



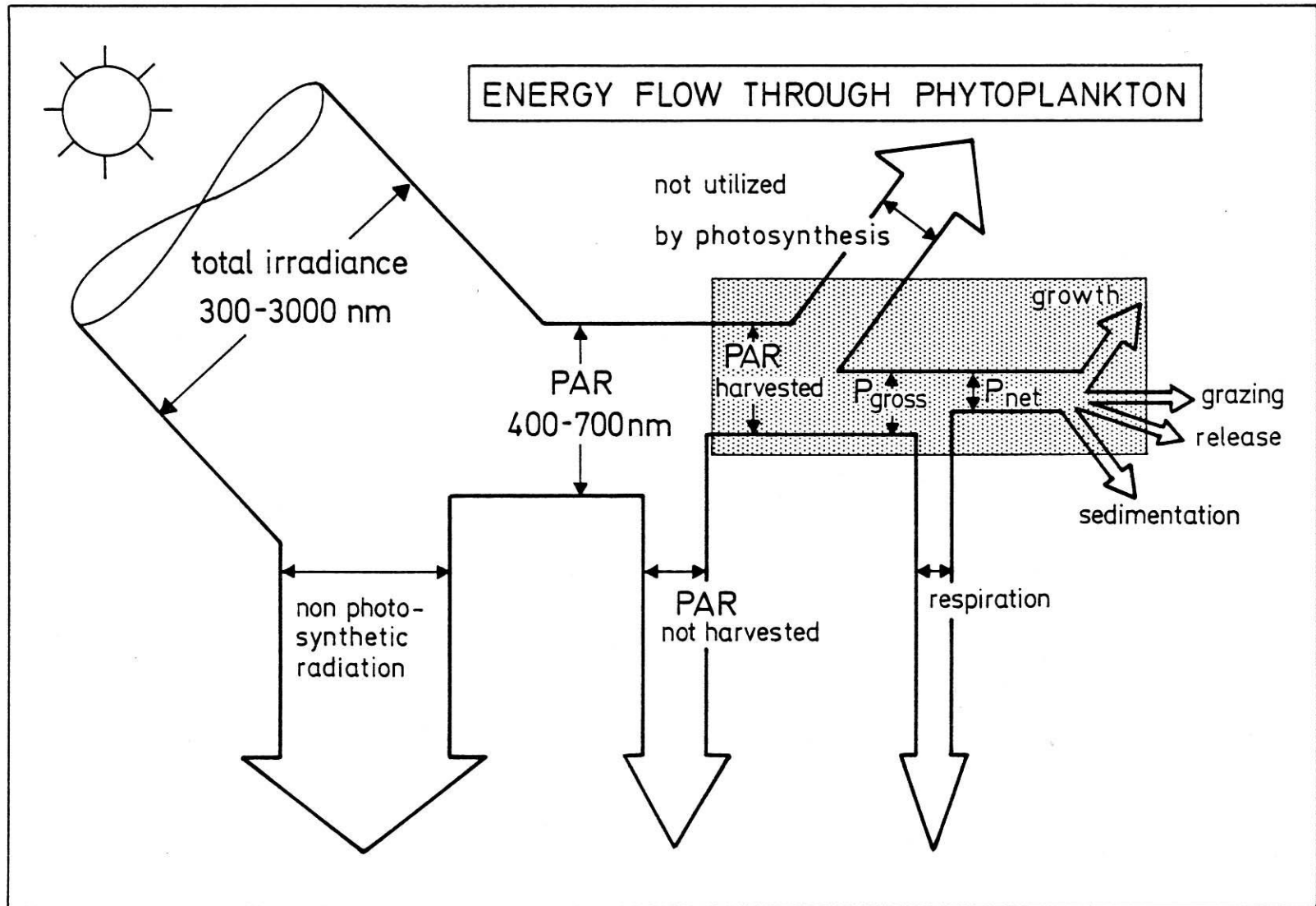
Curso LIMNOLOGÍA

Prof. Vivian Montecino

La luz en el agua

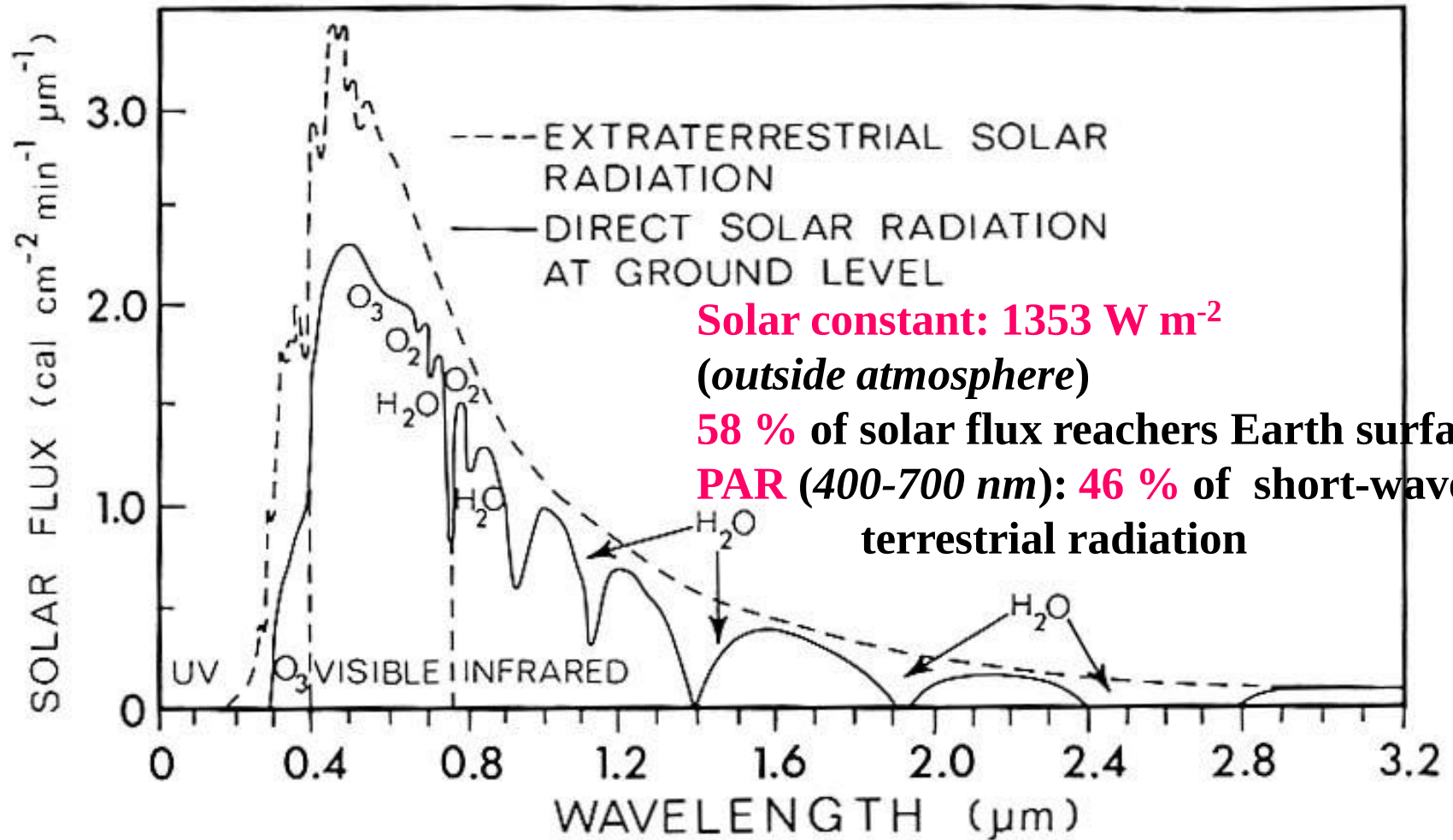
2012

Flujo de energía –productores primarios

