

Juan Fernando GALLARDO LANCHO

<JuanF.Gallardo@Gmail.com>



Quito (Ecuador)
Septiembre, 2020.

IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL, FORESTAL Y

ecoturismo

16, 17 Y 18 DE SEPTIEMBRE DE 2020

La Captura de Carbono en Sistemas Forestales

IV CONGRESO INTERNACIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL FORESTAL Y ECOTURISMO



Juan F. GALLARDO

La Captura de Carbono en Sistemas Forestales

- Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Salamanca (1969).
- Dr. en Ciencias por la Universidad de Salamanca (1972).
- Diploma de Estudios Profundos en 'Pédologie' por la Universidad de Nancy I (Francia).
- Director de 18 Tesis Doctorales (realizadas).
- Director de 12 Trabajos de Licenciatura (realizados), más 10 trabajos de Fin de Carrera.
 - Becario predoctoral del Ministerio de Educación y Ciencia español (1969-72), postdoctoral del C.S.I.C en Francia (1973-74),
 - "Fulbright" de Estados Unidos de Norteamérica (1976), y Royal Society of London de Gran Bretaña (1980 y 1991);
 - ayudas del I.N.I.C. de Portugal (1988 y 1989), Instituciones Suecas (1989), CONICET y U.B.A. de Argentina (1989, 1994; 1996, 2004),
 - Academia de Ciencias de Polonia (1990, 1996, 2001) y Academia Eslovaca de las Ciencias (2002). Acciones concertadas con el C.N.R.S. francés,
 - el C.N.R. italiano (1991-92), CONICET argentino/M.A.E. español (1986-87); de la S.R.E. de Méjico (2000, 2002, 2005, 2007, 2011, 2013, 2014 y 2015);
 - y de la SENESCYT ecuatoriana (Programa PROMETEO, 2012 y 2014).
- Fue Profesor Universidad de Salamanca (1970-78).
- Fue Director del C.E.B.A./I.R.N.A. del C.S.I.C. de Salamanca (1987-89).
- Fue Vicedirector del I.E.T./C.S.I.C. de Salamanca (1991).
- Fue Colaborador Científico del C.S.I.C. (1975-1990).
- Fue vocal del Consejo Social de la Universidad de Salamanca (1986-90).
- Fue Presidente de la Sección de Biología del Suelo de la S.E.C.S. (1986-93).
- Fue Vicepresidente de la Asociación del Personal Investigador de España (1981-83) y miembro de la Directiva de la A.A.C.T.E.
- Fue Presidente de la Sociedad iberoamericana de Física y Química Ambiental (2005-11).
- Actualmente es Secretario Ejecutivo de la S.i.F.yQ.A. (2011-).
- Fue Investigador Científico del C.S.I.C. (1991-2007).
- Fue Profesor Titular de Universidad (en excedencia).
- Fue Profesor de Investigación del C.S.I.C. (2008-15).
- Fue Profesor de Investigación 'Ad Honorem' del CSIC (2015-16).
- Autor de más de 300 artículos científicos, publicados en revistas españolas e internacionales que versan sobre génesis de suelos, materia orgánica de suelos (humus), Biogeoquímica ambiental, ciclos de bioelementos, Ecología forestal y Captura de carbono.
- Miembro de varias asociaciones científicas españolas e internacionales (I.S.E.B., I.H.S.S., I.U.S.S., S.L.A.C.S., S.Esp.C.S., A.A.C.T.E., S.i.F.yQ.A., A.P.I., SEcCS, AACCS, SMxCS, etc.).
- Revisor de revistas científicas nacionales e internacionales (grupos Elsevier, Springer y Wiley); pertenece al Comité editor de varias revistas internacionales.
- Revisor y evaluador de Programas y Proyectos pertenecientes múltiples países, tanto de la Unión Europea como de la Comunidad iberoamericana.
- Participante invitado en numerosos congresos nacionales e internacionales.

Funcionamiento del sistema terrestre

La Tierra funciona tal y como la conocemos (permitiendo tanto vida autótrofa como heterótrofa) por dos fenómenos que coinciden en ella:

1.- El conocido y denigrado efecto invernadero; permite la existencia de una temperatura razonable sobre la superficie terrestre, limitando a su vez la llegada de radiaciones negativas; está liderado por el vapor de agua, seguido por el dióxido de carbono (CO₂).

2.- La existencia (paradójicamente en el entorno de una atmósfera oxidante) de una energía potencial estabilizada, que permite la entidad del subsistema llamado SUELO.

Esa energía potencial es conocida comúnmente como materia orgánica del suelo (MOS); por su coloración oscura también se le denomina '*humus*'.

El Efecto Invernadero Terrestre y Gases Involucrados (G.E.I.)



G.E.I.:

H₂O

CO₂

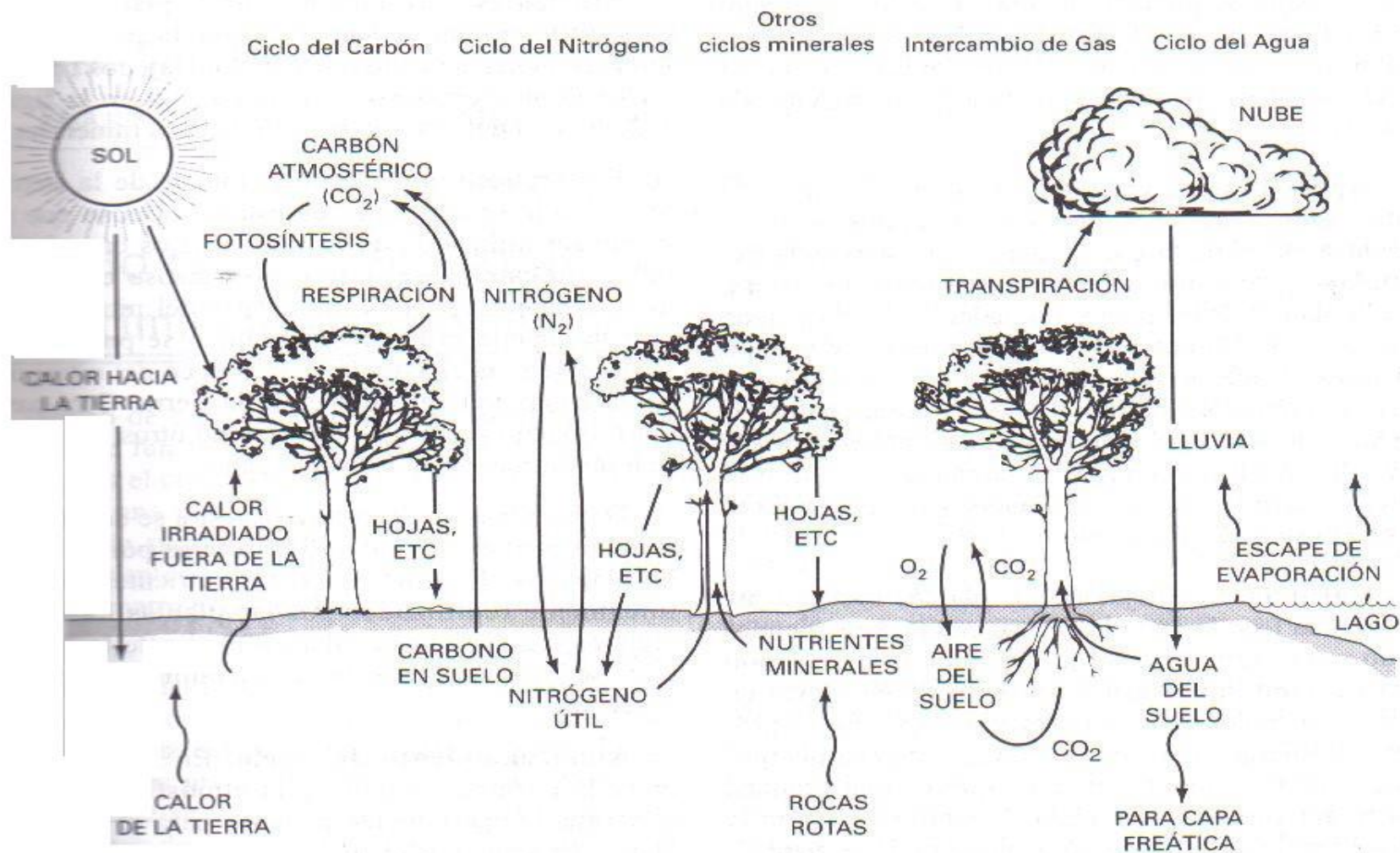
CH₄

NO_x

CFC

O₃

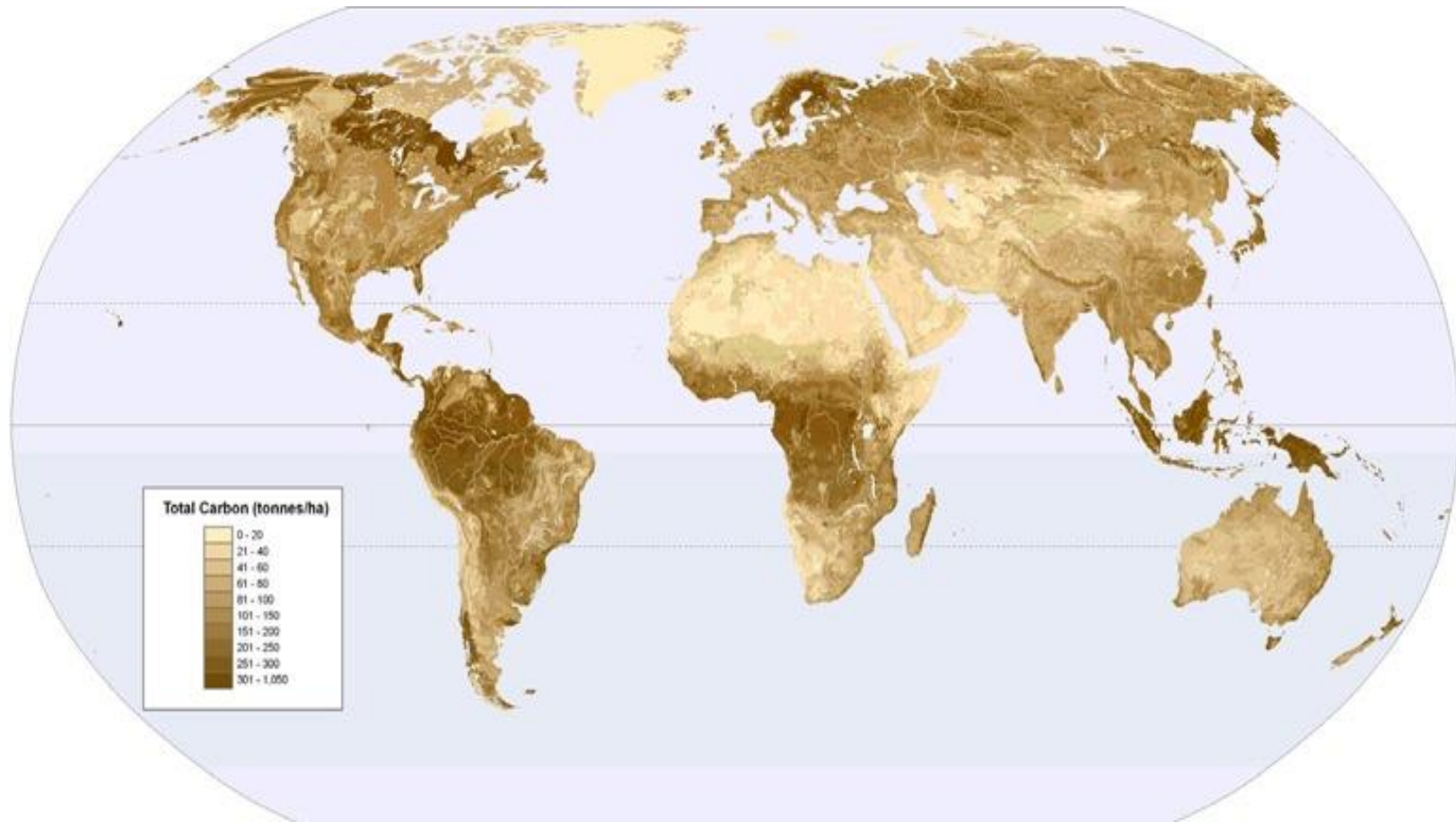
Los ciclos en la Naturaleza



Ciclos e intercambios entre la atmósfera, corteza y suelo. El suelo almacena de forma temporal los recursos necesarios para el crecimiento de la planta.

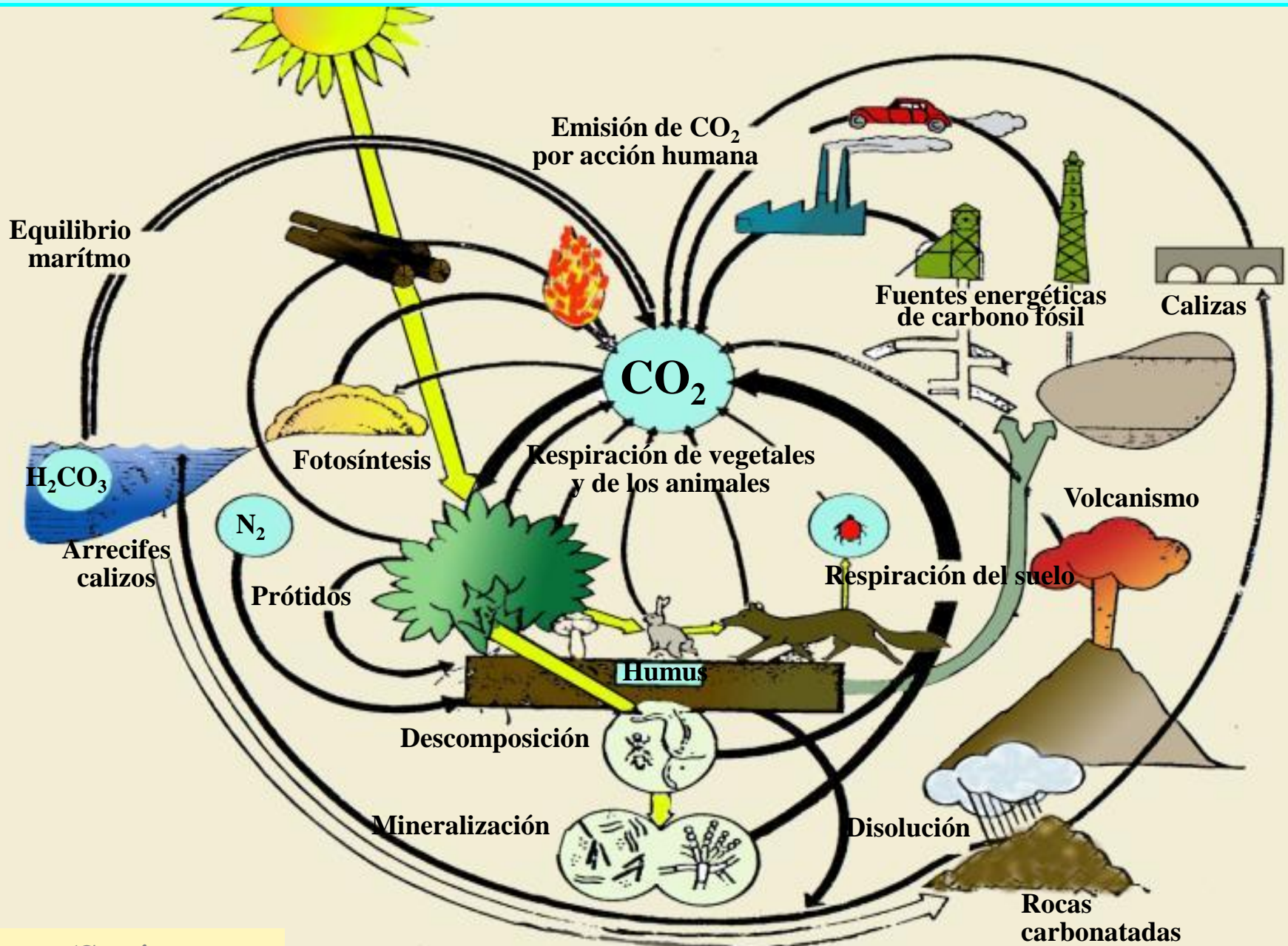
Contenido de C en la Biosfera

EL CARBONO EN LA TIERRA



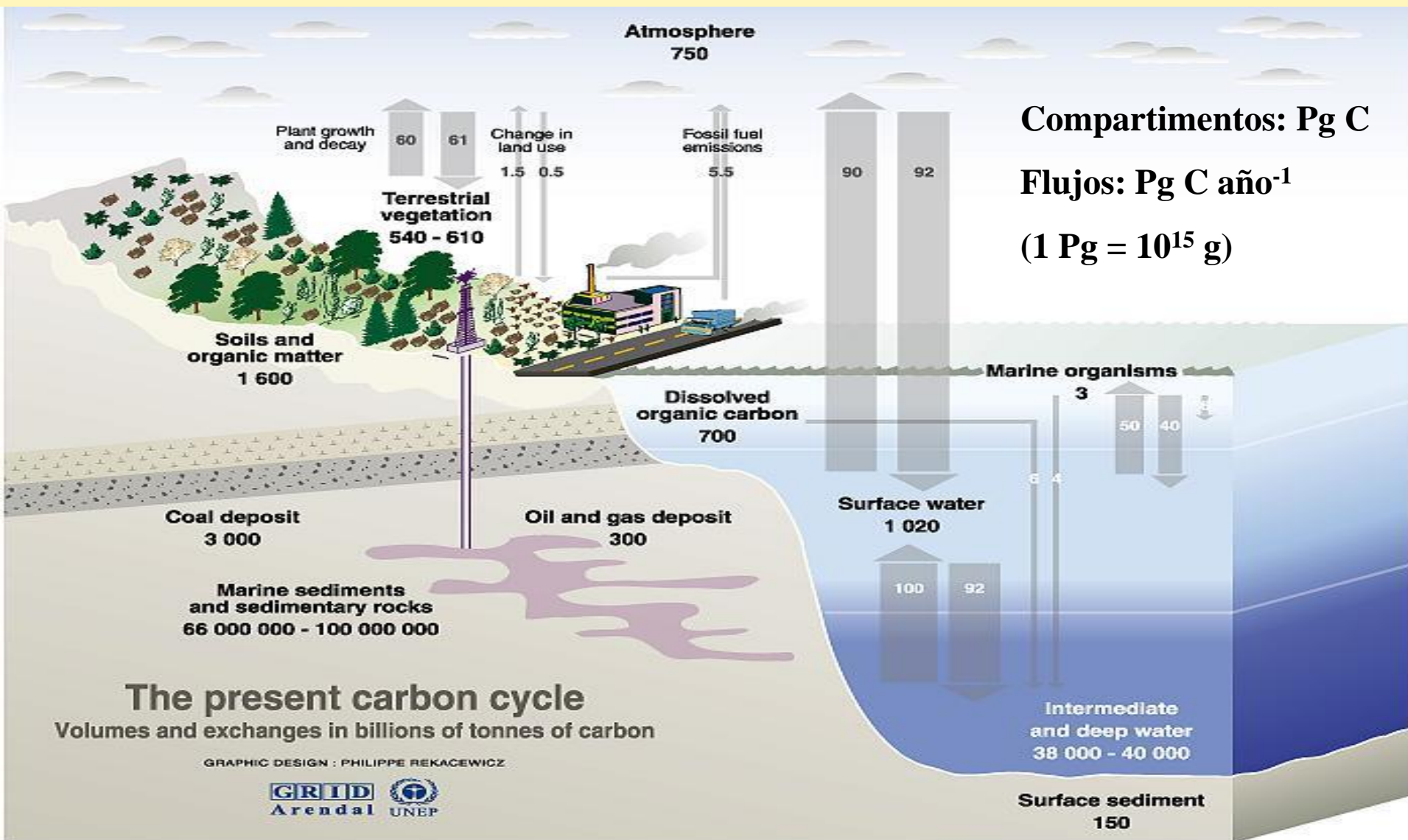
IV CONGRESO INTERNACIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL FORESTAL Y ECOTURISMO

Ciclo del Carbono en la Tierra



(Según

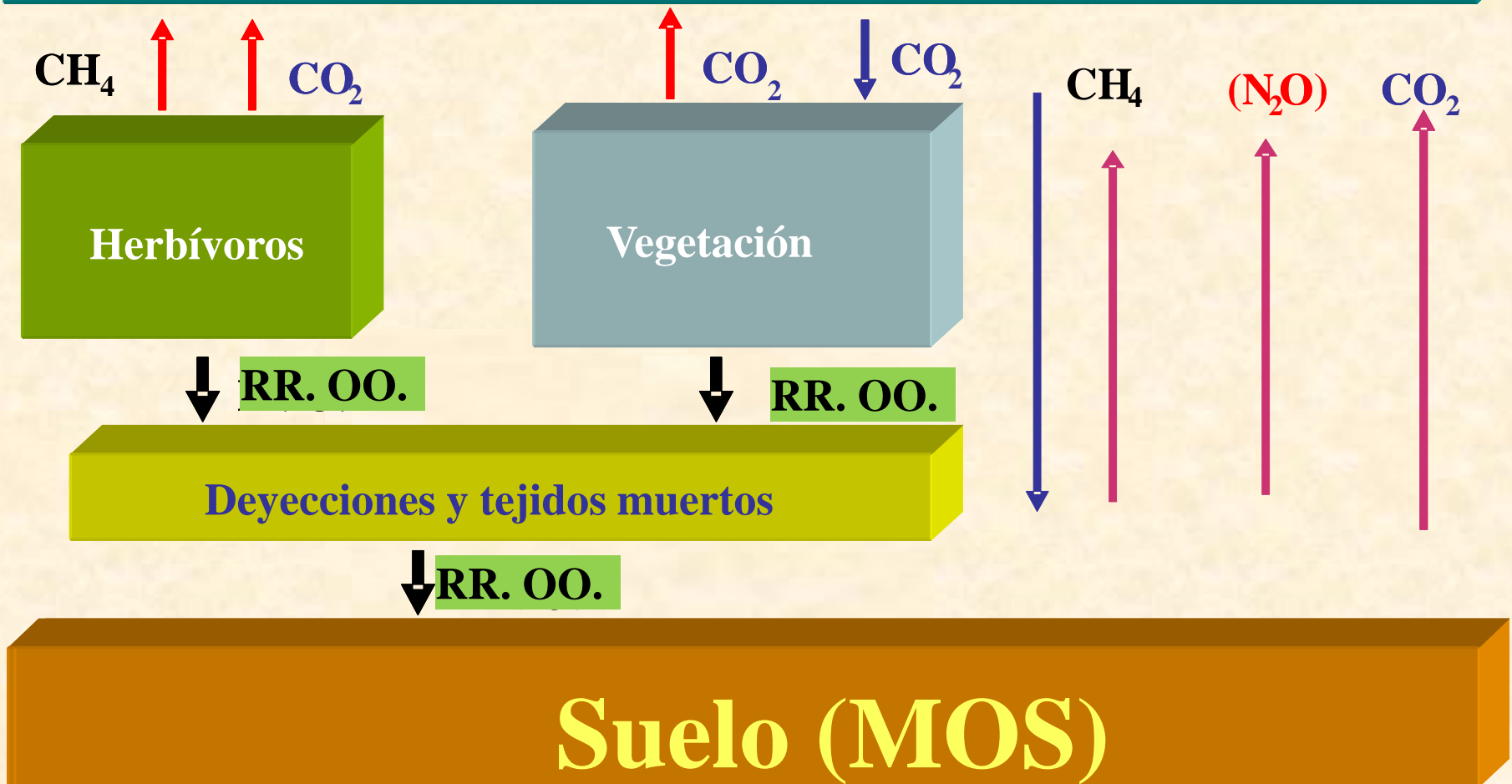
El Ciclo del Carbono



Sources: Center for climatic research, Institute for environmental studies, university of Wisconsin at Madison; Okanagan university college in Canada, Department of geography; World Watch, November-December 1998; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

Compartimentos y Flujos de C en un Sistema

Atmósfera (CO₂)

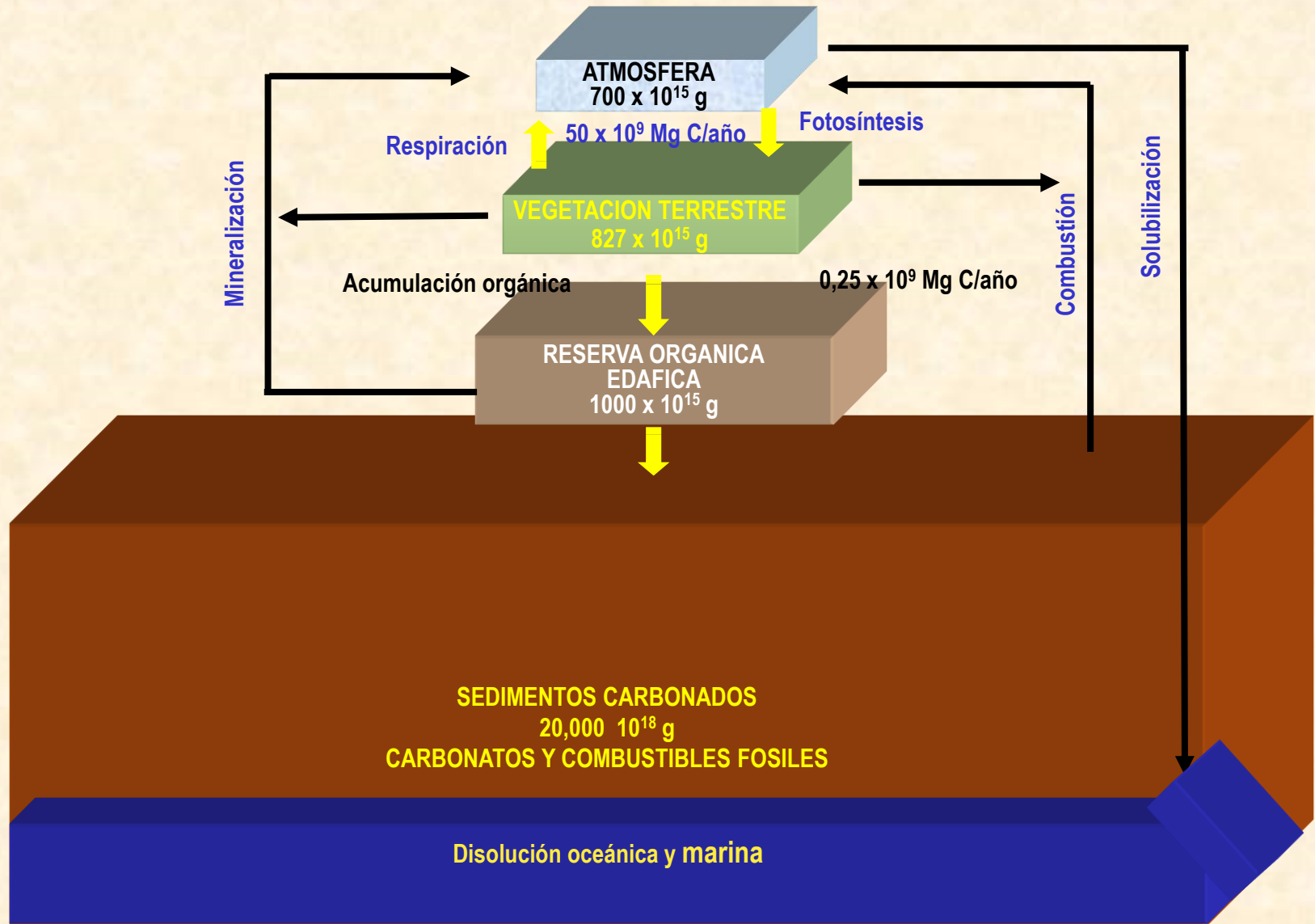


Ciclo Biogeoquímico del Carbono en la Tierra

(Compartimentos, en Exagramos = 10^{18} g)

