

EL AGOTAMIENTO DE LA RESERVA ORGANICA DEL SUELO Y SU RELACION CON EL SECUESTRO DE CARBONO ATMOSFERICO

Juan F. Gallardo Lancho ¹

¹ C.S.I.C., Apartado 257, Salamanca 37071, España. E-mail: jgallard@usal.es, jgallard@fresno.csic.es

Introducción

En los últimos años es recurrente el alarmismo existente sobre el incremento del CO₂ atmosférico, que se supone ha sufrido un incremento del 30 % desde 1870.

Una de las causas que se aducen que contribuyen a dicho incremento es la pérdida de Carbono orgánico de los suelos (COS) merced al cultivo intensivo de los mismos; Lal y col. (1998) estimaron que la media mundial de esa pérdida se aproxima a 1.5 mg C kg⁻¹ suelo año⁻¹.

Se piensa, no sin motivos, que si (el compartimento de) la reserva orgánica del suelo disminuye, se engrosará el (compartimento de) CO₂ existente en la atmósfera.

La pérdida histórica de COS

Parte de ese incremento proviene de la agricultura: Según Lal y col. (1995) desde 1870 se han perdido entre 40 a 80 Pg COS y es de prever que en el siglo XXI se perderán otros 60 Pg COS adicionales. Téngase en cuenta que una emisión de 1 Pg COS significaría un aumento de 0.47 L L⁻¹ del CO₂ atmosférico.

Se estima que un 40 % del COS terrestre se encuentra en los Trópicos (entre 300 y 400 Pg de COS), que se reparten por mitades, principalmente, entre Iberoamérica y Africa. De ahí el papel importante que se le atribuye al futuro manejo de los suelos en Iberoamérica. Por ejemplo, en Argentina se afirma que existe una pérdida de 1.0 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ con siembra tradicional, mientras que si se efectuara siembra directa se capturarían 4 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (lo cual significa un incremento anual de COS de 1.0 a 1.4 %).

El Protocolo de Kyoto (1997)

En 1997 la mayoría de las naciones acordaron en una reunión celebrada en Kyoto (Japón) detener, con diversas medidas, el continuo incremento de CO₂ atmosférico con el deseo de mitigar cualquier cambio climático.

Una de las medidas acordadas es procurar la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por las naciones desarrolladas que, obviamente, son las últimas responsables de dicho incremento; no todas las naciones implicadas firmaron dicho Protocolo, siendo la ausencia más destacada la de U.S.A., que prácticamente produce un cuarto de todas las emanaciones anuales de CO₂.

Otra medida acordada a tomar sería la de un cambio de manejo de los suelos para procurar aumentar la reserva de COS mundialmente, en especial en los países en vía de desarrollo, que de esa manera se implicarían a solucionar problemas causados mayormente por los países desarrollados. Esta decisión alcanza plenamente a la agricultura iberoamericana.

El aumento del contenido de COS puede producirse:

Por un aumento de la producción que favorezca las entradas orgánicas al suelo. Afortunadamente la agricultura moderna, con el empleo del riego, fertilizantes, labranza reducida, *etc.*, ha favorecido este incremento, aún cuando no todos los manejos han sido los mejores. El reverso de la moneda se encuentra en la agricultura de supervivencia, donde la presión humana y su falta de preparación técnica, cuando no el sobrepastoreo, hace imposible las mejoras necesarias para lograr un buen manejo del suelo, obteniendo producciones bajas o muy bajas.

Por aumento artificial de entradas orgánicas al suelo mediante la adicción de estiércoles, abonos verdes, *composts*, etc., que favorece la permanencia, cuando no ocasiona un incremento, de COS. El problema es donde encontrar abundante materia orgánica, barata y de calidad, máxime en áreas semiáridas o áridas.

Por disminución de la tensión de oxígeno del suelo, lo cual se favorece no removiendo la capa arable, lo que ocasiona una menor mineralización del COS; en ello se basa, en parte, la labranza denominada cero. También el riego, al ocupar el agua los poros (más o menos temporalmente), rebaja la tensión de oxígeno y se disminuye, por ello, la mineralización del COS.

