

lizarse en el nivel en el que se produce un marcado cambio de textura. La red de pipes analizada evacuó, según el trabajo de García-Ruiz et al. (1997), un 15% de agua utilizada para el riego, con una erosión de $3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

6. CONCLUSIONES

La dilatada carrera profesional del profesor García-Ruiz, su elevada producción científica y el mantenimiento de un extenso y duradero programa de investigación, que ha desarrollado junto a sus discípulos y colegas, han aportado a la geomorfología española una valiosa información sobre la erosión del suelo y una destacada interpretación de las interacciones entre determinadas acciones del hombre y el funcionamiento de los procesos de erosión. Y todo ello se ha logrado aplicando metodologías innovadoras y aportando una visión integradora.

Lo obtenido hasta la fecha le ha permitido al profesor García-Ruiz reflexionar sobre los cambios y retos futuros en los estudios de la erosión del suelo en el paisaje mediterráneo en el que conviven áreas degradadas con otras que han logrado mantener sus funciones geoecológicas; un paisaje, además, configurado a partir de un delicado equilibrio entre la naturaleza y la larga historia de ocupación humana. En un excelente trabajo titulado *Erosion in Mediterranean landscape: changes and future changes*, García-Ruiz & colaboradores (2013) subrayan los nuevos retos científicos que habrá que abordar a medio plazo con el objeto de controlar las consecuencias negativas de la erosión del suelo en la región mediterránea: i) reducir los efectos y extensión de los incendios forestales y reestructurar la organización

espacial de los paisajes abandonados, ii) orientar para que la política agraria tome en consideración la complejidad y fragilidad de los ambientes mediterráneos, iii) desarrollar métodos de campo y modelos para mejorar la identificación de las áreas de contribución de agua y sedimentos, iv) contribuir a la conservación de los paisajes que tienen un elevado valor productivo y cultural, v) mejorar el conocimiento del funcionamiento hidrológico y geomorfológico de los badlands para reducir la producción y accesibilidad de los sedimentos, vi) mejorar el conocimiento de los efectos del cambio climático en la erosión del suelo en las regiones mediterráneas, vii) mejorar la información cuantitativa de la erosión del suelo a largo plazo.

Estos atractivos retos, sin duda, serán atendidos en los próximos años por los geógrafos y geomorfólogos, algunos de los cuales han sido formados por el profesor García-Ruiz. De este modo, la labor que emprendió hace 35 años tiene proyección y posibilidades de continuidad. Jóvenes investigadores recogerán su testigo animados por su ingente e innovador legado.

7. AGRADECIMIENTOS

Mi primer encuentro con José María García-Ruiz fue hace ahora exactamente cuarenta años, cuando comencé mis estudios universitarios. Sus clases magistrales me despertaron el interés por la geografía y, lo que es más importante, me permitieron conocer el buen hacer de un excelente profesor. Terminada la carrera tuve la fortuna de que dirigiese mi primer trabajo de investigación -la tesina- y, posteriormente, la tesis doctoral. Desde entonces hemos compartido retos académicos y científicos, jornadas de campo, viajes y muy buenos momentos en torno a una interesante conversación pero, sobre todo, hemos cultivado una gran amistad. Quienes tenemos la suerte de

ser sus amigos sabemos de su bondad y de sus cualidades humanas. Así pues, ha sido una satisfacción dejar constancia en estas líneas de mi reconocimiento a la aportación de José Mari a la geografía española y de su ejemplar magisterio. Termino expresando mi gratitud por su amistad y deseando que disfrute de esta nueva etapa que comienza. Estoy seguro de que será tan fructífera como la desarrollada hasta ahora.

