

**Jornada Técnica
Embalses y Cambio Climático.
Retos y Oportunidades**

**SPANCOLD
Comité Nacional Español de Grandes Presas**

**EMISIONES DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO (GEI) EN EMBALSES**



Universitat de Lleida

Antoni Palau. Universidad de Lleida

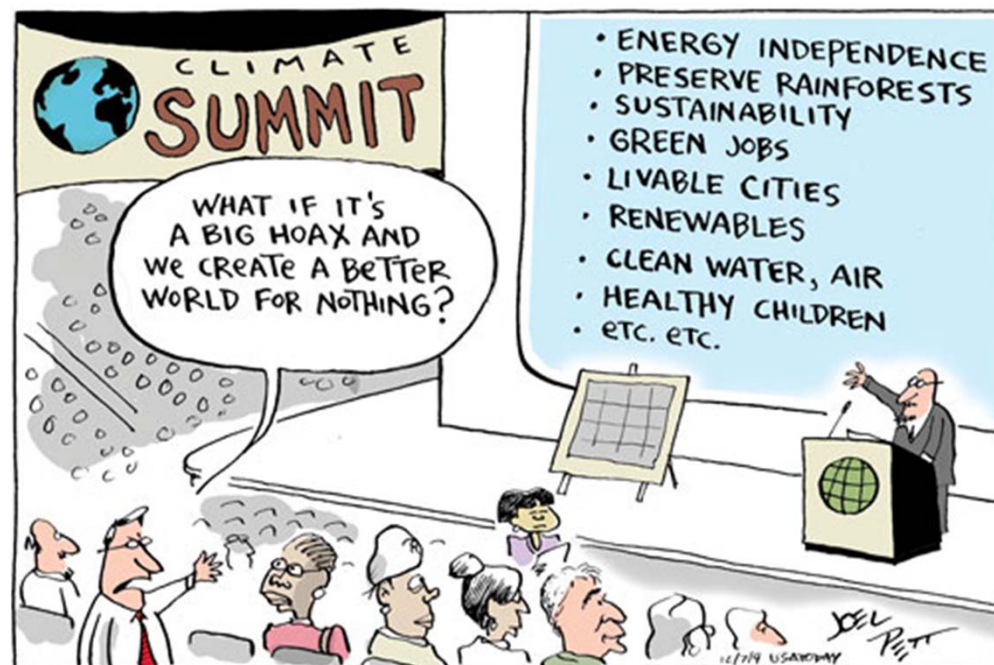
Madrid, 16 de Noviembre de 2016

Cambio climático: ¿hipótesis cierta o hipótesis perfecta?

- La hipótesis del cambio climático es una **hipótesis total**:
 - **Todo cabe**: Si llueve más es por cambio climático; si llueve menos también; si hace más calor es por cambio climático, pero si hace más frío, también,...
 - **Todos podemos pensar que lo notamos, que sabemos del tema o que podemos aportar experiencias propias y por tanto irrefutables**: Antes hacía más frío..., Nunca había hecho tanto calor... No recuerdo una nevada tan intensa,...
- Es una **hipótesis universal, aglutinante, épica y que transmite buenos valores**.

Es imposible no defender lo que se promueve en la lucha contra el cambio climático.

Lo preocupante es que tengamos que usar el argumento del cambio climático para defenderlo...



Cambio climático: ¿hipótesis cierta o hipótesis perfecta?



NATURAL 04/10/2016 00:06 | Actualizado a 04/10/2016 09:44

La participación del ser humano en el calentamiento global es incontestable. Apelando a un supuesto progreso, las emisiones de gases de efecto invernadero se han disparado hasta límites insostenibles. Y cuando hablamos de estos gases, todos imaginamos coches y hasta la industria ganadera. **Muy pocos, sin embargo, lo relacionan con los embalses y pantanos.**

Un grupo de investigadores de la Universidad Estatal de Washington ha concluido que los embalses son una gran fuente de gases de efecto invernadero. Hasta ahora se desconocía el impacto de estas acumulaciones de agua, pero este estudio ha revelado que los pantanos **emiten el equivalente a más o menos un gigantón (1.000.000.000 toneladas) de dióxido de carbono al año.**

Esta cifra equivale a un 1,3 por ciento de todas las emisiones producidas por los seres humanos. Es decir, los embalses y pantanos de todo el mundo producen más gases de efecto invernadero que todo Canadá.

En España (Youtube) se ha difundido como "Science" (JIF 34,7 vs 4,3)

El estudio, publicado en la revista BioScience, apunta a que los embalses son una gran fuente de metano. Pero, ¿cómo se libera? Al inundarse zonas que contenían una gran cantidad de materia orgánica (carbono), como árboles o pastos, éstos se descomponen en dióxido de carbono, metano y

Deemer, B.R., J.A. Harrison, S. Li, J. Beaulieu, T. Del Sontro, N. Barros, M.A. dos Santos, J.F.B. Neto, S.M. Powers, and J.A. Vonk. Submitted. Greenhouse gas emissions from reservoirs: A new global synthesis. *For BioScience*.

Científicos revelan una inesperada fuente de contaminación ambiental. Link estudio: <https://www.youtube.com/watch?v=8G8ttVeEg>

Lo que salía en la noticia original en EEUU (29/09/2016) y que en cambio, no se difundió en España...

- Michael Mann, an atmospheric scientist at Penn State University, said the study shows that building reservoirs makes a "very modest though not completely negligible" contribution to global greenhouse gas emissions.

"But I would note that, as the authors point out, most of this is methane, and that's a relatively short-lived greenhouse gas compared to carbon dioxide," Mann said. "So as far as the long-term committed warming is concerned, these emissions are of negligible significance."

- Kevin Trenberth, senior scientist at the National Center for Atmospheric Research, said the benefits of building reservoirs in an era of climate change can outweigh the impact of their methane emissions.

"Building reservoirs is essential if we are to manage water — to save the water from the heavier rains that occur for the longer dry spells that are also expected," Trenberth said. "Water management is a huge issue and this study deals with only a tiny part."

Cabe añadir que en el artículo original en cuestión, se indica que los datos de emisiones aportadas de CH₄ y CO₂ son brutos y que para la realización de balances debería tenerse en cuenta el efecto de sumidero de carbono que tienen los embalses (fijación mediante producción primaria, sedimentación, enterramiento,...)

Cambio climático: ¿hipótesis cierta o hipótesis perfecta?

