

DESERTIFICACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO

Texto: **José Luis Rubio**

Premio Rey Jaime I de Protección al Medio Ambiente
Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSIC, Universitat de València)

La superficie de las tierras emergidas del planeta cubre una extensión de más de 50 millones de km². La mayor parte de esta superficie está cubierta por una fina membrana de vida que constituye el suelo. Esta membrana actúa a modo de piel ceñida a la Tierra y como tal está expuesta a influencias e inclemencias del clima. Existe una doble e íntima interacción entre las condiciones ambientales (sobre todo climáticas) y las condiciones de salud y de funcionamiento ecológico de esta piel viva de la Tierra. Cambios climáticos que difieran de la situación de equilibrio pueden afectar a muchos parámetros de estabilidad y a la provisión de bienes y servicios que proporciona el suelo. El deterioro global del suelo afecta tanto al funcionamiento ecológico global de la Tierra como a la producción de alimentos y biomasa. La tendencia actual de calentamiento global incide de manera especial sobre las condiciones de funcionalismo del suelo de las zonas más secas del planeta (incluyendo el Mediterráneo) al incrementar los procesos de aridificación y, consecuentemente de desertificación. En sentido inverso, la degradación del suelo repercute sobre importantes parámetros de regulación climática y sobre la regulación del ciclo de compuestos que afectan a la composición química atmosférica. Entre otros cabe destacar: los cambios en las características de albedo, el forzamiento radiativo, la humedad del suelo, la rugosidad superficial, la evapotranspiración, la emisión y retención de gases con efecto invernadero (GEI) (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico), los cambios en las superficies de condensación y la emisión de aerosoles y partículas de polvo. Probablemente una de las consecuencias más graves de la tendencia de calentamiento global es el impacto en los procesos de degradación del suelo-desertificación de las zonas áridas del planeta y, a su vez, la retroalimentación de los procesos de desertificación al incrementar la tendencia de cambio climático (Rubio, 2007). Nos encontramos con una espiral perversa que en la región mediterránea no solo puede afectar a la estabilidad y al funcionalismo del entorno natural, sino que puede implicar problemas de seguridad ambiental (migraciones forzadas, escasez de agua, seguridad alimentaria, incendios forestales) e importantes daños y consecuencias socioeconómicas al producirse la disrupción del papel regulador y amortiguador del suelo ante fenómenos climáticos extremos (sequías, lluvias torrenciales, inundaciones, deslizamientos y colapso



Los procesos de degradación del suelo incluyen pérdida de materia orgánica y pérdida permanente de cobertura vegetal. Foto: Vicente González.



Un suelo degradado es menos estable y por tanto aumentan los efectos de las avenidas de agua, las avalanchas y las inundaciones. Foto: Vicente González.

de laderas). Estas interacciones entre desertificación y cambio climático son objeto de atención creciente (Williams y Baling, 1996) y al mismo tiempo se constata la necesidad de aumentar el conocimiento científico sobre el impacto de diferentes factores climáticos sobre distintos procesos de degradación del suelo y sobre la capacidad del suelo de amortiguar la tendencia de calentamiento global (Sivakumar y Stefanski, 2007).

DESERTIFICACIÓN Y CLIMA

El suelo como capa límite del ecosistema terrestre interactúa permanentemente con la atmósfera de la que recibe humedad y con la que mantiene un continuo intercambio de gases, compuestos y flujos energéticos. Factores externos como la radiación solar, que proporciona temperatura al suelo, también se ve afectada por las condiciones atmosféricas. El suelo constituye uno de los sistemas vivos más complejos de la naturaleza terrestre por su naturaleza de interfase, por su heterogeneidad y por la multitud de procesos que en su seno se producen. Los procesos edáficos de génesis y evolución, con

