

CIENCIA DEL SUELO Y CAMBIOS CLIMATICOS: PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO

Ildfonso Pla Sentís¹

¹ Universidad de Lleida, España. Correo electrónico: ipla@macs.udl.es

RESUMEN

Los suelos determinan algunos aspectos cruciales para la vida del hombre como la producción de alimentos, la regulación del ciclo hidrológico en la tierra, y los cambios de composición de la atmósfera. Con el incremento de la población mundial y de sus necesidades, la información de buena calidad sobre los suelos y sus propiedades será cada vez más necesaria para poder tomar decisiones adecuadas en cuanto al uso agrícola y no agrícola de las tierras, en relación a producción de cultivos, suplencia de agua y calidad ambiental. En dicha evaluación y predicción deben considerarse los posibles efectos de *cambios climáticos*, con el objetivo de mitigar y reducir las causas y efectos negativos de dichos cambios sobre el ambiente en general, y sobre la capacidad de los suelos de proveer bienes y servicios a la sociedad. Actualmente, los *cambios globales*, en especial los *cambios de clima* y población, están llevando a procesos generalizados de degradación de suelos, con graves consecuencias ambientales, sociales y económicas, que se manifiestan en descensos en la producción (o incrementos en los costos de producción) de alimentos, descensos en la disponibilidad de agua de buena calidad para las necesidades agrícolas, urbanas e industriales, descensos en la diversidad biológica, efectos sobre los cambios climáticos, e incremento de los riesgos de “desastres naturales”. A pesar de que en el pasado la investigación en Ciencia del Suelo ha contribuido al incremento de la producción de alimentos y el mejoramiento de la calidad ambiental, en los últimos años se ha presentado un estancamiento, y a veces un deterioro, en la calidad y cantidad de dicha investigación. Una de las principales razones para esa tendencia ha sido el descenso en los recursos, económicos y humanos, dedicados a estudios de suelos a nivel de campo, en relación a las crecientes presiones derivadas del uso competitivo de los escasos recursos suelo y agua. Adicionalmente, se han cometido errores en la utilización de sistemas y prácticas para incrementar la productividad agrícola de los suelos que han provocado problemas ambientales, y no se ha demostrado en forma convincente la asociación de la degradación de suelos con cambios en productividad, y en especial con la suplencia y calidad del agua. Para enfrentarse a las limitaciones actuales y potenciales de los recursos suelo y agua, y las posibles influencias de *cambios climáticos globales*, se requieren con urgencia aproximaciones nuevas e integrales para el manejo sostenible de las tierras. En general, el desarrollo futuro de la investigación en Ciencia del Suelo debe dirigirse a lograr una mejor comprensión de los procesos y reacciones en los suelos relacionados con la producción de cultivos, con el reciclaje de residuos y con el balance hídrico, en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Esto requerirá a su vez reorientar y mejorar la formación básica en Ciencia del Suelo y sus aplicaciones, con un enfoque más holístico, integrando teoría y trabajo de campo, no solamente dirigida a científicos de suelos, sino también a otros profesionales involucrados en el diseño y planificación del uso y manejo de las tierras a todos los niveles

INTRODUCCION

El suelo es un gran reservorio para la vida sobre la tierra y controla los ciclos geo-químicos a nivel global. Las funciones biofísicas del suelo son fundamentales para el mantenimiento de la integridad y salud de nuestro ambiente. Por lo tanto el suelo es fundamental para las necesidades de la vida humana y juega un papel central en la determinación de la calidad del ambiente. En el futuro, el papel de los suelos y de la cubierta de los suelos en algunos aspectos cruciales para la vida del hombre como producción de alimentos, ciclo hidrológico de la tierra y composición del aire se irá incrementando constantemente. Para proteger dichas funciones se requiere evaluar y predecir el comportamiento de

los suelos en tiempo y espacio bajo un amplio rango de usos de la tierra, agrícolas y no agrícolas, en relación a producción de cultivos, suplencia de agua y calidad ambiental (Pla, 2006a).

Las actividades humanas sobre la tierra son las principales causas del deterioro del ambiente, cuyos principales componentes son los recursos suelo y agua. Los problemas ambientales derivados de dicho deterioro se han acelerado en las últimas décadas fundamentalmente como resultado del incremento en la escala y velocidad de las transformaciones – en especial cambios en el uso y manejo de las tierras - derivadas del incremento de la población y del crecimiento de los recursos necesarios para mantener esa población. Como efectos derivados de dichas transformaciones ocurren otras alteraciones como *cambios climáticos* (derivados de incremento de los llamados gases con efecto invernadero) y pérdida de biodiversidad. Este conjunto de transformaciones constituyen lo que se ha llamado *cambio global*, siendo las transformaciones en el uso y manejo de las tierras su principal componente.