La caspa y las células de la piel influyen en el cambio climático

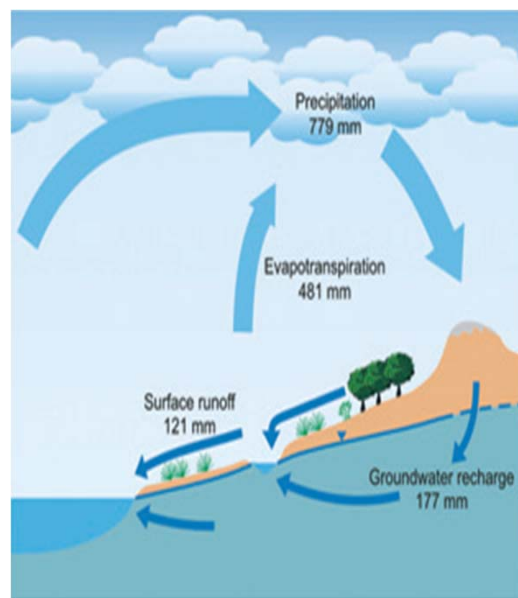
Viernes, 1 de abril de 2005. El mundo.es

MADRID.- Los restos de material celular, como el de la caspa o incluso el de la epidermis, pueden influir en el cambio climático, según un estudio científico cuyas conclusiones fueron desveladas por uno de sus responsables, Ruprecht Jaenicke.

"Todas las partículas" influyen de algún modo en las radiaciones y con ello en el clima, añadió Jaenicke, tras precisar que todo apunta a la **necesidad de conocer todos "los ingredientes"** contenidos en la atmósfera si se pretende luchar contra el cambio climático.

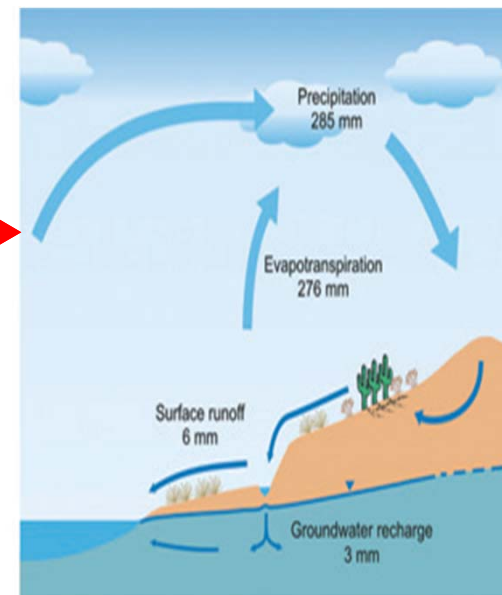
Todas las partículas suspendidas en el aire influyen **en la formación de la lluvia**, en las precipitaciones, en las nubes.... "Así es como funciona la naturaleza", explicó el experto. Por eso, añadió, "si vamos a modelar el clima, tenemos que conocer los distintos ingredientes en la atmósfera: el polvo mineral, los sulfatos, el hollín, restos orgánicos, e incluso partículas celulares".

El cambio climático y los embalses



Cambio Climático

Reducción de la precipitación y/o aumento de la torrencialidad



¿MÁS EMBALSES?

Bienestar = $f(\text{control del agua})$

Déficit de abastecimiento de agua
(alimento, energía, manufacturas)