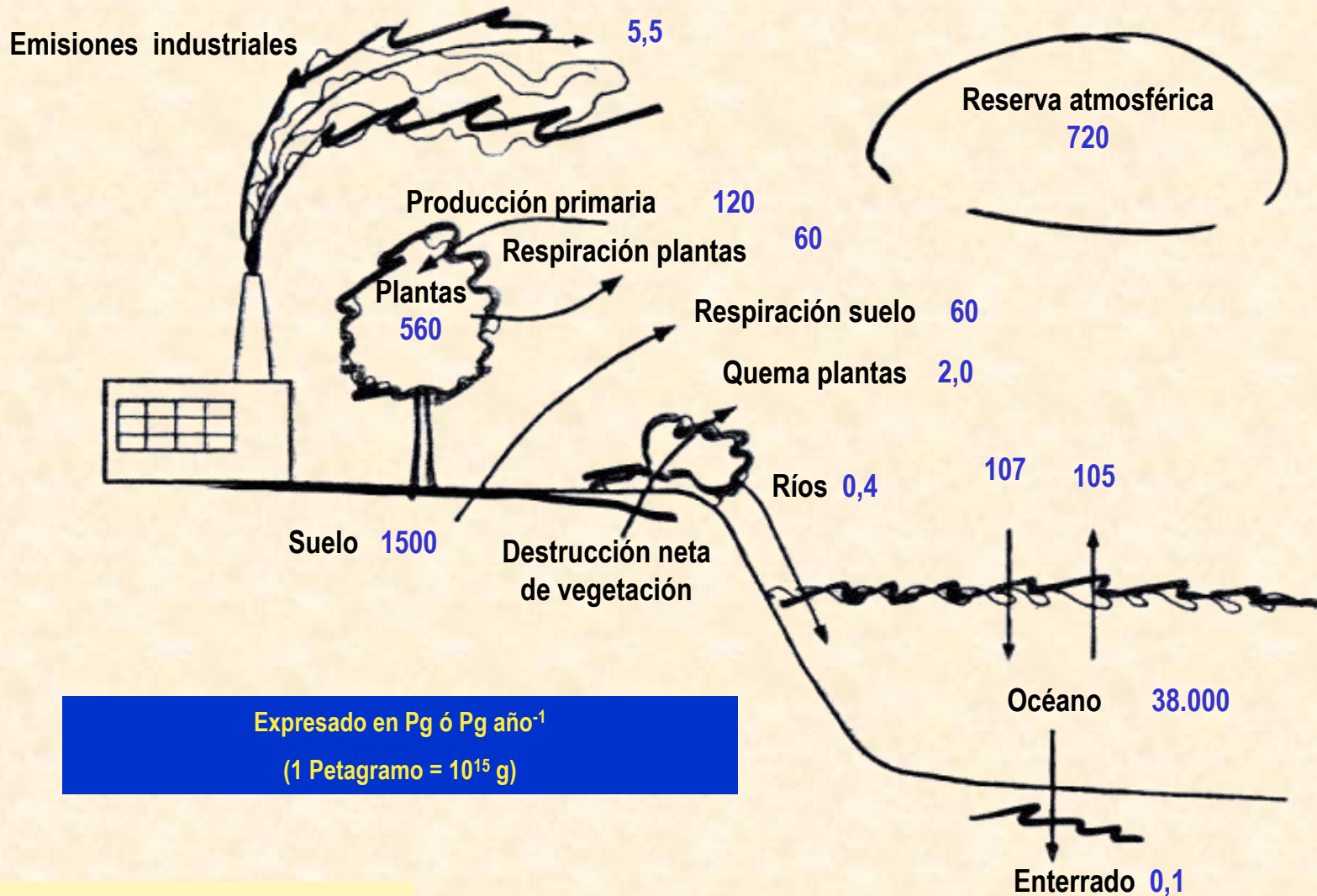
<u>Formas de C</u>	<u>Cantidad C (Eg C)</u>	
- Sedimentos	- Calizas (CaCO_3)	35
	- Dolomitas ($\text{CaMg} [\text{CO}_3]_2$)	25
	- Orgánicos (kerosenos)	15
- Atmósfera (como CO_2)	0,71 a 0,72	
- Disolución marítima (HCO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$)	42	
- Combustibles fósiles (Carbón, gas, petróleo)	5,0	
- Materia orgánica edáfica (Humus)	1,5 a 2,0	
- Biomasa (plantas, animales, microbios)	0,56 a 0,80	
(Según Berner y Lasaga, 1990)	Eg C = 10^{18} g	

Compartimentos y Flujos de C en la Tierra



(Adaptado de Juan F. Gallardo)

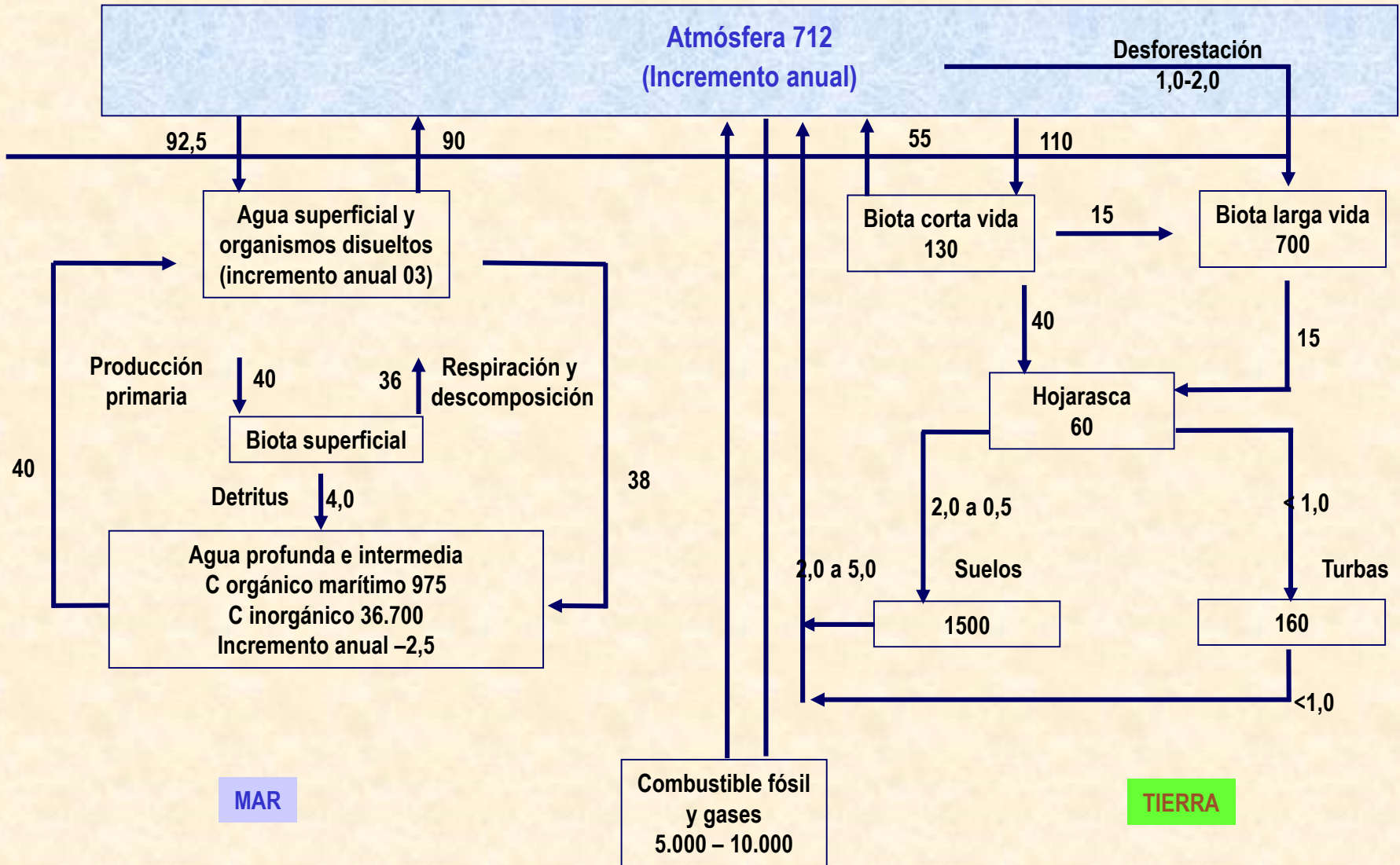
Ciclo Global del Carbono: Transferencias Anuales entre Tierra, Mar y Atmósfera



Expresado en Pg ó Pg año⁻¹
(1 Petagramo = 10¹⁵ g)

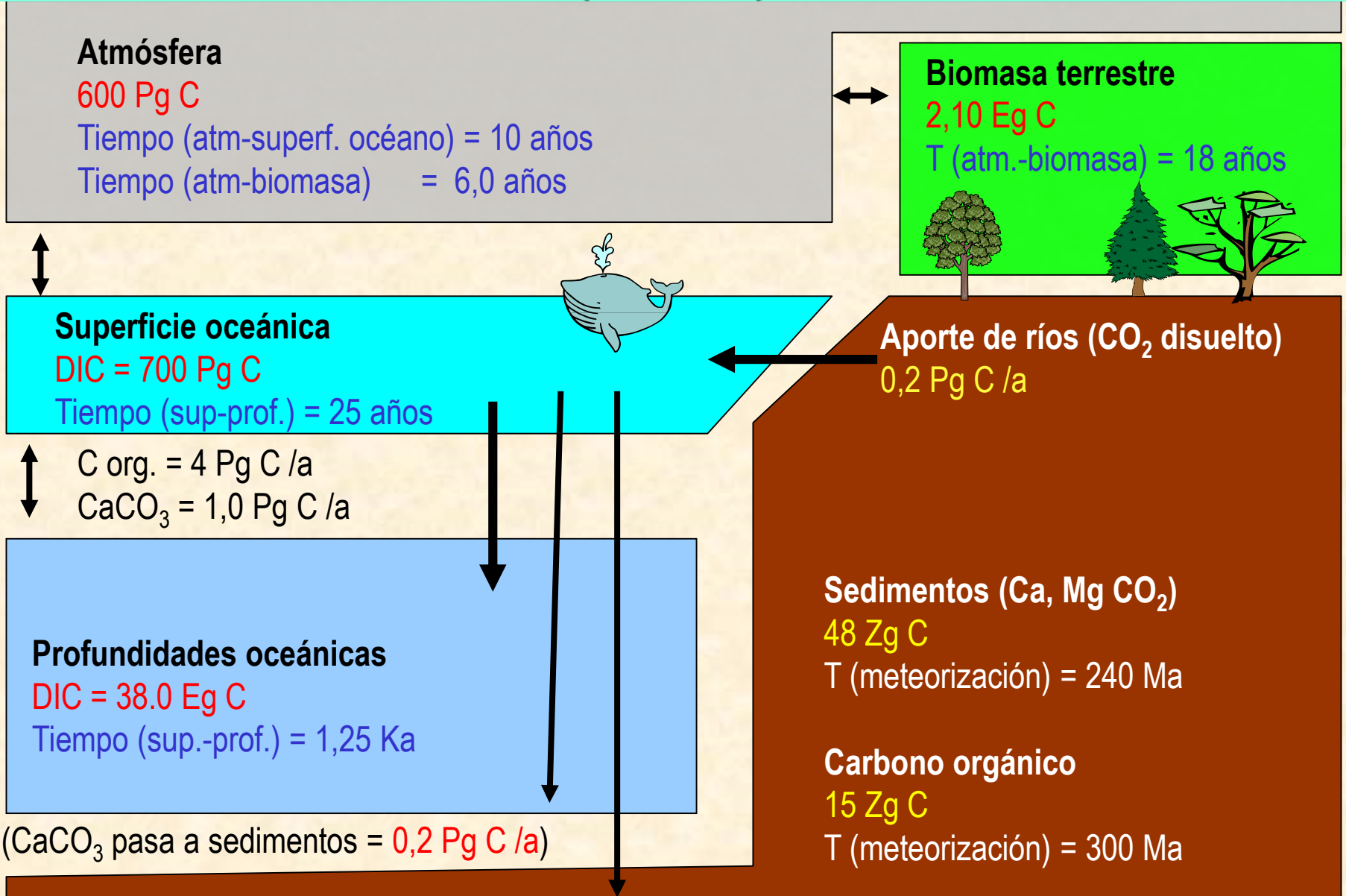
(Modificado de Schlesinger, 1991)

EL CICLO DEL CARBONO



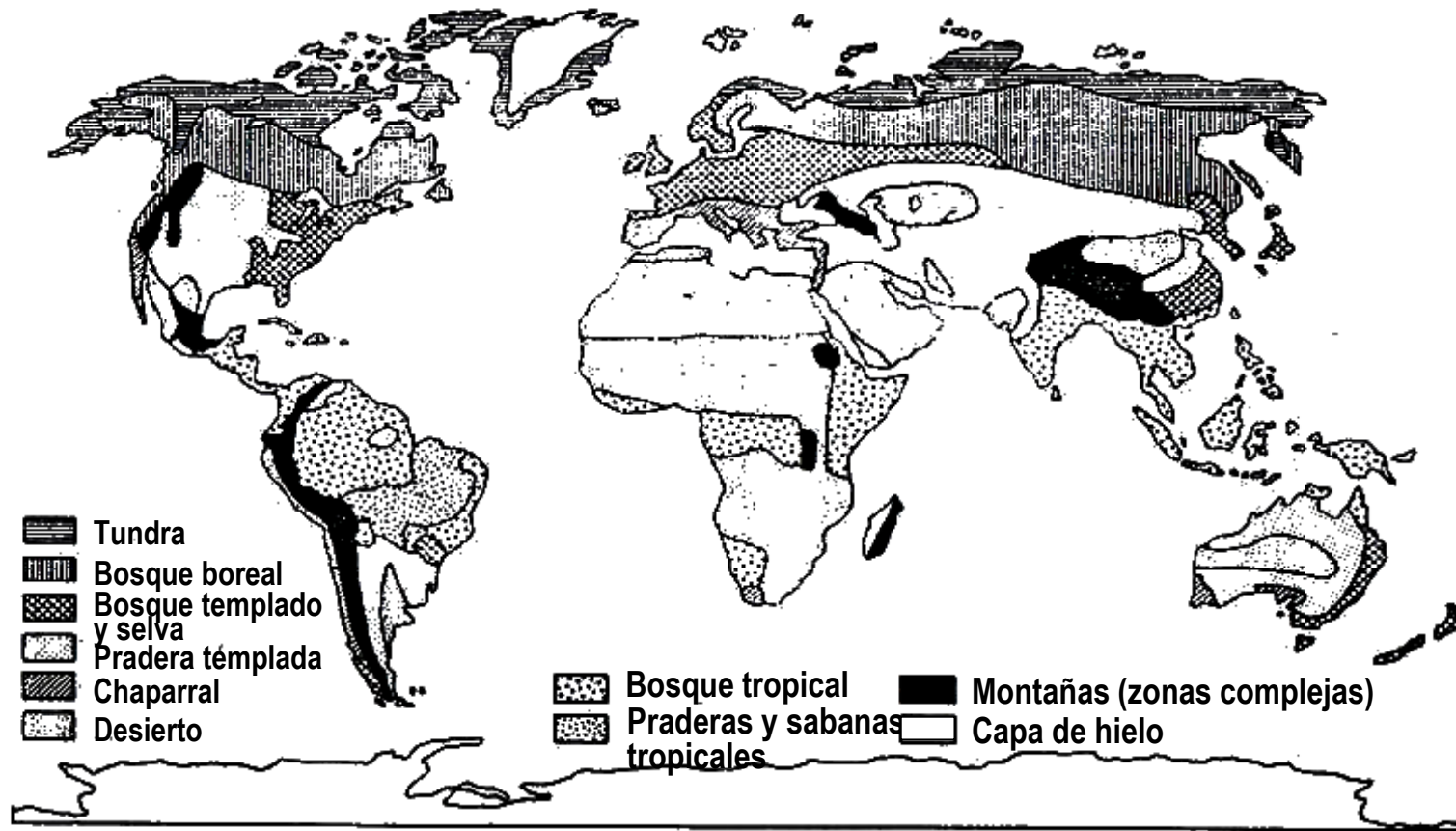
Tiempos Medios de Transferencias

(a = años)



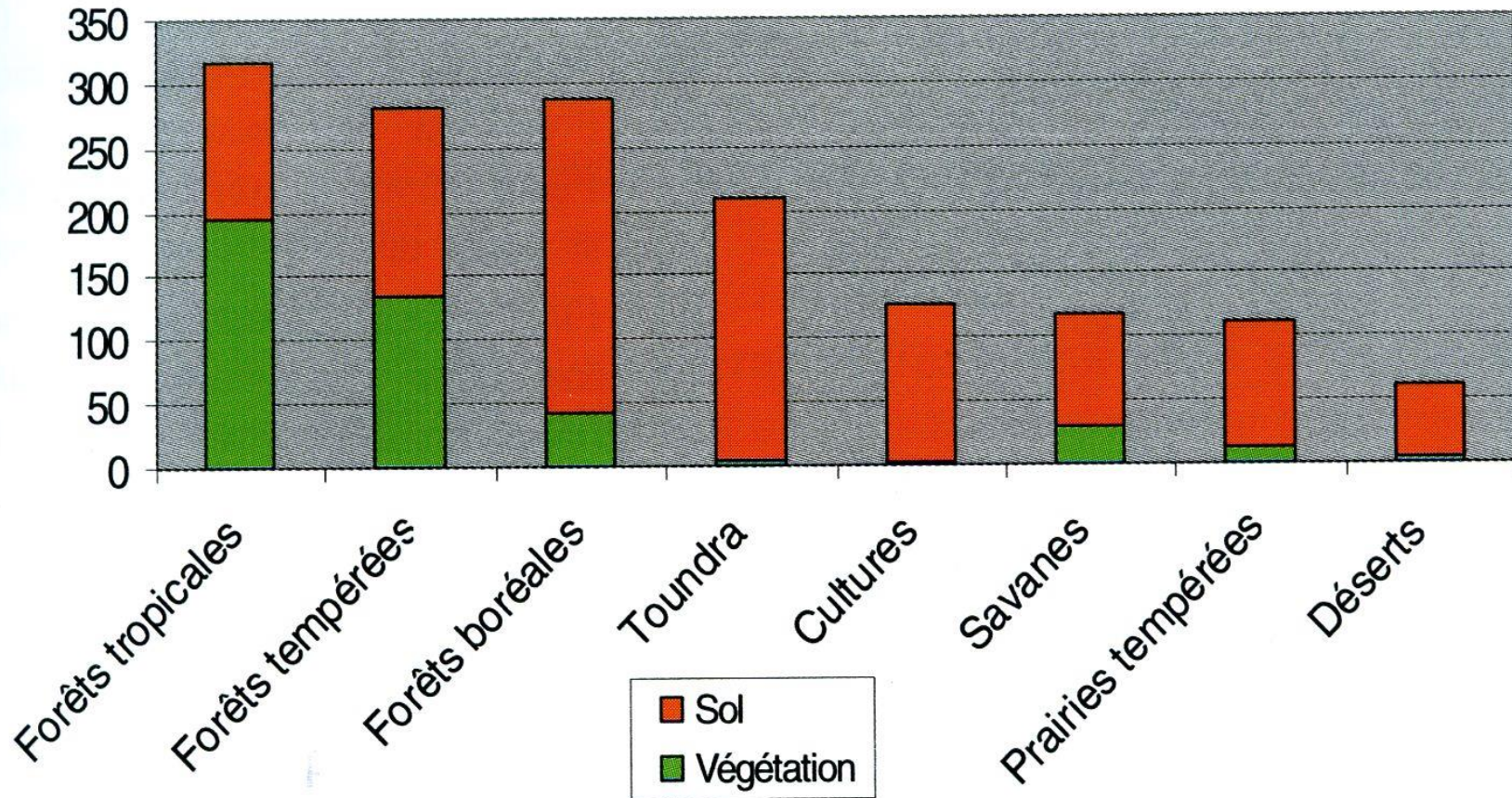
Principales Ecosistemas (Biomasa) Mundiales

(Adaptado del *Council on Environmental Quality*, 1989)

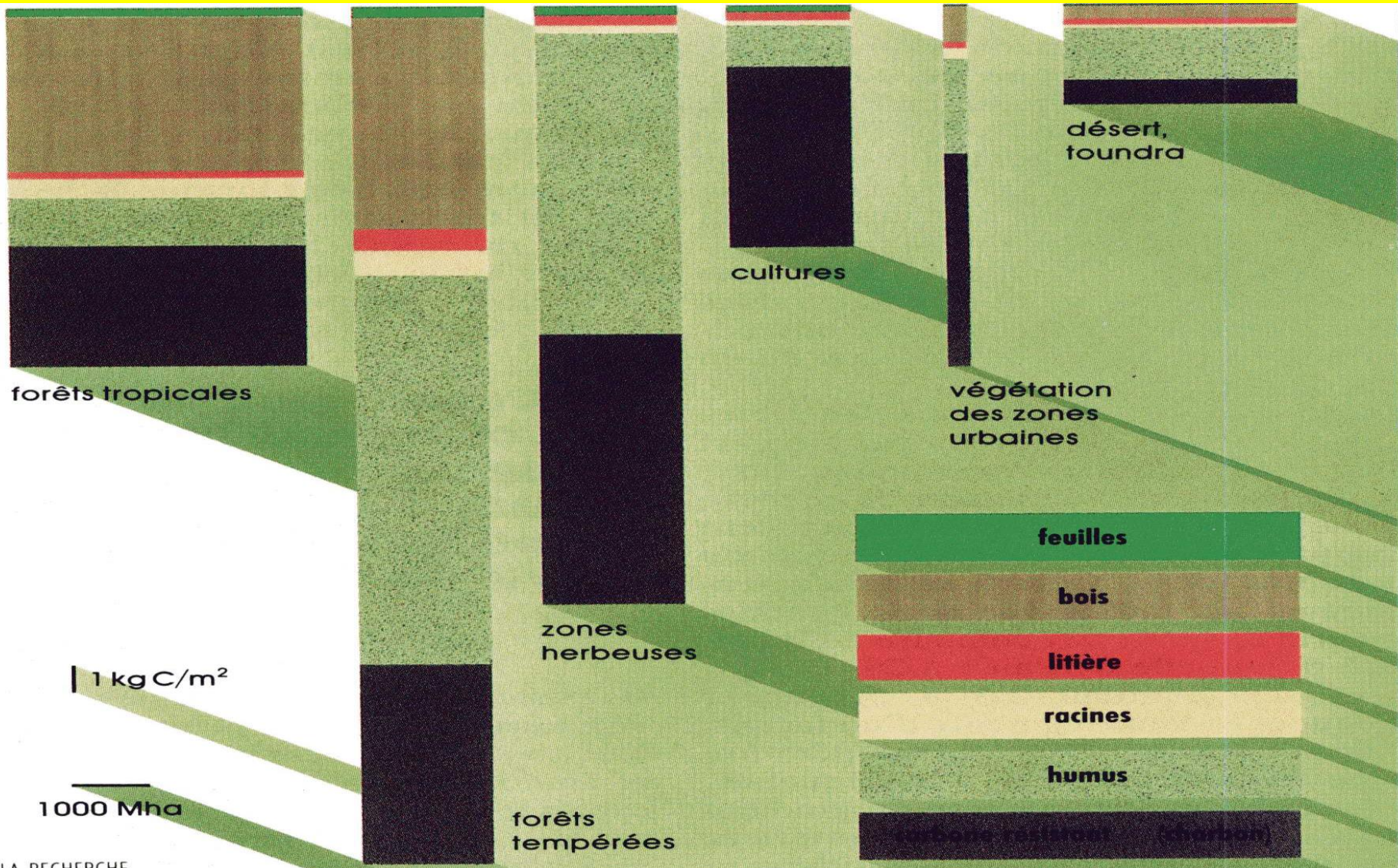


Compartimentos de Carbone en Ecosistemas Terrestres

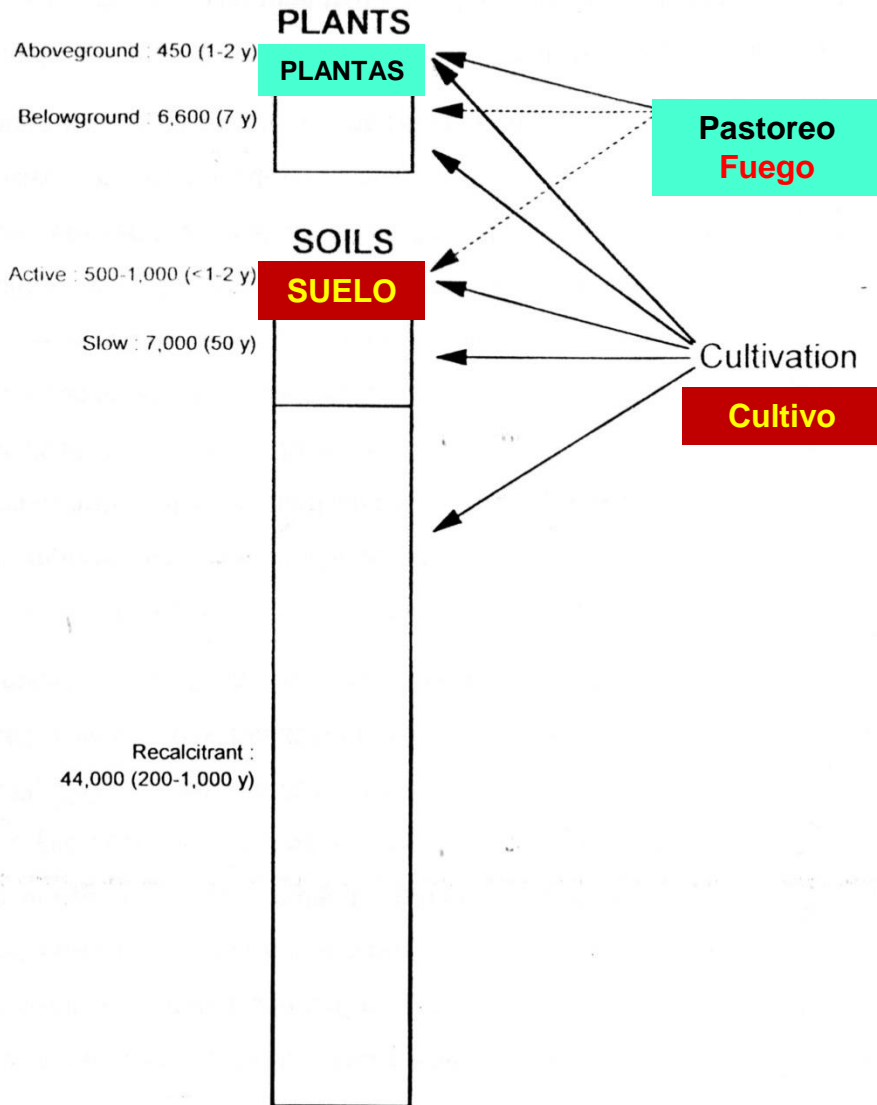
Stocks moyens de carbone (t_C/ha)