Las crecientes influencias humanas sobre los suelos, tanto a través de la expansión e intensificación de las actividades agrícolas con prácticas no apropiadas de manejo de la tierra, y el crecimiento del número y tamaño de las áreas pobladas, resulta frecuentemente en extensos procesos de degradación de tierras y suelos, y en un incremento en la producción de residuos de origen doméstico e industrial. Asociado a la degradación de tierras y suelos se presenta un descenso en la disponibilidad de agua de buena calidad para suplir las necesidades agrícolas, urbanas e industriales, y un descenso en la diversidad biológica. Derivado principalmente de la degradación de tierras y suelos, y de los cambios hidrológicos asociados, se han incrementado los riesgos y problemas de sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra, sedimentaciones, etc. Los cambios en la cobertura de la tierra y la degradación de los suelos contribuyen a su vez a los *cambios climáticos globales*.

Los suelos tienen una gran influencia en el ciclo hidrológico. Son uno de los principales reservorios de agua dulce, y transforman las fuentes discontinuas y erráticas de agua de lluvia en una suplencia continua de agua a las raíces de las plantas y a continuas descargas de agua a las aguas freáticas, a los arroyos y los ríos. Los procesos hidrológicos determinan el transporte de materiales y contaminantes solubles en agua de origen natural o antropogénico. Los constituyentes naturales presentes en el suelo son movilizados y transportados como resultado de la infiltración y flujo del agua de lluvia y/o del agua de riego. Los elementos contaminantes son parcialmente retenidos, liberados y transformados en el suelo antes de alcanzar el nivel freático. Por lo tanto, los procesos hidrológicos en el suelo pueden tener una gran influencia en la calidad de los recursos hídricos. El deterioro continuo de la calidad del agua disponible para diferentes usos (consumo humano, riego, etc.) resalta la importancia de la conservación del recurso agua asociado a la conservación del recurso suelo. Un enfoque integral del uso, manejo y conservación de los recursos suelo y agua es indispensable por las fuertes relaciones entre el suelo y la cantidad y calidad del agua (Pla, 2002a).

Interacciones del suelo con los cambios climáticos

Cambios climáticos globales se refieren especialmente al efecto sobre el clima del incremento inducido por el hombre de gases con efecto invernadero, en especial CO₂, CH₄ y N₂O, en la atmósfera. Estos efectos se manifiestan en un incremento de las temperaturas medias de nuestro planeta, cuyas manifestaciones se irán incrementado en las próximas décadas (IPCC, 2007). Sin embargo hoy en día aún no hay pruebas concluyentes de que este progresivo *calentamiento global* se deba al aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. También hay muchas incertidumbres sobre los cambios futuros en temperatura y en especial en lluvias como resultado de dicho *calentamiento global*, por los posibles efectos que ello tenga en el incremento de emisiones de otro gas invernadero como es el vapor de agua, y con ello incremento de las nubes, y su interacción con la cobertura vegetal de la tierra y los cambios resultantes en albedo y en evapotranspiración.

La transformación de las tierras tiene un papel muy importante en el *clima global*, al ser responsable de casi un 20% de las emisiones antrópicas de dióxido de carbono, y de un porcentaje mucho mayor

de las emisiones de metano y óxido nítrico a la atmósfera, todos ellos gases con efecto invernadero (**Figuras 1 y 2**). En las interacciones del suelo con la atmósfera, el suelo puede ser tanto un contribuyente como un receptor de los impactos del cambio climático (Rosenzweig y Hillel, 2000). Tradicionalmente el uso y manejo de las tierras para agricultura ha resultado en grandes pérdidas de materia orgánica y en la emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, y el uso ineficiente de algunos insumos como fertilizantes y agua de riego pueden contribuir a incrementar las emisiones de otros gases con efecto invernadero como metano y óxido nítrico. Por el contrario, con un manejo adecuado del suelo, que permita mejorar la productividad de las tierras con un uso más eficiente de los insumos agrícolas y restableciendo los niveles de materia orgánica se puede mitigar la emisión de gases invernadero a través de lo que se llama secuestro de carbono en el suelo y reducción de otras emisiones (Rounsevell et al., 1999). A su vez, los principales efectos sobre los suelos que podrían derivarse de los esperados cambios climáticos se reflejarían en cambios en la suplencia de materia orgánica al suelo a partir de la biomasa, en el régimen de temperatura del suelo y especialmente en la hidrología del suelo por los cambios en la lluvia (cantidad y distribución) y en la evapo-transpiración potencial. Sin embargo, los cambios en los suelos derivados de la acción directa del hombre suelen ser mucho mayores que los derivados directamente de *cambios climáticos*, por lo que generalmente los efectos de degradación de tierras agrícolas por *cambios climáticos* podrían evitarse o atenuarse con prácticas de manejo de dirigidas a mantener y mejorar la capacidad productiva de los suelos (Pla, 1994; 2006b).