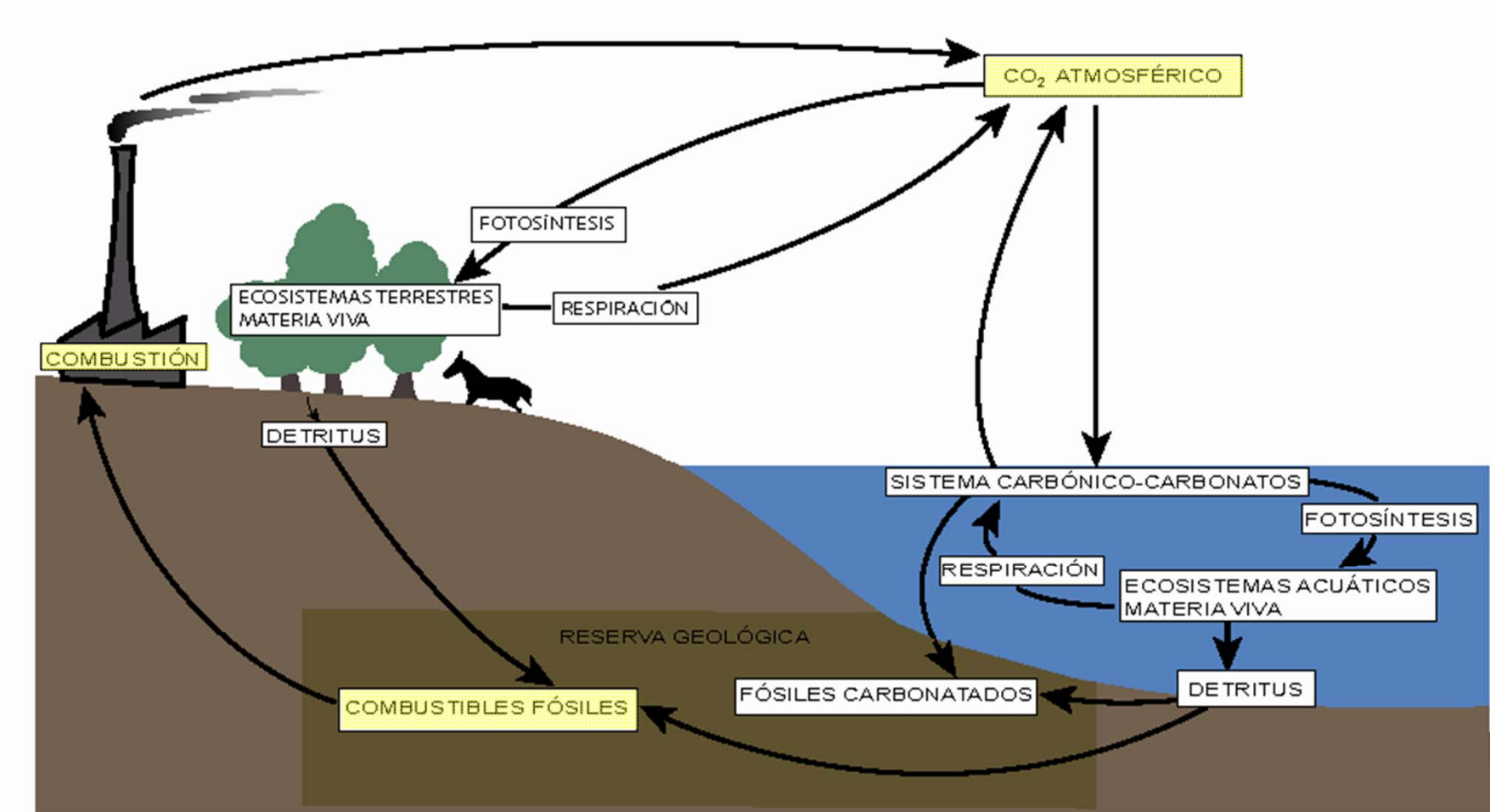
Menor calidad
del agua

Menor o más
irregular escorrentía

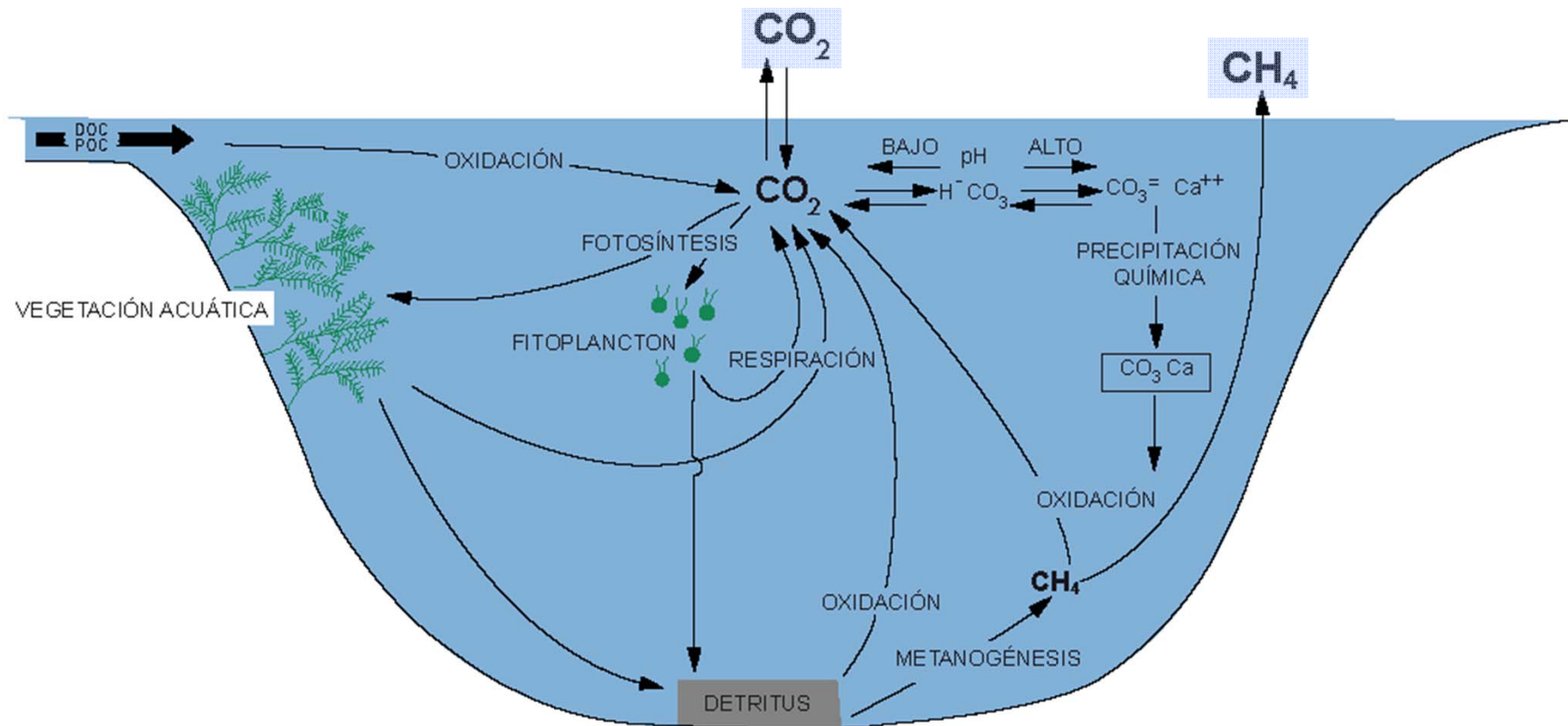
Cambios en la
biodiversidad
acuática

Menores garantías de suministro

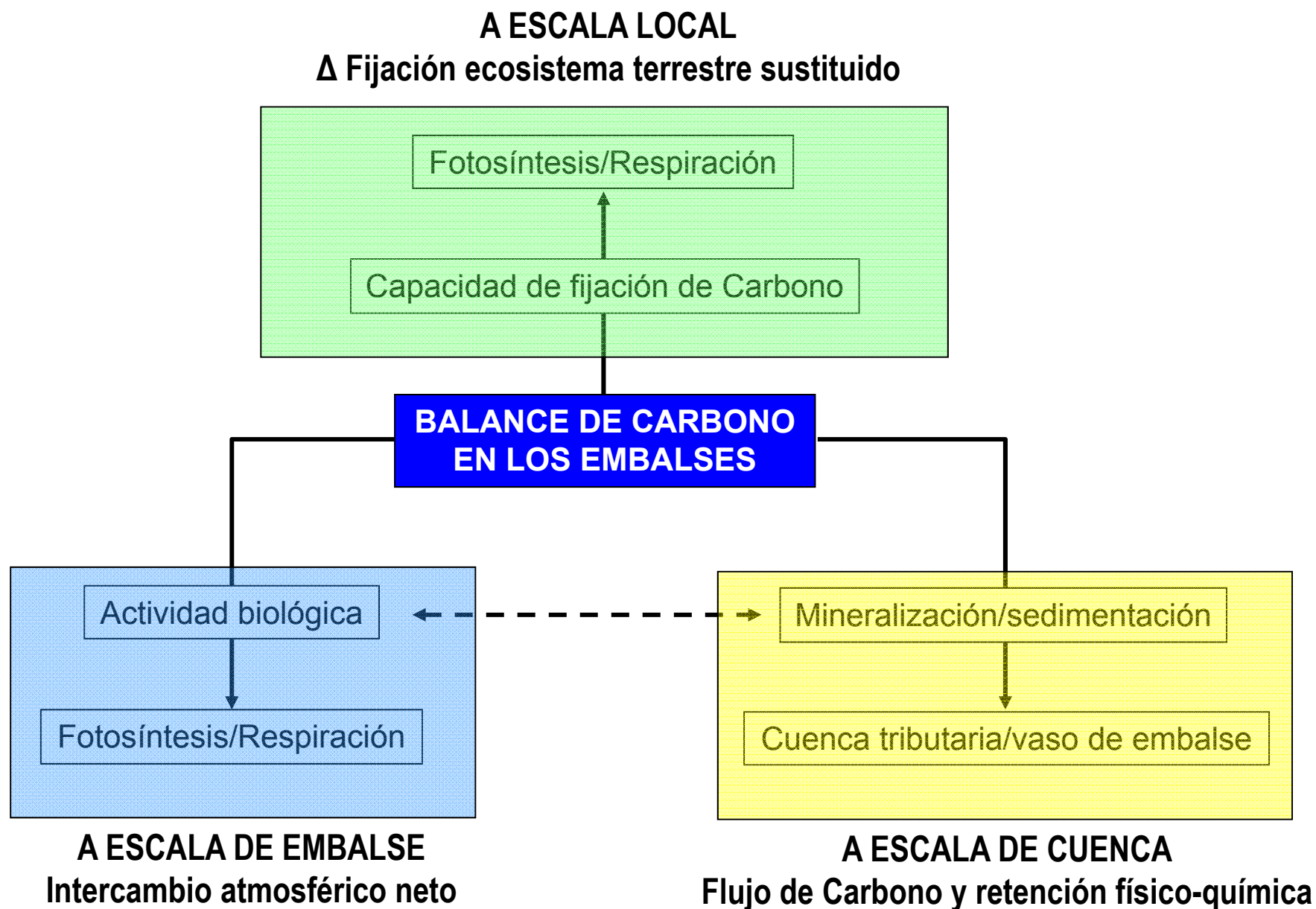
El ciclo del carbono en la Tierra



El ciclo del carbono en los ecosistemas acuáticos



Opciones para el análisis del balance de carbono en embalses



Opciones para el análisis del balance de carbono en embalses

Fijación de carbono en ecosistemas terrestres templados

Tipo de comunidad	Tasa de fijación media de CO ₂	
	(mg CO ₂ m ⁻² día ⁻¹)	(g C m ⁻² año ⁻¹)
Estepa árida	502	50
Campos de cultivo de secano	804 – 1.205	80 -120
Campos de cultivo de regadío	1.004 – 1.406	100 -140
Matorral mediterráneo	804 – 1.004	80-100
Matorral húmedo	1.506	150
Bosque mediterráneo	1.406	140
Bosque húmedo	2.511	250

El bosque mediterráneo capta unas 50 Tn CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ y emite 45 Tn CO₂ ha⁻¹ año⁻¹. Su balance neto es la fijación de unas 5 Tn CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ ($\approx 1.400 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), pero no se tiene en cuenta lo que respira toda la vida heterótrofa que alberga y, por supuesto, no se incluye la materia orgánica que el bosque exporta, por ejemplo con la escorrentía, y que pasa a ser “respirada” en otros ecosistemas.

Emisión de carbono en lagos y embalses (zona boreal y templada)