Cálculo de las Reservas de C en La Tierra: Los Sistemas



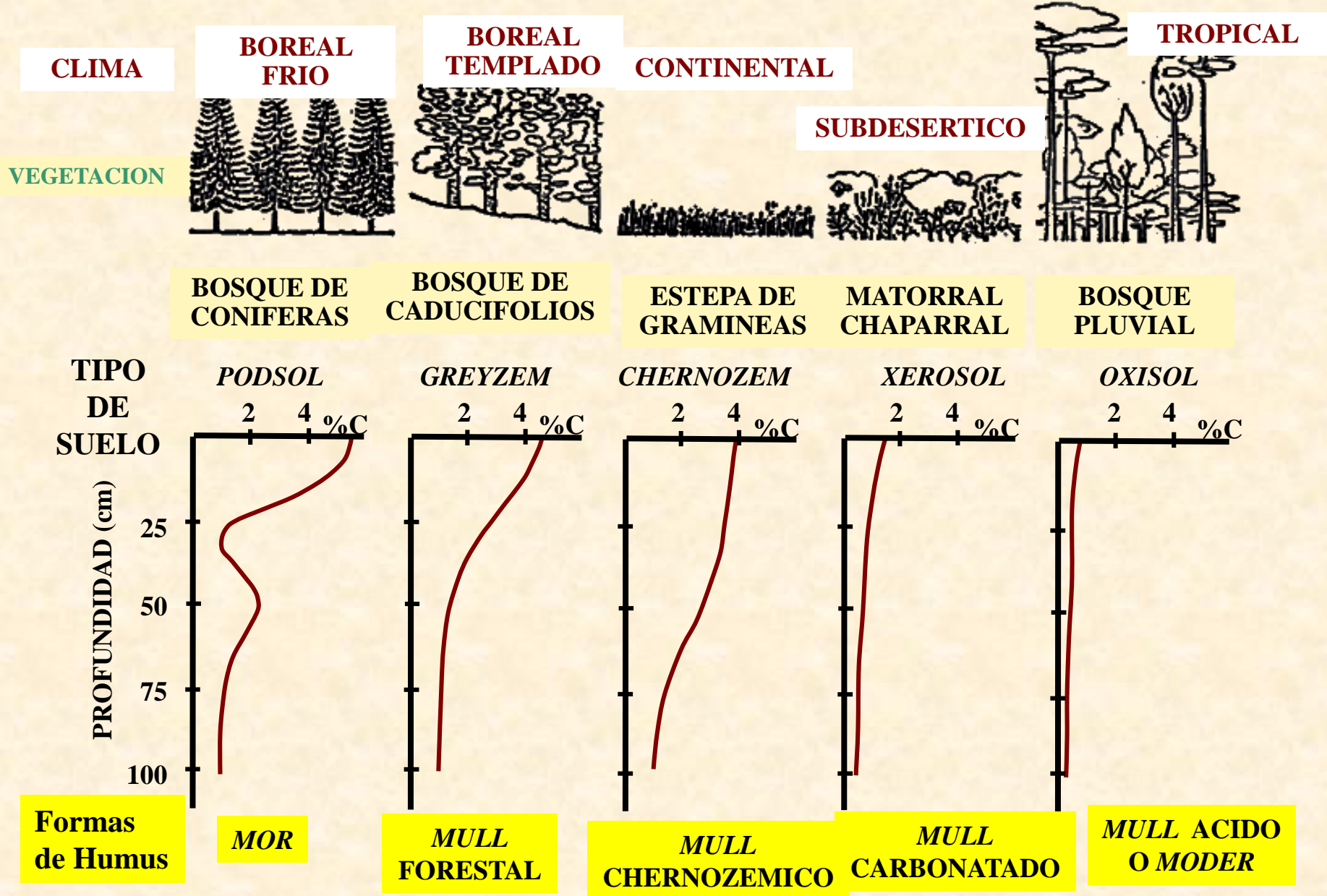
Balance de C en una Pradera (USA)



Se indican las exportaciones potenciales de C ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) por la vegetación y hojarasca según el manejo (pastoreo o fuego) y los tiempos medio de residencia (años); .

Se indican las exportaciones potenciales de C ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) por el suelo) y los tiempos medio de residencia (años) a diferentes profundidades del suelo y según las fracciones orgánicas en proceso de humificación (años).

Principales Ecosistemas Terrestres y Distribución del C Edáfico



Distribución del Carbono Orgánico por Ecosistemas

Acumulación
(Mg C/ha)

Taiga

15 Mg/ha

Bosque templado

20 Mg/ha

Estepa

10 Mg/ha

Sabana

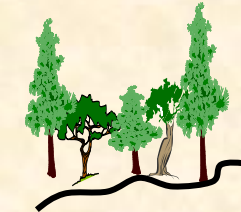
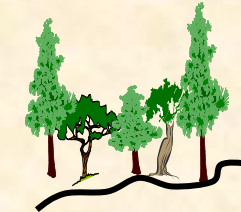
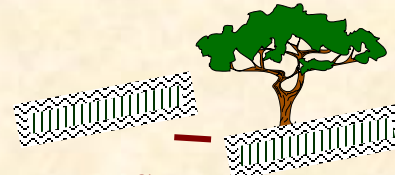
8 Mg/ha

Selva pluvial

300 Mg/ha

Ecosistemas y producciones

TIPOS DE SUELOS



Podsol

Greizem
Suelo pardo

Chernozem

Lateritas

Oxisol, Ultisol

Tipo Suelo

Contenido orgánico
(porcentajes)

Prof. cm

Perfil edáfico
Profundidad

2 4
-25
-50
-75
-100



Suelo:

240 Mg/ha



Suelo:

400 Mg/ha



Suelo:

250 Mg/ha



Suelo:

160 Mg/ha



Suelo:

80 Mg/ha

COS (%)

COS

(Mg C ha⁻¹)

(Mg C ha⁻¹)

Cantidad Global de C en Vegetación y Suelo

Ecosistema	Area (10 ⁹ ha)	C global almacenado (Pg C)		
		Vegetación	Suelo	Total
Bosques tropicales	1,76	212	216	428
Bosques templados	1,04	59	100	159
Bosques boreales	1,37	88	471	559
Sabanas tropicales	2,25	66	264	330
Praderas templadas	1,25	9,0	295	304
Desiertos y semiáridos	4,55	8,0	191	199
Tundra	0,95	6,0	121	127
Humedales	0,35	15	225	240
Tierras de cultivo	1,60	3,0	128	131
Total global de C	15,1	466	2011	2477

(Referido éste a una profundidad de -1,00 m)

Existe una incertidumbre considerable con respecto a las cifras indicadas, dada la ambigüedad de las definiciones de bioma y mediciones edáficas; esta Tabla proporciona sólo una panorámica general de la magnitud del C.

Biomasa Vegetal, Aporte de Hojarasca, C y N Edáficos, y Biomasa Microbiana de los Principales Tipos de Vegetación Mundial

Ecosistemas	Bosque tropical	Bosque templado	Bosque boreal	Sabana	Pradera templada	Tundra
Area (10 ⁶ km ²)	24,5	12,5	12,0	15	9,0	8,0
Biomasa (Mg C ha ⁻¹)	180	140	90,0	18,0	14,4	2,5
Aporte hojarasca (g C m ⁻² a ⁻¹)	710	368	250	360	667	75
C edáfico (Mg C ha ⁻¹)	13,0	90,0	150	54,0	230	220
N del Suelo (Mg N ha ⁻¹)	8,3	6,4	11,0	3,3	21,0	11,3
C biomasa microbiana (kg C ha ⁻¹)	500	1100	350	600	2150	200
N biomasa microbiana (kg N ha ⁻¹)	20	140	25	87	510	10
Renovación microbiana (años)	0,07	0,30	0,14	0,17	0,32	0,27

Adaptado de: Biomasa de plantas y productividad neta primaria según Whittaker y Likens (1973); hojarasca según Ajtay *et al.* (1979); C y N del suelo según Likens *et al.* (1981); y Biomasa microbiana según Paul & Clark (1989).

Distribución de la Necromasa (Hojarasca) y el COS

Ecosistemas	Productividad anual neta (Mg C ha ⁻¹ a ⁻¹)	Media de hojarasca (Mg C ha ⁻¹)	Media de C.O.S. (Mg C ha ⁻¹)	Area terrestre (Millones ha)	Total terrestre de COS (Pg C)
Bosque tropical	9,0	3,6	104	2450	255
Bosque templado	5,5	14,5	118	1200	142
Bosque boreal	3,6	24	149	1200	179
Matorral, chaparral	2,7	2,4	69	850	59
Sabana tropical	3,2	1,5	37	1500	56
Pradera templada	2,3	1,8	192	900	173
Tundra y pradera alpina	0,65	4,0	216	800	173
Subdesiertos y semiáridos	0,3	0,2	56	1800	101
Desiertos y glaciales	0,02	0,02	1,0	2400	3,0
Agrosistemas	2,9	0,7	127	1400	178
Pantanos y manglares	11,2	2,5	686	200	137
SUBTOTALES	-	55,2	-	14700	1456

Según Whittaker y Likens (1973) y Schlesinger (1977)

Contribución de Diferentes Ecosistemas al Compartimento Terrestre del C.O.S.

Ecosistemas	Cantidad de C en suelo (Pg)	Porcentaje respecto al total mundial (%)	Porcentaje según Schlesinger (%)
Tundra	180	12,1	13,7
Bosques templados	N.d.	N.d.	9,5
Bosques fríos y templados	320	21,5	N.d.
Agrosistemas	180	12,1	12,0
Praderas y estepas isohúmicas	170	11,4	8,6
Humedales	140	9,4	14,5
Regiones desérticas	130	8,7	9,2
Sabanas tropicales	120	8,1	N.d.
Bosques tropicales	250	16,8	9,6
TOTAL	1.490*	100	1.400*

(Modificado de Paul y Clark)

(* Total en Pg)

COMPARTIMENTOS C EN LA TIERRA

(1 Pg = 10^{15} g; 1 Eg = 10^{18} g)

COMPARTIMENTOS DE C:

C en la Atmósfera:	0,74	Eg C inorg.
C en la Biósfera:	0,83	Eg C org.
<u>C en la Edafósfera:</u>	1,8	Eg C org. + 1,75 Eg C inorg.
C en la Hidrósfera:	37	Eg C inorg. + 1,0 Eg C org.
C en Litósfera:	20.000	Eg C

(1 Eg = 10^{18} g)

C orgánico acumulado según tipos de suelos:

Suelos hísticos:	0,40	Eg
Suelos poco desarrollados	0,38	Eg
Otros suelos:	0,72	Eg
C orgánico fósil:	8,0	Eg

¿Errores de determinación del C edáfico terrestre?

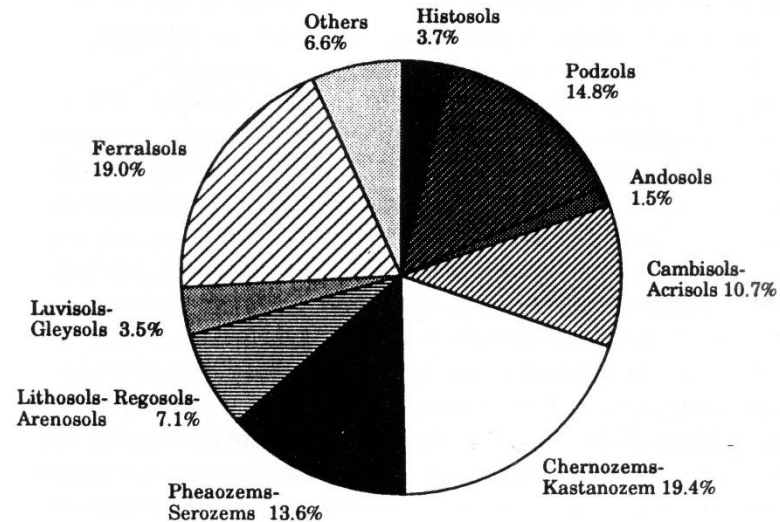
Reservas Estimadas de C (Orgánico e Inorgánico) en los Principales Suelos Mundiales

Suelos	C orgánico	C inorgánico	C TOTAL
<i>Ultisoles</i>	101	0	101
<i>Andisoles</i>	69	1,0	70
<i>Aridisoles</i>	110	1044	1154
<i>Oxisoles</i>	150	0	150
<i>Inceptisoles</i>	267	258	525
<i>Alfisoles</i>	136	127	263
<i>Mollisoles</i>	72	139	211
<i>Vertisoles</i>	38	25	63
<i>Espodosoles</i>	98	0	98
<i>Entisoles</i>	106	117	223
<i>Histosoles</i>	390	0	390
Otros	18	0	18
TOTAL	1555	1738	3293

(COS referido a -1,00 m de profundidad)

(Modificado de Eswaran *et al.*, 1995)

Cálculo de las Reservas de C en La Tierra: Los errores



Distribution of world soils in % of total area of $122.2 \times 10^6 \text{ km}^2$

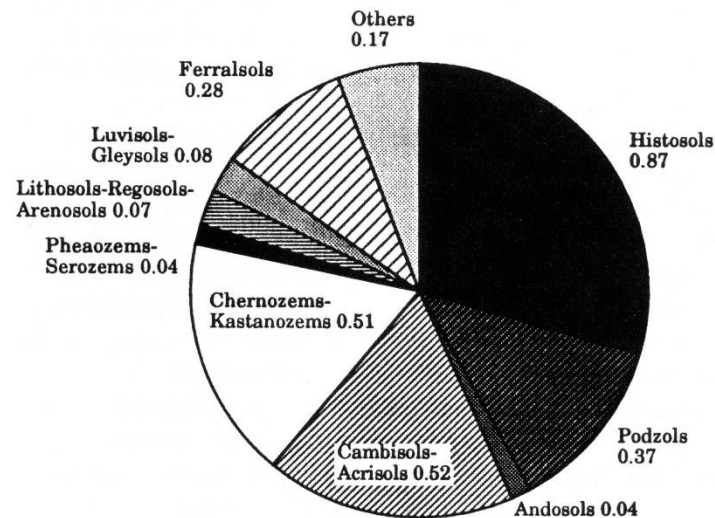


Fig. 1. Distribution of surface area (above, in %) and organic carbon (below, in 10^{12} T) of world soils. Adapted from Bohn (1976, 1982).

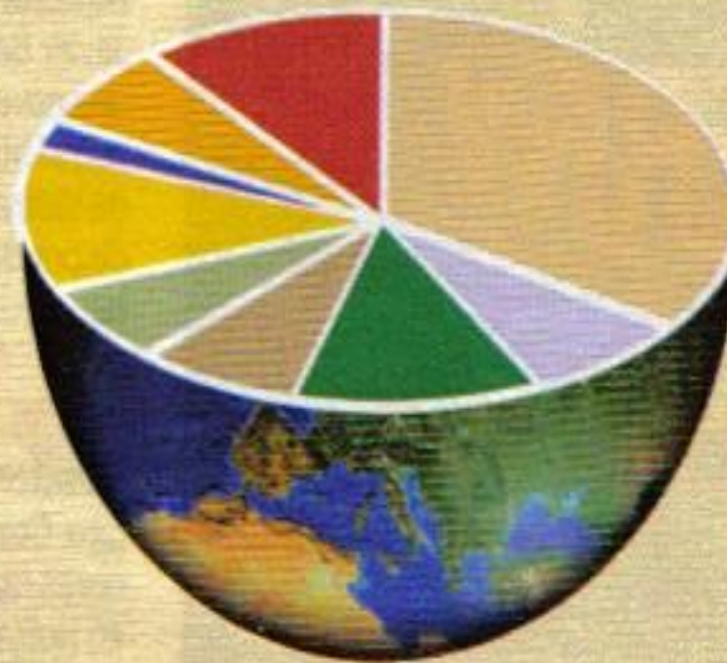
Cambio de Usos de Suelos

REPARTO DEL SUELO

ANTES DE LA APARICIÓN DEL
SER HUMANO



USO ACTUAL DE LA
SUPERFICIE TERRESTRE



- Cultivos
- Hielo y tundra
- Bosque nórdico
- Bosque mediterráneo
- Prados y estepas
- Desierto
- Monte bajo
- Sabana
- Selva y bosque tropical

FLUJOS DE C EN LA TIERRA

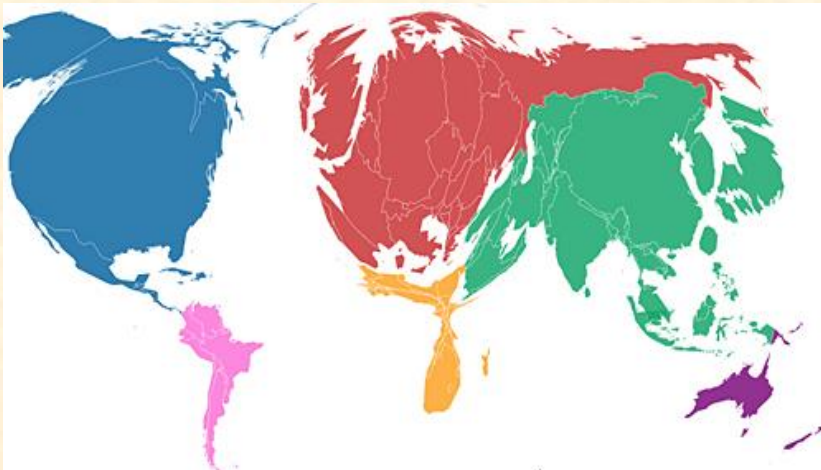
FLUJOS DE C A LA ATMOSFERA :

(1 Pg = 10^{15} g; 1 Eg = 10^{18} g)

Flujos de Suelo + Vegetación a Atmósfera:	110 Pg C a ⁻¹
Flujos de Océanos a Atmósfera:	105 Pg C a ⁻¹
Flujos industriales a Atmósfera:	7,5 Pg C a ⁻¹
Flujos por desforestación a Atmósfera	1,5 Pg C a ⁻¹

Aumento en 50 años de 0,07 a 0,09 mL C L⁻¹ aire (0,29 a 0,36 mL CO₂ L⁻¹ aire); esto es, un incremento total del 30 % en 130 años. Incremento anual equivalente: 3,5 Pg a⁻¹ (medio desde 1870).

Emisiones industriales (por países):



U.S.A. (270 Mh):	1,5 Pg C a ⁻¹
U. E. (370 Mh):	1,0 Pg C a ⁻¹
China (1.200 Mh)	1,6 Pg C a ⁻¹
India (1.100 Mh)	0,3 Pg C a ⁻¹

Estimaciones de Emisiones de CO₂ Antropogénicas (2000-2008)

1,4 Pg C año⁻¹



7,7 Pg C año⁻¹ +



4,1 Pg C a⁻¹

45 %



3,0 Pg C a⁻¹

29 %



26 %

2,3 Pg C a⁻¹

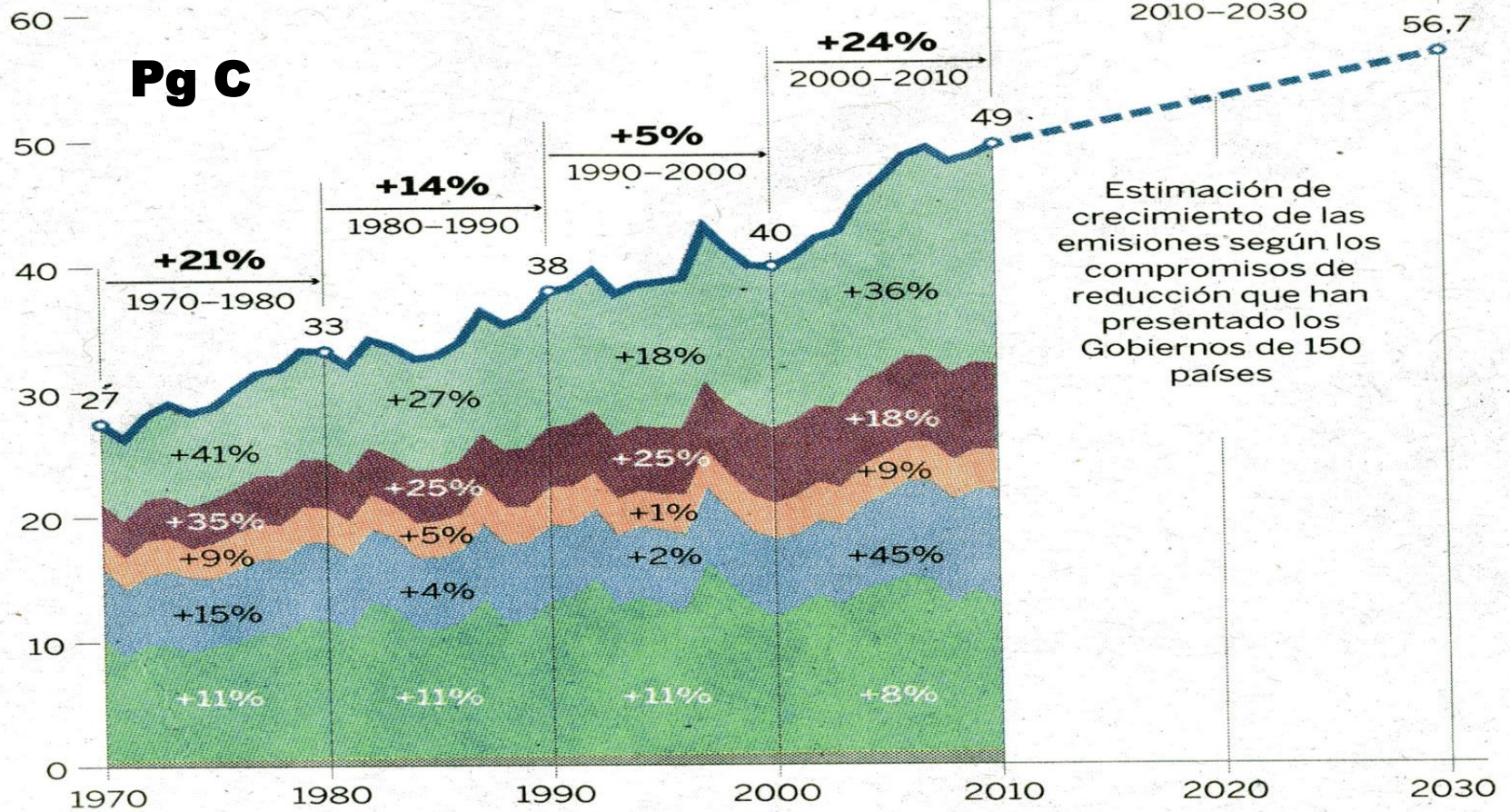


Emisiones mundiales y sectores productivos

Emisiones mundiales por sectores

Gases de efecto invernadero (en gigatoneladas equivalentes de CO₂)

■ Energía ■ Transporte ■ Construcción ■ Industria
■ Agricultura y usos del suelo ■ Otros



Fuente: Secretaría de Cambio Climático de Naciones Unidas.

EL PAÍS

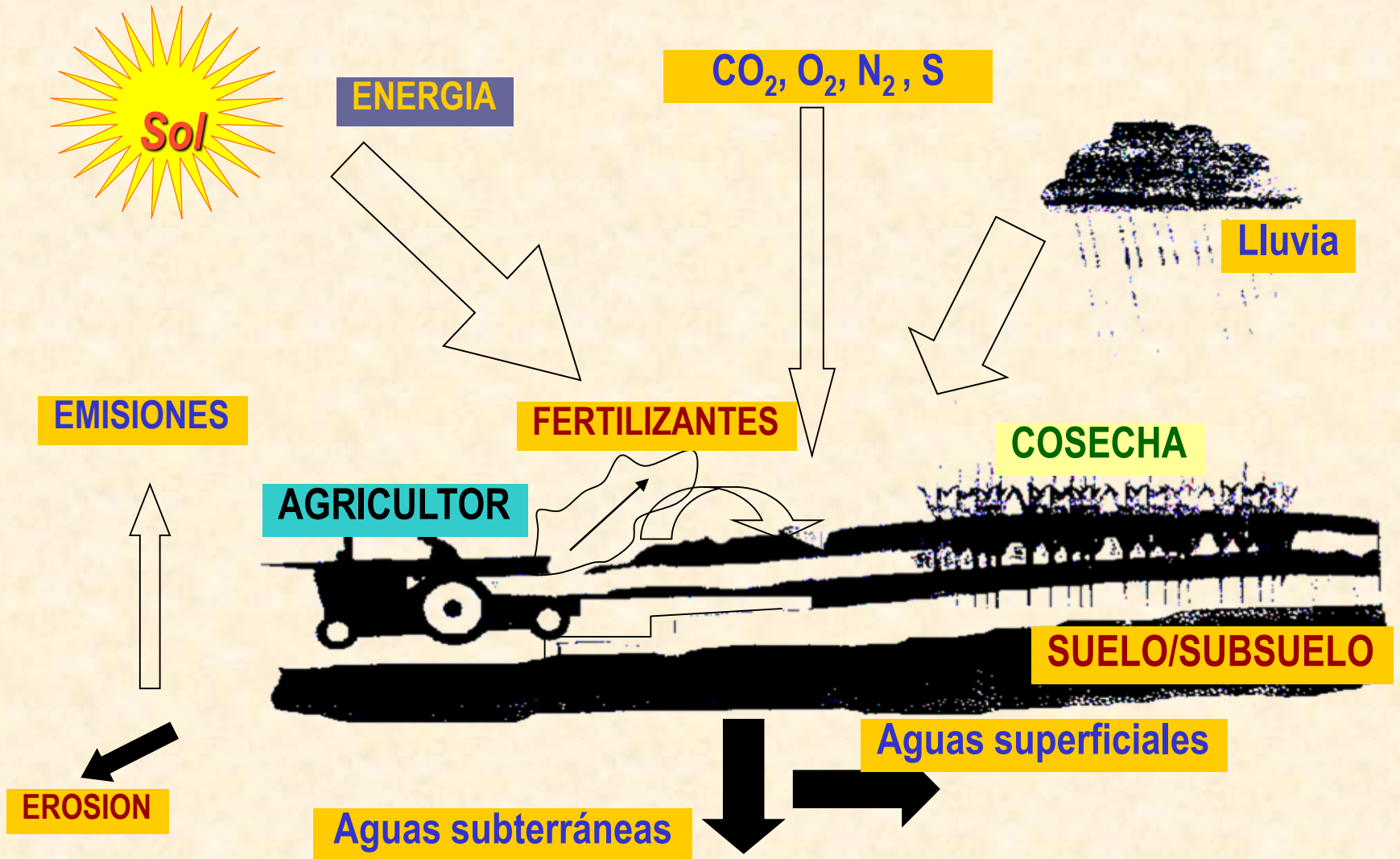


La Pérdida de C Edáfico

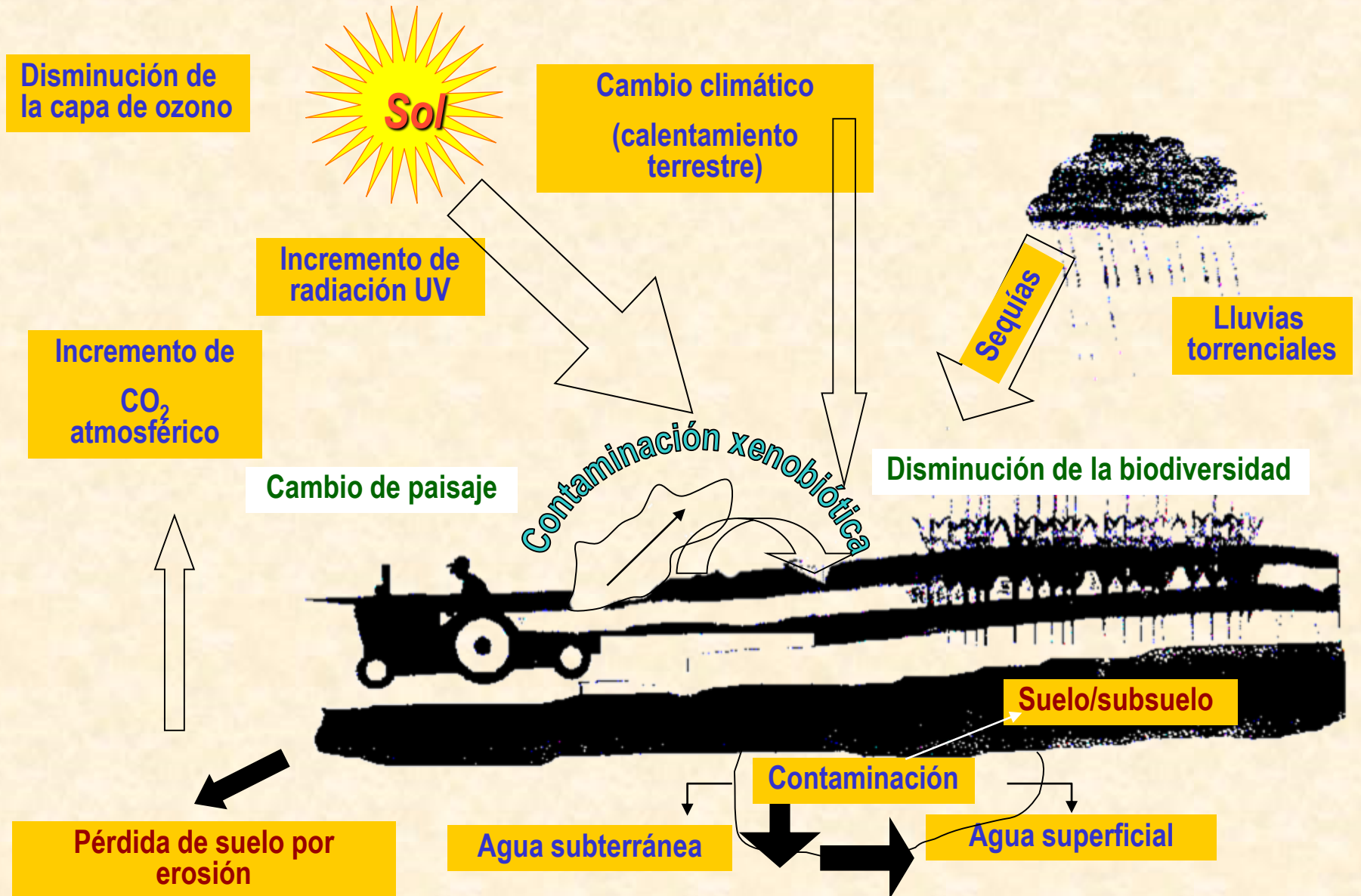
Pérdida de C orgánico del suelo (COS) por el cultivo (según R. LAL)