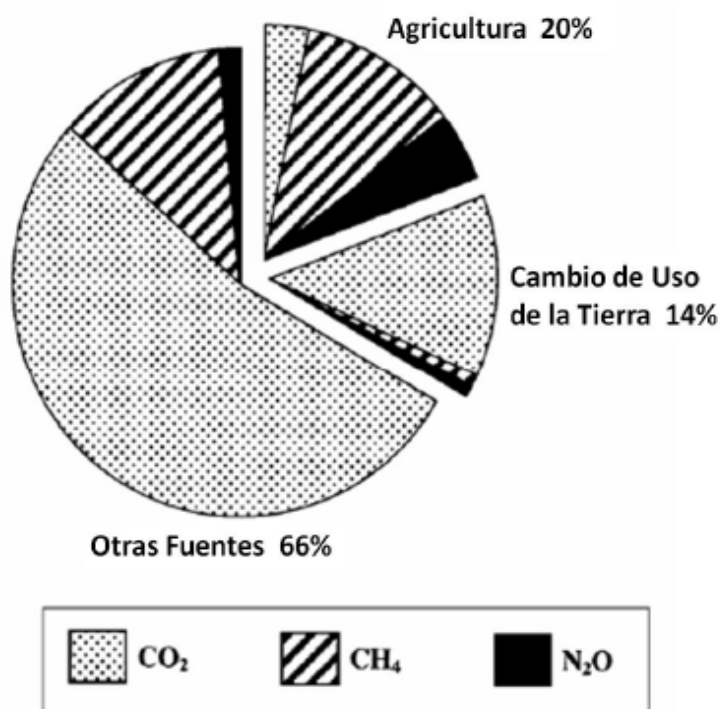


Figura 1. Contribución de la agricultura y cambios del uso de la tierra (deforestaciones, etc.) a la emisión de gases con efecto invernadero, ajustando el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases (Adaptado de Cole et al, 1997).

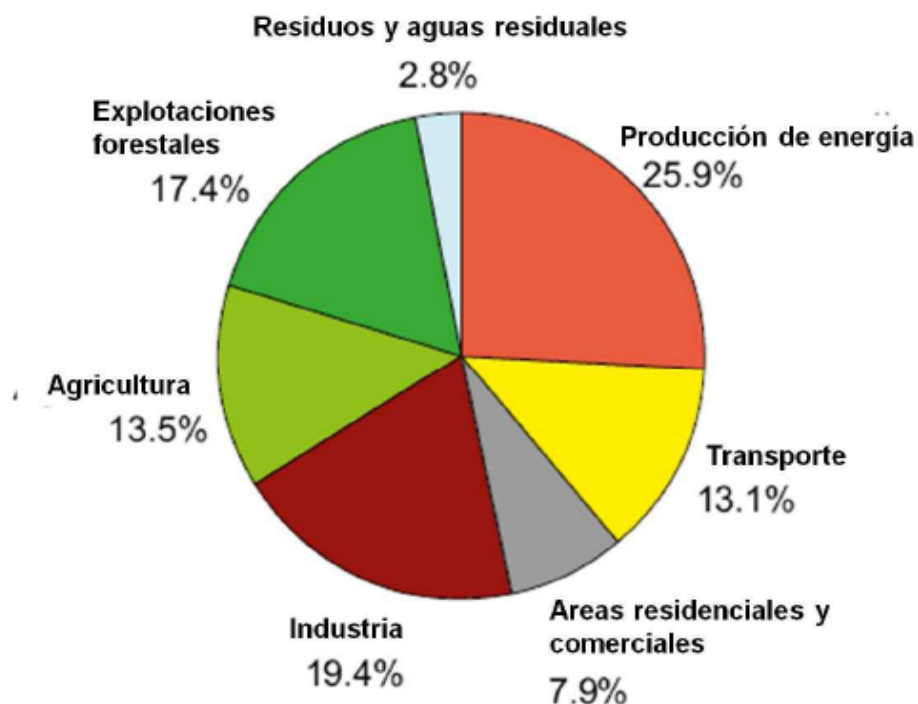


Figura 2. Emisión de gases invernadero por sector en 2004 (IPCC, 2007).

Los procesos de degradación de suelos y agua están asociados a través de alteraciones desfavorables en los procesos hidrológicos que determinan el balance y el régimen de agua en el suelo. Ellos están a su vez determinados por las condiciones climáticas y por el uso y manejo de los recursos suelo y agua. A pesar de las estrechas interacciones entre la conservación de los recursos suelo y agua aún en muchos casos son evaluados en forma independiente, y como consecuencia de ello, en muchas ocasiones, la predicción y prevención de los efectos que se derivan de su degradación son inadecuados. Esto será aún más importante bajo los efectos de los esperados futuros *cambios climáticos globales*, que afectarían principalmente los procesos hidrológicos en la superficie de la tierra, en especial los relacionados con el balance de agua en el suelo (Pla, 2002a; 2010).

Hay claras evidencias de que la degradación de los recursos suelo y agua a nivel global, regional y local ha estado creciendo continuamente en las últimas décadas, especialmente a partir de la mitad del siglo pasado, principalmente debido al incremento en la población mundial y a los desarrollos sociales, económicos y tecnológicos, con requerimientos crecientes de alimentos, agua y energía (**Figura 3**). En los últimos 20 años ha habido un creciente interés en aspectos relacionados con los *cambios climáticos* inducidos por el hombre, asociados al incremento de los niveles de los llamados gases invernadero en la atmósfera. La mayoría de los problemas presentes y futuros de degradación de suelos y tierras, y de los problemas derivados de suplantación de agua y desastres naturales como sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra, etc. suelen atribuirse fundamentalmente a dichos *cambios climáticos*, sin unas muy bien definidas relaciones causa-efecto. Al mismo tiempo, y probablemente relacionado con ello, ha habido un cambio en el nivel y orientación de los estudios e investigaciones en conservación de suelos y agua.