Tipo de masa de agua		Tasa de emisión media de CO ₂	
		(mg CO ₂ m ⁻² día ⁻¹)	(g C m ⁻² año ⁻¹)
<i>Embalses y lagos (Canadá, Duchemin et al. 1999)</i>			
	Manic reservoirs	1.170 (± 470)	116,5
	Manic Reference Lake	1.010 (± 405)	100,5
	Gouin Reservoir	1.165 (± 685)	116,0
	Gouin Reference Lake	1.700 (± 950)	169,2
<i>Embalses y lagos (Canadá, Tremblay et al, 2005)</i>			
	Embalses (n=56)	1.508 (± 1.471)	150,2 (± 108,7)
	Lagos (n=43)	1.013 (± 1.095)	100,9 (± 220,5)
<i>Embalses y lagos (sudoeste de Estados Unidos, Therrien et al, 2005)</i>			
	Embalses (n=259)	664 (± 1.091)	66,13 (± 108,7)
	Lagos (n=31)	874 (± 2.214)	87 (± 220,5)

Embalses boreales y templados (promedio) $\approx 1.130 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

Lagos boreales y templados (promedio) $\approx 1.150 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

Emisión de carbono en embalse (zona tropical)

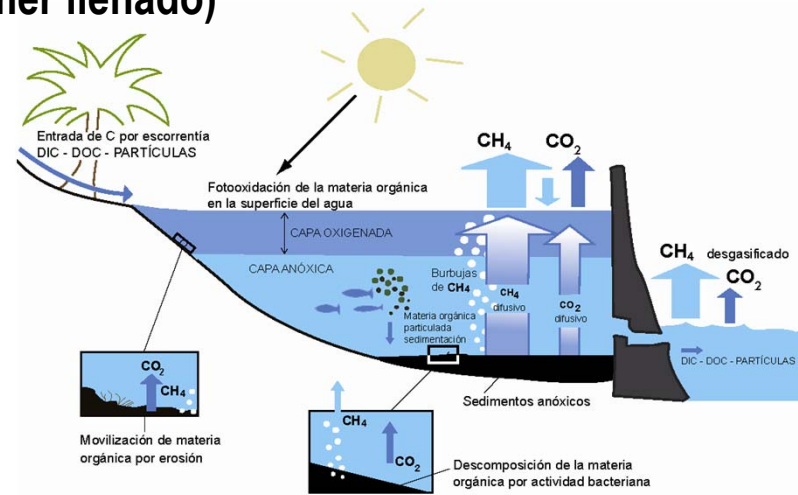
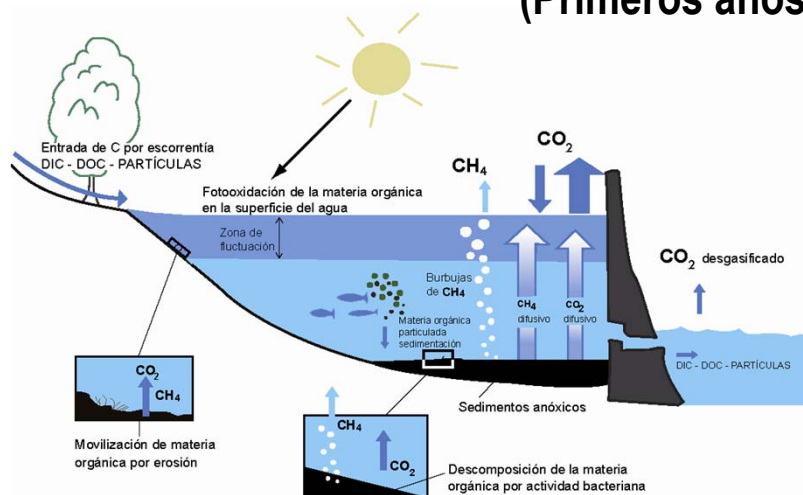
Tipo de masa de agua		Tasa de emisión media de CO ₂	
		(mg CO ₂ m ⁻² día ⁻¹)	(g C m ⁻² año ⁻¹)
<i>Embalses hidroeléctricos Amazonas (Brasil, Rosa et al., 1997)</i>			
	Curuá-Una	134,3	13,4
<i>Embalses del Brasil (Rosa et al. 1999)</i>			
	Tucuruí Reservoir	8.475	843,6
	Samuel Reservoir	6.719	668,8
	Xingó Reservoir	6.048	602,1
	Miranda Reservoir	4.388	436,8
	Barra Bonita Reservoir	3.891	387,3
	Segredo Reservoir	2.695	268,3
	Serra da Mesa Reservoir	2.654	264,2
	Três Marias Reservoir	1.138	113,3
	Itaipú Reservoir	170	16,9