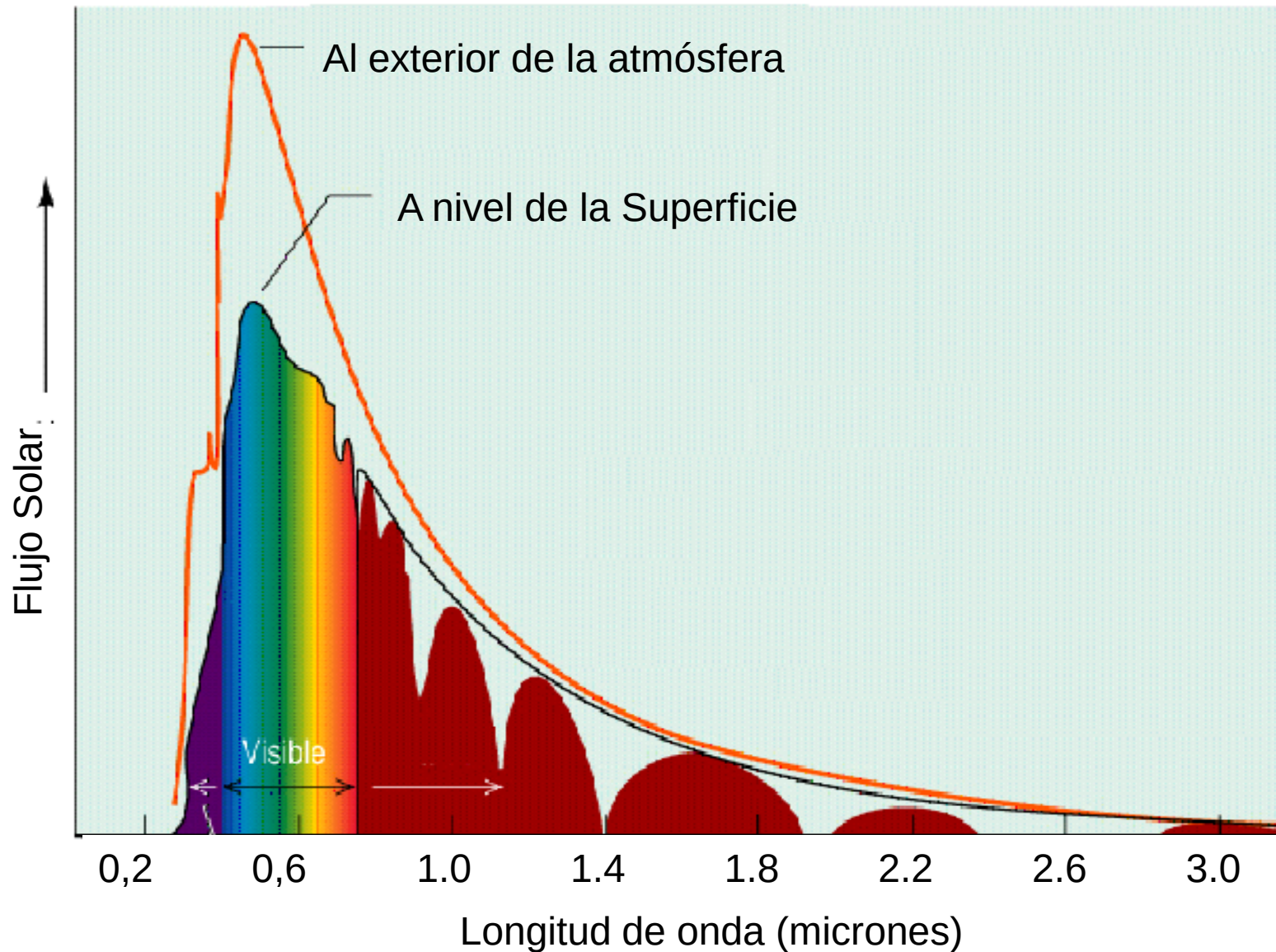


- ❖ Irradiación total incidente y dinámica física
- ❖ Transferencia de "E" en el medio acuático.
- ❖ Color en aguas naturales.
- ❖ Absorción y transparencia.