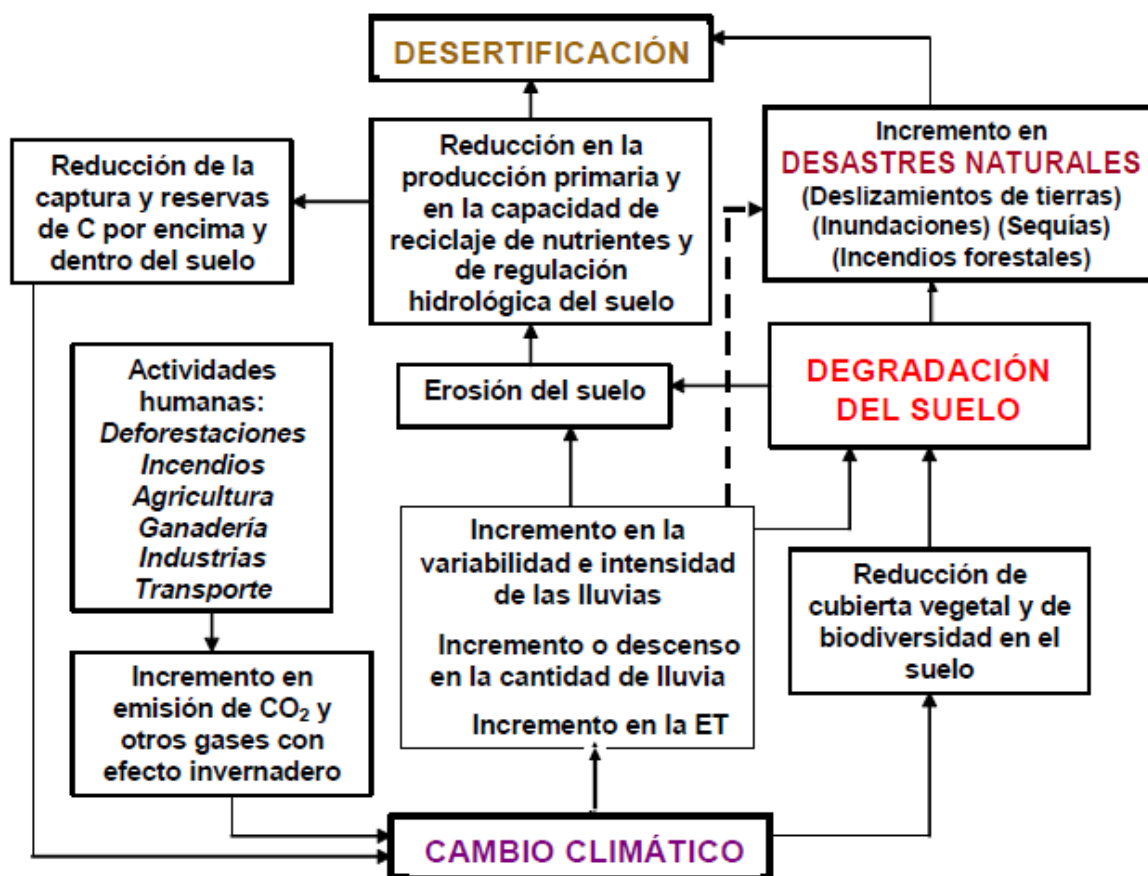


Figura 3. Relaciones entre actividades humanas, *cambio climático* y degradación de suelos.

Evolución en la investigación en Ciencia del Suelo

No hay dudas acerca de que la investigación realizada en Ciencia del Suelo ha contribuido en el pasado al beneficio de la humanidad a través del incremento de la producción de alimentos y el mejoramiento de la calidad ambiental. Sin embargo en los últimos años se ha presentado un descenso peligroso en dichas tendencias, siendo una de las principales causas la disminución de recursos, económicos y humanos, dedicados a estudios de suelos a nivel de campo, coincidiendo con las crecientes presiones derivadas del uso competitivo de los escasos recursos suelo y agua. Adicionalmente, se han cometido errores en la utilización de sistemas y prácticas para incrementar la productividad agrícola de los suelos que han provocado problemas ambientales, y no se ha demostrado en forma convincente la asociación de la degradación de suelos con cambios en productividad, y en especial con la suplencia y calidad del agua. Concurrentemente se ha incrementado la tendencia a utilizar conceptos e información esencialmente cualitativa basada en opiniones de expertos, como los llamados índices de calidad, con muy poca precisión, insuficiente para desarrollar políticas y planes adecuados de uso y manejo de tierras. También se ha multiplicado el uso de funciones mayormente empíricas para deducir la información de suelos faltante, y de tecnologías avanzadas de procesamiento de información, muchas veces escasa y no actualizada, como SIG, geo-estadística, etc, que no requieren una formación en Ciencia del Suelo. Ello ha provocado que cada vez con más frecuencia la planificación del uso de las tierras se base en aproximaciones empíricas formuladas por profesionales con escasa o ninguna formación en Ciencia del Suelo.