8. REFERENCIAS

- Alatorre, L.C., Beguería, S. & García-Ruiz, J.M. (2010): Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology*, 391: 109-123.
- Alvera, B. & García-Ruiz, J.M. (2000): Variability of sediment yield from a high mountain catchment, Central Spanish Pyrenees. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 32 (4): 478-484.
- Alvera, B., Lana-Renault, N. & García-Ruiz, J.M. (2009): Sediment transport during the snowmelt period in a Mediterranean high mountain catchment. In: *Avances en estudios sobre desertificación* (A. Romero Díaz, F. Belmonte Serrato, F. Alonso Sarriá, F. López Bermúdez, eds.), Ediciones de la Universidad de Murcia, pp. 159-162, Murcia.
- Arnáez, J., Beguería, S., Martí-Bono, C., Lorente, A. & García-Ruiz, J.M. (2002): Avenidas y transporte de sedimento en cuencas con diferente cubierta vegetal. Estudio experimental en el Pirineo Central español. In *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio* (A. Pérez González, J. Vegas, M.J. Machado, eds.), Instituto Geológico y Minero de España, pp. 227-234, Madrid.
- García-Ruiz, J.M. (1999): *La producción científica de la geomorfología española y su impacto, a través de las publicaciones periódicas*. Instituto Pirenaico de Ecología, 104 pág., Zaragoza.
- García-Ruiz, J.M. (2010): The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81: 1-11.
- García-Ruiz, J.M. (2011): Una revisión de los procesos de sufosión o piping en España. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 37 (1): 7-23.
- García-Ruiz, J.M. & Lana-Renault, N., (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140: 317-338.
- García-Ruiz, J.M. & Arbella, M. (1981): Modelos de erosión en el piso subalpino: La degradación de los loess del macizo de Monte Perdido. *Pirineos*, 114: 35-58.
- García-Ruiz, J.M. & Ortigosa, L. (1988): Algunos efectos geomorfológicos de las repoblaciones forestales: Cambios en la dinámica de cauces en pequeñas cuencas del Pirineo Central español. *Cuaternario y Geomorfología*, 2: 33-41.
- García-Ruiz, J.M. & Ortigosa, L. (1992): Some geomorphological effects of afforestation techniques in the Central Spanish Pyrenees. *Geoöko Plus*, 3: 37-44.
- García-Ruiz, J.M. & Gallart, F. (1997): Las cuencas experimentales como base para el estudio de la erosión y la desertificación. En *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación* (J.J. Ibáñez, B. Valero Garcés, C. Machado, eds.). Geoforma Ediciones, pp. 221-238, Logroño.
- García-Ruiz, J.M. & López Bermúdez, F. (2009): *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 441 pág., Zaragoza.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L. & Arnáez, J. (1986): Pipes in cultivated soils of La Rioja, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl. Bd*, 58: 93-100.
- García-Ruiz, J.M., Alvera, B., Del Barrio, G. & Puigdefábregas, J. (1990): Geomorphic processes above the timberline in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10 (3): 201-214.
- García-Ruiz, J.M., Ruiz Flaño, P., Lasanta, T., Montserrat, G., Martínez Rica, J.P. & Pardi-