Radiación solar incidente

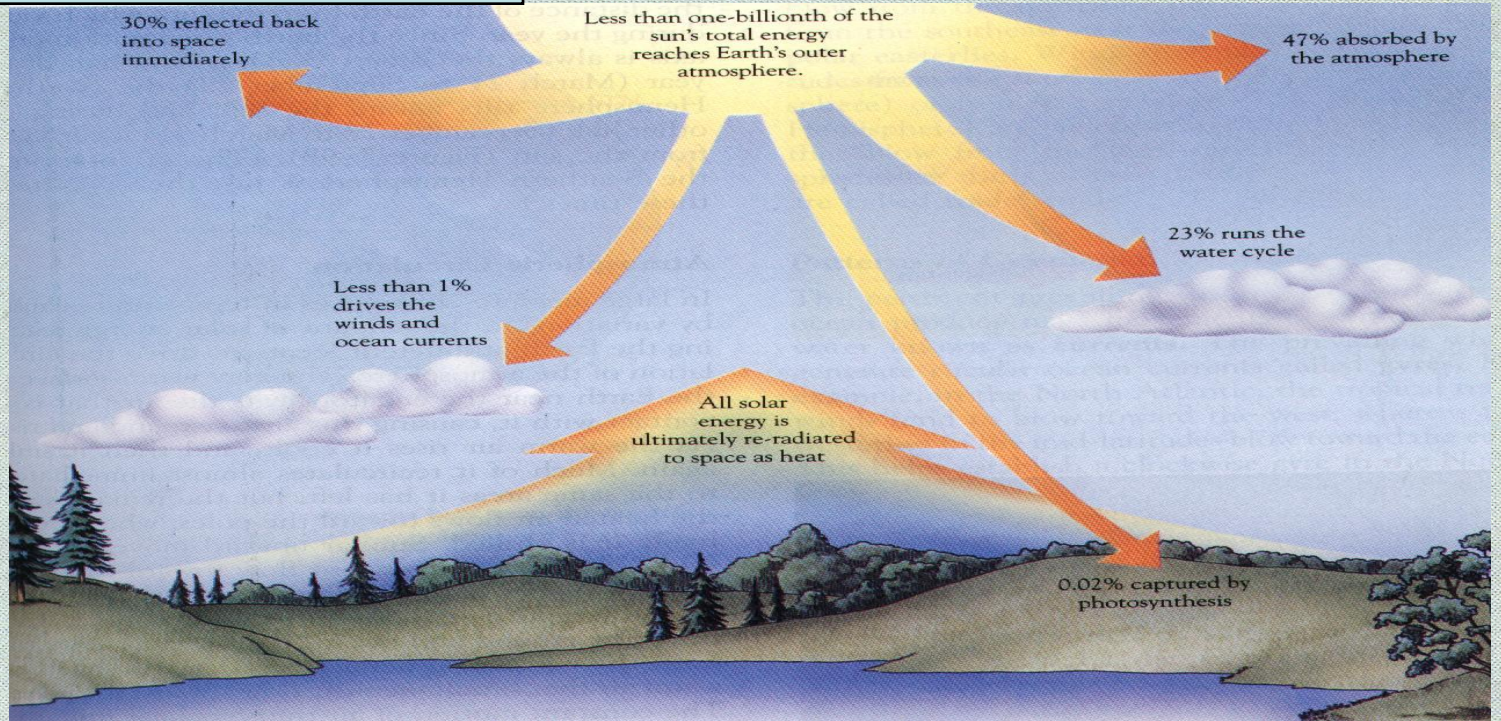


ESPECTRO ELECTROMAGNETICO SOLAR