Por mejora en los manejos de los cultivos, procurando las debidas rotaciones y descansos (barbechos), en consonancia con la climatología en particular. El problema es que ello exige la no sobre-explotación de las tierras y un nivel técnico elevado.

Se piensa que teniendo en cuenta estas acciones en el manejo de los cultivos se podría disminuir en casi 1.0 Pg a⁻¹ el flujo de CO₂ a la atmósfera, aunque un manejo integral (perfecto) que tuviera en cuenta todos los factores pudiera aproximar la captura de CO₂ a 2.0 Pg a⁻¹, aunque ello no representaría ni la mitad de las emisiones mundiales de CO₂.

El cambio de paradigma

De lo que se deduce que el agricultor iberoamericano (sobretudo de los trópicos) ya no es el hombre que siembra para mantener nutricionalmente a su familia y, si puede, producir plusvalías que le permita incrementar su nivel de vida, sino que su meta debe ser capturar C, no contaminar con agroquímicos (que, paradójicamente, con la agricultura reducida es inevitable), no perder suelo (evitar la erosión), no disminuir la biodiversidad (cosa incompatible con el principio de producción agrícola), y un largo etc.; algunos medios científicos y corporativos relacionados con el medio agropecuario piensan, de resultas del Protocolo de Kyoto, que los agricultores, ganaderos y forestales van a ser compensados económicamente por este cambio de paradigma en las explotaciones agropecuarias (o sea, que existirá un mercado internacional de captura de C): Personalmente no soy muy optimista en este asunto, sabiendo como funcionan los negocios internacionales y hacia donde se dirigen preferentemente los flujos de beneficios.

Distribución del C en la Tierra

En la distribución de C en el globo terráqueo se tienen que distinguir los compartimentos (sumideros) de los flujos (o transferencias).

Los principales compartimentos considerados en el cambio climático son, quizás, los más pequeños: El C atmosférico (0.74 Eg), el C fijado por la biomasa vegetal aérea (0.83 Eg) y el C capturado por el medio edáfico (alrededor de 1.5 Eg); más recientemente también se considera el C acumulado como reserva oceánica, que se estiman en 38 Eg.

Dado que la influencia sobre el compartimento marítimo es casi nula (y más bien desconocida la evolución del flujo) y el de la biomasa vegetal sólo se mantiene o disminuye por las actividades y necesidades antropozoógenas, la gran esperanza estriba en la actuación sobre el compartimento suelo.

Una gran parte de los suelos polares o de alta montaña (*Histosoles*) se encuentran poco intervenidos y afortunadamente acumulan unos 0.40 Eg C, casi un cuarto del total del COS terrestre. Otros suelos en el que cabe depositar las esperanzas son los suelos poco desarrollados (*Entisoles* y algunos *Inceptisoles*, que acumulan 0.38 Eg C, es decir, casi otro cuarto del total de COS terrestre), dada su baja productividad y por tener vocación mayormente forestal. Por ello se han dejado de cultivar en los países desarrollados aunque, por desgracia, siguen cultivándose en muchos países en vías de desarrollo; ahí es donde se puede y debe actuar con miras al Protocolo de Kyoto y donde se quieren aplicar las transferencias de captura de C. Los otros órdenes de suelos (que engloban 0.72 Eg de C, aproximadamente la mitad del COS terrestre), o tienen escaso COS (v. g.: *Aridisoles*, aunque es importante consignar el C inorgánico capturado en forma carbonada del orden de 1.05 Eg de C), o son demasiado fértiles como para permitirse el lujo de dejarlos sin cultivar (v. g.: *Mollisoles*), dadas las necesidades nutricionales de 6,000 millones de seres humanos.

Existen enormes reservas de C en la Litósfera (del orden de 20 Zg), pero son prácticamente inaccesibles, salvo los yacimientos explotables de C fósil (estimados en unos 8 Eg de C) que pueden y se necesitan ser extraídos para complementar las necesidades energéticas crecientes de los países desarrollados, en especial U.S.A., la Unión Europea y Japón.