el paso del tiempo, tienden a ajustarse a las condiciones climáticas imperantes. La continua evolución dinámica del suelo siempre tiende a una zona de equilibrio en la que, dentro de ciertos límites, se desarrolla lo que podríamos considerar el funcionamiento normal del suelo, en el que éste evoluciona adaptándose y oscilando bajo la influencia de variaciones en las condiciones climáticas o los usos humanos. La capacidad de recuperación ante estos impactos constituye la llamada resiliencia del suelo. Las zonas áridas del planeta (incluyendo zonas hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedo secas) se caracterizan por un déficit crónico en las disponibilidades de humedad ambiental, en el sentido de tener una evapotranspiración potencial (Epo) superior a la precipitación (P). Esta situación de escasez estructural de agua marca el funcionamiento, las características y el potencial de uso de los suelos de estas zonas y establece una situación de vulnerabilidad ante impactos o presiones de determinada magnitud. En este contexto se situarían los procesos de desertificación. En sus fases iniciales se producen de manera insidiosa y solapada, sin consecuencias aparentes en las con-

Una de las consecuencias más graves de la tendencia de calentamiento global es el impacto en los procesos de degradación del suelo-desertificación de las zonas áridas del planeta

diciones de funcionamiento y estabilidad del suelo. Sin embargo, ante impactos sostenidos como prácticas agrícolas inadecuadas que se mantienen durante años, incendios forestales y procesos erosivos posteriores o falta de restitución de componentes orgánicos por aridez o impactos de sequía, el suelo inicia una pérdida progresiva de calidad biológica y de capacidad productiva. Si el mal uso o las condiciones de aridez climática se mantienen, el suelo pierde progresivamente su capacidad de resiliencia y cada vez resulta más difícil su vuelta

Se constata la necesidad de aumentar el conocimiento científico sobre el impacto de diferentes factores climáticos sobre distintos procesos de degradación del suelo y sobre la capacidad del suelo de amortiguar la tendencia de calentamiento global

a la situación de fertilidad y equilibrio inicial. En este debilitamiento del suelo juegan un papel muy importante los niveles decrecientes de materia orgánica por su papel de mantenimiento de una estructura edáfica adecuada. La estructura del suelo es la responsable de funciones tan importante como la regulación de las reservas de humedad, la actividad biológica, la aireación, la dinámica de nutrientes o la resistencia a los procesos de erosión.

Si se continúa en la tendencia de degradación progresiva, en un determinado momento, puede producirse un impacto convulsivo en el que el sistema pase a un nivel de calidad biológica en el que las posibilidades de retorno se hacen muy difíciles. Nos encontraríamos en circunstancias de respuesta no lineal y con muchas posibilidades de daño irreversible. Estas serían las condiciones extremas de desertificación en las que todo el potencial biosférico de la zona se ve afectado. Estas condiciones se presentan, por ejemplo en zonas forestales con afloramientos rocosos generalizados por extrema erosión y arrastre del suelo, en condiciones de regadío con elevada salinización o sodificación o en condiciones extremas de compactación o contaminación. Desgraciadamente España es el país europeo que muestra en su paisaje la mayor extensión de los efectos de estas situaciones extremas.

El Convenio de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación

(CNULCD), aprobado en octubre de 1994, define el proceso de desertificación como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas inadecuadas. Los procesos de degradación incluyen, entre otros: erosión hídrica y eólica del suelo, salinización y sodificación, sellado y compactación, pérdida de materia orgánica y pérdida permanente de cobertura vegetal. Como hemos indicado, en sus últimas consecuencias la desertificación representa el desmantelamiento de todo el potencial biológico de la zona afectada y la conversión de la misma a la situación de un territorio yermo e improductivo. Se considera que aproximadamente un diez por cien del territorio europeo se encuentra afectado por distintos niveles de intensidad de los procesos de desertificación (Rubio y Recatala, 2006).

En ambientes mediterráneos existe una relación directa entre la tendencia de cambio climático y el incremento de los procesos de degradación del suelo y desertificación.