Las limitaciones actuales y potenciales de los recursos suelo y agua, y las posibles influencias de *cambios climáticos globales*, requieren con urgencia aproximaciones nuevas e integrales para el manejo sostenible de las tierras. Frente a esa necesidad, la mayoría de la investigación actual en Ciencia del Suelo se dedica a aspectos aislados, que no cubren los problemas integrales asociados con el uso y manejo actuales de suelos y agua, debido a limitaciones de tiempo y recursos, a dificultades de cooperación interdisciplinaria e inter-institucional, y a la presión para la publicación de trabajos con rapidez. Este tipo de trabajos es también el que tiene más probabilidades de ser aceptados para publicación en revistas reconocidas de Ciencia del Suelo. La planificación del uso y manejo de la tierra requiere una base de datos específica para cada sitio, pero a menudo esta clase de información no está disponible. Una de las dificultades encontradas en la evaluación de las condiciones del suelo relacionadas con su comportamiento bajo diferentes sistemas y prácticas de uso y manejo de las tierras, y bajo diferentes condiciones climáticas, cuando dicha evaluación se basa en la información de suelos disponible, es que la mayoría de los estudios de reconocimiento de suelos realizados en el pasado proveen una información estática, mientras que para deducir las funciones del suelo se requieren parámetros del suelo más dinámicos. No hay que olvidar que con las prácticas de manejo de suelos que se pueden aplicar hoy en día, algunas propiedades del suelo pueden ser más un producto de dicho manejo que de las características intrínsecas descritas y evaluadas en los reconocimientos originales de suelos.

El uso de modelos se ha extendido como una herramienta para integrar información, pero también para evitar tener que realizar mediciones y experimentos en cada suelo y condición. Sin embargo, frecuentemente se olvida que la modelización no es un sustituto de la experimentación. Los modelos más utilizados son los que tienen una base esencialmente empírica, basados en relaciones estadísticas entre información acumulada de los diferentes factores involucrados (clima, suelos, agua, manejo) y los efectos observados o medidos bajo muy particulares condiciones. Por ello, la capacidad de evaluación o predicción de dichos modelos solo puede ser efectiva bajo condiciones similares a las existentes donde se desarrollaron. Sin embargo frecuentemente son utilizados para evaluaciones bajo condiciones muy diferentes, sin una validación adecuada a nivel de campo (2002b). Cualquier modelo necesita como entrada parámetros de buena calidad, obtenidos no sólo en mediciones o ensayos de laboratorio, sino en estudios controlados de campo utilizando metodología adecuada. Estos estudios no son comunes porque requieren mayor esfuerzo y tiempo, son más costosos, y a veces no llenan los “requerimientos” para ser publicados en las revistas más reconocidas en Ciencia del Suelo, en parte porque muchos de los revisores no realizan y no tienen tampoco experiencia en ese tipo de evaluaciones de campo. Dicha deficiencia se trata de cubrir en muchos casos con aproximaciones empíricas, donde utilizando información de suelos ya existente (generalmente no actualizada y obtenida con metodologías y muestras de suelo no adecuadas) o más fácil de obtener, se deducen con el uso de las llamadas “funciones de pedo-transferencia” (PTF) las propiedades y parámetros requeridos por los modelos. Estas funciones se basan casi exclusivamente en relaciones estadísticas, muchas veces sin una clara dependencia entre las características originales y las propiedades y parámetros deducidos. Esto es muy común en el uso de modelos de simulación hidrológica para evaluar y predecir posibles efectos derivados de *cambios climáticos globales* y que requieren información sobre propiedades hidráulicas de los suelos. Para justificar el uso de PTF se argumenta que los métodos existentes para medición directa de dichas propiedades en el campo son muy complejos, largos y costosos. Sin embargo en muchos casos es preferible hacer estimaciones aproximadas de las propiedades hidráulicas y de retención de agua para cada situación, actual o prevista, utilizando métodos sencillos y directos de campo, complementados con algunas determinaciones de laboratorio. La información obtenida debe permitirnos deducir procesos hidrológicos a través de modelos sencillos que permitan obtener resultados aplicables a diferentes situaciones de uso y manejo de las tierras (Pla, 1997; 1998). Es muy frecuente la utilización de metodologías y equipos probadas y propuestas para su uso en condiciones muy controladas para evaluar parámetros en materiales de suelo en el laboratorio, con resultados que no se corresponden, ni siquiera aproximadamente, con los valores reales en condiciones de campo. Esto es debido a que las muestras utilizadas en el laboratorio son demasiado pequeñas o demasiado alteradas, o porque los equipos utilizados fueron diseñados y probados en materiales de suelos muy diferentes. Hasta el

presente, las metodologías desarrolladas para deducir propiedades de suelos a través de sensores remotos no han demostrado su capacidad para evaluar adecuadamente los procesos asociados a dichas propiedades. En algunos casos el problema no es falta de información, sino problemas para integrarla en forma de que pueda utilizarse para tomar decisiones, o dificultades para extrapolarla a mayores escalas espaciales y temporales. En otros, suele recurrirse al uso de sistemas avanzados de procesamiento de datos como SIG, utilizando información insuficiente o de mala calidad. En general se puede concluir que los avances en el desarrollo de modelos y sistemas de procesamiento de información han sido mucho más rápidos que en el desarrollo y uso de metodologías y equipos para obtener adecuada información de campo requerida para alimentar esos modelos y sistemas de procesamiento.