Los principales flujos en La Tierra son: El de intercambio biosfera-atmósfera (fotosíntesis-mineralización) estimado en 0.11 Eg C a^{-1} ; y el de intercambio hidrósfera-atmósfera (solubilización marina), que se supone prácticamente de igual orden (0.11 Eg C a^{-1}).

Modelos de evolución del COS y el C atmosférico

En casi todos los modelos de evolución de COS se consideran dos periodos: Uno hasta la llamada revolución verde (< 1970), en el que se considera que la reserva de C edáfico descendió hasta niveles mínimos en los suelos agrícolas; y otro desde la aparición de nuevos manejos integrados de cultivos (> 1970), en el que se incluyeron técnicas de conservación de suelos y durante el cual se supone existe un incremento paulatino en el contenido de COS (Figura 1).

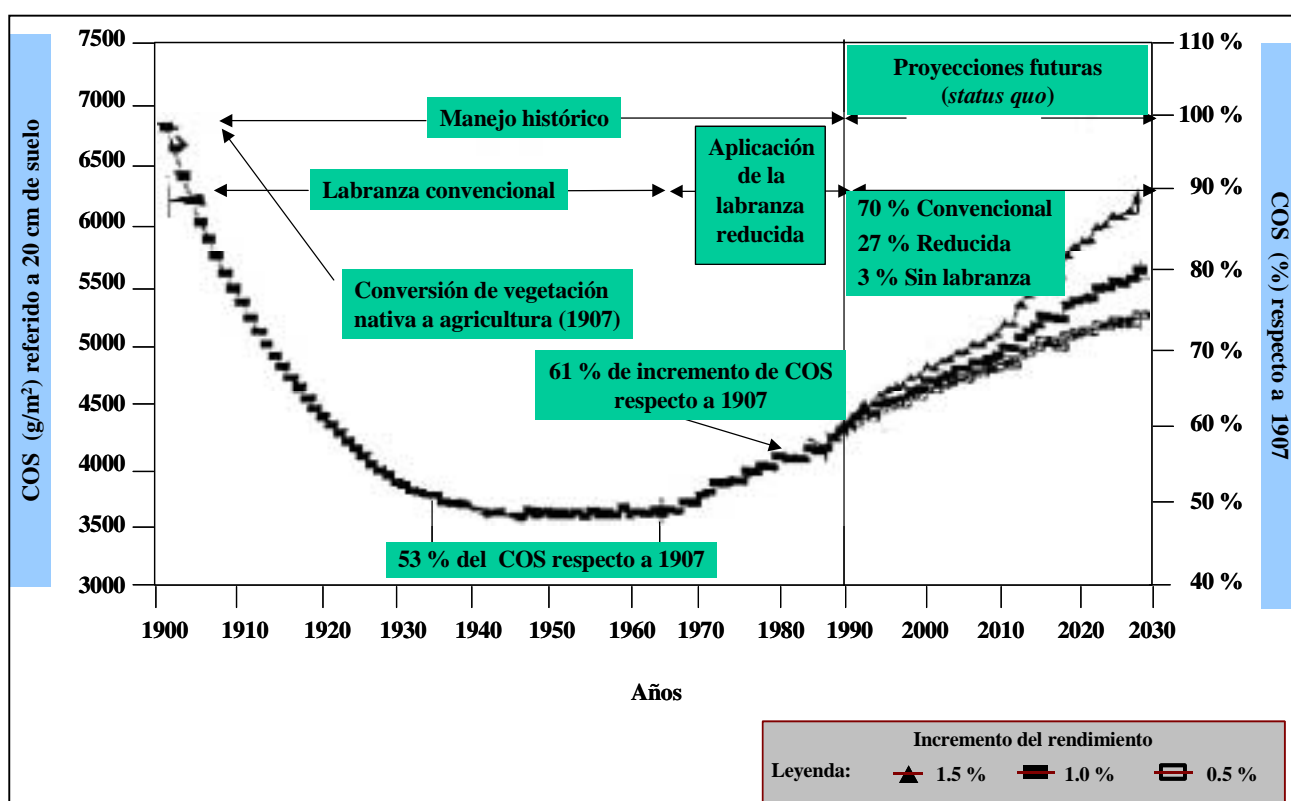


Figura 1. Simulación de los Niveles de C total edáfico desde 1907 y proyección hasta 2030 bajo tres supuestos de manejo del suelo.