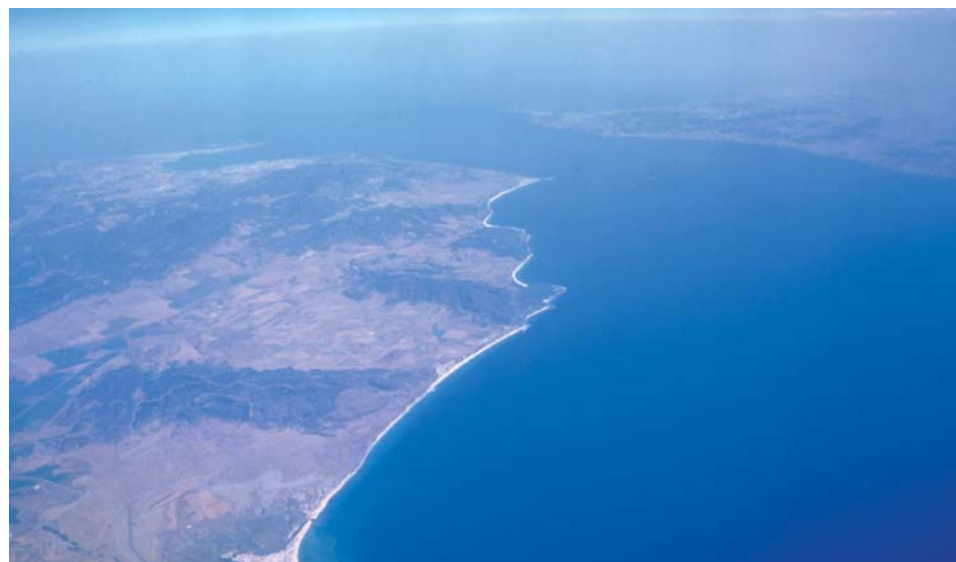
El suelo, principal agente y actor en los procesos de desertificación, constituye un medio vivo con una enorme actividad biológica y precisamente por esas connotaciones biológicas intrínsecas, es un medio muy sensible a las disponibilidades de agua y también a la variación de los parámetros climáticos. Las predicciones de las tendencias actuales de cambio climático señalan al Mediterráneo como una de las zonas más sensibles y susceptibles. Dentro de las múltiples predicciones existentes, parece haber un cierto consenso según el cual para el Mediterráneo se prevén incrementos de la temperatura entre 2 y 6.3 °C, disminución aprecia-

ble de la precipitación, incremento en la frecuencia de fenómenos extremos, aumento de la evapotranspiración, disminución de la reserva de humedad del suelo y mayor incidencia de los episodios de sequías.

En nuestro entorno, la tendencia de calentamiento climático implica fundamentalmente una tendencia general de aridificación. En el suelo esta tendencia conlleva un aumento en la mineralización y una pérdida de componentes orgánicos del suelo. Se estima (Rozanov al., 1990) que la pérdida de humus del suelo ha ido en aumento desde la Revolución Industrial, es actualmente de unos 760 millones de toneladas al año y la tendencia es a incrementarse debido a la degradación del suelo y a los efectos del calentamiento global.

Esta circunstancia afecta a una de las propiedades cruciales del suelo que es su estructura. La estructura del suelo es la disposición entre sí de sus componentes minerales (partículas de arcilla, limos y arenas) y orgánicos. La degradación de la estructura del suelo, que puede incrementarse por la tendencia de aridificación, puede tener numerosas e importantes consecuencias. El proceso básico que se ve afectado, es la dinámica de la descomposición de los restos vegetales que se desequilibra incrementándose los procesos de mineralización en detrimento de los complejos y lentos procesos bioquímicos de humificación que dan lugar a la formación de humus, compuesto esencial del suelo y en gran parte responsable de la formación de agregados. La disminución de la proporción de humus en el suelo y sus consecuencias en la degradación de la estructura afecta a la capacidad del suelo de gestionar y mantener las reservas de humedad. También afecta a la dinámica de los

La pérdida de humus del suelo ha ido en aumento desde la Revolución Industrial, y la tendencia es a incrementarse debido a la degradación del suelo y a los efectos del calentamiento global. Foto: Álvaro López.