- Ha habido un incremento del 30 % del CO₂ atmosférico desde 1870 (media de 1,5 mg CO₂ kg⁻¹ a⁻¹).
- Parte de ese incremento proviene de la agricultura: Desde 1870 se han perdido de 40 a 80 Pg COS.
- Se prevé que en el siglo XXI se perderán otros +60 Pg adicionales de COS.
- Un 40 % del COS terrestre se encuentra en los trópicos (alrededor de 300/400 Pg C).
- De ellos, se reparten por mitades, principalmente, entre Iberoamérica y Africa.
- Por ejemplo, en Argentina se pierde alrededor de 1,0 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ con siembra tradicional. Se dice que con siembra directa se capturaría 4,0 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (incremento de COS de 1,0 a 1,4 %).
- Una emisión de 1,0 Pg COS significaría un aumento de +0,47 mg kg⁻¹ de CO₂ atmosférico.

PARADIGMA CLASICO DE LA AGRICULTURA



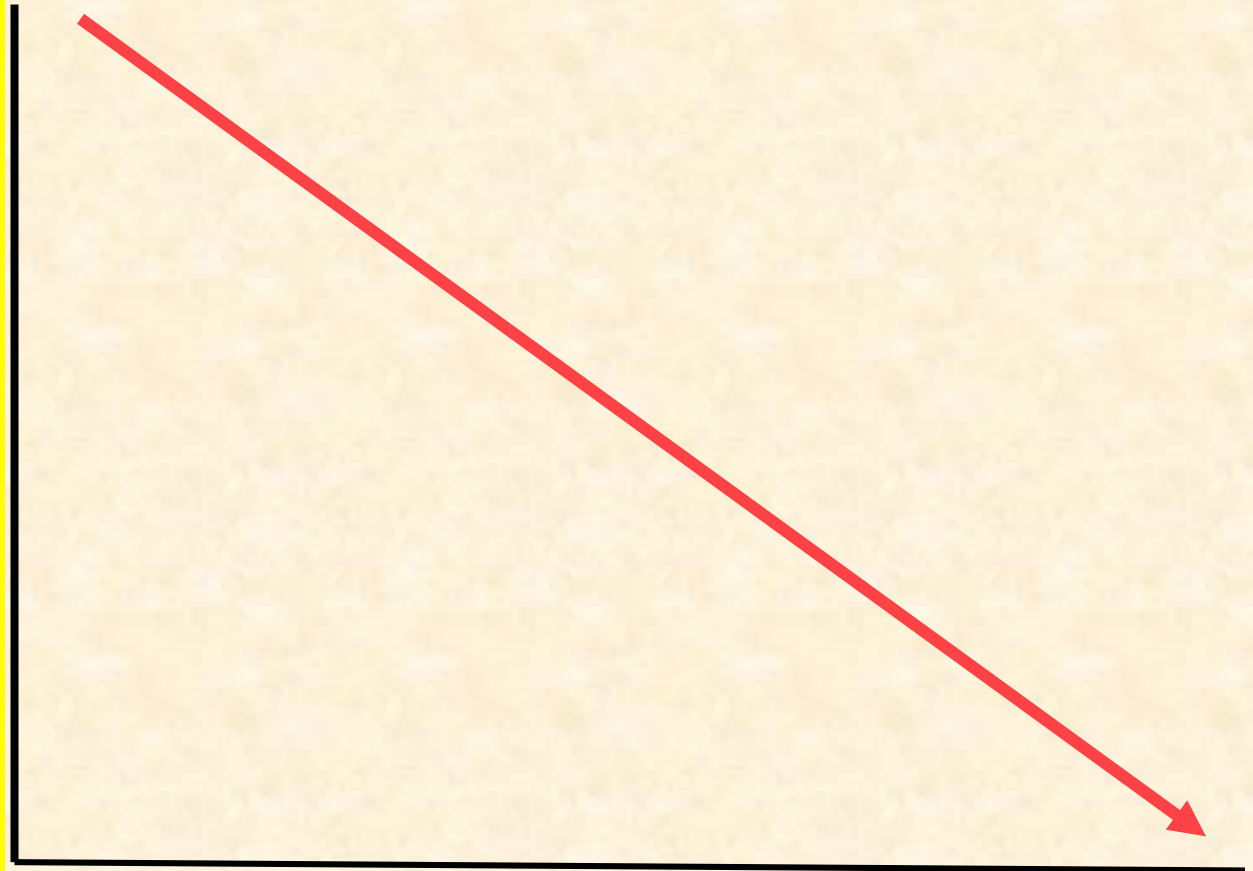
PARADIGMA AMBIENTAL DE LA AGRICULTURA



Influencia Antrópica y Sistemas: Degradación

ECOSISTEMAS

- S. forestal *climax*
- S. silvopastoril
(dehesa)
- S. pascícola
(pradera)
- S. agroforestal
- Agrosistema
(labr. red.)
- Agrosistema trad.

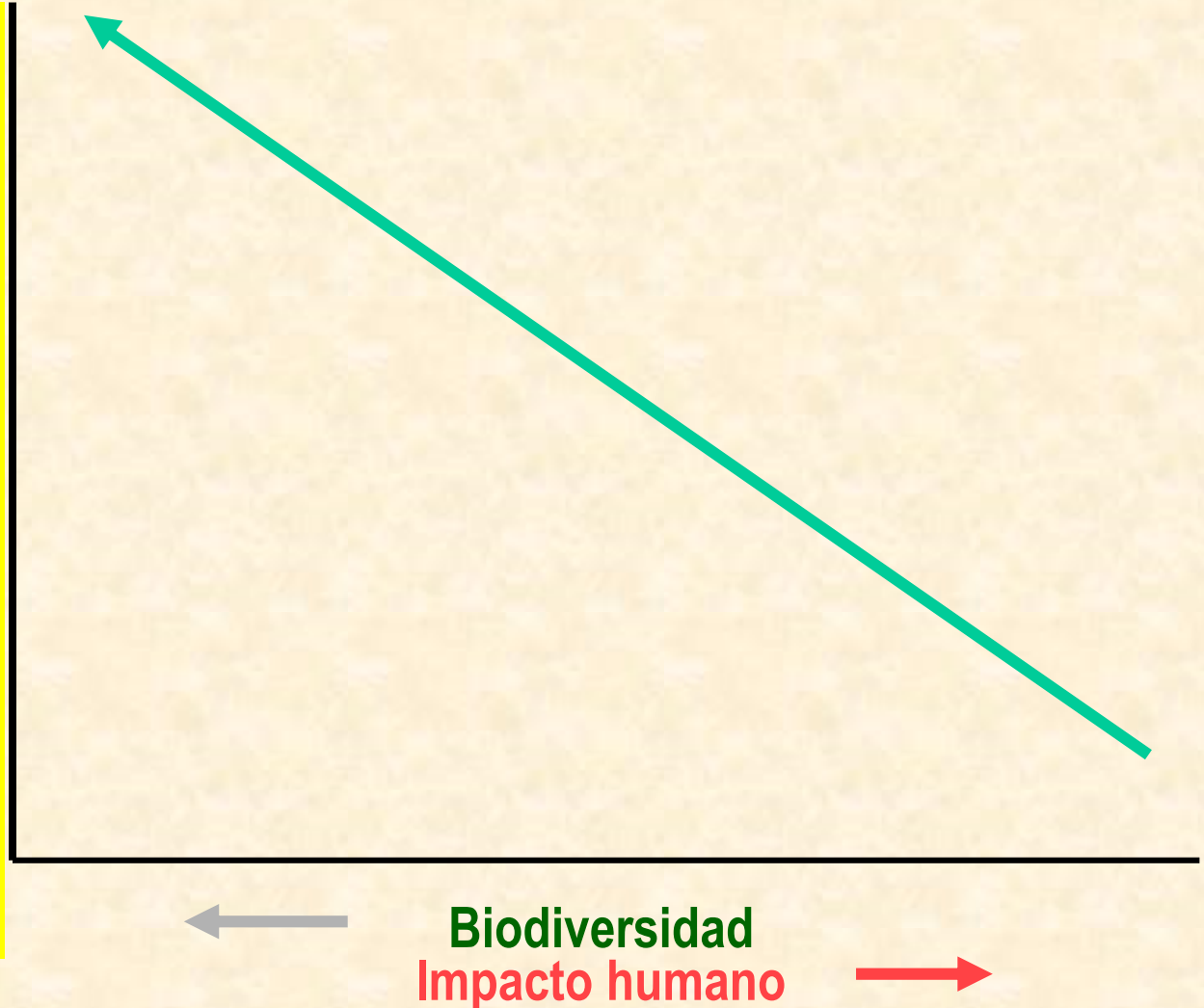


Biodiversidad (COS)
Impacto humano

Influencia Antrópica y Sistemas: Rehabilitación

ECOSISTEMAS

- S. forestal *climax*
- S. silvopastoril
(dehesa)
- S. pascícola
(pradera)
- S. agroforestal
- Agrosistema
(labr. red.)
- Agrosistema trad.



LA NUEVA AGRICULTURA

- Manejos que conducen a la acumulación de COS:

- Aumento de la producción vegetal (mayores entradas orgánicas: Riego, fertilización, labranza reducida, selección genética, control plagas, etc.).
- Aumento artificial de entradas orgánicas al suelo (aportaciones orgánicas: Abonados, *composts*, etc.).
- Disminución de la tensión de O₂ en el suelo (labranza reducida, riego; incremento $<1,0 \text{ Pg C a}^{-1}$).
- Rotación y mejora de cultivos (incremento $>2,0 \text{ Pg C a}^{-1}$).

1 Petagramo = 10^{15} g

Prácticas utilizables para favorecer la acumulación de COS en la agricultura



Robert y Saugier (2004)

La materia orgánica como subcompartimento edáfico

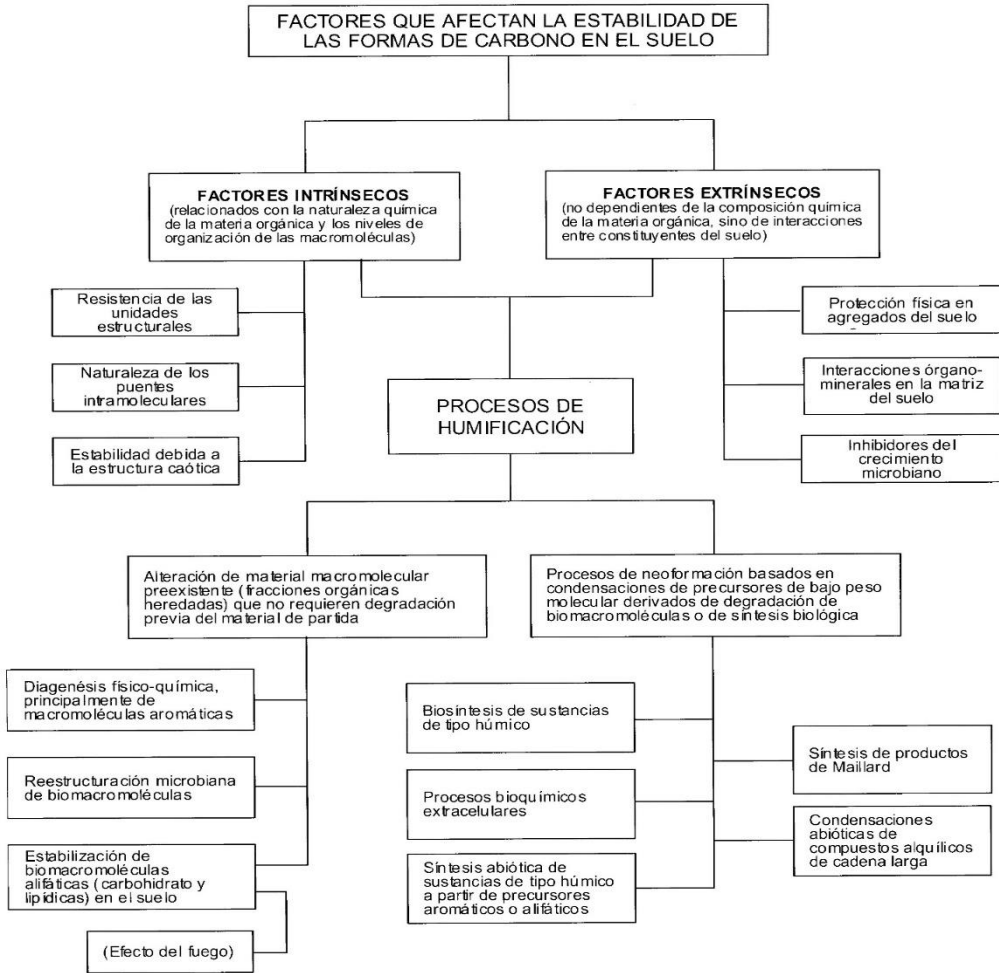
Tradicionalmente la MOS se ha considerado un elemento de producción, por lo que se han incentivado tradicionalmente los flujos, esto es, su mineralización (agricultura), ocasionando caídas en los contenidos de MOS (hasta el Siglo XX).

Debido a la preocupación actual sobre la conservación de la biodiversidad y los intentos de mitigación del supuesto calentamiento global, la tendencia es mantener, si no incrementar, los niveles de MOS, lo cual limita la producción, pero permite un incremento del compartimento edáfico, con disminución paralela del CO₂ atmosférico (captura de C).

En el primer caso el suelo funciona como ente productor; en el segundo el suelo como depurador ambiental; de ahí la dificultad de los acuerdos entre los países en vía de desarrollo y los desarrollados.

Factores que influyen en la Captura de C

ALMENDROS



Posibles procesos edáficos que intervienen en el secuestro de C

Factores que Influyen en la Capacidad del Suelo para Capturar C

- Características climáticas del sitio: Régimen térmico e hídrico.
- Características del suelo: Textura, pH y estructura.
- Disponibilidad de agua y nutrientes para la biota.
- Composición y actividad de organismos.
- Dinámica de la comunidad microbiana edáfica.

Como es evidente algunos ecosistemas son más propicios para capturar C que otros

LA CAPTURA DE CARBONO

LA CAPTURA DE CARBONO

EL PROTOCOLO DE KIOTO (1997):

DETENER LAS EMISIONES

O

REDUCIR EL CONTENIDO DE CO₂ ATMOSFERICO

Protocolo de Kyoto

Antecedentes:

- Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, realizada en Estocolmo (Suecia) en 1979
- Cumbre de la Tierra, Río de Janeiro, en 1992
- Protocolo de Kioto, en 1997.
- Diversas reuniones para salvar e Protocolo (Río de Janeiro, Helsinki).

Los países desarrollados tendrían que haber reducido sus emisiones un 5 % respecto a 1990 durante el periodo 2008-12:

- De forma flexible
- Mediante implementación conjunta
- Con mecanismos de desarrollo limpio
- Mediante un comercio de emisiones.

Compromisos reducción emisiones

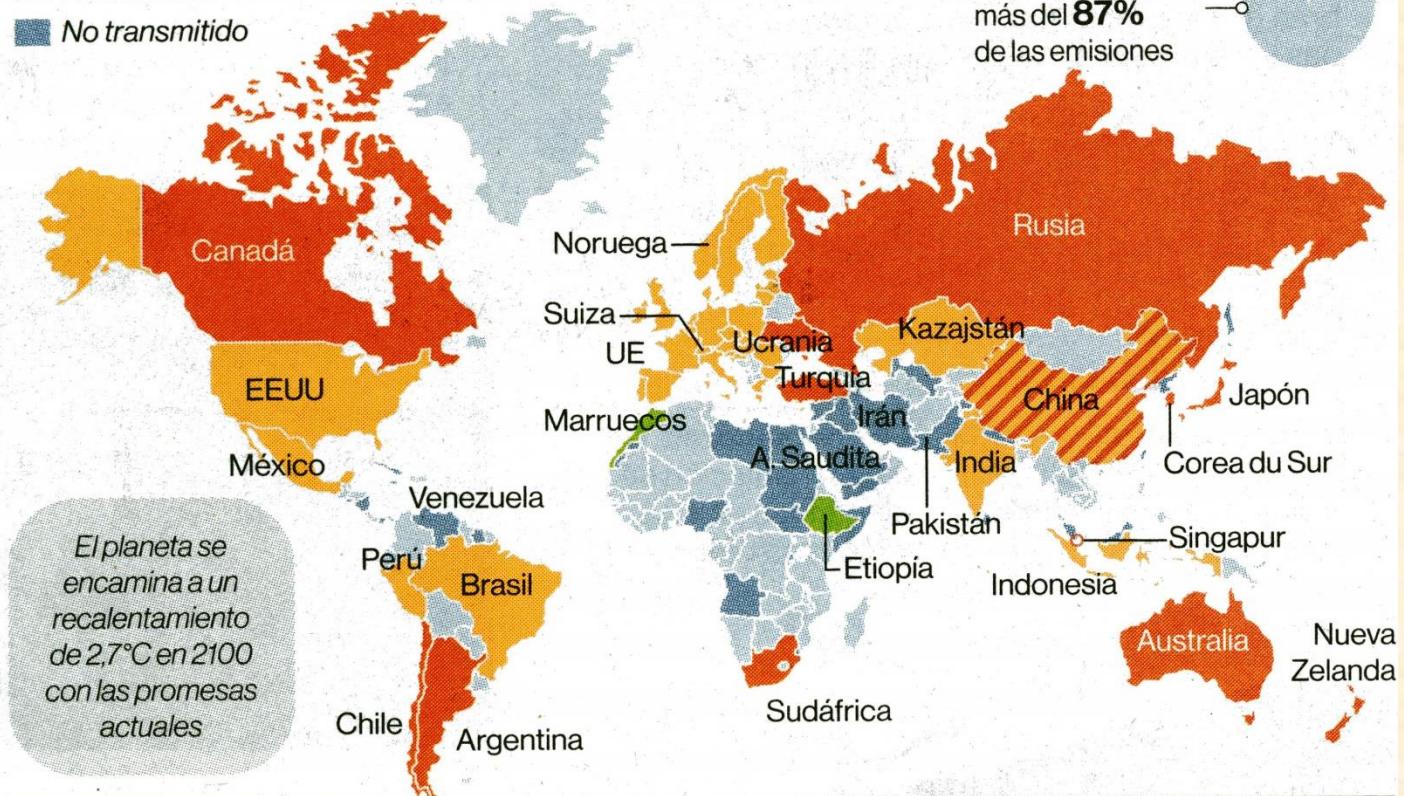
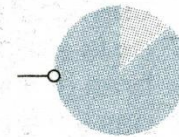
COMPROMISOS REDUCCIÓN DE GAS DE EFECTO INVERNADERO

Se necesitarán esfuerzos más importantes para limitar el calentamiento del planeta a 2°C

Compromiso evaluado



Representan más del **87%** de las emisiones



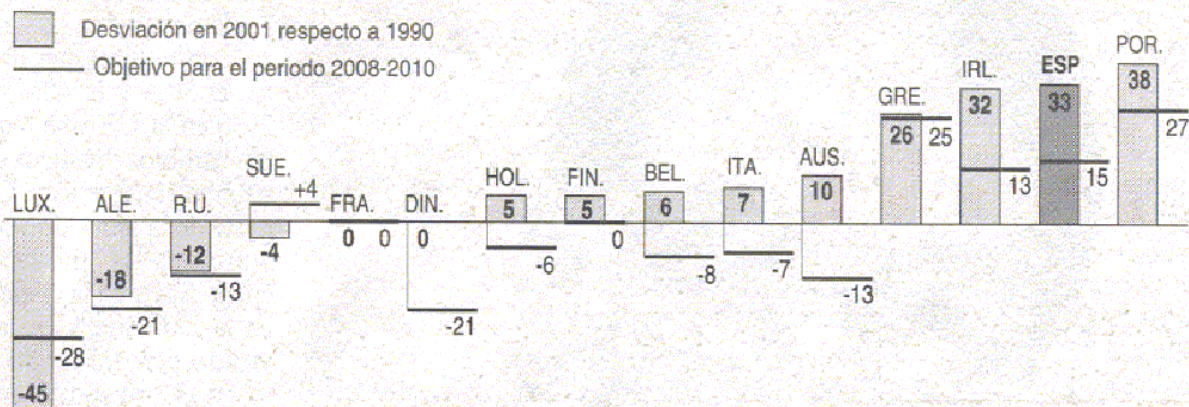
El Protocolo de KYOTO y la Agricultura

- UN AUMENTO DE LA RESERVA EDAFICA DE C ORGANICO (COS) OCASIONARA UNA DISMINUCION CORRELATIVA DEL CO₂ ATMOSFERICO.
- Por el contrario, se supone que un agotamiento de la reserva de COS por una mala agricultura o silvicultura tiene forzosamente repercusiones negativas sobre la captura de C y, por ende, sobre el contenido atmosférico de C.
- Se concluye que es necesario mantener y gestionar bien los bosques y reconducir la agricultura para lograr acumulaciones de COS (agricultura de conservación, de labranza mínima, orgánica, ecológica, etc.)

Cumplimiento del Objetivo del Protocolo de Kioto (1997) por Europa (2001)

Desviación respecto al objetivo de Kioto de las emisiones

En los países de la UE. En porcentaje.



EMISIONES DE CO₂ EN RUSIA

Total de emisiones de gases de efecto invernadero



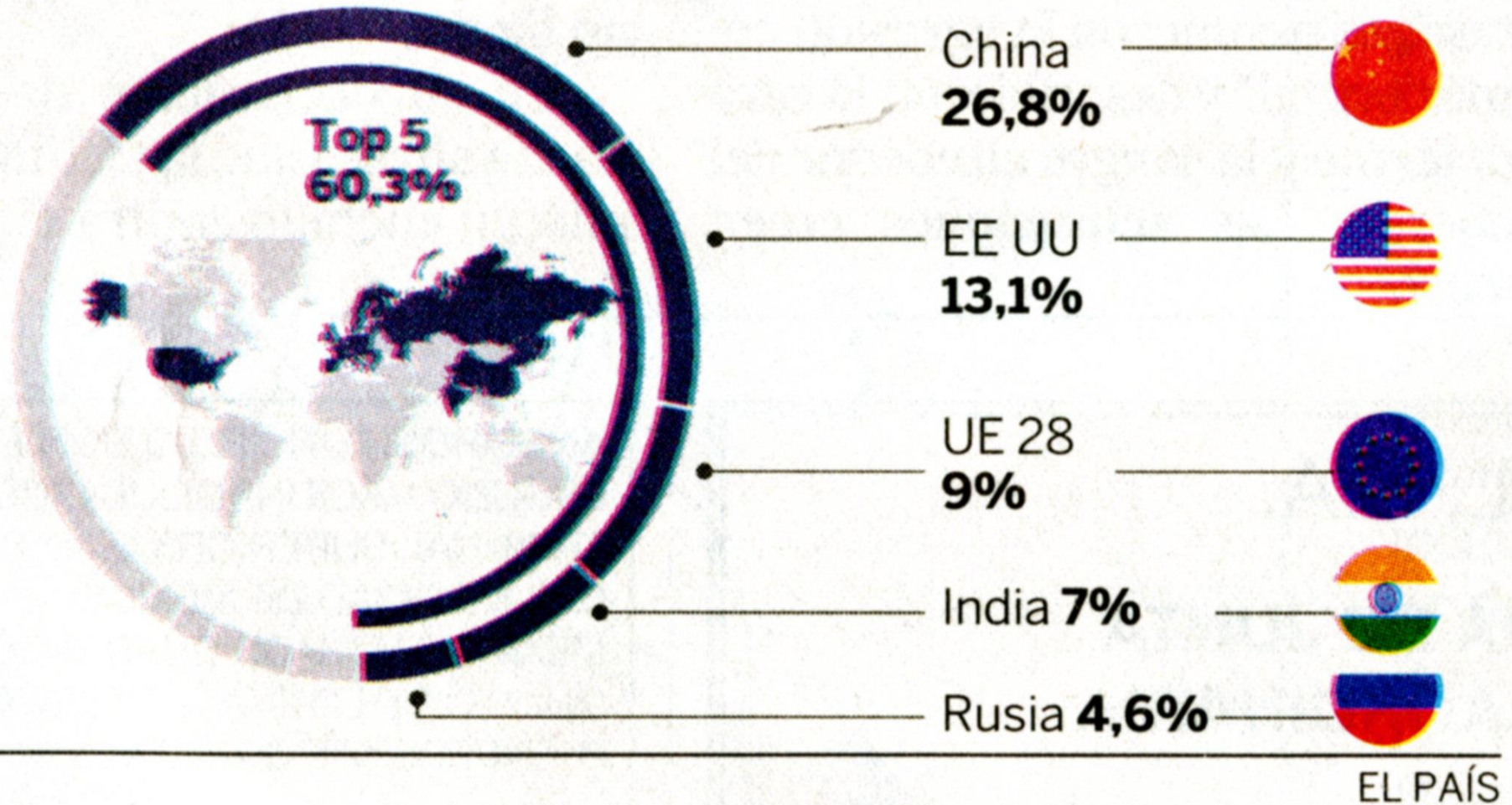
CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

SALUD	AGRICULTURA	BOSQUES	AGUA	COSTAS	ÁREAS NATURALES
<ul style="list-style-type: none"> Mortalidad por el clima. Enfermedades respiratorias. 	<ul style="list-style-type: none"> Descenso de los cultivos. Aumento de las zonas de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> Descenso de las zonas verdes. Empeoramiento de la salud de los bosques. 	<ul style="list-style-type: none"> Escasez de agua, y por tanto, mayor competitividad para su obtención. Peor calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Erosión de las playas. Inundación de las costas. 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de hábitats y especies animales y vegetales. Disminución de los glaciares.

