

Boletín de ejercicios 2: Productividad secundaria y ciclos biogeoquímicos Soluciones

1. La producción mundial de abonos nitrogenados es aproximadamente de 90 millones de toneladas/año (medidas como toneladas de nitrógeno fijado). Comparativamente, la fijación natural de nitrógeno (mediante los microorganismos que lo fijan al suelo) en ecosistemas terrestres no sometidos a usos agrícolas es de unos 150 millones de toneladas de nitrógeno al año.

(a). Considerando que la agricultura abarca el 15% de la NPP terrestre global, y que la composición química de la materia orgánica vegetal cumple la ratio de Redfield, ¿qué cantidad anual de nitrógeno necesitan los cultivos agrícolas? ¿Qué porcentaje de estas necesidades de nitrógeno pueden cubrir, como máximo, los fertilizantes industriales? Suponga que la totalidad de los fertilizantes que se producen en un año es utilizada en ese mismo año.

NPP global para usos agrícolas = 8×10^{15} g C/año (Tabla 25.1 de Krebs)

Para convertirla en nitrógeno, utilice la ratio de Redfield: 106 moles C : 16 moles N

$$\begin{aligned} \text{g N requerido} &= (8 \times 10^{15} \text{ g C/año}) * (1 \text{ mol C}/12 \text{ g C}) * (16 \text{ mol N}/106 \text{ mol C}) * (14 \text{ g N}/1 \text{ mol N}) \\ &= \boxed{1,4 \times 10^{15} \text{ g N/año}} \quad (1 \text{pto}) \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad total de N añadida con fertilizantes} = (90 \times 10^6 \text{ tons/año}) * (10^6 \text{ g/ton}) = 9 \times 10^{13} \text{ g N/año}$$

Porcentaje de necesidades de N cubiertas mediante fertilizantes:

$$= 100 * (9 \times 10^{13} \text{ g N/año}) / (1,4 \times 10^{15} \text{ g N/año}) \cong \boxed{6 \%} \quad (1 \text{pto})$$

(b). Indique dos fuentes principales de N que compensen el desequilibrio entre la cantidad de N que requieren los cultivos y la cantidad aportada por los fertilizantes industriales.

Fijación de nitrógeno por microorganismos del suelo (especialmente en las raíces de leguminosas)

Reciclaje del nitrógeno orgánico a partir de materia vegetal muerta

Otras fuentes de fertilizantes (estiércol, fango, etc)

(0,5 pts por cada dos fuentes mencionadas correctamente)

(c). En realidad, una parte considerable de los fertilizantes que se emplean en zonas agrícolas no abona los cultivos, sino que acaba disuelta en las aguas superficiales (una de las principales causas de la eutricación) o arrastrada a los ecosistemas terrestres contiguos. Supongamos que una tercera parte de estos fertilizantes termina abonando ecosistemas no destinados a usos agrícolas. Si todo este exceso de nitrógeno se transforma en biomasa adicional, ¿qué cantidad de carbono es secuestrada a causa de ello? ¿Qué porcentaje de la NPP terrestre global representa dicha cantidad? ¿Qué indica el resultado obtenido con respecto a la capacidad del hombre para incrementar la absorción de carbono en los sistemas terrestres mediante la fertilización de bosques y pastizales?

Porcentaje de N que se fuga de las zonas agrícolas = $(1/3) * (9 \times 10^{13} \text{ g N/año}) = 3 \times 10^{13} \text{ g N/año}$
Convirtiendo todo este nitrógeno en materia orgánica:

$$= (3 \times 10^{13} \text{ g N/año}) \cdot (1 \text{ mol N} / 14 \text{ g N}) \cdot (106 \text{ mol C} / 16 \text{ mol N}) \cdot (12 \text{ g C} / \text{mol C})$$

$$= \boxed{1,7 \times 10^{14} \text{ g C} = 0,17 \text{ petagramos de C secuestrados}} \quad (1 \text{ pto})$$

Expresándolo como porcentaje de la NPP terrestre global (56,4 petagramos C/año):

$$= 100 \cdot (0,17 \text{ petagramos C/año}) / (56,4 \text{ petagramos C/año}) = \boxed{0,3\% \text{ de NPP global anual}} \quad (1 \text{ pto})$$

Este porcentaje tan bajo indica que el aumento del uso de fertilizantes incrementa escasamente la NPP terrestre anual. El total de fertilizantes que se fabrican actualmente sólo incrementaría en un 1% la NPP global anual. En comparación con los 1,7 petagramos de carbono que se “pierden” en la atmósfera, tal fertilización supone únicamente el 10% de esta cantidad de carbono.