Las zonas áridas del planeta se caracterizan por un déficit crónico en las disponibilidades de humedad ambiental, en el sentido de tener una evapotranspiración potencial superior a la precipitación. Foto: Alvaro López.

nutrientes y por tanto a la fertilidad química del suelo. La degradación de la estructura incide también sobre las propiedades físicas del suelo empeorándolas y disminuyendo por ejemplo la capacidad intrínseca del suelo de soportar procesos erosivos. Esta degradación (por erosión hídrica, erosión eólica y exposición y desmantelamiento del perfil del suelo) puede liberar a la atmósfera ingentes cantidades de CO₂. Se estima que un tercio del dióxido de carbono atmosférico de origen antropico, procede de la degradación del suelo

La tendencia de calentamiento también incidirá en el mantenimiento de las sales en el perfil del suelo y su eventual ascenso a la superficie del mismo al disminuir las precipitaciones y aumentar los procesos de evapotranspiración. Esta tendencia puede agravar de forma significativa los problemas de salinización ya existentes y en general la calidad del agua para usos agrícolas, urbanos e industriales.

Otro aspecto importante relacionado con las funciones del suelo es su capacidad como factor amortiguador ante episodios climáticos extremos. Entre ellos podríamos incluir los impactos de sequías o los efectos de lluvias torrenciales (incluyendo fenómenos de gota fría). Un suelo

degradado por los distintos procesos que hemos visto anteriormente, es intrínsecamente menos estable y es más fácilmente desagregado y movilizado. Su capacidad de infiltración también puede verse afectada incrementándose los valores relativos de escorrentía. En estas circunstancias se aumentan los efectos de las avenidas de agua, los deslizamientos en masa, las avalanchas y las inundaciones. Al aumentar el volumen de suelo arrastrado, las escorrentías aumentan su energía destructora. Los efectos dan lugar a daños en la producción agraria, impactos en núcleos habitados e infraestructuras, colmatación de envases y pantanos y daños en las vías de comunicación. Lógicamente, también aumentan las demandas económicas a la administración y a los seguros en relación con los daños producidos.

En las dos últimas décadas en la UE y recientemente en nuestro país, se han incrementado algunas situaciones climáticas extremas (p.ej. lluvias torrenciales e inundaciones). El debilitamiento de la capacidad amortiguadora del suelo puede, muy probablemente, aumentar las consecuencias de estos fenómenos extremos en un futuro inmediato.

De menor extensión, pero cualitativamente muy importante, también

hay que considerar la posibilidad de aumento de los daños a construcciones por fenómenos de retracción de arcillas expandibles que afectan a las condiciones de cimentación de construcciones y obras civiles.

ALBEDO Y BALANCE DE RADIACIONES

Dentro de las muchas interacciones entre degradación del suelo y cambio climático, que comentábamos en la introducción, vamos a referirnos a los aspectos relacionados con el albedo de la superficie del suelo y a algunos aspectos del balance energético con la atmósfera.

El albedo es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que una superficie refleja en relación a la radiación que incide sobre la misma. Una superficie sin luz reflejada tendría un albedo de valor cero mientras que una superficie que reflejara toda la radiación incidente tendría un albedo del 100%. El albedo medio de la Tierra es de alrededor del 30% (Figura 1) pero en función de las características de la superficie terrestre sus valores varían ampliamente. La nieve reciente tiene un albedo en torno al 90% y los océanos oscilan entre 5-10%. El albedo del suelo también varía ampliamente en función de sus característi-

La desertificación
representa el
desmantelamiento
de todo el potencial
biológico de la
zona afectada y la
conversión de la
misma a la situación
de un territorio yermo
e improductivo

cas propias (contenidos de materia orgánica, color) y de su cobertura de vegetación o uso específico. Un suelo desprovisto de vegetación, de una zona mediterránea árida o semiárida, puede tener un albedo entre 15-25% (elevada reflexión) mientras que un bosque denso o la superficie de un suelo forestal húmido puede tener un albedo de valores en torno al 8%. Como se observa en la fig. 1, los desiertos muestran los albedos más elevados de las tierras emergidas no cubiertas por hielo o nieve.