Algunos modelos pronosticaron un incremento paulatino del C atmosférico (desde 70 a 90 L C L^{-1} de aire; o sea, de 0.29 hasta $0.36 \text{ mL CO}_2 \text{ L}^{-1}$) durante el último Siglo XX, cifrándose en un 5 % el incremento anual actual (debido a una emisión anual de unos 5 Pg C a^{-1} de origen industrial, más 1.0 Pg C a^{-1} por deforestación). Estas cifras son las que motivaron la aparición del Protocolo de Kyoto (1997, no firmado hasta la fecha por U.S.A.) el cual, teniendo como fin la reducción de las emisiones de CO_2 a la atmósfera, desea incentivar económicamente a los agricultores que fijen CO_2 en los suelos (o como biomasa forestal) de forma más bien permanente.

Emisiones de CO₂ y niveles de vida

Sin embargo, se estima que estas acciones no serían suficientes, por lo que se desea que los países más emisores de CO₂ (Tabla 1; sólo U.S.A. emite casi un cuarto de todo el CO₂ industrial, cerca de 5.2 Pg CO₂ a⁻¹ ó 1.3 Pg C a⁻¹; le siguen el conjunto de países de la Unión Europea, los cuales poseen un alto nivel de vida, y China con su enorme población, ambas con un 15 %, unos 3.1 Pg CO₂ cada) asuman sus responsabilidades e intenten detener su producción de CO₂.

Si observamos la Tabla 1 también podemos deducir que los países se ordenan fácilmente según su renta *per capita* de emisión de CO₂, que es lo mismo que ordenarlos según su nivel de vida. Si Alemania no ocupa un lugar aún más alto en ese listado es porque la parte Occidental está incorporando la atrasada Alemania oriental, exsoviética. En cuanto al cumplimiento del Protocolo de Tokyo se observa que no cumplen ni los que no firmaron el Acuerdo (U.S.A., lo cual no deja de ser coherente), ni los que lo han firmado, pero tienen un fuerte desarrollo (Australia, España, Canadá o Italia, lo cual es incoherente), por lo que se deduce que ningún país está dispuesto a renunciar (en realidad) a aumentar su nivel de vida; se constata igualmente la debacle económica de los antiguos países comunistas y, por las razones aducidas (temporalmente), Alemania.

Tabla 1 . Producciones de CO₂ de diferentes países (y su renta *per capita*).

Países	CO ₂ desprendido (1995) (Pg)	Sobre el total de emisiones mundiales de CO ₂ (%)	Población total (Mpersonas)	Renta <i>per capita</i> (Mg CO ₂ / persona)	Variación últimos años (N.d.: Sin datos)
EE. UU. de N.A.	5230	23.7	265	20	13 %
Unión Europea	3150	14.2	375	8.5	(-3.5 %)
Alemania	885	4.0	82	11	-12 %
Gran Bretaña	565	2.6	60	10	-5%
Italia	425	1.9	58	7.5	5 %
Francia	365	1.6	58	6.5	-2 %
España	250	1.1	40	6.5	14 %
China	3000	13.6	1200	2.5	N.d. %
Rusia	1550	7.0	150	10.5	-26 %
Japón	1150	5.2	126	9.5	N.d. %
India	800	3.6	930	0.9	N.d. %
Canadá	475	2.1	30	16	8 %
Ucrania	430	2.0	52	8.5	-25 %
Polonia	336	1.5	39	8.7	-12 %
México	330	1.5	95	3.5	N.d. %
Sudáfrica	325	1.5	42	8.0	N.d. %
Brasil	290	1.3	160	1.8	N.d. %
Australia	290	1.3	18	16	19 %