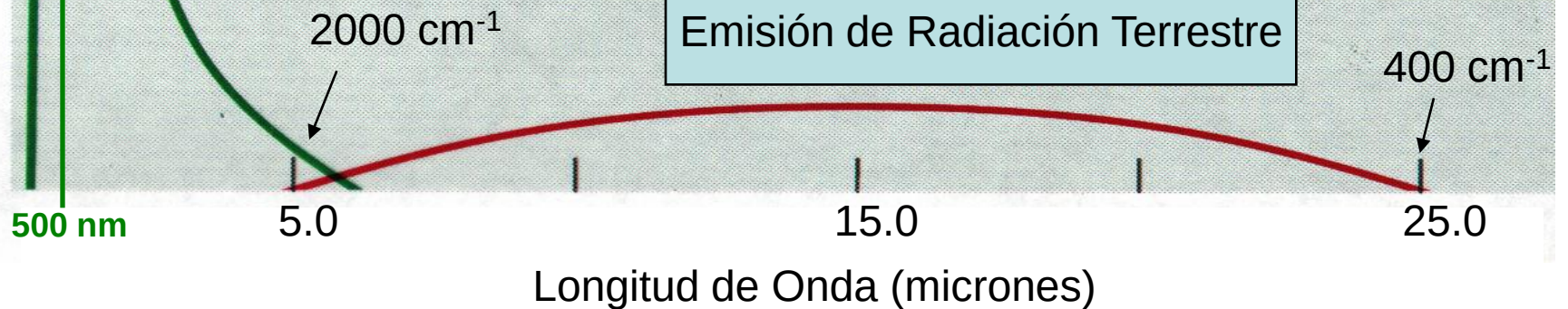


Flujo Radiativo

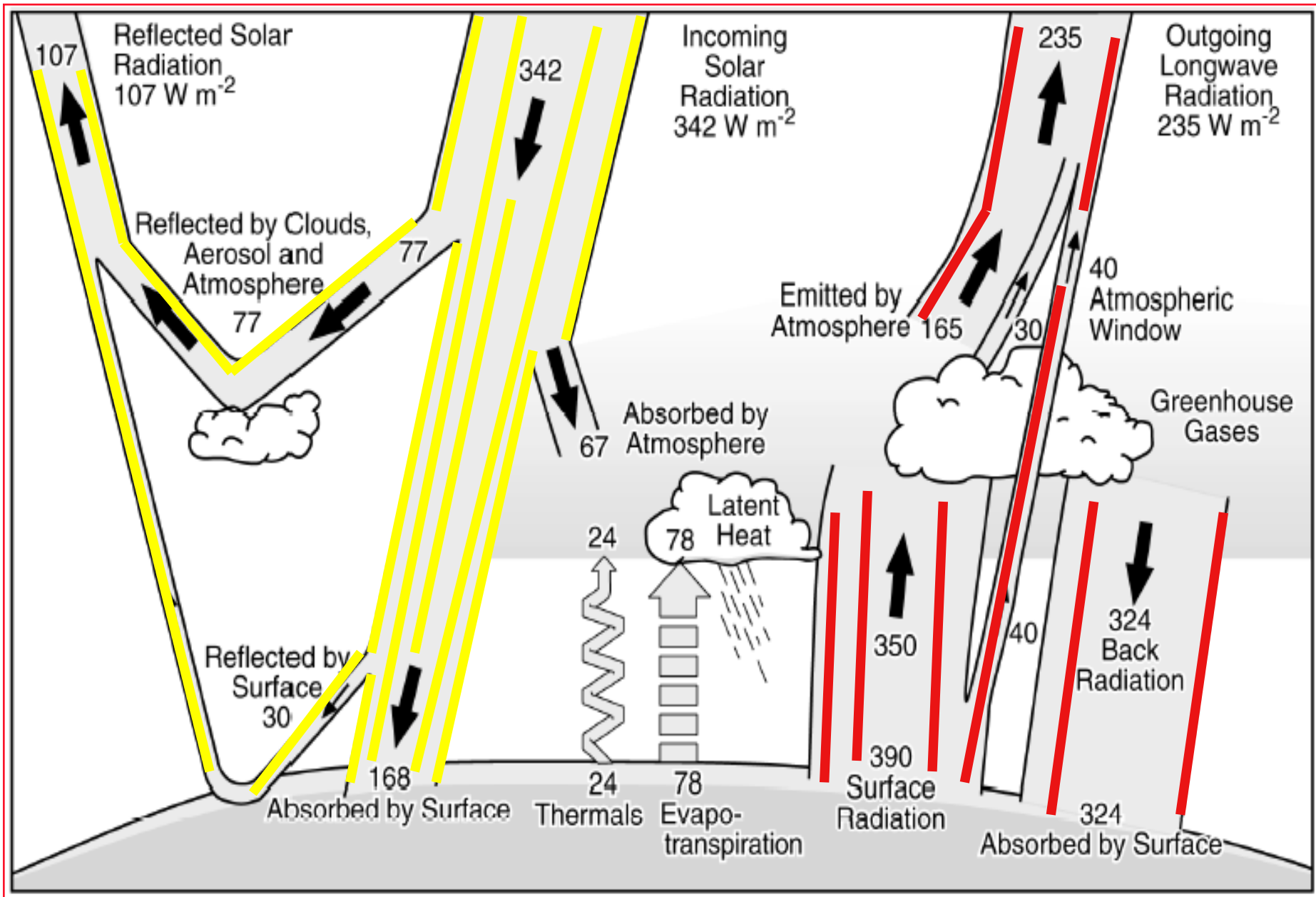