Estos diferentes albedos, o los cambios de sus valores por cambios de uso del suelo o por procesos de degradación, tienen influencia en las

condiciones locales climáticas afectando a procesos de convección y de desarrollo de precipitaciones (Rubio, 2007). Sin embargo, la cuantificación de sus efectos sobre la tendencia de calentamiento global todavía no están adecuadamente establecidos y son actualmente objetivo de numerosas investigaciones.

Con relación a las características de albedo, en las zonas degradadas o desertificadas, se tiende a producir un cambio de color hacia tonos más claros por disminución de la cobertura vegetal, por disminución del mantillo u hojarasca superficial, por pérdida de materia orgánica del suelo o por características propias del suelo que con frecuencia en estas zonas degradadas puede ser margoso, blanquecino-grisáceo o incluso con eflorescencias salinas superficiales. Los tonos más claros implican aumento de albedo, es decir, aumento en la reflexión de las radiaciones que inciden sobre la superficie del suelo. Según la hipótesis de Otterman (1974) y Charney (1975), este cambio de albedo tiene repercusiones en el régimen de precipitaciones de carácter local que puedan producirse en la zona. Según esta hipótesis, el aumento de albedo induce una reducción neta en la emisión de radiaciones de onda corta. Ello tiende a inducir

un enfriamiento de la superficie del suelo que incrementa los procesos de subsidencia. A su vez ello origina reducción en la convección y en la formación de nubes. Como consecuencia de esta reducción en la inestabilidad atmosférica, se reducen las posibilidades de precipitación en la zona.

Lo contrario sucede con el aumento de albedo, es decir, con la disminución de la reflexión. Esta circunstancia corresponde a colores más oscuros en la superficie del suelo, como pueden ser las situaciones de una densa cobertura vegetal, la presencia de abundante mantillo superficial o la existencia de un horizonte superficial edáfico rico en humus y como consecuencia de color negro o parduzco-oscuro. Evidentemente estas características no corresponden a zonas desertificadas sino todo lo contrario. En estas situaciones de escaso albedo, se produce un mayor calentamiento de la superficie del suelo que tiende a incrementar los procesos de convección. A su vez este aumento de inestabilidad incrementará las posibilidades de precipitación en la zona.

Así pues lo que se desprende de la hipótesis de Otterman-Charney es que muy probablemente las zonas desertificadas incrementen aún más sus riesgos de desertificación al origi-