Embalses tropicales (promedio) $\approx 3.630 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

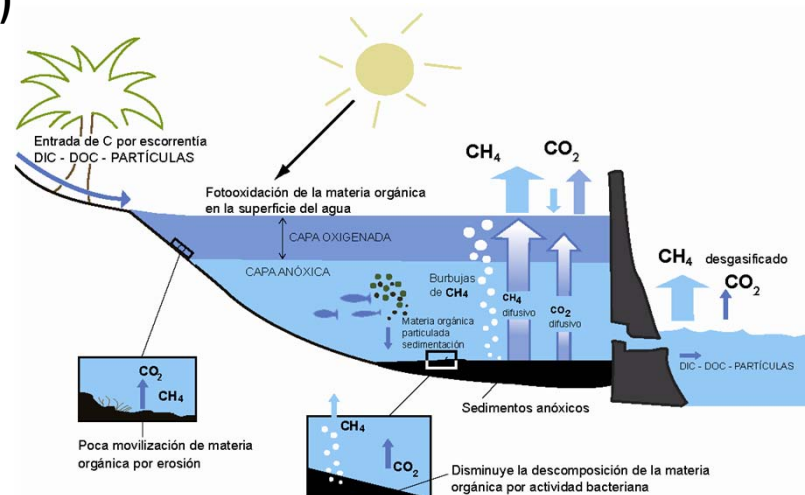
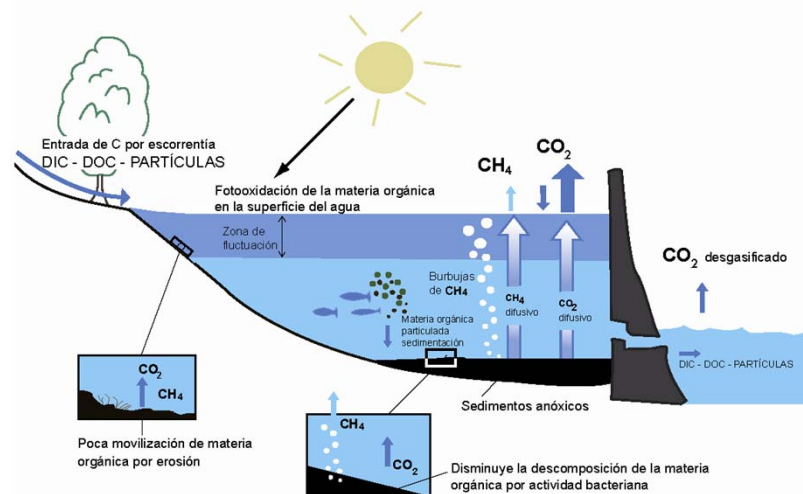
(Embalses boreales y templados (promedio) $\approx 1.130 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

Fuentes de emisión de carbono en embalses templados y tropicales

(Primeros años tras el primer llenado)

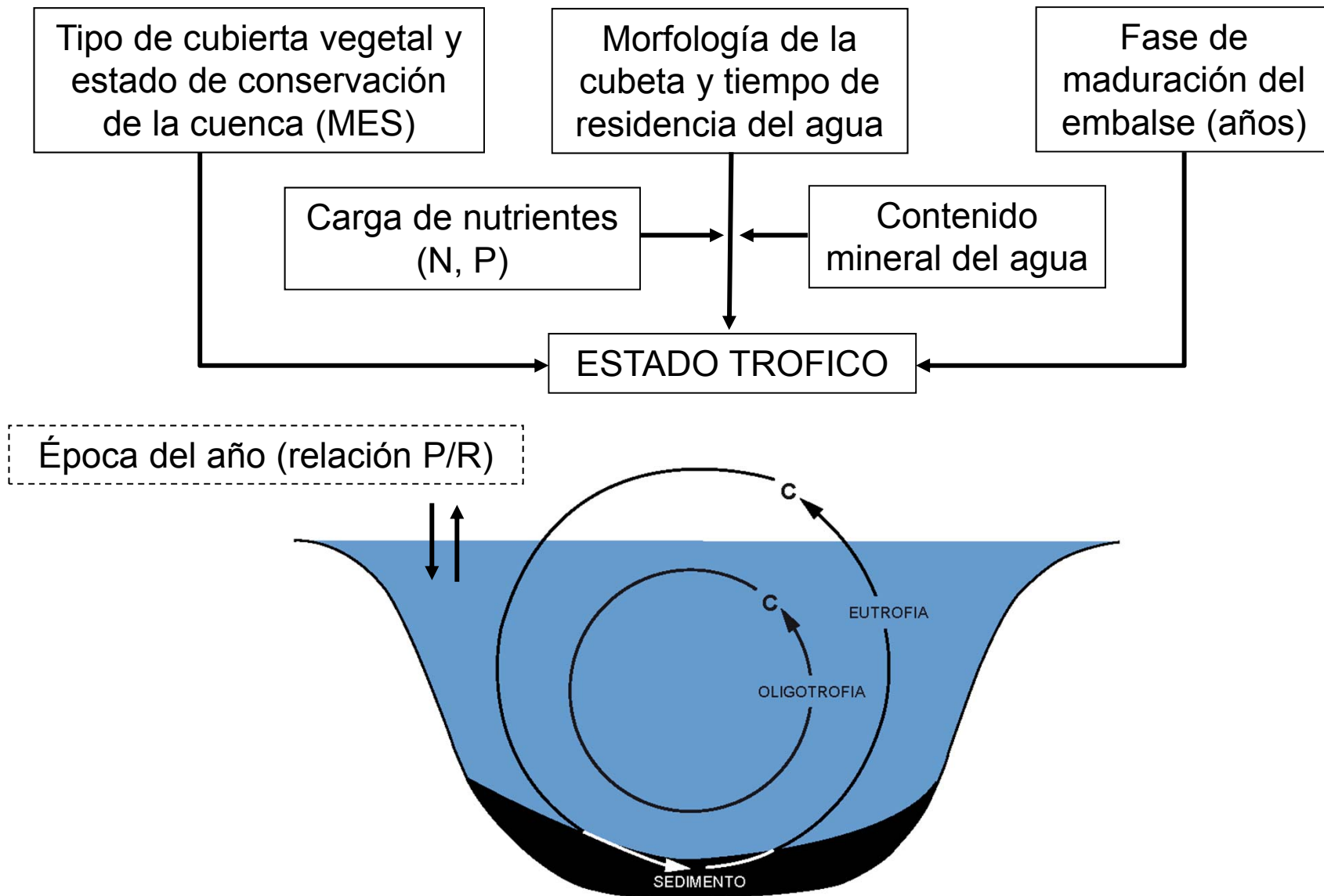


(>10 años)



La principal diferencia está en la persistencia y magnitud de las emisiones de metano (CH₄), por la gran carga de materia orgánica a descomponer y la estratificación térmica permanente (sistemas amícticos), que mantiene el hipolimnion anóxico en los embalses tropicales.