Relacionado con los *cambios climáticos* previstos para el futuro atribuidos al incremento de gases con efecto invernadero se han estimulado, a través de la provisión de recursos no disponibles para otro tipo de investigaciones, actividades de investigación en algunos aspectos relacionados con los llamados “secuestro de carbono” y “labranza cero”, partiendo en muchas ocasiones del supuesto de que ambos contribuyen (en ocasiones en forma dogmática, sin haber realizado investigaciones previas adecuadas) a reducir significativamente las emisiones de gases invernadero bajo cualquier condición de suelos, clima, drenaje, etc. (Lal et al, 1998). Ello ha provocado que en muchos casos las investigaciones en esas áreas no consideren adecuadamente otros aspectos colaterales con impactos más o menos positivos o negativos sobre el medio ambiente y la sostenibilidad de la capacidad productiva de las tierras que bajo ciertas condiciones pudieran derivarse de dichas prácticas. Actualmente ya existen numerosas evidencias y resultados de estudios sobre los efectos de dichas prácticas de manejo después de 10-20 años que demuestran que en muchos casos, dependiendo de los suelos, clima y manejo, la labranza cero no ha contribuido en forma significativa a un incremento en la acumulación neta de C en el suelo (secuestro de C), y que en muchas ocasiones, especialmente cuando no ha ido acompañada de otras prácticas de manejo como rotaciones de cultivos, los efectos sobre la degradación de los suelos han sido negativos (Six et al, 2002; West et al, 2002; Young et al, 2009). Por otro lado, es de destacar la aparente contradicción entre las investigaciones buscando incrementar el secuestro de carbono en el suelo y las realizadas con el fin de maximizar el uso de residuos vegetales para la producción de bio-combustibles, ambas con el mismo supuesto objetivo final de reducir la emisión neta de gases con efecto invernadero, en especial de CO₂.

En general se puede concluir que la utilización de conceptos e información esencialmente cualitativa, como desertificación y los llamados índices de calidad, el uso generalizado de aproximaciones empíricas en la modelización y en la deducción de parámetros para alimentar dichos modelos, y la exagerada orientación, con aproximaciones más “dogmáticas” que científicas, de ciertas investigaciones en suelos directa o indirectamente relacionadas con las previsiones de cambios climáticos por efecto invernadero, han contribuido a un cierto estancamiento en la investigación en Ciencia del Suelo, y en la falta de investigaciones y estudios interdisciplinarios dirigidos a la solución integral de los complejos problemas actuales de producción y ambientales. A ello ha contribuido también, y en parte derivado de lo anterior, la escasez de recursos para realizar dichas investigaciones, y la desproporción entre los recursos utilizados para procesamiento de la escasa (en cantidad y calidad) información existente sobre suelos, y la obtención de nueva información a nivel de campo.

Perspectivas y recomendaciones para el futuro

El desarrollo futuro de la investigación en Ciencia del Suelo debería dirigirse a lograr una mejor comprensión de los procesos y reacciones en los suelos relacionados con la producción de cultivos, con el reciclaje de residuos y con el balance hídrico, en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Especialmente debe buscarse una mejor identificación y descripción de los procesos dinámicos en los suelos que determinan la suplencia de agua y nutrientes para el crecimiento de las plantas, y de los procesos de degradación de suelos y agua, y de los efectos que sobre ellos pueden tener factores externos como los cambios de uso y manejo de las tierras y los *cambios climáticos* (**Figura 4**). Esto tiene que complementarse con el desarrollo de modelos de simulación

simplificados y flexibles, que permitan mediante la integración de parámetros críticos de suelos, cultivos y clima, deducir las mejores alternativas y combinaciones de prácticas de manejo para un uso más eficiente y económico de agua y energía dirigido a la obtención de una mayor producción de cultivos, minimizando los riesgos de degradación de suelos, agua y ambiente en general, y de desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra (Pla, 2006a).