Emisiones de CO₂ de diferentes países actualmente

LOS PAÍSES QUE MÁS EMITEN

En % sobre el total mundial



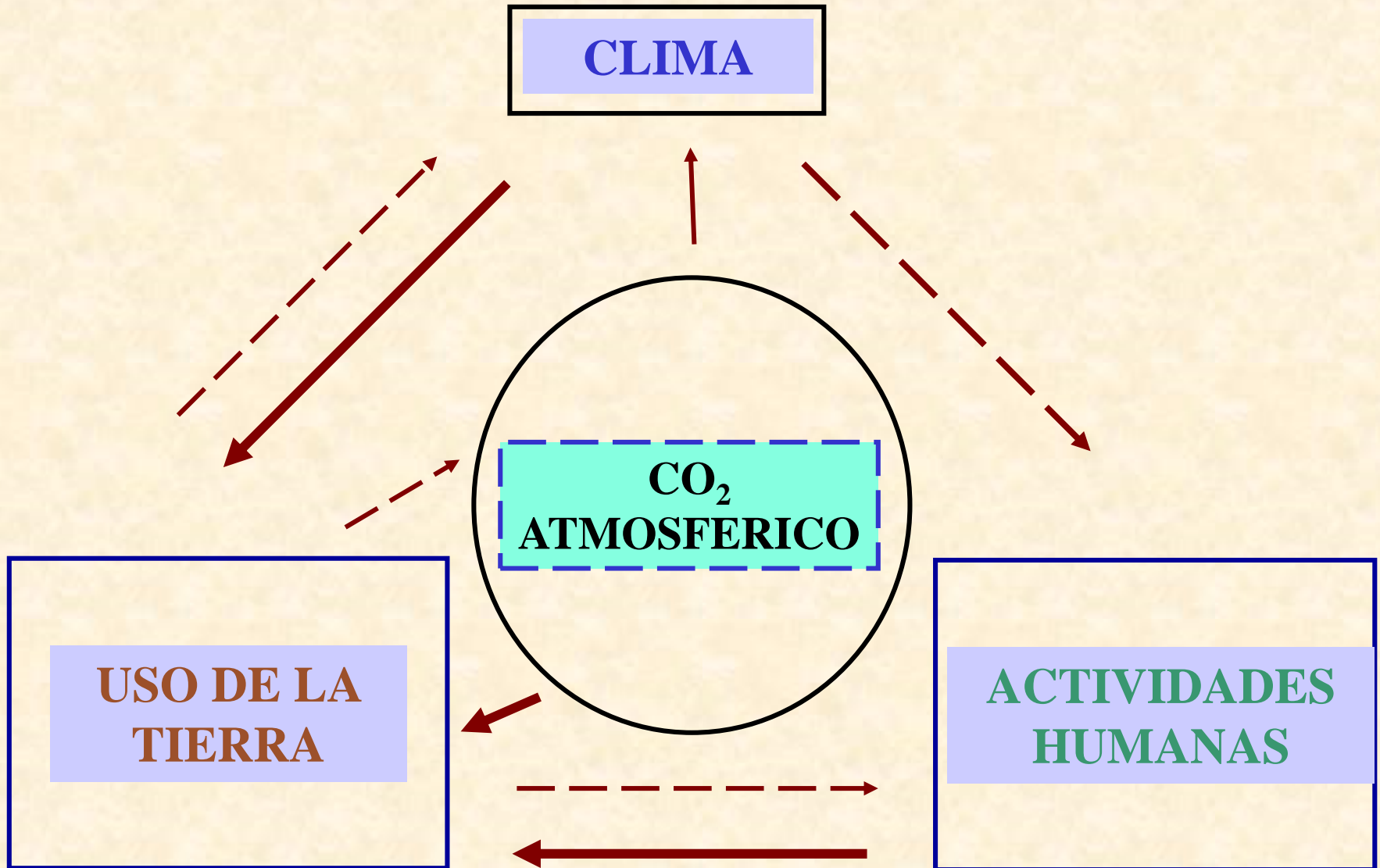
¿La Solución?: Captura de C por Países en Desarrollo



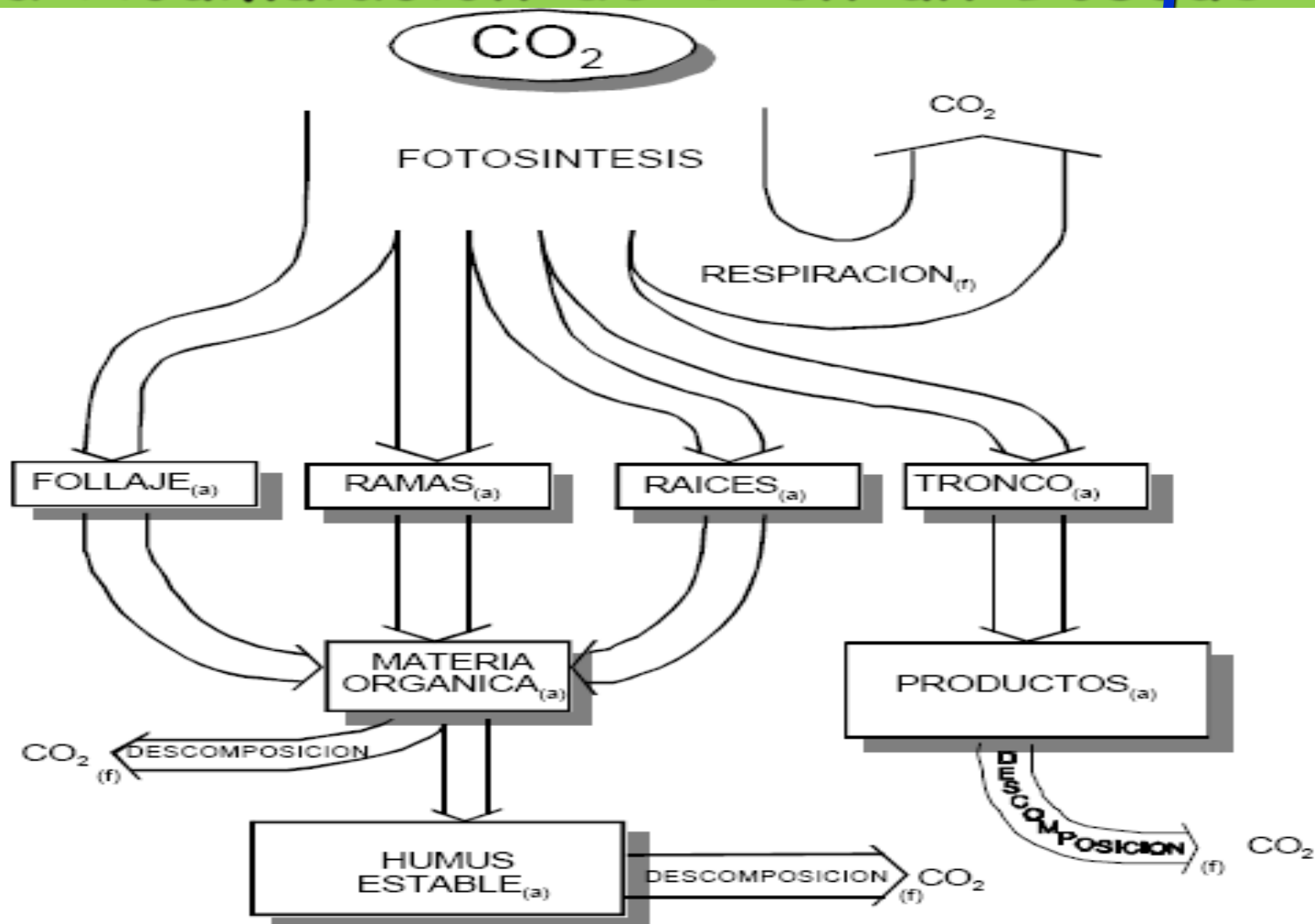
UNFCCC: United Union Framewok Convention on Climate Change

- Protocolo de Kioto (UNFCCC, 1997);
- Ratificación (UNFCCC, 2006) y
- Acuerdo de París (UNFCCC, 2015).

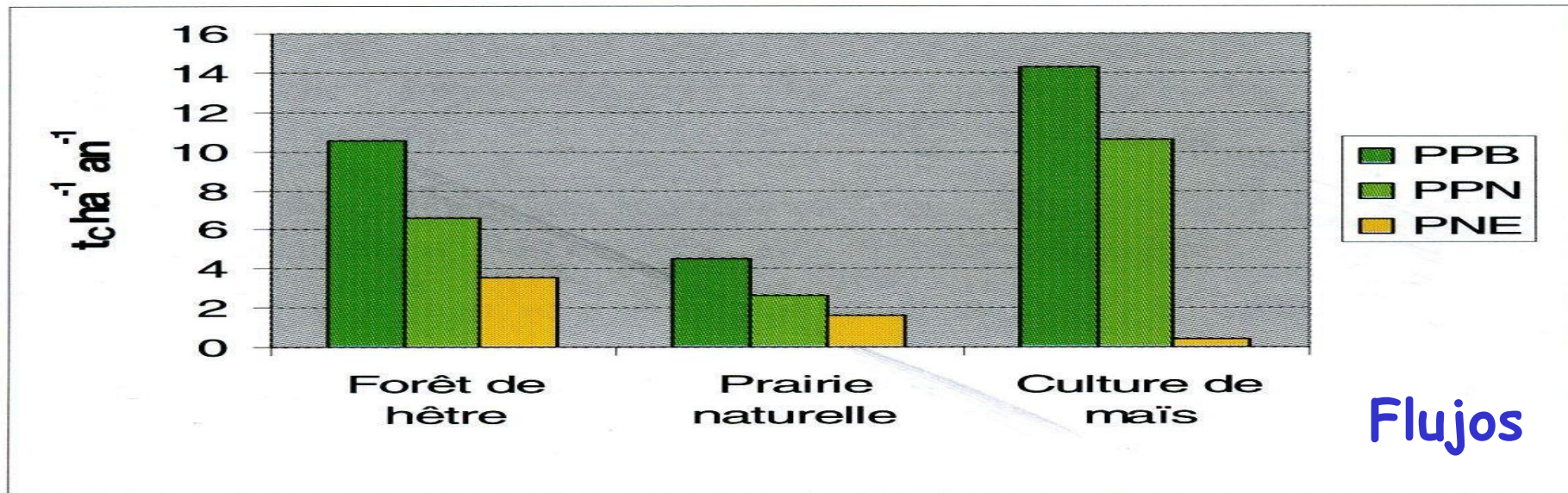
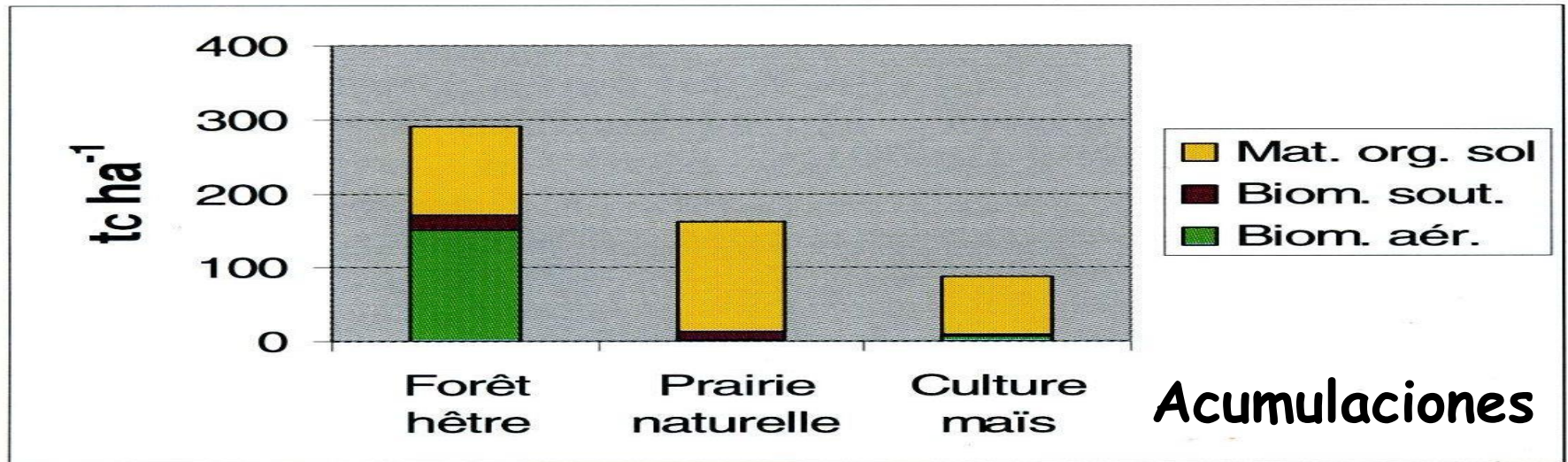
CAMBIO CLIMATICO E INTERACCIONES



Flujos y Compartimentos para Medir la Acumulación de C en un Bosque



Acumulación y flujo comparativos de C en sistemas: Producción y flujos de C al suelo



La Captura de C

Deben tenerse en cuenta dos aspectos:

- El manejo de los ecosistemas para incrementar el C
- La medida del C, esto es, la suma de:
 - Biomasa (aérea y subterránea)
 - Necromasa (mantillo)
 - C edáfico

Cálculo de Determinación de C

METODOLGOGIA

Biomasa aérea (Mg/ha) = SUMA [biomasa clase diamétrica (Mg/pie) x N° de pies (pie/ha)]

C en biomasa (Mg/ha) = 0,45 x biomasa seca (Mg/ha) a 110 °C

C en necromasa (Mg/ha) = 0,5 x biomasa seca (kg/m²) en 1 m² x 10 (Mg.m²/kg.ha)

Carbono orgánico edáfico: COS

COS (Mg/ha) = COS (mg/g) x D_{ap} (Mg/m³) x Prof. (m) x 10 (Mg.mg.m/ha.g.m³)

Cálculo de Acumulación de C

La fórmula de C (o nutrientes) acumulados en un capa del suelo de 'n' cm de espesor y de una superficie de 10.000 m² (ha) es:

$$C (\text{Mg ha}^{-1}) = C (\text{mg g}^{-1}) \cdot 1 (\text{ha}) \cdot n (\text{m}) \cdot D_{\text{ap}} (\text{Mg m}^{-3}) \cdot (1 - p) \cdot (1 - r) \cdot (10)$$

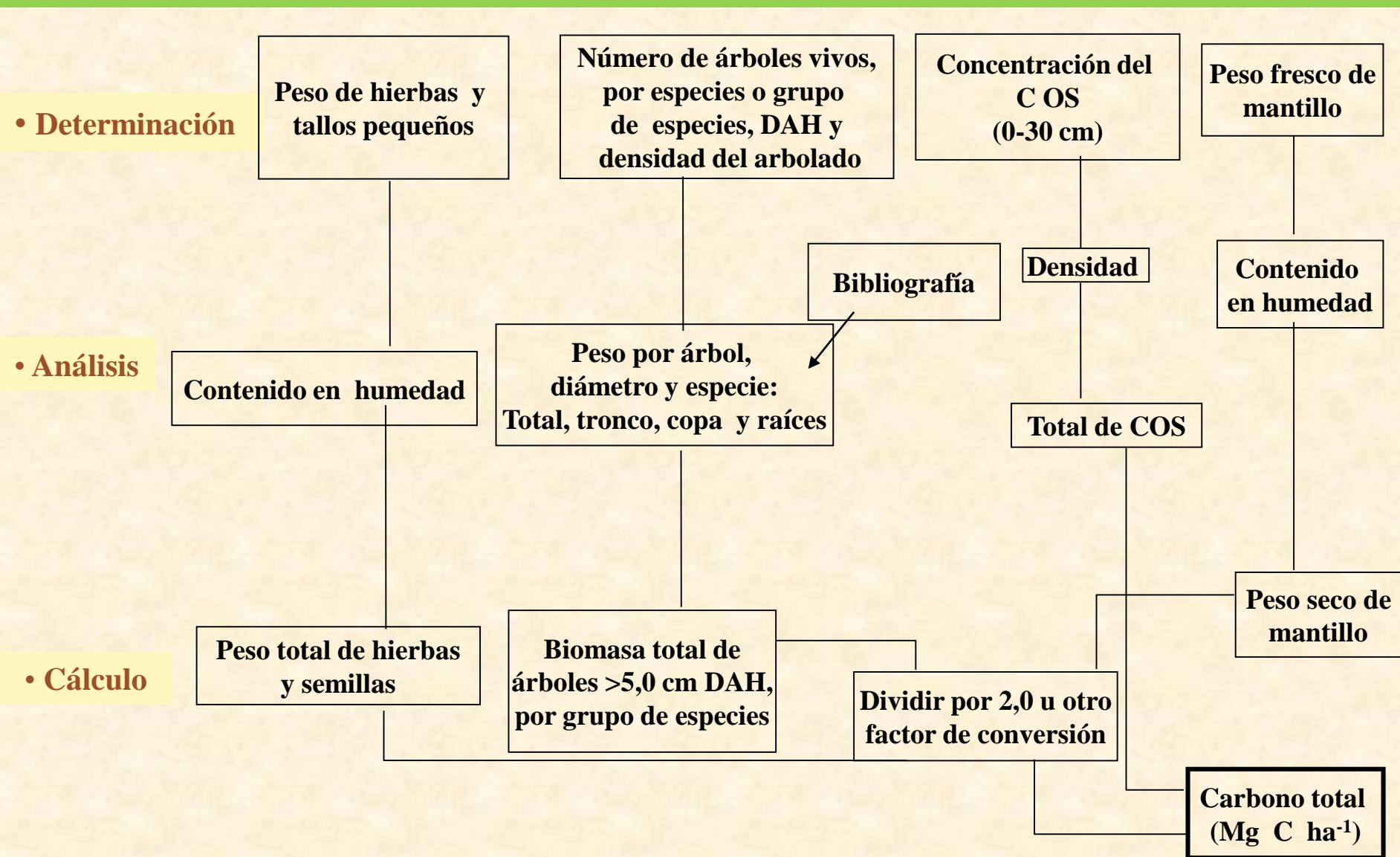
Siendo 'n' el espesor, D_{ap} la densidad aparente, 'r' es el factor que corrige el roquedo, 'p' es el factor que corrige la pedregosidad y 10 un factor de corrección de unidades. En muchos casos p y r son valores despreciables, pero no siempre.

Los valores de C acumulados salen en Mg C ha⁻¹, pero hay que tener en cuenta los diferentes horizontes (y sus profundidades).

Acumulación de C en un Bosque

Almacén	Fracción	Ejemplos	Tiempo de permanencia
Biomasa	Leñosa	Fustes, ramas,	Décadas a siglo
	No leñosa	Follaje	Meses a años
Suelo	Mantillo	Hojarasca, restos de corta	Meses a años
	MOS activa	Residuos orgánicos y sustancias orgánicas de bajo peso molecular	Meses a años
	MOS estable	<i>Humus</i>	Siglos a milenios
Productos (exportaciones)	Transformados de madera	Construcción edificios o muebles	Décadas a siglos
	Papel, textiles	Papel, cartón, fibras	Meses a décadas
	Desechos	Serrín (vertederos)	Meses a décadas
	Biocombustibles	Leña (subproductos)	Semanas a meses

Diagrama de Flujo para Estimar Cambios en los Mayores Compartimentos de C en Proyectos de Bosques y Agroforestería



(Adaptado de S. Brown 1993)

Potencialidad de Captura de C en trópicos (según LAL)

Table XIII

Assumptions Made in Computing the Potential of C Sequestration in Soils of the Tropics

Strategy	Rate of C sequestration (Mg/ha/years)				References
	Land area (Mha)	Biomass	SOC	SIC	
I. Restoration of degraded soils	411	2-4	0.25-0.05	0.05-0.1	Oldeman (1994, 1998); Bhojvaid and Timmer (1998); Singh <i>et al.</i> (1994); Ojima <i>et al.</i> (1995); Huang <i>et al.</i> (1999)
II. Improving agriculture on cropland	418	—	0.10-0.20	0.05-0.1	Lal (1987); Sanchez <i>et al.</i> (1982a); FAO (1989, 1996); Dalal <i>et al.</i> (1994); Dalal and Carter (2000); Hulugalle (2000); Cerri <i>et al.</i> (2000); Woerner <i>et al.</i> (2000); Batiano <i>et al.</i> (2000); Swarup <i>et al.</i> (2000); Lal (2000c,d,e)
III. Improving grazing lands	1226	—	0.10-0.2	0.05-0.1	Follett <i>et al.</i> (2000); Resck <i>et al.</i> (2000); Cerri <i>et al.</i> (2000); Greenland (1981)

POTENTIAL OF TROPICAL SOILS TO SEQUESTER CARBON

Table XVI

Some RAPs to Enhance the SOC Pool in Soils of the Tropics

Practice	Other impacts on soil quality	References
1. Mulching and enhancing biotic activity of soil fauna	Nutrient cycling, soil and water conservation	Lal (1975); Wade and Sanchez (1983); De Vleeschauer and Lal (1981); Lal and Akinremi (1983)
2. Conservation tillage	Erosion control, favorable soil moisture and temperature regimes, nutrient cycling, soil fauna	Lal (1976); Alegre <i>et al.</i> (1991); Dalal and Carter (2000); Jones and McCown (1983)
3. Cover crops	High biomass, erosion control, deep root system, nutrient cycling, forages	McCown <i>et al.</i> (1985); Lal <i>et al.</i> (1979); Fisher <i>et al.</i> (1994); Bridge <i>et al.</i> (1983)
4. Soil fertility management	Enhancement of soil quality, biomass production	Pieri (1989); Sanchez and Salinas (1981); Sanchez <i>et al.</i> (1982a)
5. Agroforestry	Biofuel, nutrient cycling, forage, erosion control, deep root system	Sanchez <i>et al.</i> (1997)

Proyectos de Captura de C: Procedimientos requeridos

Uso de la tierra	Comparación	Procedimiento
<p>Preservación del bosque natural</p>	<p>Referencia: Suelos convertidos de bosques naturales a suelos agrícolas u otros usos</p>	<p>Parcelas tipo temporales Métodos por transectos para cultivos perennes</p>
	<p>Proyecto: Preservación del bosque natural</p>	<p>Fotos periódicas de satélite Mediciones permanentes en parcelas de muestreo</p>
<p>Manejo del bosque natural</p>	<p>Referencia: Prácticas de manejo existentes</p>	<p>Fotos periódicas satelitales o aéreas proyectadas Medidas en parcelas permanentes</p> <p style="text-align: right; background-color: #e0ffff;">(Según S. Brown 1993)</p>
	<p>Proyecto: Prácticas de manejo introducidas</p>	
<p>Nuevas plantaciones</p>	<p>Referencia: Vegetación</p>	<p>Métodos por transectos de biomasa aérea Cuadros para herbáceas, hojarasca y suelos</p>
	<p>Proyecto: Plantaciones</p>	<p>Fotos periódicas por satélite de áreas proyectadas Mediciones permanentes en parcelas tipos</p>
<p>Agroforestería/ Silviganadería</p>	<p>Referencia: Sistemas de uso de suelo existente</p>	<p>Métodos por transectos y parcelas temporales para biomasa aérea Cuadrados para herbáceas, hojarasca y suelos</p>
	<p>Proyectos: Agroforestería mejorada Silviganadería (dehesas/montados)</p>	<p>Métodos interactivos con los propietarios, con intercambio mutuo de información, incluyendo resultados.</p>

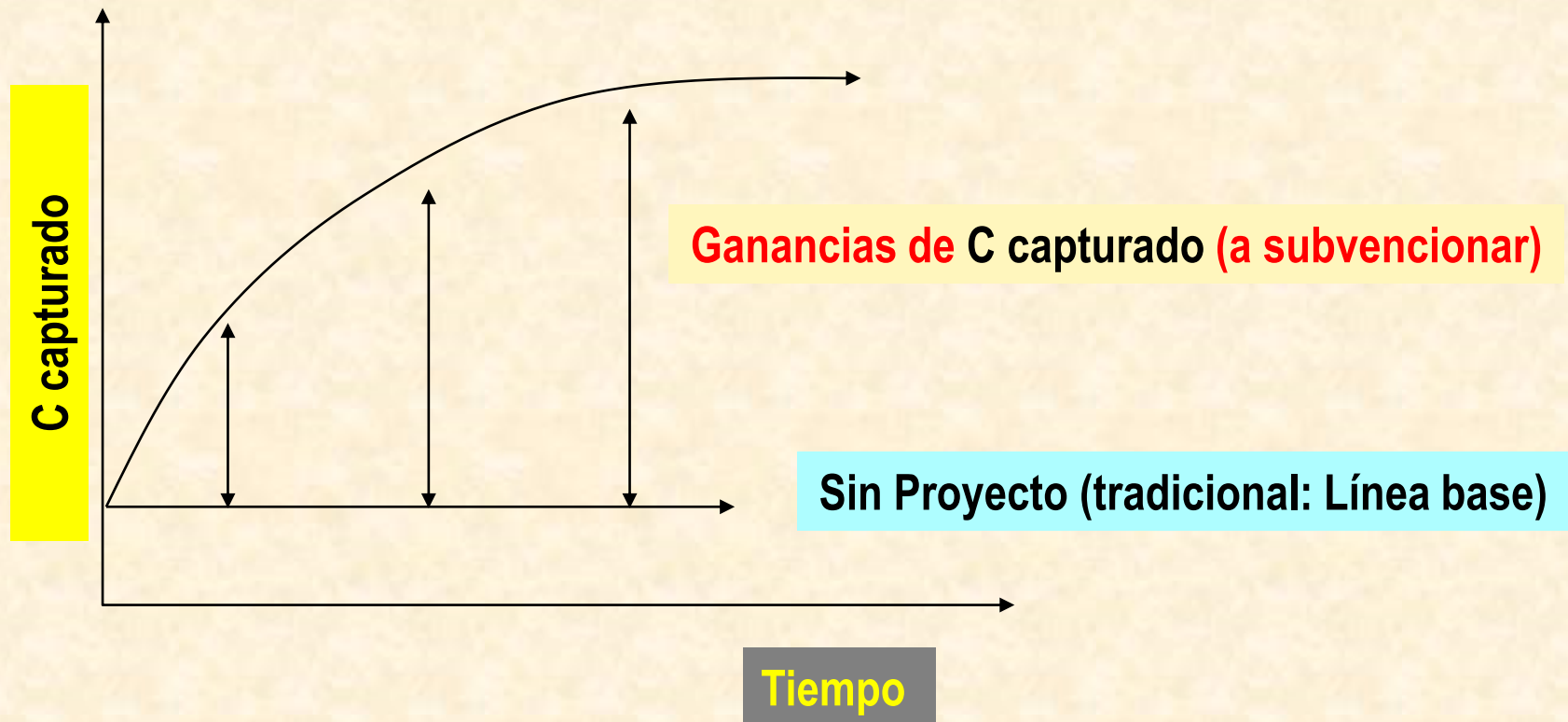
Muchos de los estudios realizados se refieren a la línea base: ¿Por qué?