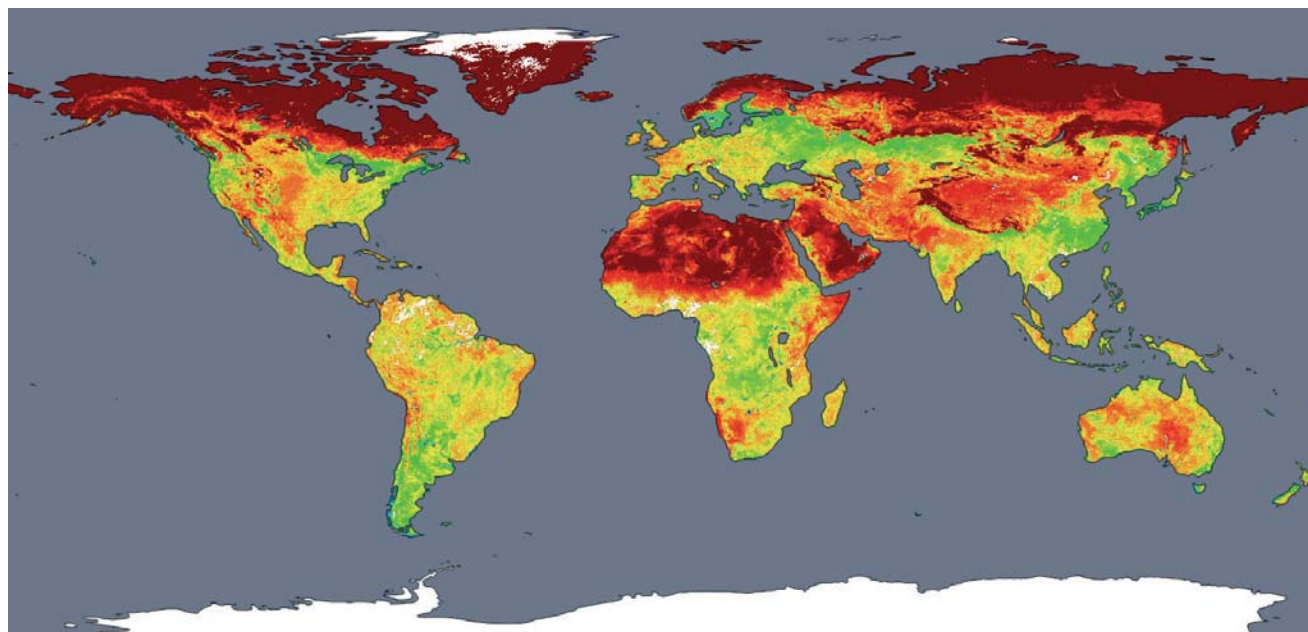



Figura 1. Valores globales de albedo de la superficie terrestre obtenidos mediante Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Los colores más rojos indican albedos elevados (elevado porcentaje de radiación reflejada) mientras que los azules y violetas representan superficies oscuras de escaso albedo. Los colores amarillos y verdes indican valores intermedios. Fuente: NASA, Crystal Schaaf, Boston University, USA. 2006.

nar circunstancias que disminuyen las posibilidades de recibir las vitales precipitaciones que aliviarían la espiral de degradación. Por el contrario las zonas estables, fértiles y con buena cobertura de vegetación tienen más posibilidades de incrementar sus niveles de reservas hídricas.

Otros efectos ligados a la desertificación serían los que afectan al forzamiento radiativo. La superficie del suelo recibe un flujo continuo de energía solar de 341 W/m². Una parte de esta energía es absorbida por la superficie terrestre y por la atmósfera y otra parte es reflejada y devuelta al espacio. Al mismo tiempo la propia Tierra y su atmósfera emiten energía al exterior. El resultado es un balance equilibrado entre la energía recibida y la energía emitida. Las actividades humanas (emisiones, cambios de uso del suelo, degradación) pueden alterar este equilibrio provocando perturbaciones o forzamientos. El forzamiento radiativo es la diferencia entre la energía de la radiación entrante y la saliente en un determinado sistema climático. Cuando existe un forzamiento radiativo positivo, es decir, más energía entrante que saliente, el sistema tiende a calentarse. Si el forzamiento es negativo, la tendencia es hacia el enfriamiento. El concepto de forzamiento radiativo ha sido usado en los informes del IPCC en el contexto de una valoración que permite detectar cambios en el balance de radiaciones del sistema climático de la Tierra, provocados por perturbaciones (forzamientos) externos al sistema (por ejemplo actividades humanas). En este sentido, y como se observa en la Figura 2, que muestra los valores promedios globales entre 1750 y 2005, los GEI (CO₂, CH₄, N₂O, CFC), el ozono troposférico, la disminución de albedo (que comentábamos en párrafos anteriores) y el vapor de agua estratosférico, tienen un forzamiento positivo que supuestamente contribu-

ye al calentamiento. Por el contrario, los aerosoles (sobre todos sulfuros) o la disminución de albedo, tendrían un efecto de enfriamiento. El forzamiento radiativo es uno de los muchos parámetros de interacción entre los procesos de desertificación y los sistemas de regulación climática. Al igual que otros diversos aspectos de estas interacciones, cada vez existe un mayor interés en profundizar y en cuantificar estas implicaciones de doble sentido. Las sinergias entre estudios desde diferentes perspectivas disciplinares es una absoluta necesidad en el es-

Particularmente el deterioro del suelo por procesos de desertificación puede liberar enormes cantidades de CO₂ y alterar los balances energéticos y los flujos de radiaciones, afectando a la regulación climática de la Tierra.