Acciones a considerar para mitigar el CO₂ atmosférico

Por tanto, se están proponiendo acciones para disminuir el ritmo de aumento del CO₂ atmosférico (e invertir el flujo creciente de C), como sería la detención de la deforestación (generalmente en países con bajo nivel de vida y producción de CO₂; v. g.: Brasil) y la fijación de C, tanto en suelo como en biomasa. En este sentido, una de las acciones más efectivas que se están llevando a cabo en los países occidentales desarrollados (donde sobran alimentos y el crecimiento de la población está detenido) es retirar de cultivo las tierras marginales y poco fértiles ("*set-aside*") para, posteriormente, reforestarlas. El problema surge en los países en vías de desarrollo, con poblaciones altas y escaso control de natalidad, donde la presión sobre la tierra (y nuevas tierras) es altísima, por lo que es imparable la deforestación y la esquilma de suelos, ya sean fértiles o poco fértiles.

Por tanto, se recurre generalmente como la única solución más efectiva al deseado incremento de COS, el cual se puede lograr mediante varios procedimientos, como se dijo:

- a) Aumentando la producción; esto es, mediante la clásica aplicación de fertilizantes (revolución verde), o/y la aplicación del riego (en progresivo aumento en el globo terráqueo).
- b) Aumentando artificialmente las entradas de C al suelo; esto es, mediante la tradicional aplicación de abonos orgánicos o, más recientemente, la adición de *composts* y/o lodos cloacales.
- c) Disminuyendo la tensión de O₂ en el suelo; esto es, mediante la no remoción del suelo, que suele ser el principio de los manejos de labranza reducida o labranza cero (labranza conservacionista: El problema es controlar debidamente la bajada del potencial de oxido-reducción por causa de la tendencia a la laminación estructural); también se logra indirectamente por la aplicación del riego.
- d) Usando un mejor manejo integral de la agricultura y silvopicultura: esto es, aplicando rotaciones adecuadas, impidiendo el sobrepastoreo y la erosión, y reutilizando los subproductos orgánicos.

Como se dijo, se supone que mediante una optimización del manejo edáfico se podría aumentar la captura de COS hasta 2.0 Pg año⁻¹, aunque una simple mejora del manejo podría significar aumentos de COS de 0.5 a 1.0 Pg año⁻¹; de ahí las previsiones optimistas de los modelos actuales propuestos (**Figura 1**). Por ello, las investigaciones se dirigen actualmente más bien al subcompartimento orgánico de materia recalcitrante (*humina*).

Las consideraciones políticas: Propuestas

El dilema político se plantea en el sentido de si, para mantener el CO₂ atmosférico en los niveles actuales, los países desarrollados deben limitar (incluso disminuir) sus crecientes niveles de vida (cosa difícil de aceptar en los países ricos, supuestamente democráticos), o deben ser los países en vías de desarrollo (y los del Tercer Mundo) sobre los que deben recaer la responsabilidad de no desforestar e incrementar los niveles de C orgánico (e inorgánico) de sus suelos agrícolas para que las primeras naciones continúen gozando sus privilegiadas emisiones. El futuro lo dirá, pues no hay que olvidar que la energía nuclear muestra ahora su mejor sonrisa ante este debate, al igual que lo hicieron, en las pasadas décadas, las multinacionales petrolíferas cuando se hablaba de residuos radioactivos.

Es obvio que algunas acciones deberían tomarse. Las naciones desarrolladas deberían:

- a) Renunciar a un constante e imparable aumento del nivel de vida.
- b) Resolver los problemas internacionales con U.S.A. (270 Mh y un altísimo nivel de vida que prácticamente controla la economía mundial) amistosamente y para bien de TODA la humanidad, y no de manera impuesta a favor del primer país mediante la amenaza de las armas.
- c) La extensión de alternativas energéticas no contaminantes (quizás, la energía de fisión atómica).
- d) Hacer realidad las transferencias internacionales mediante el pago del CO₂ capturado por las naciones en vía de desarrollo (mercado de CO₂ ¿o ecotasa?).