(1 pto por respuestas correctas de este tipo)

2. La reducción de emisiones de SO_2 a la atmósfera es un interés prioritario, ya que el SO_2 , junto con el NO_2 , contribuye sustancialmente a la formación de lluvia ácida. Además, las concentraciones altas de SO_2 dañan a las plantas producen irritaciones en el aparato respiratorio humano. Una de las principales fuentes de emisión de SO_2 es la combustión de carbón.

Cantidad total de carbón que se quema anualmente en el planeta: $3,1 \times 10^{12} \text{ kg}$
 Contenido medio de azufre en carbón (por peso): 2,5%

(a). Suponiendo que la totalidad del azufre contenido en el carbón produzca SO_2 , ¿cuánto SO_2 procedente de la combustión de carbón se libera anualmente a la atmósfera? (En realidad, no se libera todo ese SO_2 ya que muchas de las fábricas en las que se quema carbón utilizan depuradores y otras técnicas de control para reducir sus emisiones de SO_2).

Cantidad anual de SO_2 liberada por combustión de carbón: (peso molecular de S = 32; de SO_2 = 64)

$$= (3,1 \times 10^{12} \text{ kg carbón}) \cdot (0,025 \text{ kg S} / \text{kg carbón}) \cdot (64 \text{ kg SO}_2 / 32 \text{ kg S}) = \boxed{1,6 \times 10^{11} \text{ kg SO}_2 / \text{año}} \quad (1 \text{ pto})$$

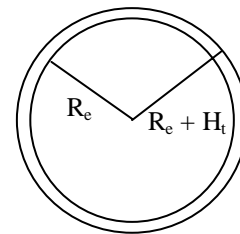
(b). Calcule el volumen del conjunto de la troposfera. Si todo el SO_2 liberado por la combustión de carbón permaneciera en la troposfera, ¿cuál sería la concentración de SO_2 prevista en la troposfera (en unidades de moles de $\text{SO}_2 \text{ m}^{-3}$)?

Volumen de la troposfera:

$$\text{Radio de la Tierra } (R_e) = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\text{Altitud de la troposfera } (H_t) = 16 \text{ km} = 1,6 \times 10^4 \text{ m}$$

$$R_e + H_t = 6,386 \times 10^6 \text{ m}$$



$$\text{Volumen} = (4/3) \cdot \Pi \cdot ((R_e + H_t)^3 - R_e^3) = \boxed{8,2 \times 10^{18} \text{ m}^3} \quad (1 \text{ pto})$$

Concentración de SO_2 prevista después de un año:

$$\text{Concentración} = \text{masa} / \text{volumen} = (1,6 \times 10^{14} \text{ g SO}_2 / \text{año}) \cdot (1 \text{ mol SO}_2 / 64 \text{ g SO}_2) / (8,2 \times 10^{18} \text{ m}^3)$$

$$= \boxed{3,0 \times 10^{-7} \text{ mol} / \text{m}^3} \quad (1 \text{ pto})$$

(c). Compare este dato con las concentraciones medias globales de $1,3 \times 10^{-8} \text{ mol m}^{-3}$ (0,3 ppb por volumen)? Explique las diferencias observadas.

Es una concentración 23 veces superior a las concentraciones reales medidas.

Causas de la diferencia (cualquiera de las siguientes es válida, y hay otras posibles): (1 pto)

- Depuradores y otras técnicas de control**
- Escaso tiempo de residencia en la atmósfera**
- Alta solubilidad en precipitación**

(d). Se calcula que la erupción en 1991 del volcán Pinatubo en Filipinas liberó aproximadamente $7 \times 10^{12} \text{ g S}$. ¿Cuántas erupciones de esta clase equivaldrían a las emisiones anuales de azufre por combustión de carbón?