La principal conclusión es obvia: protegiendo y conservando el suelo se lucha contra la amenaza de desertificación. Además, y como consecuencia, se contribuye a la prevención y a la mitigación del cambio climático. Ambos temas, son quizás, las dos prioridades ambientales que actualmente requieren el mayor esfuerzo de concertación de nuestro país. 

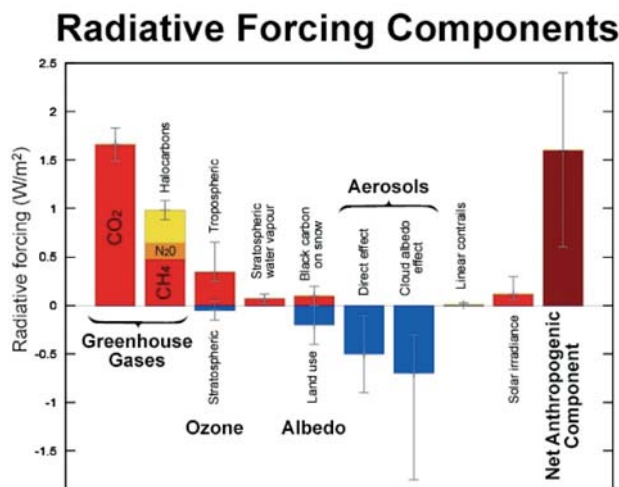


Figura 2. Principales componentes del forzamiento radiativo del cambio climático. La figura representa una estimación de los cambios producidos en el periodo comprendido entre 1750 y 2005. Fuente: IPCC, 4th Assessment Report, 2007.

fuerzo de predicción y de prevención del cambio climático.

CONCLUYENDO

Los procesos de desertificación incluyen importantes parámetros climáticos como principales mecanismos de desencadenamiento de procesos de degradación. Estos parámetros se relacionan con la temperatura, radiaciones, precipitación, erosividad de la lluvia, evapotranspiración, variabilidad climática y sequías.

Existen importantes mecanismos de retroalimentación entre la tendencia de calentamiento climático y los procesos de desertificación, entre los que se incluyen los cambios de albedo, emisión y secuestro de gases con efecto invernadero, cambios en los balances de las radiaciones, pérdida de la capacidad de proporcionar cobertura de vegetación, emisión de partículas de polvo y aerosoles y, cambios en el régimen de evapotranspiración.

BIBLIOGRAFÍA

- Charney, J. G. (1975) Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 101, 193-202.
- IPCC (2007) 4th Assessment Report. Working Group II. Chapter 2: Gaseous and Aerosol Constituents and in Radiative Forcing.
- Otterman, J. (1974) Baring high-albedo soils by overgrazing: A hypothesized desertification mechanisms. *Science* 186, 531-33.
- Rozanov, B.G., Targulian, V. y Orlov, D.S. (1990) Soils on The Earth as transformed by human actions: global and regional changes in the biosphere over the past 30 years, Turner, B.L. et al. (eds). Cambridge University Press.
- Rubio, J.L. and Recatala, L. (2006) The relevance and consequences of Mediterranean desertification including security aspects. En: *Desertification in the Mediterranean Region: a Security Issue*. Valencia NATO Workshop, Springer.
- Rubio, J.L. (2007) Mecanismos de Retroalimentación entre Desertificación y Cambio Climático. En: *Cambio Climático y sus Consecuencias*. S. Grisolia (Ed.) Generalitat Valenciana.
- Sivakumar, M. V. K. y Stefanski, R. (2007) Climate and Land Degradation-an Overview. En: *Climate and Land Degradation*. Sivakumar, M.V.K. y Ndiang'ui, N. (Eds.) Springer.
- Williams, M.A.J. y Balling, R.C.Jr. (1996) *Interactions of Desertification and Climate*. WMO, UNEP, Arnold London.