Radiación Solar entrante



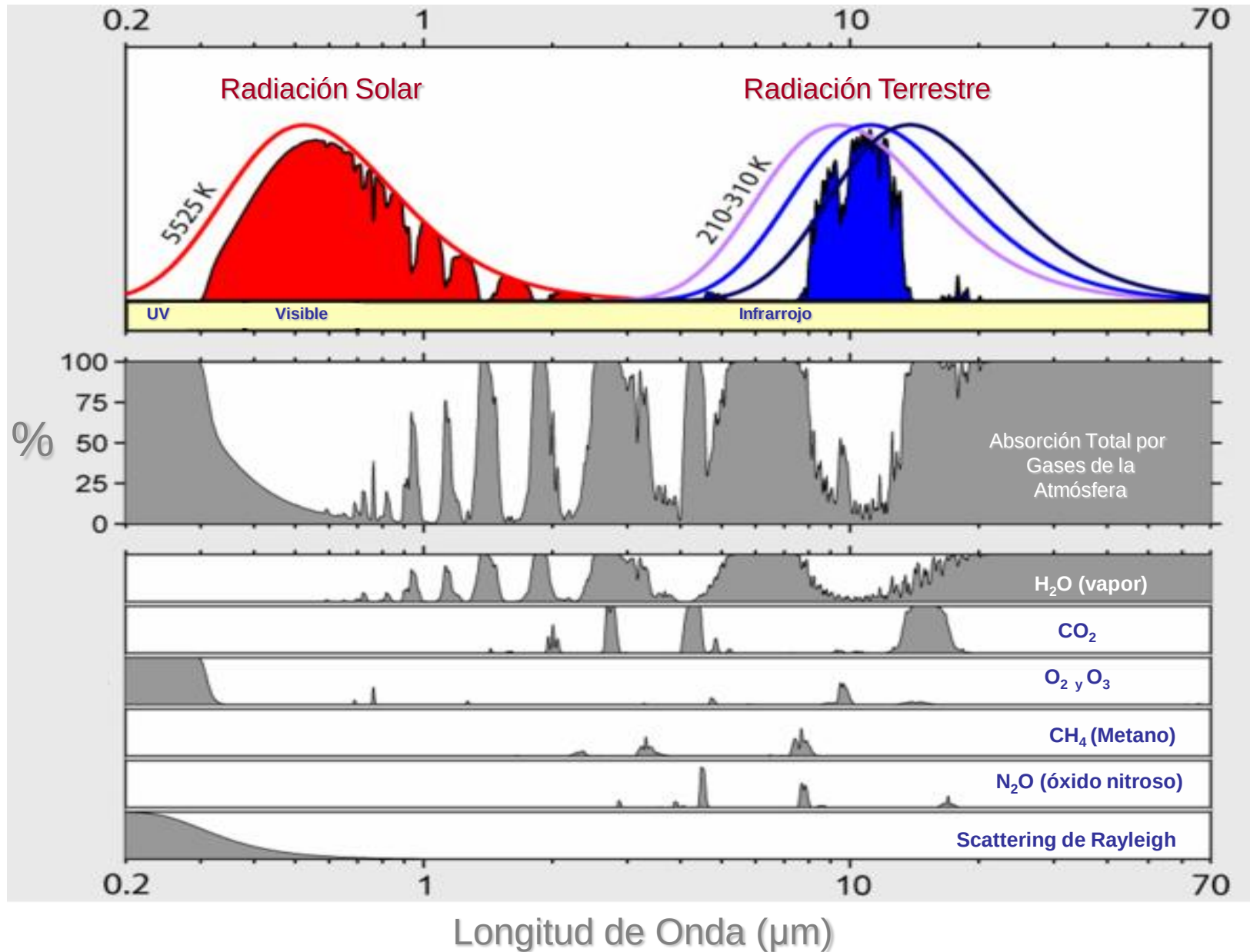
Emisión de Radiación Terrestre