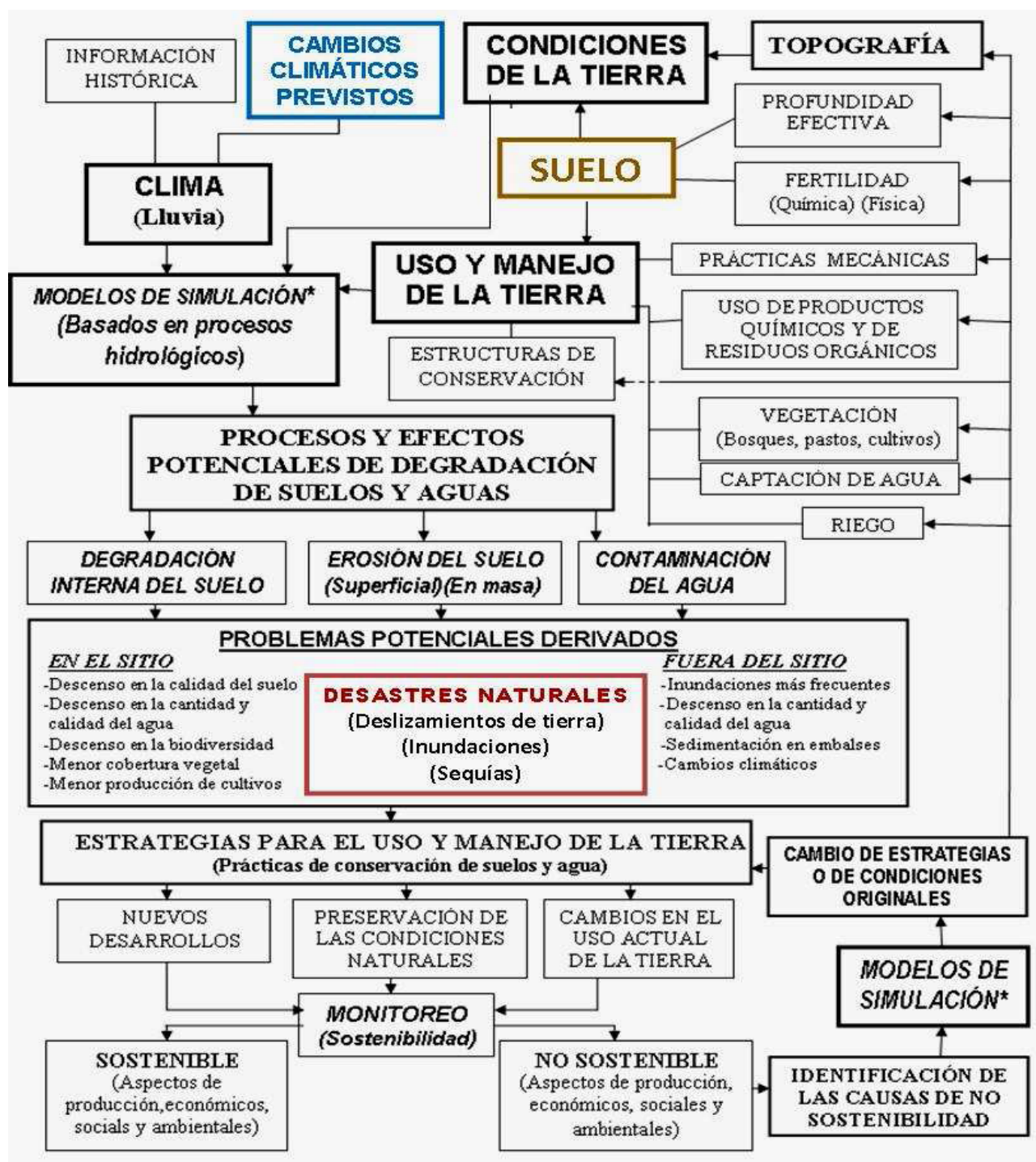


Figura 4. Aspectos a considerar y pasos a seguir en la evaluación y predicción de problemas potenciales de degradación de suelos y agua, y de desastres naturales, derivados del uso y manejo de las tierras y de *cambios climáticos*, para la planificación del uso y manejo de la tierra (Adaptado de Pla,1997;2006b) (*Modelos SOMORE, SALSODIMAR).

Relacionados con los *cambios climáticos globales* actuales y previstos para el futuro, deberían realizarse estudios e investigaciones aplicadas en Ciencia del Suelo, con una fuerte base teórica, para un uso más eficiente de los recursos hídricos (lluvia y riego), incluyendo aguas residuales recicladas, para un creciente producción sostenible de alimentos, complementados con el desarrollo de modelos y programas simplificados para predicción de la degradación y erosión de los suelos, basados en procesos hidrológicos y de erosión críticos que puedan ser fácilmente evaluados, los cuales nos permitan a su vez desarrollar aplicaciones tecnológicas que relacionen el clima, propiedades del suelo, uso de la tierra y sistemas de manejo. Esto debería incluir el desarrollo de metodologías y equipos sencillos para la realización de mediciones de campo dirigidas a generar la información crítica requerida para los modelos, y para ser utilizados por personal con una base teórica sólida y experiencia en trabajo de campo. Algunos aspectos más específicos cuyos estudios debieran reforzarse serían la evolución a mediano y largo plazo de la materia orgánica del suelo en relación al uso potencial del suelo para retener y almacenar C y a la capacidad de los suelos para recibir y transformar residuos orgánicos y aguas residuales; los efectos potenciales sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, incluyendo fertilidad del suelo y calidad de las aguas, bajo diferentes sistemas de labranza, incluyendo cero labranza, y con sistemas de agricultura ecológica-orgánica; y el desarrollo y actividades de microorganismos del suelo en relación a la aplicación y manejo de residuos orgánicos y aguas residuales en los suelos, en relación a la aplicación de fertilizantes y pesticidas, y en relación al control de la contaminación de suelos, agua y aire. Para lograr todo eso se requiere Incrementar la cooperación entre científicos de suelos y científicos de otras disciplinas relacionadas, y entre instituciones responsables de la investigación y aplicación de sistemas de uso y prácticas de manejo de suelos y agua, para facilitar y garantizar un enfoque interdisciplinario. La investigación tradicional de suelos, enfocada principalmente para ser utilizada por edafólogos, debe evolucionar a investigaciones que puedan ser entendidas y utilizadas por una mayor gama de usuarios, participantes en la planificación del uso y manejo de los recursos suelo y agua. Paralelamente se debe facilitar y estimular la publicación en revistas periódicas de Ciencia del Suelo u otras publicaciones de amplia difusión, de trabajos basados en estudios más integrales a nivel de campo, aunque no se basen en experimentos muy precisos y controlados como los que pueden realizarse en laboratorios o pequeñas parcelas. Dichas publicaciones deben valorarse, para fines de promoción u otros, por encima de los trabajos aislados y de escasa utilidad por si solos que suelen predominar en muchas de las publicaciones periódicas actuales.