Condicionantes del balance de carbono en los embalses



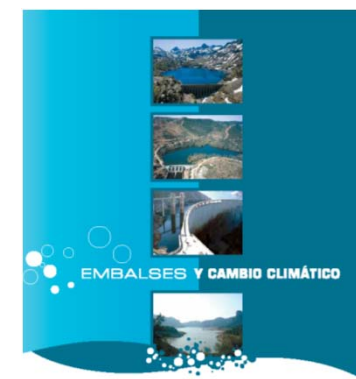
Caso de estudio: El embalse de Susqueda (río Ter, Girona)



Año de construcción: 1964
Altitud: 351 m (snm)
Superficie de cuenca: 1850 Km ²
Aportación media anual: 623 hm ³ /año
Superficie de agua: 4,7 Km ²
Volumen: 233 hm ³
Profundidad máxima: 129 m
Transparencia del agua (Dsecchi): 0,6 - 6,5 m
Conductividad eléctrica: 373 - 756 µS/cm
pH: 7,0 - 9,0
Alcalinidad total: 1,7 - 2,9 meq/l
Oxígeno disuelto: Hipoxia permanente y eventual anoxia en el hipolimnion.

endesa

El estudio formó parte del Plan para la Conservación de la Biodiversidad de Endesa



División de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CMESA)

Algunas vistas del embalse de Susqueda y su presa



Balance de carbono del embalse de Susqueda

Entradas:

CTen = carbono total del agua superficial entrada al embalse (m).

CTed = carbono total de las entradas difusas de la cuenca directa al embalse (e).

Salidas:

CTsal = carbono total del agua de salida del embalse (m).

CTsed = carbono acumulado en el sedimento del embalse (m).

Intercambio de CO₂ agua-aire:

ΔCO_2 = intercambio neto de CO₂ entre el agua y el aire (m).

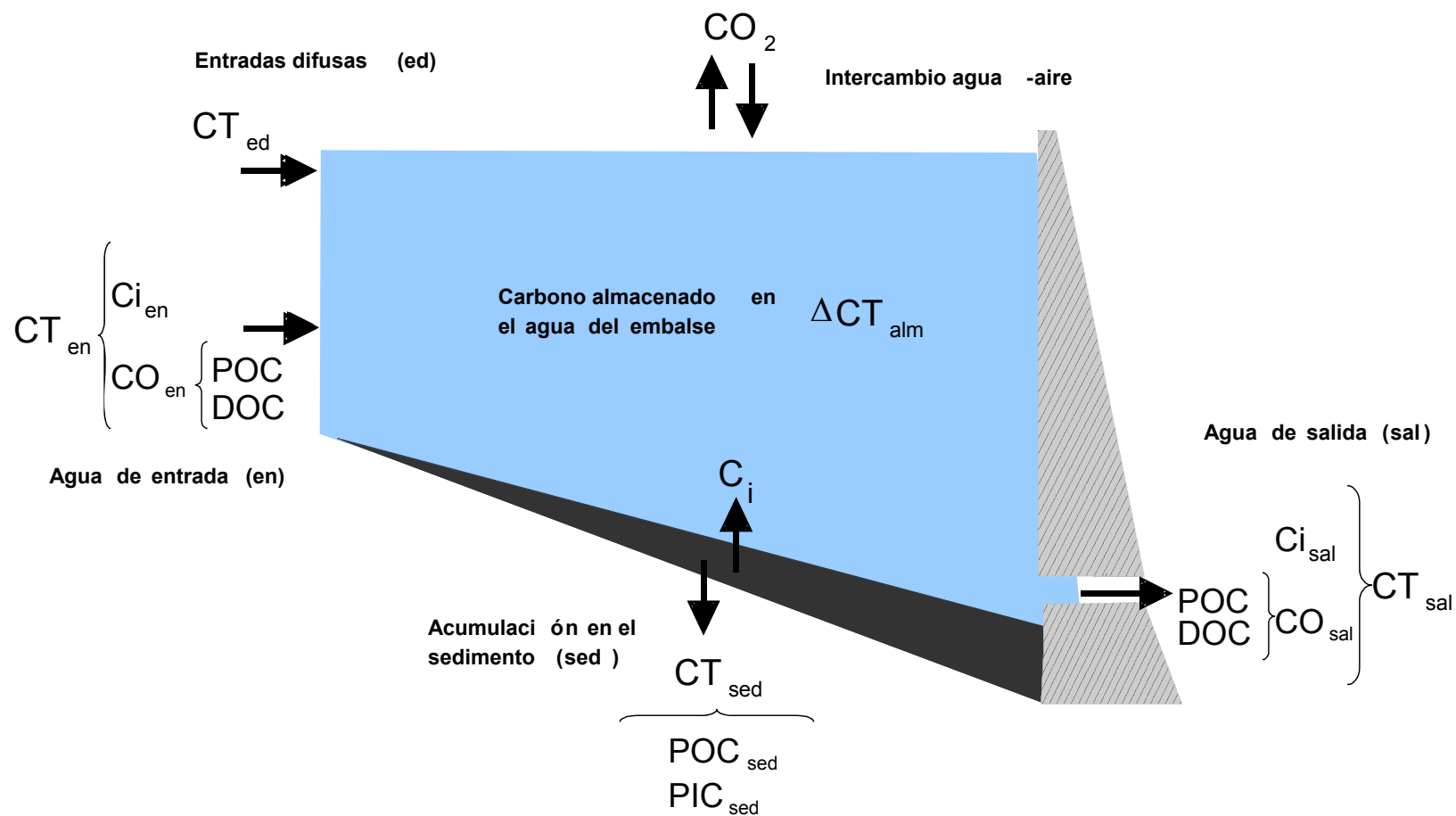
Almacenamiento:

ΔCTalm = carbono total almacenado en el agua del embalse (m).