BALANCE RADIATIVO TERRESTRE



Radiación Transmitida a través de la Atmósfera



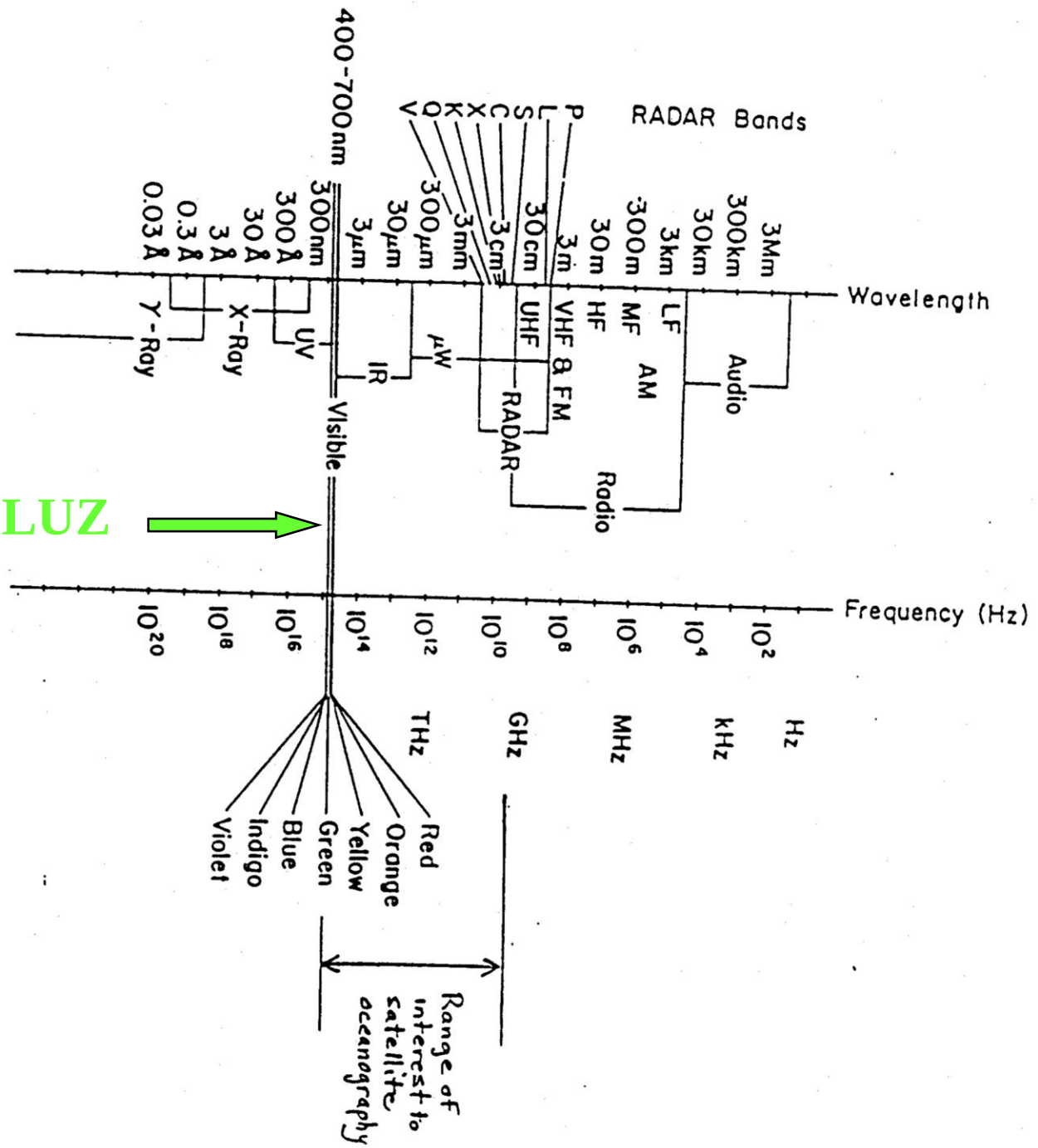