Mientras que los países en vías de desarrollo deberían:

- a) Renunciar al crecimiento demográfico sin límites: Piénsese en China (1,200 Mh) o, mismamente, la India (1,000 Mh), y que sucedería si tuvieran el nivel de vida de tan sólo Chile.
- b) Abandonar las tierras menos fértiles, mediante incentivos nacionales e internacionales.
- c) Disponibilidad de fuentes orgánicas de calidad y baratas que pueda utilizarse por los agricultores.
- d) Adecuado manejo y control de bosques, donde la explotación de los mismos debe regirse por el principio de que las reforestaciones deben superar las talas.

Cambio climático

Sin embargo, no hay que pensar que el control del CO₂ atmosférico resuelve la variación o cambio climático. Mismamente hay que pensar que durante el Holoceno el calentamiento global ha sido positivo por el aumento de la cantidad de biomasa debido a la invasión de la vegetación a medida que los hielos se han ido retirando desde la última glaciación del Cuaternario (se estima a un ritmo de más de 5 Mg C ha⁻¹ siglo⁻¹

¹); pero nadie sabe con certeza la causa de porqué se detuvo el último periodo glacial (ni porqué aparecieron y desaparecieron los anteriores), ni porqué durante los Siglos XIV y XV volvió a bajar la temperatura. Por ello atribuir el permanente cambio climático (no el ridículo por puntual cambio climático actual al que generalmente se refieren los 'mass media') a la deforestación producida por el hombre blanco en Africa e Iberoamérica desde principios del Siglo XX (lo cual puede haber producido un flujo de cerca de 1 Pg a^{-1} de C a la atmósfera) no deja de ser una visión muy parcial y escasamente científica del tema; mismamente los impactos iniciados y producidos por el hombre blanco en Europa desde algunos Siglos antes de la Era cristiana, y no digamos si a ello se le suma el que produjo en los Siglos XIX y XX en Norteamérica, han debido tener más trascendencia que aquella.

Mismamente la **Figura 1** refleja la visión egocentrista *yanki* heredada de los europeos; se expresa el impacto mayormente en Norteamérica de la agricultura (¿no empezó ese impacto muchos siglos antes con la agricultura en China y Mesopotamia, para pasar luego a Europa?); pero así y todo en el modelo presentado en dicha **Figura 1** se admite que las nuevas técnicas y manejos agrícolas están logrando recuperar a pasos rápidos parte significativa de la pérdida del COS.

Lecturas complementarias

- Brown S. (2001): Measuring C in forests: Current status and future challenges. *Environ. Poll.*, 116:363-372.
- Butcher S.S., R.J. Charlson, G.H. Orians, G.V. Wolfe (1992). *Global biogeochemical cycles*. Academic Press, San Diego.
- Carter M.R., B.A. Stewart (1996). Structure of organic matter storage in agricultural soils. (*Adv. Soil Sci. Series*), C.R.C. Press, Boca Ratón.
- Dixon R.K. et al. C pools and flux of global ecosystems. *Science*, 263:185-190.
- Freedman B. (1989). *Environmental ecology*. Academic Press, San Diego.
- I. P. C. C. (2001). *The Intergovernmental Panel on Climate Change Report*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Lal R., J. Kimble, J.M. Follett, B.A. Stewart (1998). Soil processes and the C cycle. (*Adv. Soil Sci. Series*), C.R.C. Press, Boca Ratón.
- Lal R., J. Kimble, E. Levine, B. Stewart (1995). Soil management and green-house effect. (*Adv. Soil Sci. Series*), C.R.C. Press, Boca Ratón.
- Post W.M., K.C. Kwon (2000). Soil C sequestration and land use change: Processes and potential. *Global Change Biol.*, 6:317-327.
- Scharpensel H.W., M. Schomaker, A. Ayoub (1990). *Soils on a warmer earth*. (*Develop. Soil Sci. Series*) Elsevier, New York.
- Schlesinger W. H. (1997). *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press, San Diego.
- Swift R. S. (2001): Sequestration of C by Soil. *Soil Sci.*, 166:858-871.