BALANCE

$$\text{CTen} + \text{CTed} = \text{CTsal} + \text{CTsed} + \Delta\text{CTalm} + \Delta\text{CO}_2$$

Flujos de carbono considerados para el cálculo del balance



Posibles comportamientos de los embalses con el carbono

Entradas > Salidas = sistema que consume (heterótrofo)

Entradas < Salidas = sistema que produce (autótrofo)

Heterotrofia con incorporación de Carbono

$(CT_{en} + CT_{ed}) > (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y $CT_{sed} \uparrow$

Heterotrofia y emisión de CO_2

$(CT_{en} + CT_{ed}) > (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y $CT_{sed} \downarrow$

Autotrófico con fijación de CO_2

$(CT_{en} + CT_{ed}) \leq (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y $CT_{sed} \uparrow$

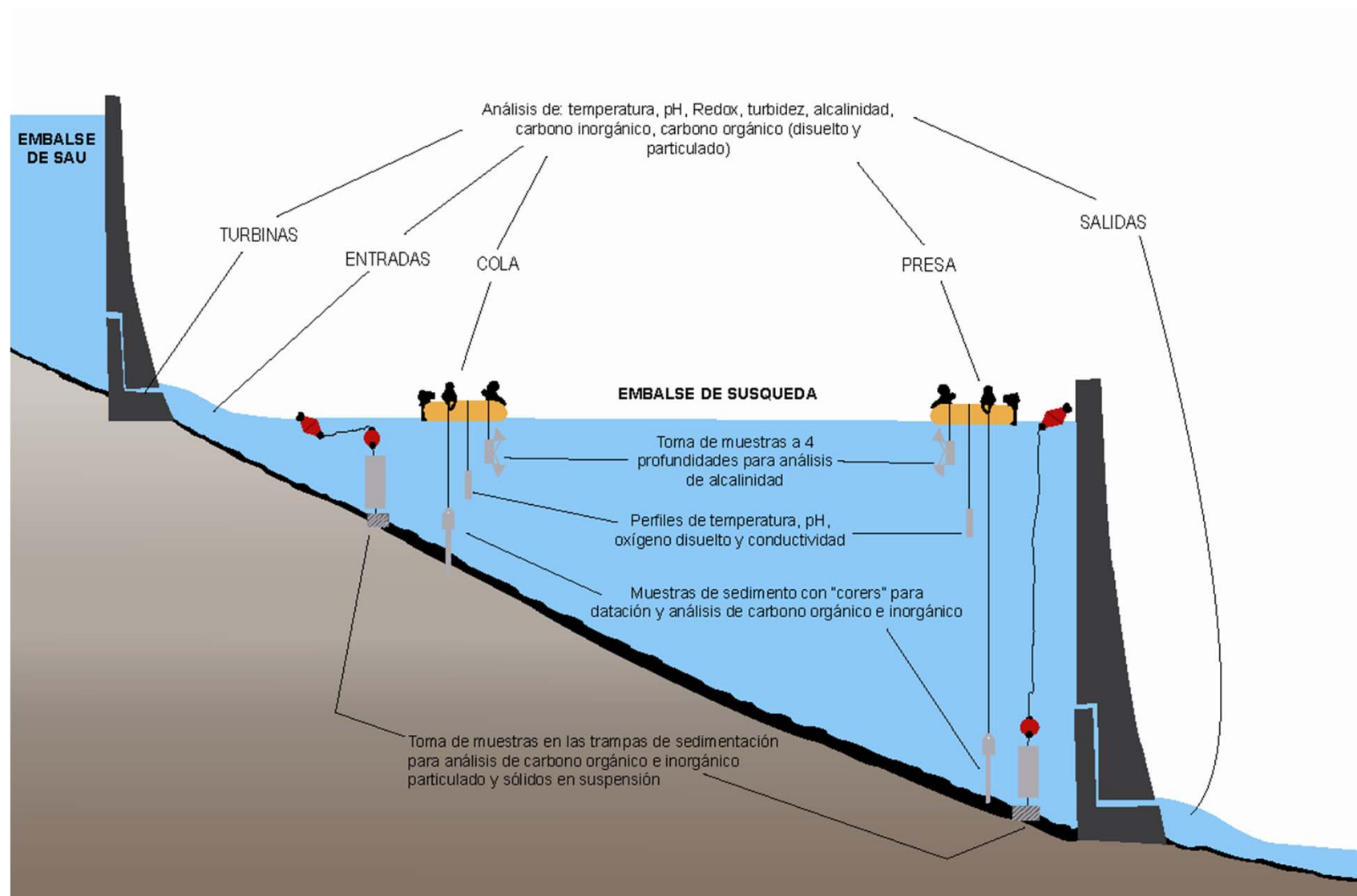
Autotrófico y con exportación de Carbono

$(CT_{en} + CT_{ed}) \leq (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y $CT_{sed} \downarrow$

**Autótrofo con fijación de CO_2 ajustada a la oxidación del $CT_{en} + CT_{ed}$
(sistema estacionario, sin emisión neta de CO_2)**

$(CT_{en} + CT_{ed}) = (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y sin cambios en CT_{sed}