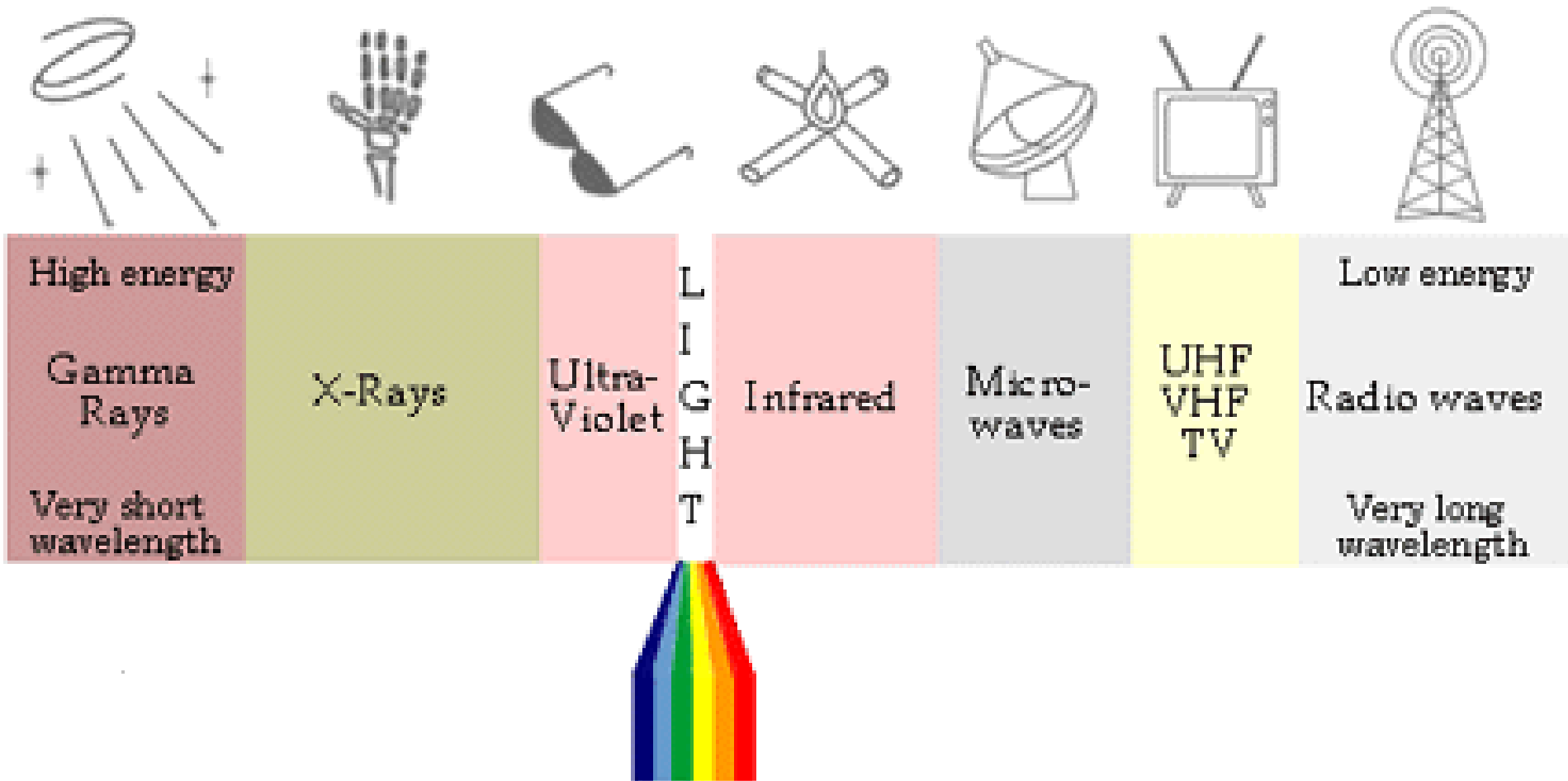
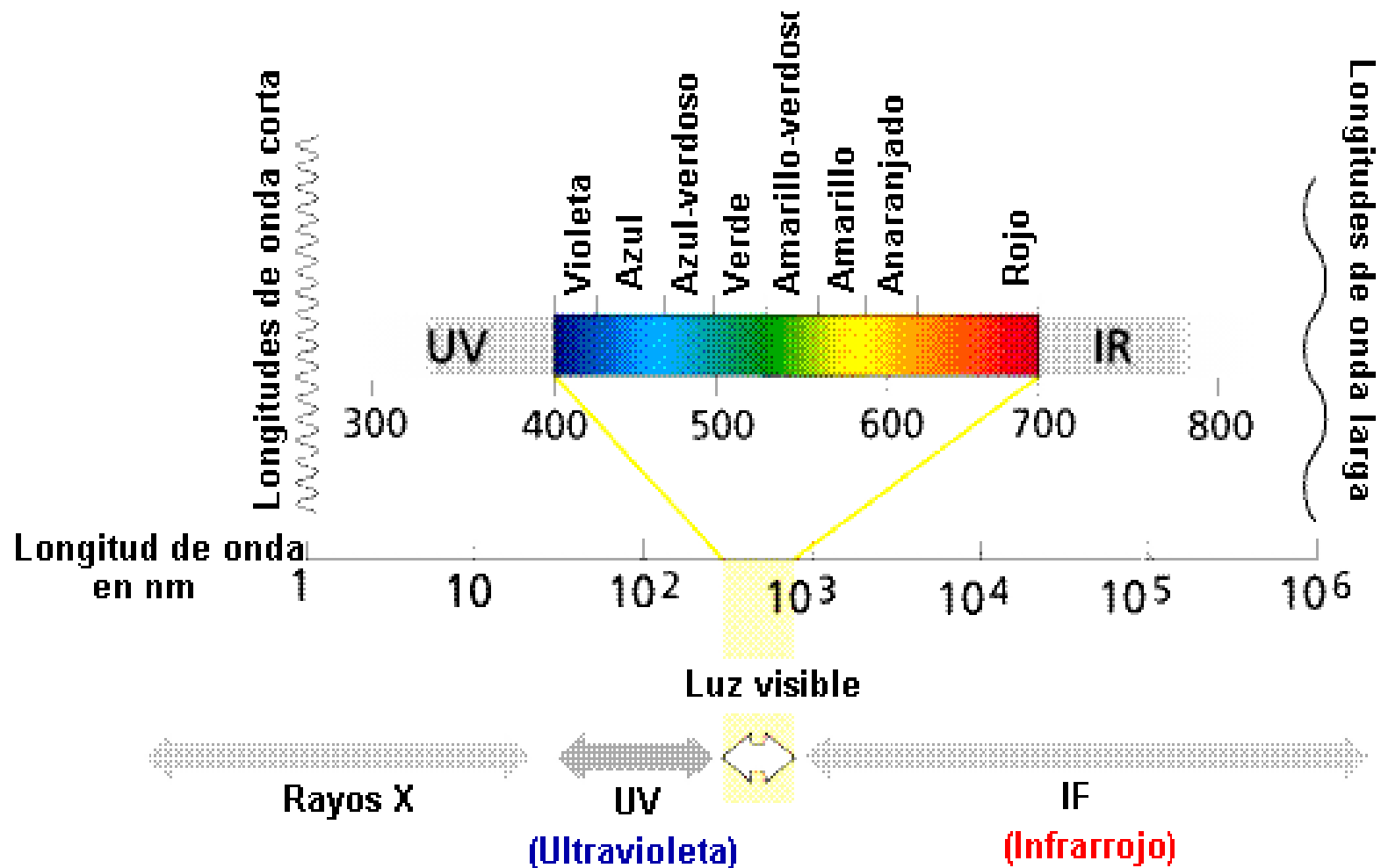