Determinación de ganancias o pérdidas

Medida del C Capturado o Secuestrado

C total del ecosistema

Con nuevo Proyecto (modificación)



Sistema: ¿Sumidero o emisor?

Sumidero de C

Respiración vegetal

Fotosíntesis

Respiración del suelo

Respiración microbiana

Respiración raíces

Emisor de C

Respiración vegetal

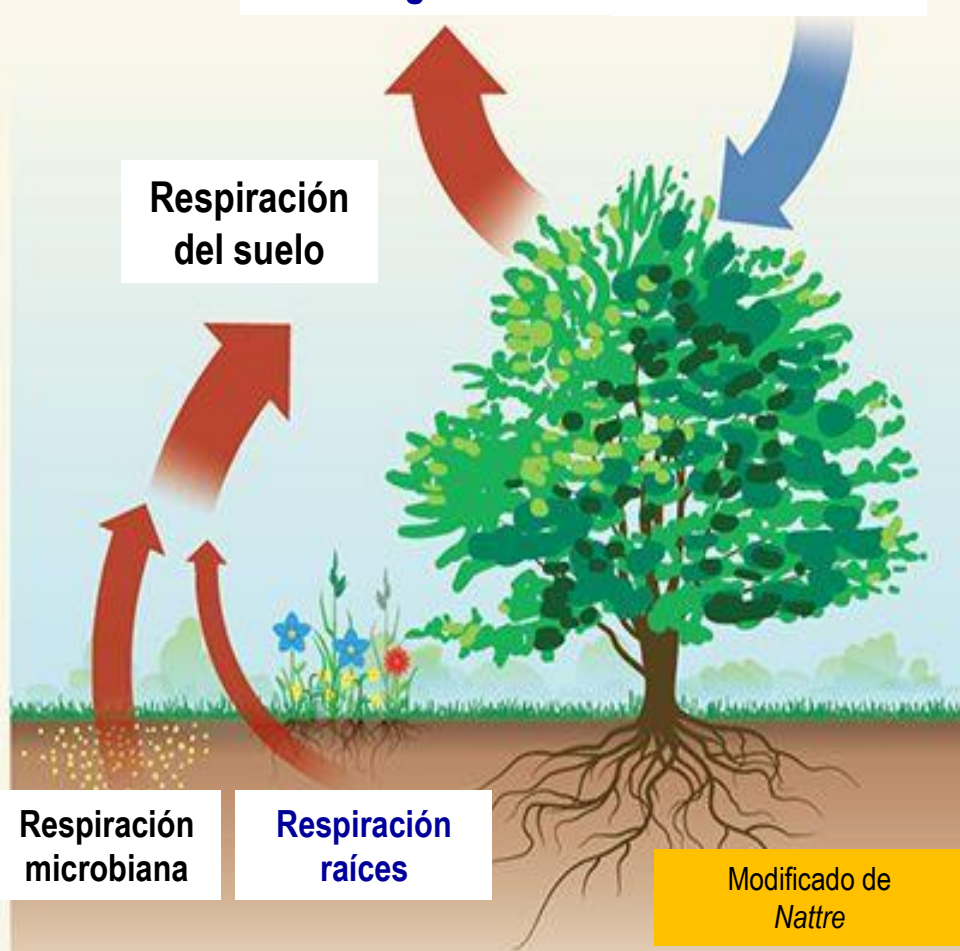
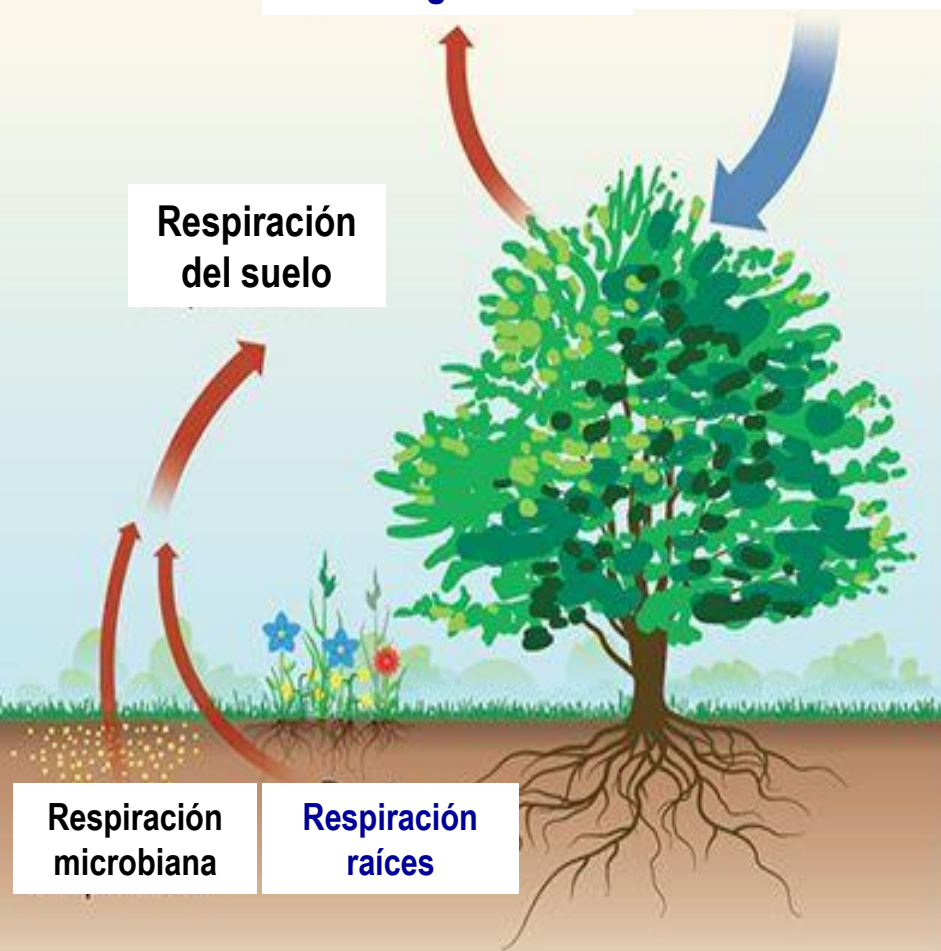
Fotosíntesis

Respiración del suelo

Respiración microbiana

Respiración raíces

Modificado de Natre



En la Línea Base del C.O.S. se deben considerar:

- Los compartimentos de C en el ecosistema.
- Principales flujos de C al suelo (entradas).
- La distribución del C.O.S. en sus distintos subcompartimentos.
- El tiempo medio de residencia (TMR) del C.O.S. en cada subcompartimento (flujos internos).
- Los factores que determinan los mecanismos de estabilización del C.O.S.
- Principales flujos del C edáfico a la atmósfera (salidas).
- Estabilidad del balance.

Compartimentos a Medir y a Realizar Seguimientos según Manejos (Proyecto)

Manejos a implementar

Arboles

Sotobosque

Raíces

Hojarasca

Suelo Producción

Plantas nativas

Sí

Recom.

Recom.

Recom.

Sí

No

Reforestación

Sí

No

Recom.

Recom.

Recom.

Sí

Manejo agroforestal

Sí

Sí

Recom.

No

Recom.

Recom.

Manejo C edáfico

No

No

Recom.

Recom.

Sí

No

Rotaciones de cultivos

Sí

No

Recom.

No

Sí

Sí

(Recom. = Recomendado)



**Un ejemplo:
Cálculo en diferentes
ecosistemas iberoamericanos**

**JF GALLARDO,
FF GARCIA OLIVA y
G HERNANDEZ VIGOA**

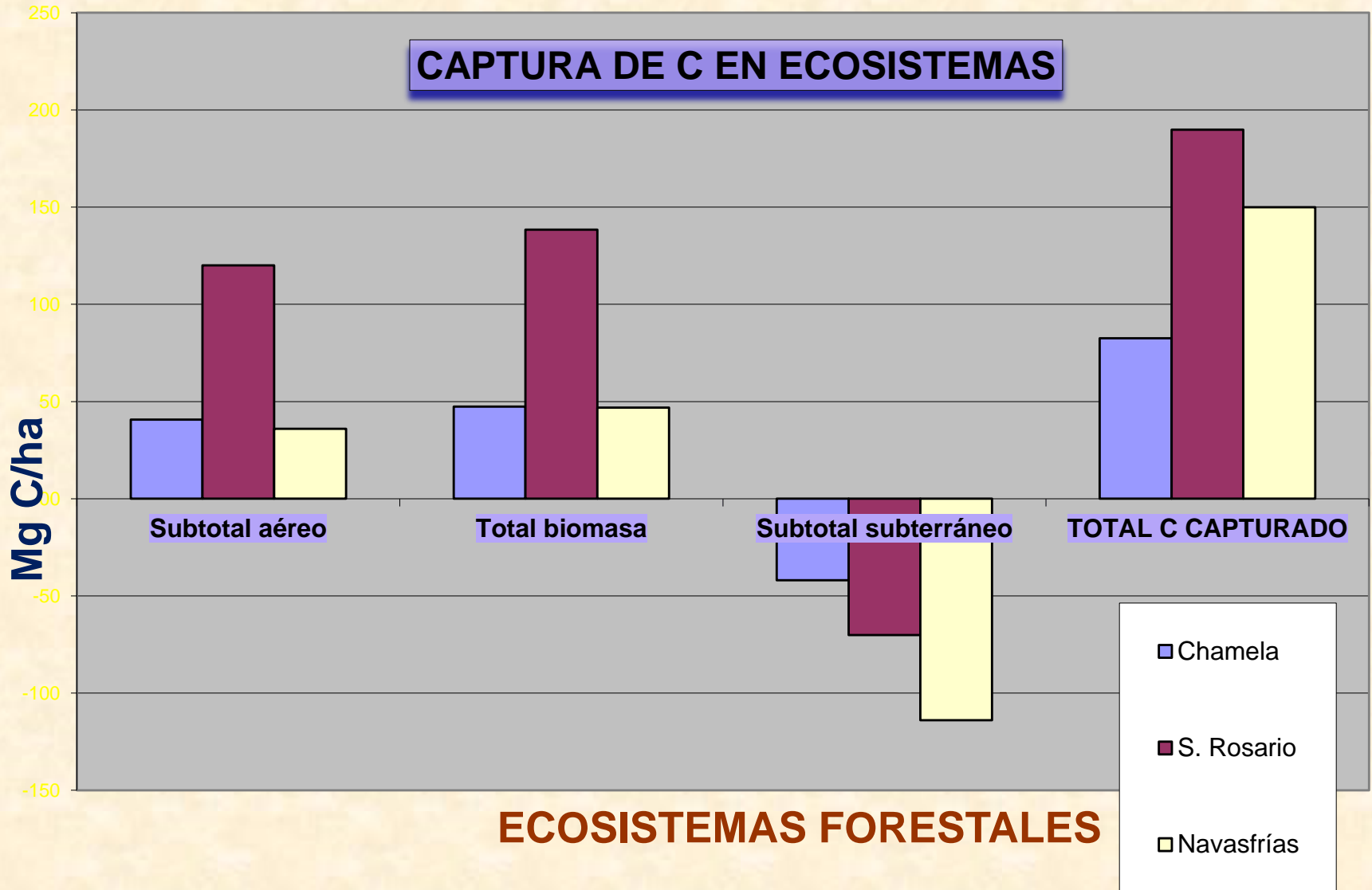
C.S.I.C. (España), U.N.A.M. (Méjico y A.C.C. (Cuba)

BOSQUES SELECCIONADOS

Tres lugares forestales:

- Chamela (Oeste de Méjico), bosque subtropical con estación seca.
- Sierra del Rosario (Oeste de Cuba), bosque tropical húmedo.
- Sierra de Gata (Oeste de España), bosque mediterráneo subhúmedo.

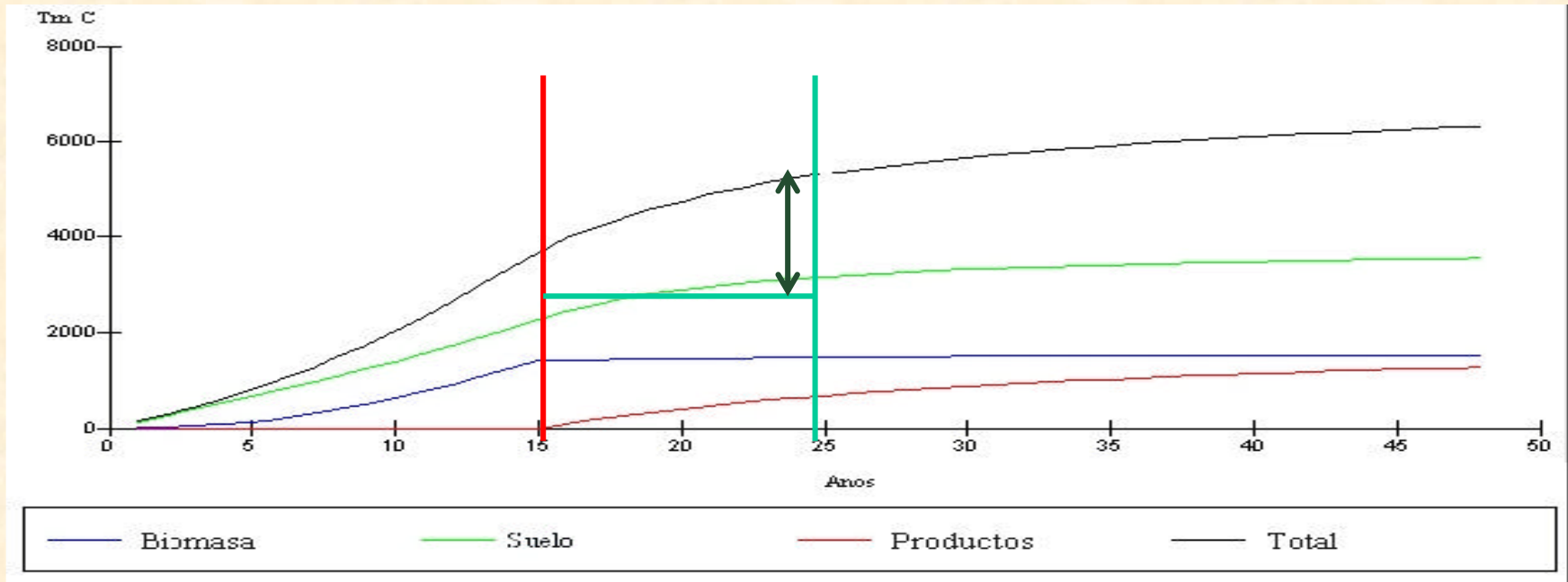
Comparación de C secuestrado en los tres ecosistemas forestales



CONCLUSIONES

- EL BOSQUE TROPICAL HÚMEDO CONTIENE MAS DEL DOBLE DE BIOMASA QUE LOS OTROS DOS ECOSISTEMAS.
1
- EL BOSQUE MEDITERRANEO SUPERA EN MUCHO EL CARBONO MANTENIDO EN EL SUELO.
2
- EL BALANCE TOTAL DE CARBONO SE EVIDENCIA QUE ES POCO MAS FAVORABLE AL BOSQUE SUBTROPICAL HUMEDO QUE EL SUBHUMEDO MEDITERRANEO, A PESAR DE LA ENORME BIOMASA TROPICAL.
3
- EL BOSQUE TROPICAL DE ESTACION SECA ES EL MENOS EFICAZ EN LA CAPTURA TOTAL DE C.

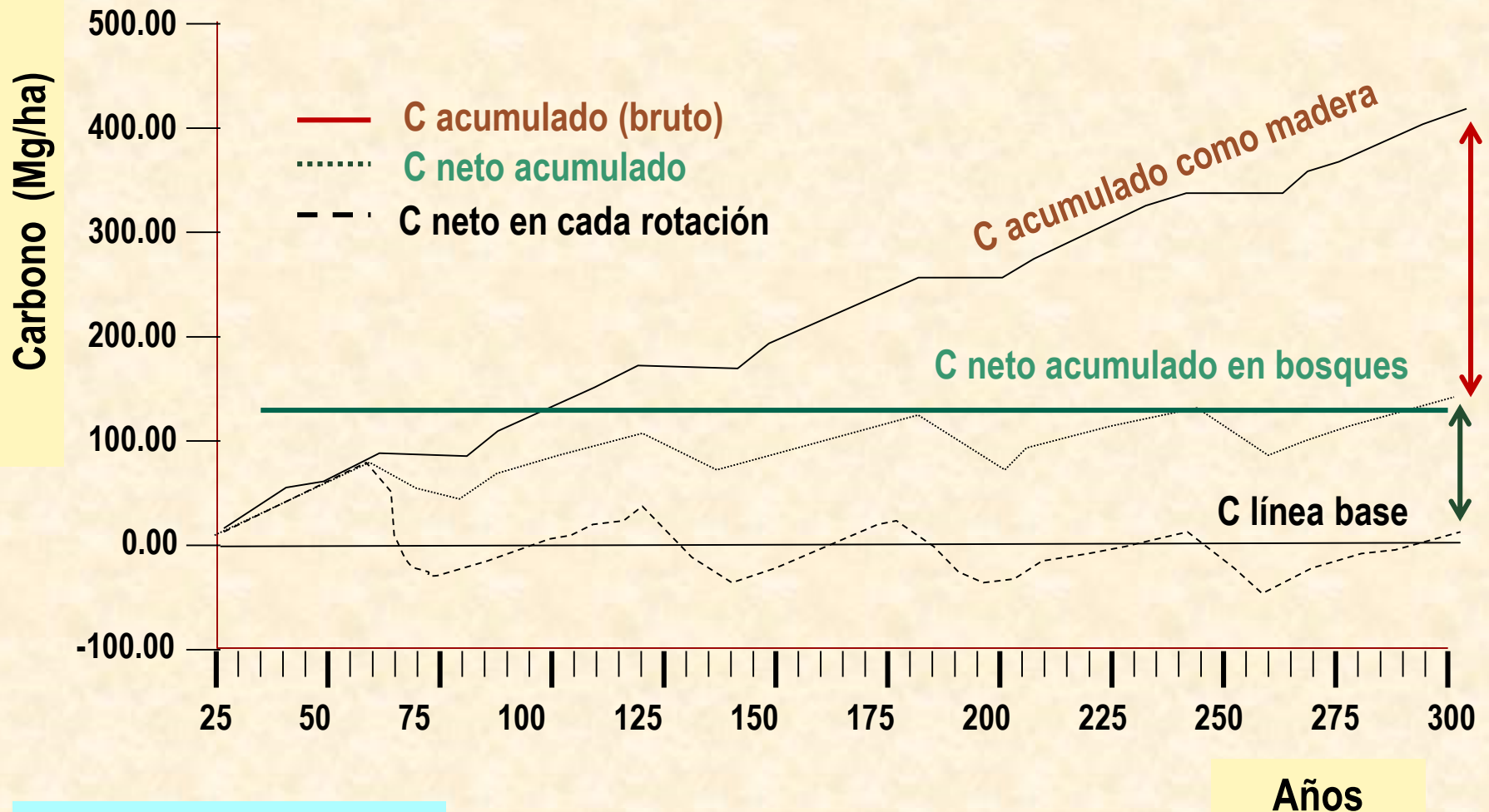
Captura de C en un bosque de eucalipto en Galicia (España)



En una plantación de 16 ha ordenada a turnos de 16 años el potencial de fijación es del orden de las 113 Mg C ha⁻¹ a lo largo del turno (con unos incrementos anuales de C de 7,04 Mg C ha⁻¹ año⁻¹).

Evolución Temporal de Diferencias entre Medidas de C Capturado

Pino escocés (*Pinus sylvestris*); rotación de 60 años.



Según Díaz y Balteiro (2001)

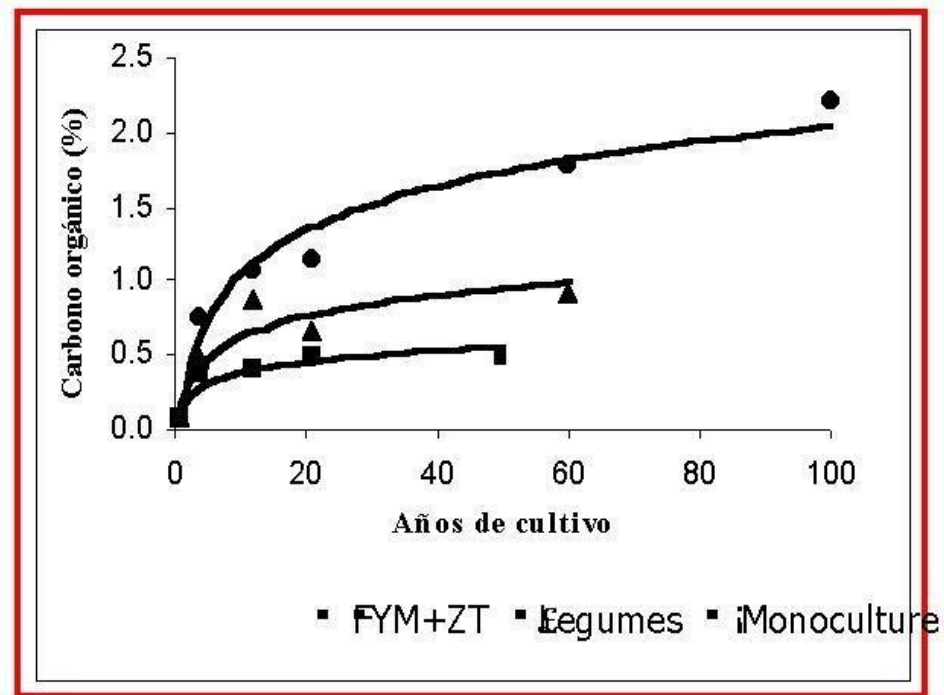
Años

Captura de C mediante Cambio de Cultivos y/o Manejos de Suelos

En este suelo volcánico se observa que el cambio de monocultivo de maíz a leguminosas o, mejor, con incorporación de estiércol (FYM) incrementa el C orgánico del suelo (SOC), durante un máximo de 100 años.

(Etchevers *et al.*, 2002)

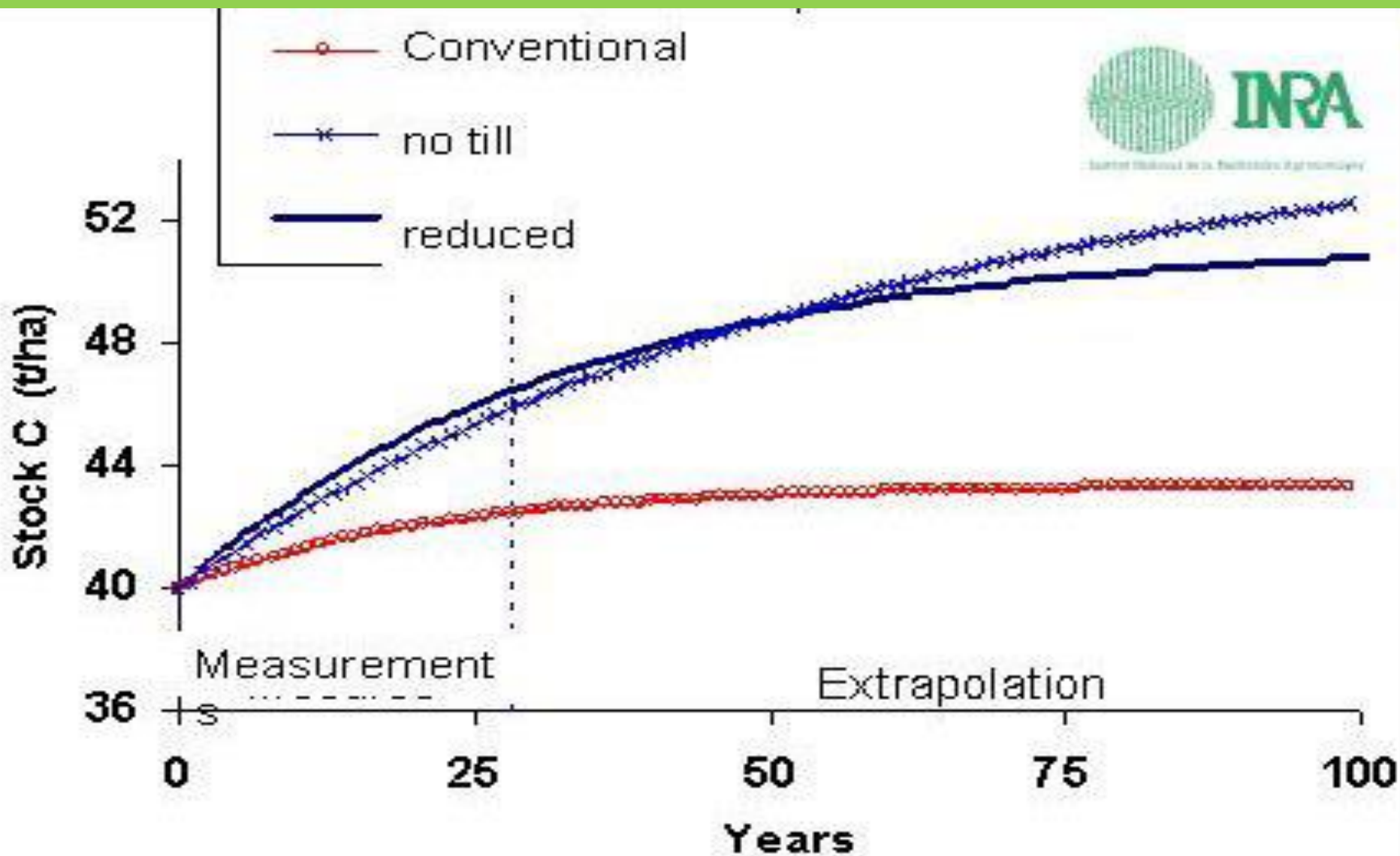
SOC-time under cultivation rehabilitated indurated volcanic soil (0-100 yr)