Emisiones anuales de S = $(3,1 \times 10^{12} \text{ kg carbón}) \cdot (0,025 \text{ kg S /kg carbón}) = 7,75 \times 10^{13} \text{ g S}$

Número de erupciones = $(7,75 \times 10^{13} \text{ g S}) / (7 \times 10^{12} \text{ g S / erupción}) =$ 11 Erupciones (1 pto)

3. Un contaminante se vierte en un lago a razón de $0,16 \text{ g/día}^{-1}$. El volumen del lago es $4 \times 10^7 \text{ m}^3$ y el caudal medio es de $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}^{-1}$. Suponemos que la sustancia contaminante se halla disuelta en el lago de modo uniforme y que no ha sido consumida por ningún organismo.

(a). ¿Qué concentración en estado estacionario alcanzará el contaminante en el lago?

C = concentración en el lago. $Q_{\text{entra}} = Q_{\text{sale}} = 8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}$. $V = 4 \times 10^7 \text{ m}^3$

En estado estacionario, $\Delta C = 0$, luego masa que entra = masa que sale (1 pto)

Masa que entra = $0,16 \text{ g/día}$

Masa que sale = $Q_{\text{sale}} \cdot C = (8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}) \cdot C$

$0,16 \text{ g/día} = (8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}) \cdot C \Rightarrow C = (0,16 \text{ g/día}) / (8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día})$

en estado estacionario, $C = 2 \times 10^{-6} \text{ g/m}^3 = 2 \mu\text{g/m}^3$ (1 pto)

(b). Una vez alcanzado el estado estacionario, ¿cuál es su tiempo de residencia en el lago?

$\tau = \text{masa/flujo}$ (1 pto)

$\text{masa} = C \cdot V = (2 \times 10^{-6} \text{ g/m}^3) \cdot (4 \times 10^7 \text{ m}^3) = 80 \text{ g}$

$\tau = (80 \text{ g}) / (0,16 \text{ g/día}) =$ 500 días \cong 1,4 años (1 pto)

(c). Imagine que unos biólogos descubren la presencia en el lago de una especie de pez en peligro de extinción y muy sensible al contaminante, y que logran desviar del lago el flujo de éste. Para que la concentración de contaminante en estado estacionario se considere "segura" es preciso reducirla a 1/10 en estado estacionario. Una vez detenido el vertido del contaminante, ¿cuánto tiempo será necesario para que su concentración llegue a un nivel "seguro"?

Ahora, masa que entra = 0

$$\Delta \text{masa} = \text{masa que sale} \Rightarrow \nabla \Delta C = -C(t) * Q_{\text{sale}} * \Delta t \quad (1 \text{ pt})$$

$$dC/C = - (Q/\nabla) * dt$$

Condición límite: en $t = 0$, $C = C_0 = 2 \times 10^{-6} \text{ g/m}^3$

$$\text{En}(C(t)/C_0) = -(Q/\nabla) * t$$

Queremos hallar el tiempo t en el que $C = 0,1 * C_0$

$$t = -(\nabla/Q) * \text{En}(0,1C_0 / C_0)$$

$$= - [(\text{En}(0,1)) * (4 \times 10^7 \text{ m}^3)] / (8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}) = 1150 \text{ días} \cong \boxed{3,1 \text{ años}} \quad (1 \text{ pto})$$

4. Suponga que está a cargo de una flota pesquera que tiene derechos exclusivos de pesca en el Mediterráneo, y cuyas capturas son $20 \times 10^5 \text{ tons km}^{-2} \text{ año}^{-1}$. El inventario de las especies capturadas y sus características arrojan los siguientes datos (en peso húmedo):

Especie	Capturas (tons km^{-2} $\text{año}^{-1} \times 10^6$)	Nivel trófico	Eficiencia de asimilación A_n/I_n	Eficiencia de producción P_n/A_n	Eficiencia de consumo I_n/P_{n-1}	Eficiencia ecológica P_n/P_{n-1}
atún	3	4	0,80	0,30	0,50	(i) 0,12
anchoas	10	3	0,70	0,30	0,60	(ii) 0,126
zooplancton	7	2	0,30	0,50	0,70	(iii) 0,105
fitoplancton	--	1	--	--	--	--

Eficiencia ecológica (eficiencia de transferencia entre niveles tróficos o eficiencia trófica):

$$= (A_n / I_n) * (P_n / A_n) * (I_n / P_{n-1}) = P_n / P_{n-1} = \text{eficiencia de explotación} \times \text{asimilación} \times \text{producción}$$

a. Calcule la eficiencia ecológica entre los niveles tróficos: (2 ptos)