- ni, G. (1991): Erosion in abandoned fields, what is the problem? In *Soil erosion studies in Spain* (M. Sala, J.L. Rubio, J.M. García-Ruiz, eds.). Geoforma Ediciones, pp. 97-108, Logroño.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L., Ruiz Flaño, P., Martí, C. & González, C. (1995): Sediment yield under different land-uses in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 15 (3): 229-240.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T. & Alberto, F. (1997): Soil erosion by piping in irrigated fields. *Geomorphology*, 20 (3-4): 269-278.
- García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Arnáez, J., Beguería, S., Lorente, A. & Seeger, M. (2000): Las cuencas experimentales de Arnás y San Salvador en el Pirineo Central español: escorrentia y transporte de sedimento. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 26: 23-40.
- García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano Muela, P., Nadal Romero, E., Navas, A., Latron, J., Martí Bono, C. & Arnáez, J. (2008): Flood generation and sediment transport in experimental catchments along a plant cover gradient in the Central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 356: 245-260.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N., Beguería, S., Lasanta, T., Regüés, D., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., López-Moreno, J.I., Alvera, B., Martí-Bono, C. & Alatorre, L.C. (2010): From plot to regional scales: Interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 120: 248-257.
- García-Ruiz, J., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N. & Beguería, S. (2013): Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198: 20-36.
- Jones, J.A.A. (1994): Soil piping and its hydrogeomorphic function. *Cuaternario y Geomorfología*, 8: 77-102.
- Lana-Renault, N., Beguería, S., Regüés, D., Martí-Bono, C., Arnáez, J. & García-Ruiz, J.M. (2004): Transporte de sedimento en suspensión en una cuenca de montaña media, Pirineo Central. En: *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología* (G. Benito & A. Díez Herrero, eds.), pp. 171-178, Toledo.
- Lana-Renault, N., Alvera, B. & García-Ruiz, J.M. (2011): Runoff and sediment transport during the snowmelt period in a Mediterranean high mountain catchment. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 43 (2): 213-222.
- Lasanta, T., Ruiz Flaño, P., Ortigosa, L. & García-Ruiz, J.M. (1994): Cultivo frente a abandono de tierras en laderas de montaña: Primeros resultados hidromorfológicos. En: *Efectos Geomorfológicos del Abandono de Tierras* (J.M. García-Ruiz y T. Lasanta, eds.). Sociedad Española de Geomorfología, pp. 83-93, Zaragoza.
- Lasanta, T., Beguería, S. & García-Ruiz, J.M. (2006): Geomorphic and hydrological effects of traditional shifting agriculture in a Mediterranean mountain, Central Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 26(2): 146-152.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., Vicente-Serrano, S. & García-Ruiz, J.M., (2010): Escorrentia y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la Estación Experimental "Valle de Aísa". *Pirineos*, 165: 115-133.
- Nadal-Romero, E., Lasanta, T. & García-Ruiz, J.M. (2012): Runoff and sediment yield from land under various uses in a Mediterranean mountain area: long-term results from an experimental station. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38: 346-355.
- Ortigosa, L. (1991): *Las repoblaciones forestales en La Rioja: resultados y efectos geomorfológicos*. Geoforma Ediciones, 149 pág., Logroño
- Ortigosa, L. & García-Ruiz, J.M. (1995a): Geomorphological consequences of afforestation at a basin scale. An example from the Central Pyrenees. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20 (3-4): 345-350.
- Ortigosa, L. & García-Ruiz, J.M. (1995b): Geomorphological consequences of afforestation at a basin scale. An example from the Central Pyrenees. *Annales Geophysicae*, 13 (2): 457.

- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. & Blair, R. (1995): Environmental and Economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, nº 5201: 1117-1123.
- Puigdefábregas, J. & García-Ruiz, J.M. (1984): Dynamique des versants au niveau supraforestier: Glissements massifs des sols anciens dans les Pyrénées Centrales. *Documents d'Ecologie Pyrénéenne*, 3-4: 449-454.
- Ruiz Flaño, P., 1993. *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geofoma Ediciones, 191 pp., Logroño.
- Ruiz Flaño, P. & García-Ruiz, J.M. (1990): Incisiones (rills) en campos abandonados: Primeras observaciones sobre la capacidad de transporte de sedimentos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 16: 109-122.
- Ruiz Flaño, P., Ortigosa, L. & García-Ruiz, J.M. (1991): Distribución espacio-temporal de los microambientes geomorfológicos en campos abandonados en pendiente (Valle de Aísa, Pirineo aragonés). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 17: 89-101.
- Ruiz Flaño, P., García-Ruiz, J.M. & Ortigosa, L. (1992a). Geomorphological evolution of abandoned fields. A case study in the Central Pyrenees. *Catena*, 19: 301-308.
- Ruiz Flaño, P., Lasanta, T. & García-Ruiz, J.M. (1992b): La variabilidad espacial de la producción de escorrentía y sedimentos como base para la gestión de campos abandonados. En *Estudios de Geomorfología en España* (F. López Bermúdez, C. Conesa, M.A. Romero, eds.). Sociedad Española de Geomorfología, pp. 221-230, Murcia.