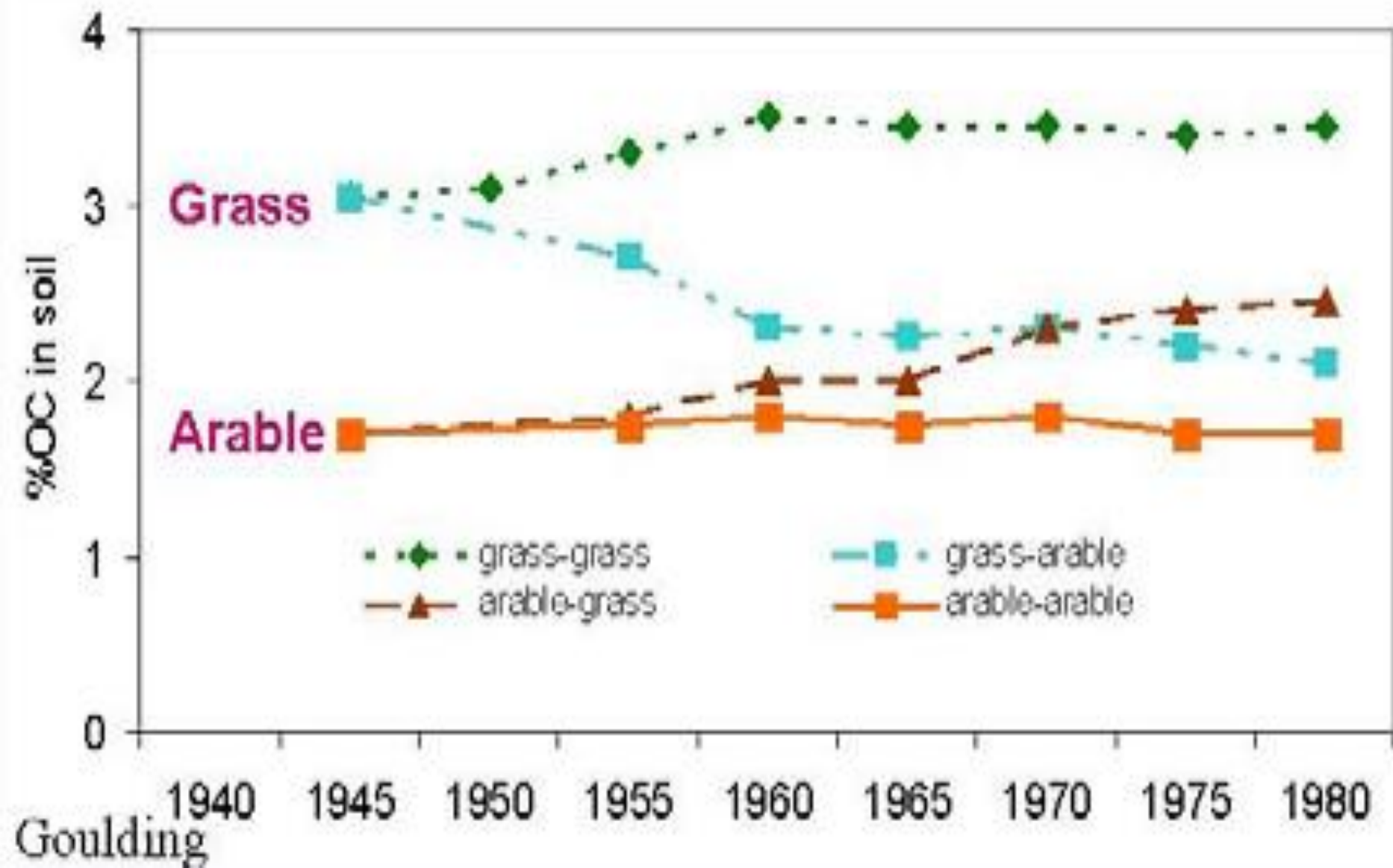
Colloquium "Land use, Erosion, Carbon Sequestration, Montpellier 23-28, 2002"



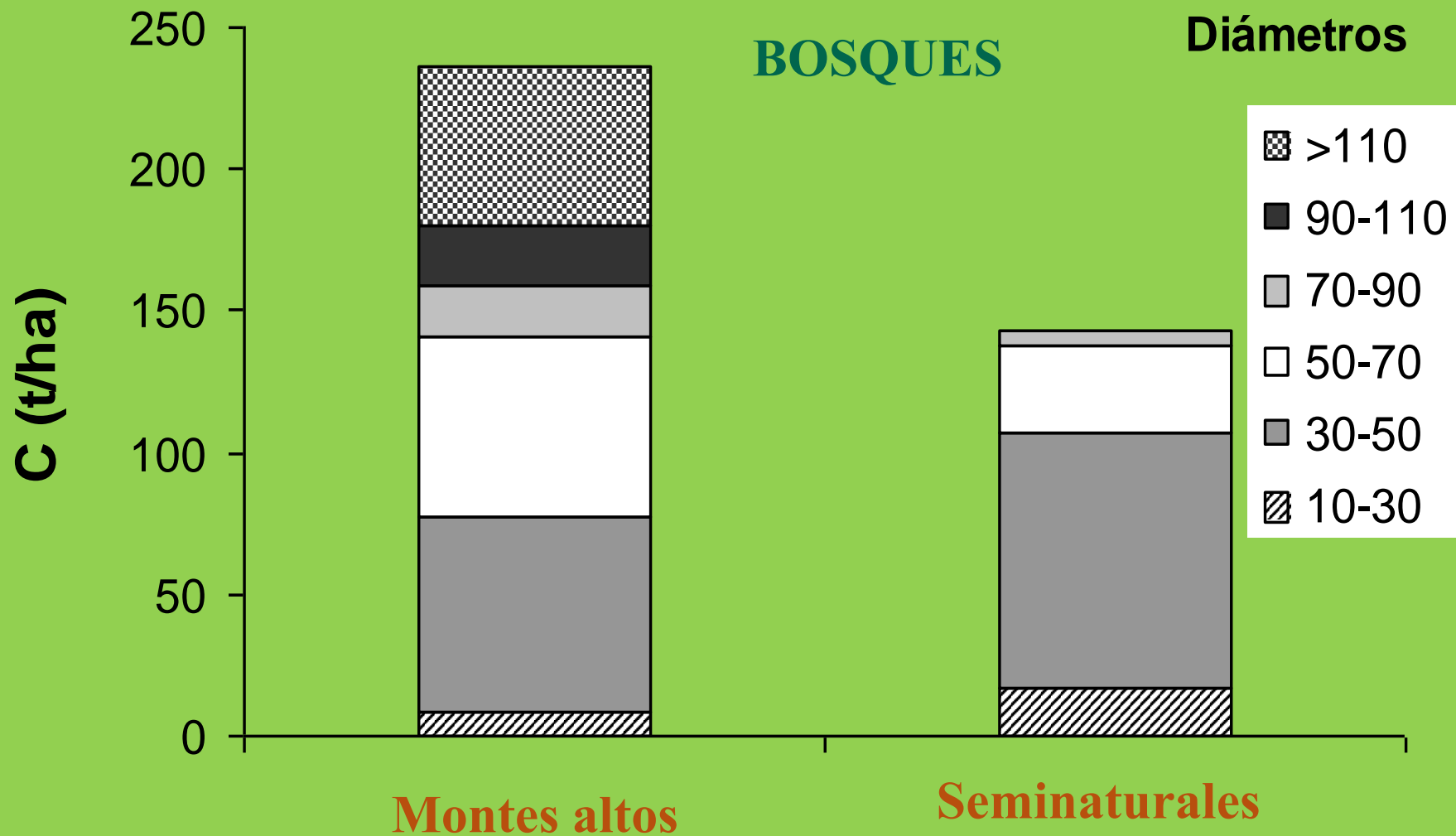
Cambios de Manejos Edáficos



Laboreo vs rotación con praderas

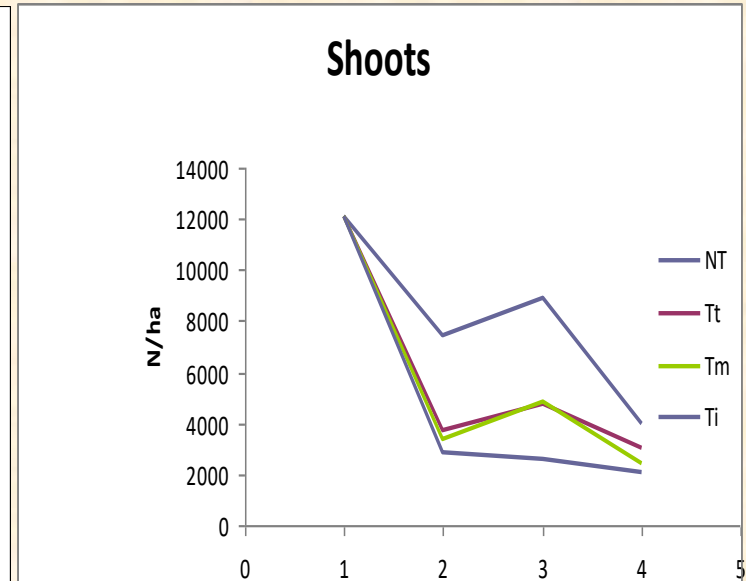
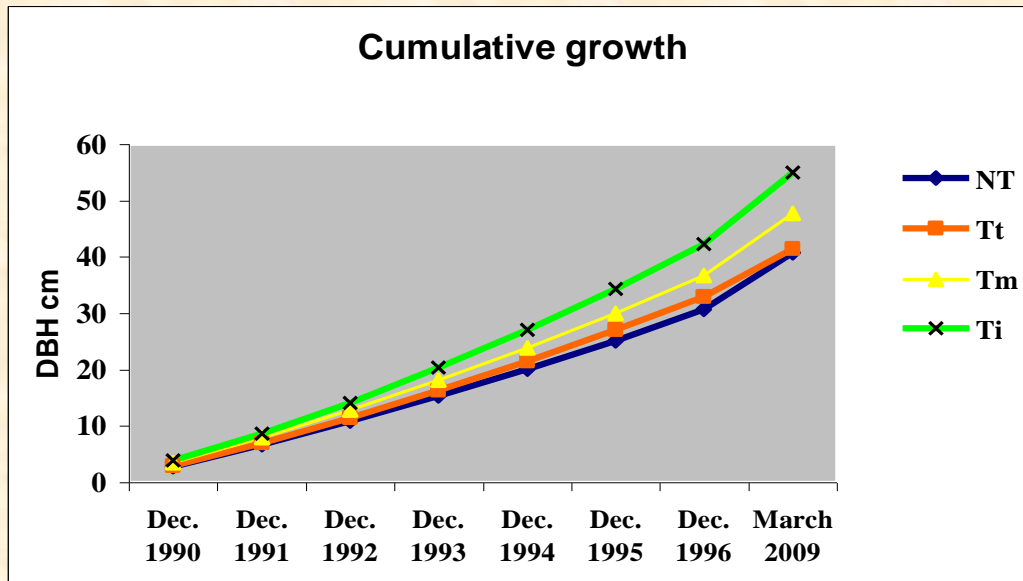


Contenido de C en Biomasa Aérea de Bosques Naturales y Seminaturales de Hayedos de Galicia (España)



Estimación de biomasa: Influencia del aclarado del bosque

Montes bajos de castaños de El Castañar de El Soto (Alta Extremadura, España)



Intensidad del aclarado del Monte bajo:

La biomasa varía según la intensidad del aclarado. En este caso del Oeste español un aclarado intensivo (**3 pies por tocón**) dieron los mayores valores de biomasa.

C Edáfico (0-7,0 cm) con Diferentes Rotaciones


Rotaciones

Pt: pradera-trigo

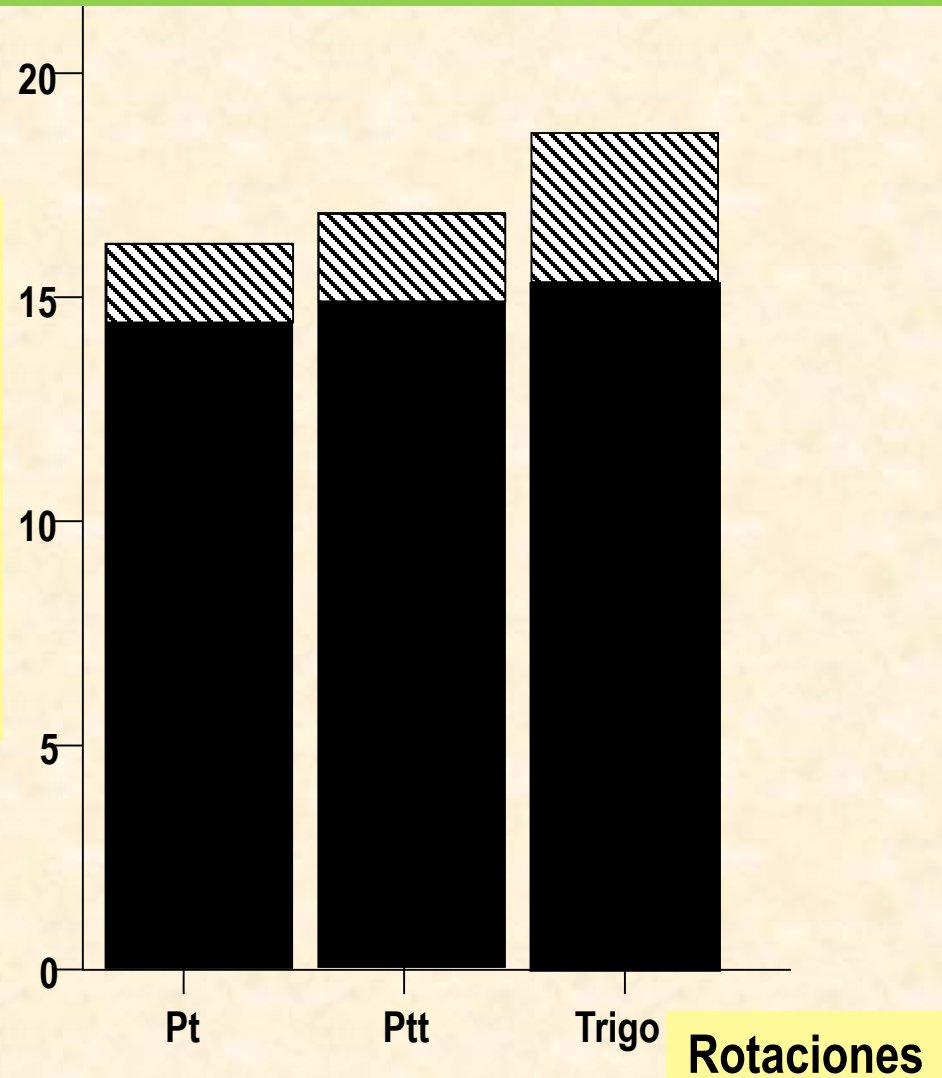
Ptt: pradera-trigo-trigo

Trigo: trigo en continuo

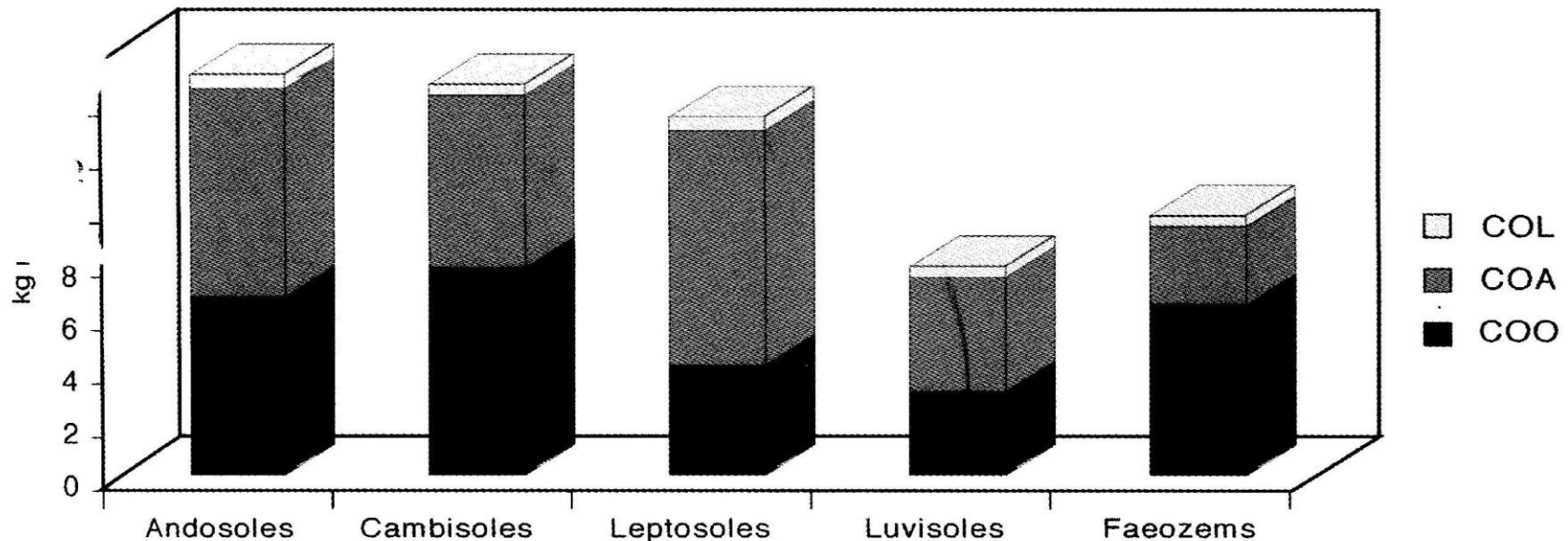
 C en la fracción ligera

 C en la fracción pesada

C orgánico (g kg⁻¹ suelo)



Contenido de COS y labilidad



(kg m ²)	COT	CO pirofosfato	COO	COA	COL	Relación C/N
Andosoles	14,5	8,3	6,6	7,9	0,42	13,5
Cambisoles	14,2	6,8	7,7	6,5	0,33	13,7
Leptosoles	12,9	9,3	4,1	8,8	0,46	14,5
Luvisoles	7,4	4,7	3,0	4,4	0,30	12,0
Faeozems	9,4	3,3	6,3	3,1	0,18	11,6

FIGURA 13. Contenido y formas de carbono orgánico en los principales suelos del Parque

VELOCIDADES DE ACUMULACION DE C EN ECOSISTEMAS

Actividad del Proyecto (manejos)	Acumulación (Mg C ha ⁻¹ a ⁻¹)
No desforestar	50 a 200
Reforestar con especies nativas	2,0 a 6,0
Reforestar con tecas (a largo plazo)	2,0 a 4,0 (rotación 25 a 70 años)
Reforestar con pinos (a mediano plazo)	1,0 a 8,0 (rotación 10 a 30 años)
Reforestar con eucaliptos (a corto plazo)	4,0 a 14 (rotación 4 a 14 años)
Reducción del laboreo agrícola	0,6 ±0,1 (a -10 cm, durante 15 años)
Mejoras de rotaciones agrícolas	Hasta 15 ±0,1 (a -10 cm, durante 12 años)
Manejo agro-forestal	2,0 a 10 (rotación 5 a 8 años)

Diferencias de Captura de C en Biomasa

Comparación potencial de C acumulado como biomasa

Tipo de bosque	Mg C ha ⁻¹
Pino Douglas (EE.UU.)	611
Bosque maduro Malasia	348
Plantación industrial de álamos Europa	137

Actividad	Capacidad de secuestro de C (Mg C ha⁻¹ a⁻¹)
I. Transformación de usos	
1. Restauración de ambientes degradados	0,20-0,80
2. Restauración de minas	0,20-0,50
3. Restauración de humedales	0,50-1,00
II. Agricultura y selvicultura	
1. <u>Agricultura</u> : Laboreo de conservación, rotaciones, fertilizaciones orgánicas, etc.	0,20-0,60
2. <u>Praderas</u> : Control de pastoreo, especies mejoradas, gestión del fuego	0,20-0,40
3. <u>Sistemas forestales</u> : Cortas selectivas, preparaciones no intensivas, gestión de nutrientes.	0,10-0,20
III. Terrenos urbanos	
1. Jardines	0,20-0,50
2. Terrenos recreativos	0,40-0,60

Secuestro Potencial de C en Ecosistemas Agrícolas y Forestales de Regiones Templadas y Frías (I. P. C. C., 2001)

Diferencias de Captura de C en algunos países

Potencial de almacenamiento de C para agroforestería y sistemas integrados en algunos países

Dixon *et al.* (1994)

País	Ecoregión	Mg C ha ⁻¹
Argentina	Tropical húmedo	57-74
Argentina	Semiárido	39-61
Australia	Tropical húmedo	28-51
Brasil	Semiárido	88-195
Brasil	Tropical húmedo	39-102
China	Tropical húmedo	12
Congo	Tropical húmedo montano	29
India	Semiárido	68-81
India	Tropical húmedo	92-228
Méjico	Tropical húmedo	133-154
U.S.A.	Tropical húmedo	104-195
U.S.A.	Semiárido	90-175
Rusia	Tropical húmedo	15-18
Zaire	Tropical húmedo montano	53

Recuérdese que una cosa es la línea base y otra muy distinta el potencial de almacenamiento; el potencial es una cantidad máxima, mientras que la línea bases oscila desde valores muy bajos a valores cercanos al citado potencial máximo.

Evolución del Precio de la tonelada de CO₂

A la espera del segundo 'juego' de Kioto

Cotización de la tonelada de dióxido de carbono (CO₂), en euros.

El nuevo plan. Reparto anual de derechos de emisión, en mill. de toneladas de CO₂

Sector eléctrico	56,69	Tejas y ladrillos	4,21	Industria no eléctrica	72,1
Refino de petróleo	15,88	Azulejos y baldosas	1,36	Cogeneraciones	17,9
Siderurgia	11,79	Vidrio	2,16	Reserva nuevas instalaciones	7,9
Cemento	29,01	Fritas	0,62	TOTAL	150,0
Cal	2,27	Papel	5,47		



La evolución del precio de la tonelada de CO₂ pasó de la buena voluntad a un ajuste entre posible oferta y demanda, para posteriormente terminar en un descrédito prácticamente total de que el mecanismo se pueda poner en realidad en marcha.

Es obvio que un costo ofertado inferior a 30 euros hacen un comercio poco atractivo desde el punto de vista comercial.

Fuentes de Errores en la Medida de Carbono

- **ERROR DE MUESTREO** (v. g.: Selección de perfiles edáficos)
- **ERROR DE MEDIDAS** (v. g.: Medida de diámetro árboles)
- **ERROR DE EXTRAPOLACIÓN** (v. g.: distintos ecosistemas)
- **ERROR DE ELIMINAR COMPARTIMENTOS** (v. g.: raíces)
- **ERROR DE REPETICIONES**
(v. g.: con una desviación estándar de ± 8.7 se necesitarían 15 sitios, mientras que para ± 13.9 se necesitarían 40 sitios para encontrar diferencias significativas)

Importancia de la Profundidad Edáfica a Considerar

Profundidad del suelo (cm)	0-20	0-30	0-50	Razón C_{30}/C_{50}
Parcelas forestales	53,0	73,2	108	0,68
Coef. variación (%)	13	13	13	—
Parcelas agrícolas	30,4	41,4	63,2	0,66
Coef. variación (%)	46	40	32	—

(Valores de COS en Mg C ha⁻¹, a -20, -30 y -50 cm; Razón C_{30}/C_{50} es C hasta -30 cm dividido por C hasta -50 cm)

Incidencia del C en el perfil total

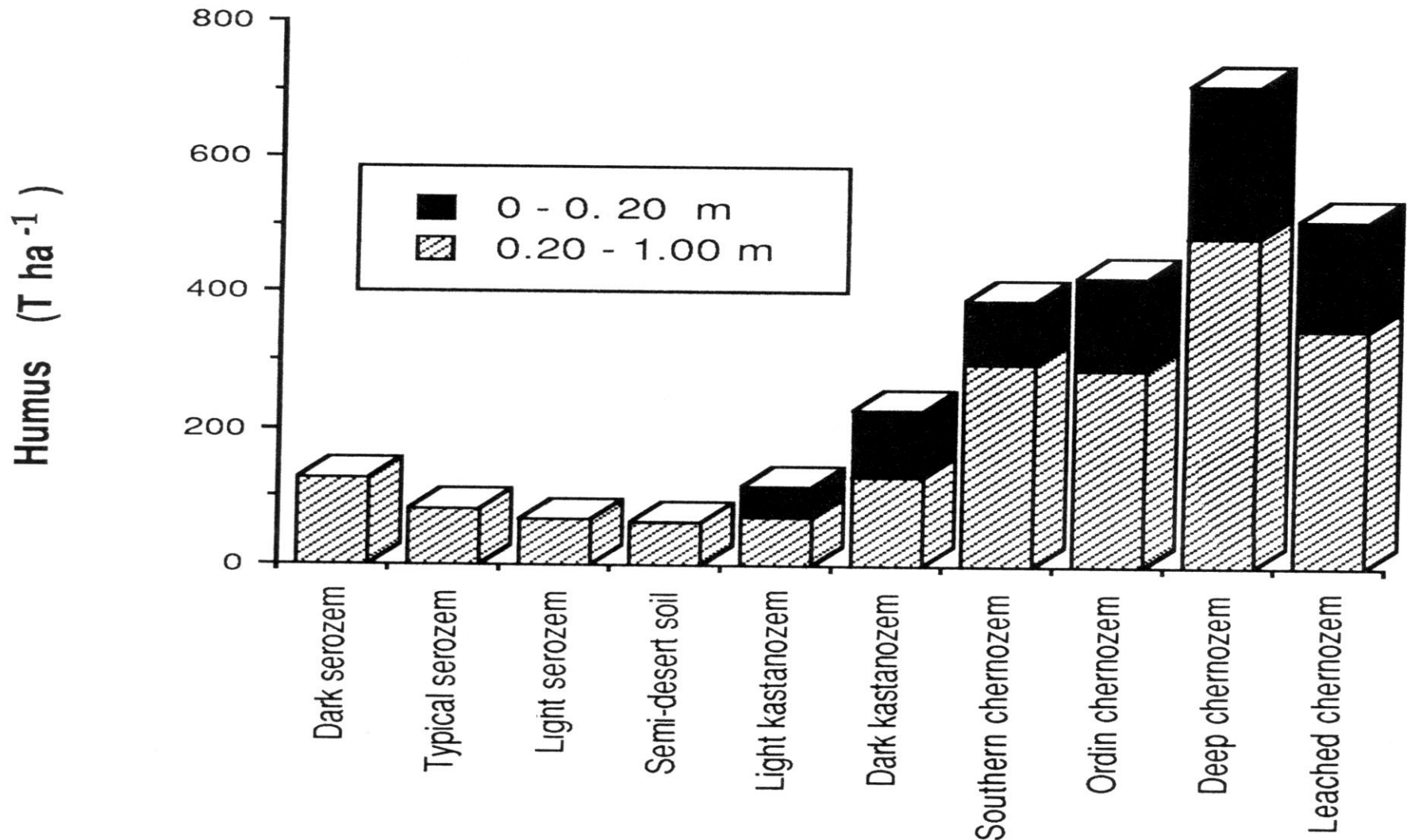
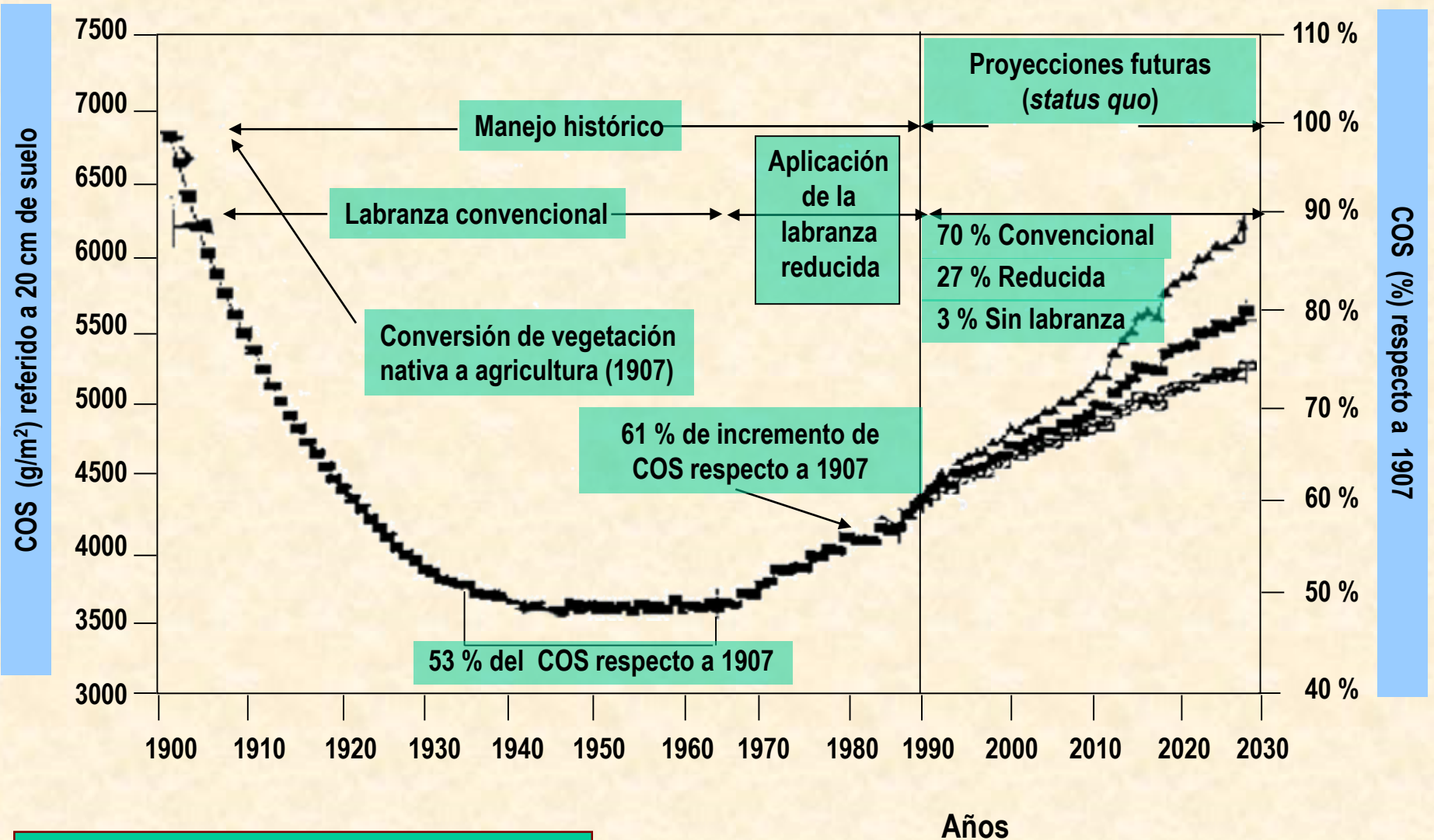


Fig. 4. Variations of humus contents at 0-0.20 m and 0-1.00 m depth in a climatic sequence including Chernozem soils (after Kononova, 1975).