(i) 3 y 4: $P_n/P_{n-1} = 0,8 * 0,3 * 0,5 = 0,12$

(ii) 2 y 3: $P_n/P_{n-1} = 0,7 * 0,3 * 0,6 = 0,126 \cong 0,13$

(iii) 1 y 2: $P_n/P_{n-1} = 0,3 * 0,5 * 0,7 = 0,105 \cong 0,11$

b. ¿Por qué es mayor la eficiencia de asimilación de anchoas y atún que la del zooplancton? (1 pto)

Generalmente, los organismos asimilan mejor los alimentos que más se les parecen. De ahí que las eficiencias de asimilación de los carnívoros tiendan a ser las más altas y las de los herbívoros, las más bajas, debido a la presencia de materiales no digeribles en las plantas.

c. ¿Cuál es la productividad primaria requerida (PPR) para producir la captura anual de peces?

Supongamos que 9 g de peso neto de pescado equivalen a 1 g de C. Exponga los argumentos y las operaciones que le han llevado a la solución. (Consulte el artículo de 1995 de Pauly y Christensen).

(3 ptos)

Para cada nivel trófico, $PPR = \text{capturas (en peso húmedo)} * (\text{conversión a C}) / (\text{eficiencias})$

Para zooplancton (zp): $(7 \times 10^6 \text{ tons zp}) * (1 \text{ ton C} / 9 \text{ ton zp}) * (1 \text{ ton fitoplancton}) / (0,105 \text{ tons zp})$
 $= 7,4 \times 10^6 \text{ tons C} / \text{km}^2 / \text{año}$

Anchoas: $(10 \times 10^6 \text{ tons anchoas}) * (1/9) / 0,105 / 0,126 = 8,4 \times 10^7 \text{ tons C} / \text{km}^2 / \text{año}$

Atún: $(3 \times 10^6 \text{ tons atún}) * (1/9) / 0,105 / 0,126 / 0,12 = 2,1 \times 10^8 \text{ tons C} / \text{km}^2 / \text{año}$

En conjunto: $3 \times 10^8 \text{ g C} / \text{km}^2 / \text{año}$

O bien, aplicando la fórmula de Pauly y Christensen y suponiendo una eficiencia trófica de 0,1

$PPR = (\text{capturas} / 9) (10^{TL-1})$

atún: $PPR = (3 \times 10^6 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}) / 9 * (10^{4-1}) = 3,3 \times 10^8 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}$

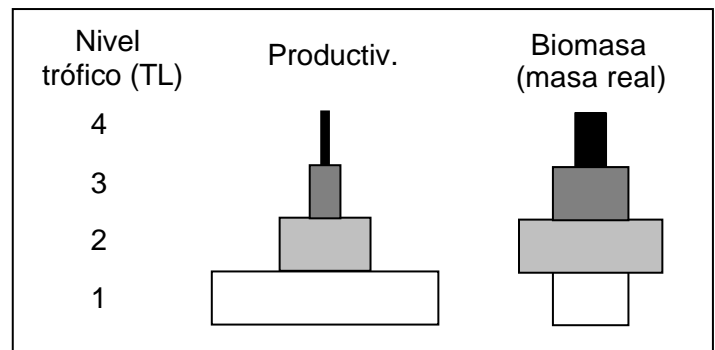
anchoas: $PPR = (10 \times 10^6 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}) / 9 * (10^{3-1}) = 1,1 \times 10^8 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}$

zooplancton: $PPR = (7 \times 10^6 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}) / 9 * (10^{2-1}) = 7,8 \times 10^6 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{año}$

$\Sigma PPR = 4,5 \times 10^8 \text{ tons C} / \text{km}^2 / \text{año}$

- d. El cuadro de la derecha muestra las magnitudes relativas de la productividad y la biomasa de cada uno de los 4 niveles tróficos (adaptado de la clase 7).
 ¿Cómo es posible que la cantidad de biomasa del nivel trófico 2 sea mayor que la del nivel trófico 1?

(2 ptos)



El tiempo de residencia de la biomasa del nivel trófico 1 es menor que el de la biomasa del 2, por lo que aunque el flujo hacia el nivel trófico 1 sea mayor, debido al mayor tiempo de residencia, el depósito de biomasa en el nivel trófico 2 puede ser más amplio.