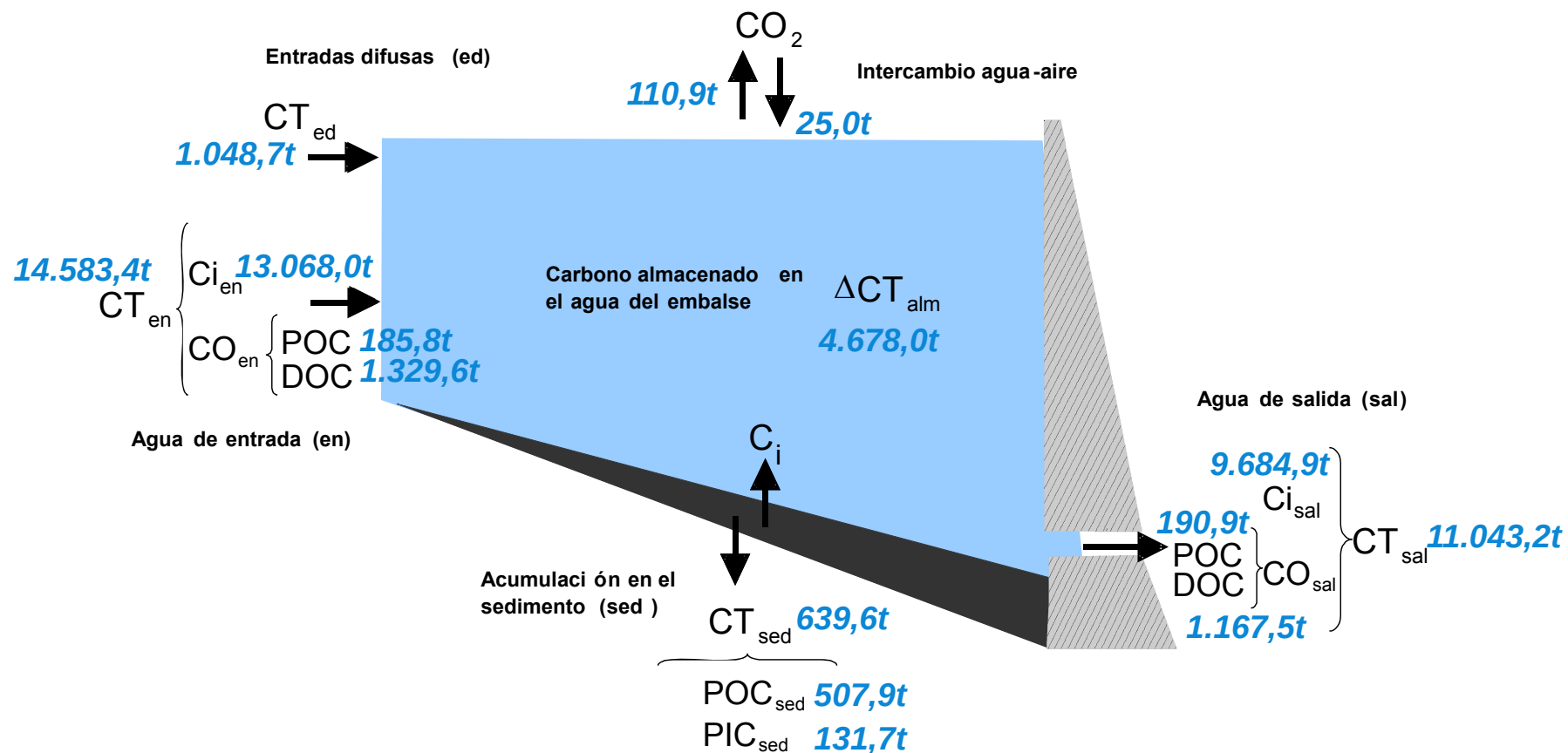
Material y métodos de muestreo



Resultados: balance hidrológico durante el periodo de estudio

PERÍODO	Inicio	Final
Período del estudio	29/04/02	04/03/03
Días transcurridos	309	
EMBALSE DE SUSQUEDA	Entrada	Salida
Volumen del embalse (hm^3)	86,45	215,12
Incremento de volumen (hm^3)		+128,67
RÍO TER		
Flujo de agua (hm^3)	376,46	305,73
Diferencia entre entradas y salida (hm^3)	70,3	
TRIBUTARIOS		
Entradas al embalse (hm^3)	57,94	

Resultados: balance de carbono para el periodo de estudio



Resultados: tabla-resumen

		Entrada	Salida
CTen CTsal	DIC en el agua (t)	13.068,0	9.684,9
	DOC en el agua (t)	1.329,6	1.167,5
	POC en el agua (t)	185,8	190,9
	C total en el agua (t)	14.583,4	11.043,2
CTed	C total en el agua (t)	1.048,7	
ΔCTalm	C total en el embalse (t)		4.678,0
ΔCO_2	Emisión de CO ₂ (t)		85,9
CTsed	POC incorporado al sedimento (t)		507,9
	PIC incorporado al sedimento (t)		131,7
	C total incorporado al sedimento (t)		639,6

Entradas [15.632,1 t] = Salidas [11.043,2 t] + Δ agua [4.678,0 t] + Δ sedim [639,6 t] + Δ atm [-85,9 t]

Entradas [15.632,1 t] ~ Salidas + variaciones de masa [15,721,2 t] ($\pm 0,6\%$)^a

Emisión neta a la atmosfera [85,9 t] < Acumulación en el sedimento [636,9 t]

(a) Error asociado a medidas locales y extrapolaciones

Interpretación y valoración de los resultados

$[CT_{en} + CT_{ed} = 15.632 \text{ t}] \leq [CT_{sal} + CT_{alm} = 15.721 \text{ t}]$ y $\Delta CT_{sed} > [CO_2]_{atmosf.} \uparrow$
 $(CT_{en} + CT_{ed}) \leq (CT_{sal} + \Delta CT_{alm})$ y $CT_{sed} \uparrow$: Autotrófico con fijación de CO_2

Embalse que actúa como sumidero de carbono:

Emite a la atmósfera $223 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Retiene en los sedimentos $1.822 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

El embalse fija $1.599 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Algunos datos comparativos disponibles

Retención media de carbono en sedimentos de lagos: $165\text{-}550 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Emisión media de embalses tropicales: $3.630 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Emisión media de embalses boreales y templados: $1.130 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Emisión media de los lagos boreales y templados: $1.150 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Fijación del bosque mediterráneo: $1.406 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Fijación del matorral mediterráneo: $804\text{-}1.004 \text{ mg } CO_2 \cdot m^{-2} \text{ día}^{-1}$

Conclusiones

¿Es cierto que los embalses emiten GEI?

Si, todos los embalses emiten GEI, como lo hacen todos los medios y sistemas, naturales o artificiales conocidos, donde hay actividad biológica basada en la química del C, H, O y el N.

¿Es cierto que los embalses emiten más gases con efecto invernadero que los ecosistemas naturales a los que reemplazan?

No, al menos no siempre.

¿Es cierto que los embalses producen más emisiones que los lagos naturales?

No, al menos no siempre.

¿Es cierto que todos los embalses contribuyen al cambio climático?

No, al menos no siempre. Pueden ser contribuyentes netos cuando emiten grandes cantidades de CH_4 (molécula 21 veces más activa como GEI que el CO_2).

IMPORTANTE: El CO_2 emitido por los embalses, es **carbono actual** fijado recientemente en su cuenca o en el propio embalse. Por lo tanto, a nivel de balance de cuenca y a la escala temporal de valoración adecuada, no cabría esperar una contribución neta de gases con efecto invernadero, excepto si hay una producción muy importante de metano (CH_4) que llegue a la superficie de lámina de agua y escape a la atmósfera.

¿De qué depende la producción y potencial emisión de CH_4 en los embalses?

Del estado trófico, del tipo de ciclo térmico y de la gestión hidráulica de la masa de agua.

Lo que los embalses “procesan” y nunca se habla...



Gracias por su atención

Fuentes de información utilizadas para la elaboración de la presentación:

Palau, A. y M. Alonso. 2008. *Embalses y Cambio Climático*. Monografía de Endesa. Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. ENDESA. Madrid. 47 pp.

Palau, A. y C. Prieto (2014). *Cambios en la escorrentía superficial: posibles causas y efectos*. Jornada sobre Cambio Climático y Cambio Global en los Recursos Hídricos. Grupo de Cáceres. As Pontes (A Coruña).