Niveles de Esfuerzo y Exactitud en Inventarios de Carbono

Nivel de esfuerzo	Descripción general
Básico	<p>Genera una estimación de C capturado muy general a bajo costo bajo en plantaciones. Se realizan muestreos poco intensos y de bajo costo; la estimaciones suelen tener un error del 30 % de la medida estimada</p> <p>Las parcelas permanentes de muestreo se miden solamente dos veces: Al establecerse la experiencia y al final de la misma.</p> <p>Los modelos producen estimaciones intermedias de captura por vegetación y COS.</p>
Moderado	<p>Las estimaciones de C almacenado tienen un error cercano al 20 % .</p> <p>La intensidad de muestreo es mayor.</p> <p>Se aplican modelos predictivos que dan estimaciones de cantidad anual de C fijado, pero con riesgos de fallos en algunos tipos manejos.</p>
Alto	<p>Se producen estimaciones con errores entre el 10 y 15 % de los datos de C capturado por un incremento de muestreos y uso de modelos muy ajustados.</p> <p>Las parcelas de muestreo permanentes se miden anualmente.</p>

Simulación de los Niveles de C Total del Suelo desde 1907 y Proyección hasta 2030 bajo Tres Supuestos de Manejos Edáficos



Incremento del rendimiento

Leyenda: ▲ 1.5 % ■ 1.0 % ▢ 0.5 %

(Según Johnson, 1993)

Beneficiarios en el comercio de bonos de Carbono

BENEFICIADOS:

- Países poco poblados con abundantes bosques.
- Energías no fósiles (alternativas, **nucleares**).
- Industrias o países poco exigentes de energía.
- Países fríos a templados (no áridos).
- Transporte público (v. g., trenes eléctricos).

Perjudicados en el comercio de bonos de Carbono

PERJUDICADOS:

- Países industrializados o con alta densidad humana.
- Energías fósiles (**petroleras**).
- Industrias o países exigentes de energía.
- Países mediterráneos a tropicales (**semiáridos**).
- Transporte privado (automóviles de gasolina o gasóleo).

Cuestiones Abiertas en el Mercado de Bonos de Carbono

- Aceptación internacional real
- Precio de cada Mg C fijado asumible
- Homologación de metodologías
- Aceptación de líneas bases propuestas
- Acuerdo en la duración de la acción
- Aceptación de certificadores con precios reducidos
- Acuerdo de quién asume los costos del Proyecto y Certificación.

Más Cuestiones Abiertas en el Mercado de Bonos de Carbono

- Banco de transición en pagos y seguro de riesgos
- Acuerdo en los países emisores sobre si el costo lo paga la industria o el consumidor final (“ecotasa”)
- Aceptación de esa *ecotasa* por los países desarrollados
- Congelación del crecimiento demográfico
- ¡Limitación al aumento del nivel de vida con base a un ilimitado y creciente consumo!!!.

LA CAPTURA DE CARBONO SIGUE SIENDO UNA CUESTION ABIERTA:

- No deja de ser un mero deseo; No tiene interés (fuera del académico) hacer determinaciones de líneas base si no se implementa y generaliza la venta de bonos de carbono, con los pagos correspondientes a los productores capturadores.
- Nada de ello tiene sentido si no se les pone coto a los dos factores últimos de las emisiones (contaminaciones en general):
 - A) Un crecimiento demográfico imparable y
 - B) El consumo creciente ilimitado como signo de desarrollo y bienestar economicosocial.
- La parte positiva seria un consecuente mejoramiento del estado de los suelos y correlativo frenazo a la indeseable erosión.

Gracias por la atención



¿PREGUNTAS...?

IV CONGRESO INTERNACIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL FORESTAL Y ECOTURISMO

Planteamiento de distintos Proyectos de Captura de Carbono en Silvicultura

Tipo de Proyecto (número de proyectos)	Area de tierra (Miles ha)	Absorción de C acumulado durante todo el Proyecto (Mg C)	Absorción estimada de C durante todo el Proyecto (Mg C/ha)	Emisiones evitadas estimadas durante todo el Proyecto (Mt C)	Emisiones estimadas evitadas provenientes del C almacenado durante todo el Proyecto (Mg C/ha)
Suponiendo que no se producen fugas al exterior de los proyectos					
Protección de los bosques (7)	2,8			41-48	4-252
Gestión mejorada de los bosques (3)	0,06			5,3	41-102
Reforestación y forestación (7)	0,1	10 - 10,4	26-328		
Agrosilvicultura (2)	0,2	10,5-10,8	26-56		
Silvicultura de múltiples componentes y comunitaria (2)	0,35	9,7	0,2-129		

Costos Estimados y Cantidad de C Capturado en seis Proyectos Forestales

Nombre del Proyecto (Países)	C total (Tg C)	Solicitado (10 ⁶ dólares)	Presupuesto total (10 ⁶ dólares)	Dólares/MgC Solicitado <i>versus</i> totales	Dólares generados por dólar solicitado	Porcentaje solicitado frente al costo del Proyecto
			8,8			
CARE (Guatemala)	39	2,0	8,8	0,05 - 0,23	3,4	23
PDA (Tailandia)	0,15	1,2	1,6	7,9 - 10,8	0,36	73
ANCON (Panamá)	7,4	2,6	18	0,35 - 2,4	5,9	14
UCEFO (Méjico)	2,7	2,9	3,3	1,1 - 1,2	0,14	88
KMTNC (Nepal)	0,07	1,0	1,1	13,6 - 16,1	0,18	85
OXFAM (Amazonía)	75	2,6	4,5	0,03 - 0,06	0,76	57

Según W.R.I./E.P. A. (1994)

Costos de Proyectos y Recuperación (%) por Pagos de Captura de C en Africa e India

Lugar	Especie	Costos (Dólares/ha)	Rotación (años)	Recuperado (%)	Dedicación
Punjab (India)	<i>Eucaliptus, Populus</i>	150	5 a 10	15 a 20	Manejo intensivo
Tamil Nadu (India)	<i>Casuarina</i>	30	4 a 6	30 a 50	Recuperación de suelo, combustible
Uttar Pradesh (India)	<i>Shotea</i>	60	30 a 50	6 a 10	Manejo mínimo
Kerala (India)	<i>Leucaena</i> , maíz	55	5 a 7	18 a 30	Nutrición
Gana (Africa)	<i>Casuarina</i>	20	7	9 a 12	Combustible
Malawi (Africa)	<i>Casuarina</i> , maíz	35	8	9 a 12	Madera, maíz
Nigeria (Africa)	<i>Eucaliptus</i>	45	10	9 a 12	Troncos, combustible
Sennegal (Africa)	<i>Acacia</i> , mijo	30	5	9 a 12	Goma, grano

Costos por Mg de C Capturado con Agroforestería en Diversos Países (suponiendo una rotación de 50 años)

País	Costos (Dólares/Mg C)	Sistema	Potencialidad* (Mg C capturado/ha)
Argentina	16	Bioenergía	39 a 74
Australia	11 a 17	Agroforestería	28 a 51
Brasil	4,0 a 41	Plantaciones mejoradas	39 a 195
China	66	Plantaciones mejoradas	12
Congo	69	Agroforestería	29
India	2,0 a 7,0	Madera combustible	68 a 228
Méjico	2,0 a 6,0	Agroforestería	133 a 154
U. S. A.	1,0 a 60	Agroforestería	90 a 198
Rusia	3,0 a 12	Agroforestería	15 a 18
Zaire	4,0 a 12	Madera combustible	53

(Según Dixon *et al.* 1994)

*Considerando diversos aprovechamientos

ESTRATEGIAS DE MUESTREOS

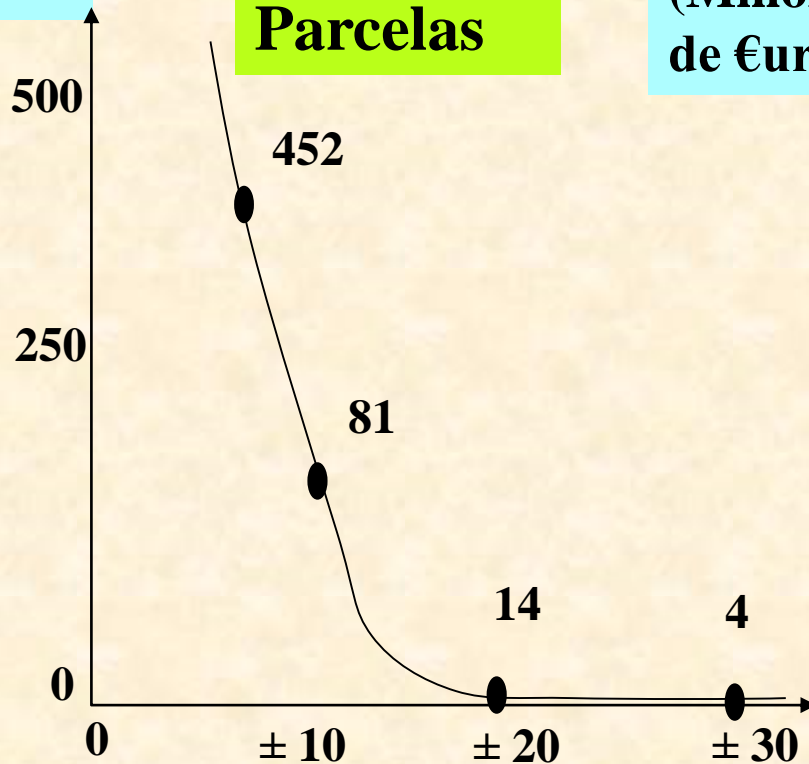
- Se necesita la mayor información de base posible.
- En algunos casos conviene conocer ciertos flujos.
- Se necesita conocer las diferencias entre situaciones inicial y mejorada.
- Se necesitan estimar costes y presupuesto para medidas y seguimiento.

La estrategia de muestreo dependerá del:

- Presupuesto disponible
- De la característica requerida (a <30 %)

Número de Muestreo y Costos versus Precisión

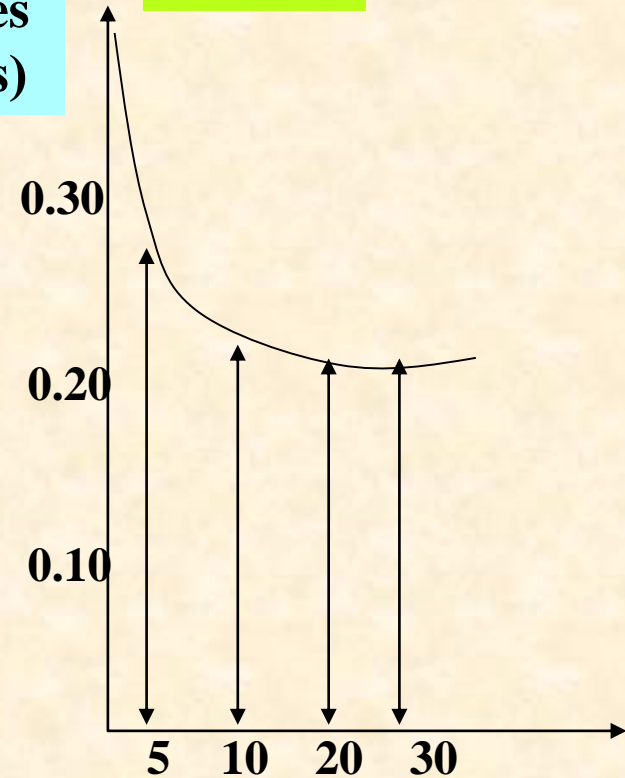
Número



Parcelas

(Millones de €uros)

Costos



Precisión (%)

Nivel precisión (%)

Límites de Errores Permisibles en los Errores de Medida

Medida

Error permisible

Líneas de referencia

Orientación

$\pm 2^\circ$ de la orientación correcta

Distancia

$\pm 2^\circ$ de la verdadera distancia horizontal

Parcelas permanentes

Arboles perdidos o extras

Sin error en la parcela

Especies de árboles o grupos

Sin error en las parcelas

Medida de la altura hombro

$\pm 5,0$ cm de la verdadera altura (1,3 m)

Diámetro altura hombro (DAH)

$\pm 0,1$ cm ó 1,0 % si se supera

Radio circular de la parcela

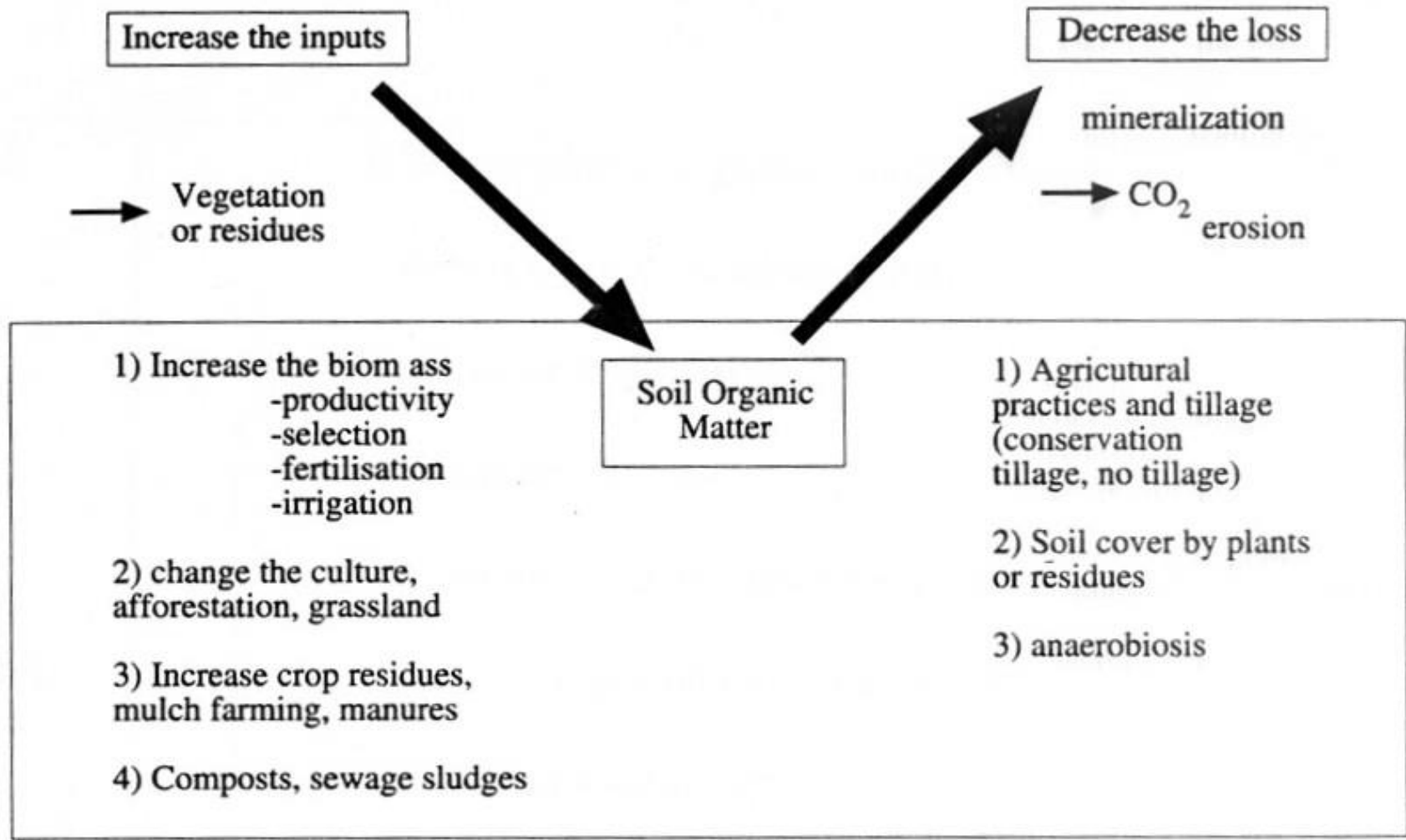
$\pm 1,0$ % de real (horizontal)

Producciones (flujos) y Reservas (compartimentos) del C de los Ecosistemas Terrestres

Ecosistemas	Superficie	Biomasa (ecosistema)	Biomasa (mundial)	Producción (ecosistema)	Producción (mundial)	C suelo (ecosistema)	C/N suelo	C suelo (mundial)	C total (mundial)
(Unidades)	(x 10 ⁶ km ²)	(Mg C ha ⁻¹)	(Pg C)	(Mg C ha ⁻¹ a ⁻¹)	(Pg C a ⁻¹)	(Mg C ha ⁻¹)	(media)	(Pg C)	(Pg C)
Bosque tropical	17 a 25	120 a 190	215 a 230	7 a 19	14 a 22	13	10	214 a 250	428 a 553
Bosque templado	10 a 13	57 a 140	59 a 139	4,0	6,5 a 8,1	90	14	100 a 153	159 a 292
Bosque boreal	12 a 14	42 a 90	88 a 57	2,5	2,6 a 3,2	150	14	338 a 471	395 a 559
Sabana	15 a 25	18 a 29	66 a 79	3,5 a 8	14,9 a 17,7	54	16	120 a 264	326 a 330
Pradera templada	9 a 15	7 a 14	9 a 23	6 a 7	5,3 a 7,0	230	11	170 a 295	200 a 304
Agrosistemas	14 a 15	43	3 a 4	3,0	4,0 a 5,0	N. d.	10	128 a 180	131 a 169
Semiárido, matorral	42 a 46	2 a 4	8 a 10	1,0	1,4 a 3,5	N. d.	10	20 a 191	159 a 199
Tundra y humedales	10 a 12	2 a 3	17 a 21	0,5 a 30	0,5 a 4,3	220	20	117 a 225	357 a 367
TOTAL	150	S. d.	466	S. d.	60 a 63	S. d.	S. d.	1500 a 2000	2200 a 2500

Adaptado de Whittaker y Likens (1973), Likens *et al.* (1981), Paul y Clark (1989), Prentice *et al.* (2001) y Schlesinger (2005). S. d.: Sin datos.

El Balance de C: Entradas y Salidas



MANEJOS PARA CAPTURAR CARBONO EN EL SUELO:

- Aumentos de las entradas netas al suelo y disminución de las salidas de C (como CO₂).

El Protocolo de Kioto: Cumplimiento de los Mayores Emisores

Emisiones de CO₂ de origen humano

Tg = 10¹²

- Incluye industrias y calefacciones
- Excluye cambios de uso de la tierra y silvicultura)

	1990 (Tg)	1995 (% respecto a 1990)	2000 (Tg)	▶	Porcentaje de cambio (referido a 1990)
Estados Unidos	4.960	105	5.627		+13
Rusia	2.372	70	1.750	-26	
Japón	1.125	108	N. d.		
Alemania	1.014	88	894	-12	
Ucrania	700	N. d.	530	-25	
Reino Unido	584	93	550	-5	
Polonia	477	78	425	-12	
Canadá	464	108	501		+8
Italia	432	101	421		+5
Francia	378	102	373	-2	
Australia	273	109	311		+19
España	226	102*	258		+14
Rumania	198	N. d.	N. d.		
Holanda	168	109	174		0
Bélgica	116	104*	125		+8
Bulgaria	96	64	75	-11	
Grecia	85	107	89		+16
Hungría	84	71	64	-23	
Austria	62	100	57	-7	
Eslovaquia	60	81	46	-23	

(*) Datos de 1994

Variaciones de CO₂ de Diferentes Países de la Unión Europea al inicio de la crisis económica actual

Emisión de gases de efecto invernadero

Variación en porcentaje de CO₂.

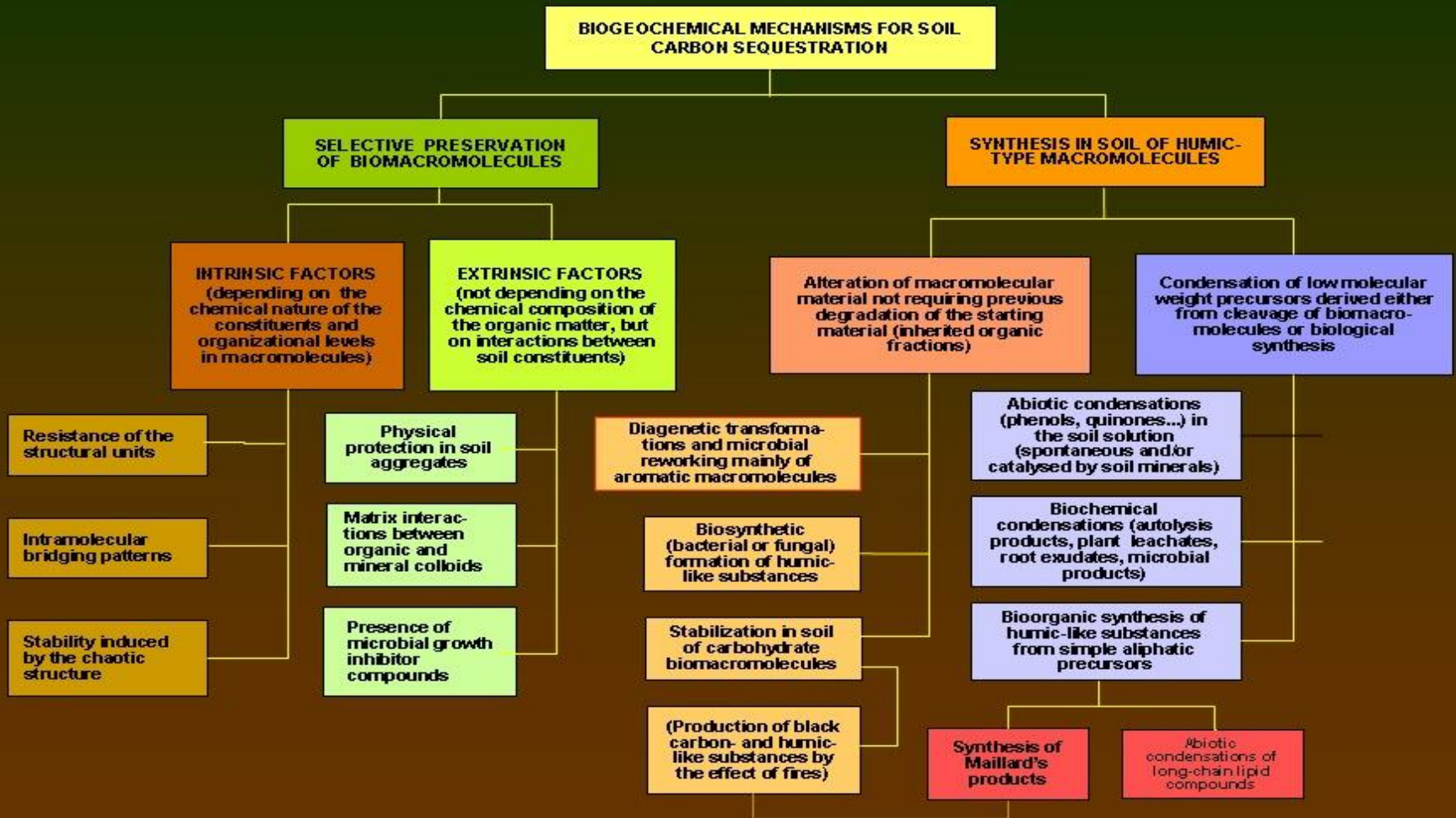
	VARIACIÓN 1990 -2007	VARIACIÓN 2006 -2007
Alemania	-22,4	-2,4
Reino Unido	-18	-1,7
Bélgica	-9,9	-3,9
Suecia	-9,3	-2,2
UE - 27	-9,3	-1,2
Francia	-5,8	-2
UE - 15	-5	-1,6
Dinamarca	-3,9	-6,2
Holanda	-2,6	-0,5
Luxemburgo	-1,9	-2,9
Italia	6,9	-1,8
Finlandia	10,3	-2
Austria	11,3	-3,9
Grecia	23,2	2,9
Irlanda	24,5	-0,7
Portugal	36,1	-3,4
España	52,6	2,1

MANEJOS PARA CAPTURAR CARBONO EN EL SUELO:

- Aumentos de las entradas netas al suelo y disminución de las salidas de C (como CO₂).

Procesos biogeoquímicos y captura C

Procesos biogeoquímicos implicados en los procesos de secuestro de carbono en los suelos: La preservación frente a la neoformación



Soil-dependant processes responsible for the formation of humic substances and soil C sequestration