Adicionalmente, para lograr que la Ciencia del Suelo recupere o adquiera el papel fundamental que le corresponde en el desarrollo futuro del Mundo, incluyendo el control y mitigación de los cambios globales y sus efectos, se necesitaría mejorar la educación y formación de la población a todos los niveles sobre las funciones relevantes y fundamentales de los suelos para su vida y bienestar y reorientar y mejorar la formación en Ciencia del Suelo y sus aplicaciones, con un enfoque más holístico, integrando teoría y trabajo de campo, no solamente para científicos de suelos, sino también para otros profesionales involucrados en el diseño y planificación del uso y manejo de las tierras a todos los niveles. Dicha formación debe dirigirse en forma creciente al enfoque de problemas ambientales complejos, lo cual requiere además de un conocimiento especializado en los diferentes campos de la Ciencia del Suelo, un entendimiento de la amplia variedad de interacciones y procesos físicos, químicos y biológicos involucrados.

Finalmente, para lograr dichos objetivos será necesario demostrar y convencer a personas e Instituciones responsables de la planificación del uso y manejo de tierras a diferentes niveles, que el uso de herramientas avanzadas, basadas en el uso de programas computarizados, para el procesamiento de la información sólo son útiles y pueden llevar a resultados confiables si se basan en información local de buena calidad y actualizada, y que los resultados obtenidos tienen que ser validados en cualquier caso con mediciones y observaciones de campo. Los nuevos problemas ambientales asociados al cambio global hacen necesario obtener nueva información de suelos en el campo, en especial de tipo hidrológico, utilizando técnicas y metodologías adecuadas. Dicha información no nos la proveen generalmente los estudios de suelos tradicionales, muchas veces con fines de clasificación, realizados en el pasado, ni tampoco se puede deducir adecuadamente a partir de ellos con las llamadas funciones de pedotransferencia.

BIBLIOGRAFIA

- Cole, C.V., J. Duxbury, J. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, A. Mosier, K. Paustian, N. Rosenberg, N. Sampson, D. Sauerbeck, and Q. Zhao. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 49:221-228.
- IPCC. 2007. *Climatic Change 2007. Synthesis Report.* Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, IPCC, Ginebra
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole. 1998. *The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect.* Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Pla, I. 1994. Soil degradation and climate-induced risks of crop production in the tropics. *Trans. 15th ISSS Congress.* 1:163-188. ISSS. Acapulco (México)
- Pla, I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En (I. Pla, ed) "Soil Erosion Processes on Steep Lands". Special Issue of *Soil Technology.* 11 (1):17-30. Elsevier. Amsterdam (Holanda)
- Pla, I. 1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En: (A. Rodríguez y col., ed.) *The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures.* 395-412. Geoforma Ed. Logroño (España)
- Pla, I., 2002a. Hydrological approach to soil and water conservation. In J.L.Rubio et al. Ed., *Man and Soil at the Third Millenium.* Geoforma Ed. Logroño (Spain). I:65-87.
- Pla, I. 2002b. Modelling for planning soil and water conservation. A critical review. *Trans. 17 WCSS. "Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century".* 2123-1 - 2123-11. Bangkok (Tailandia)
- Pla, I. 2006a. Future of Soil Science. In: *The Future of Soil Science* (A. E. Hartemink, ed). 110-113. IUSS. Wageningen (Holanda)
- Pla, I. 2006b. Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean Region. En: *Desertification in the Mediterranean Region: A security Issue.* 579-600. (Kepner et al, ed). Springer. Holanda
- Pla, I. 2010. Sustainable water management under climate change in vineyards of Catalonia (Spain). In: *Advances in GeoEcology 41, Global Change-Challenges for Soil Management .* M. Zlatic (Ed.). Catena Verlag GMBH. (en prensa)
- Rosenzweig, C., and D. Hillel. 2000. "Soils and global climate change: Challenges and opportunities," *Soil Science*, Vol. 165, pp. 47-56
- Rounsevell, M.D.A., S.P. Evans, and P. Bullock. 1999. Climate Change and Agricultural Soils: Impacts and Adaptation. *Climatic Change*, Vol. 43, No. 4, pp. 683-709.
- Six, J., C. Feller, K. Denef, S.M. Ogle, M.J.C. Sa, and A. Albrecht. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie: Agriculture & Environment* 22:755-775.
- West, T.O., and W.M. Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data base analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930-1946
- Young, R.R.; B. Wilson.; S. Harden. and A. Bernardi. 2009. Accumulation of soil carbon under zero tillage cropping and perennial vegetation on the Liverpool Plains, Eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research.* 15-18.