Figure 3.2. The bands of EMR as a function of frequency and wavelength (from Maul, 1985, p. 5).

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO SOLAR

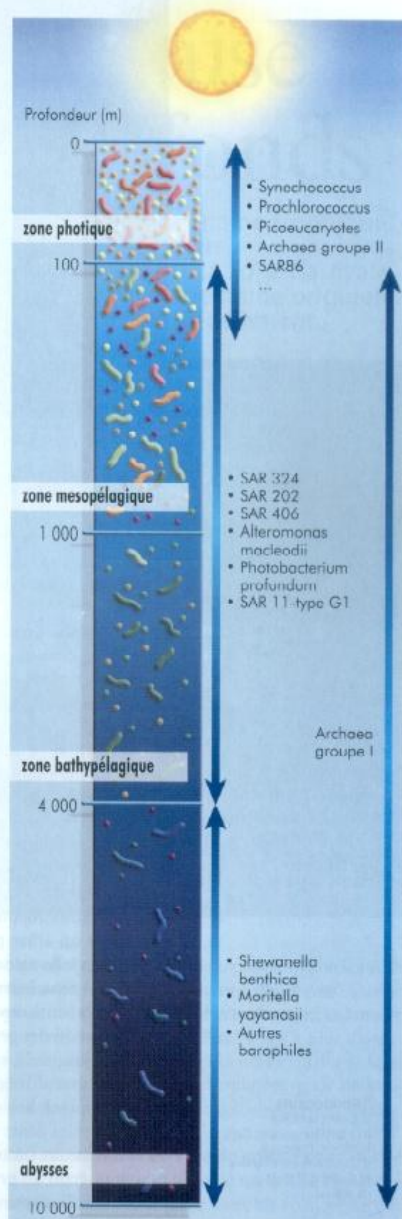


Cuando un rayo de luz pasa a través de un prisma, se rompe en colores. Los colores constituyen el espectro visible.



Bio-óptica acuática

Procesos físicos y biológicos que afectan las propiedades ópticas y su variabilidad - espacio- tiempo



La distribution du picoplancton dans l'océan

dépend en partie de la lumière. Ainsi le picophytoplancton – ou picoplancton photosynthétique – colonise-t-il surtout les 100, voire les 200 premiers mètres. En font partie les deux bactéries *Prochlorococcus* et *Synechococcus*



$$I_z = I_o e^{-kz}$$

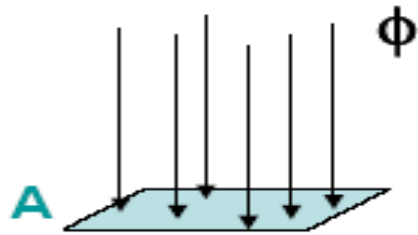
$$\% \text{ de luz} = I_z / I_o = e^{-kz}$$

$$\ln (I_z/I_o) = -kz$$

$$z = -\ln (I_z/I_o) / k$$

	%	ln
Zona eufótica	100.0	4.6
	1.0	0

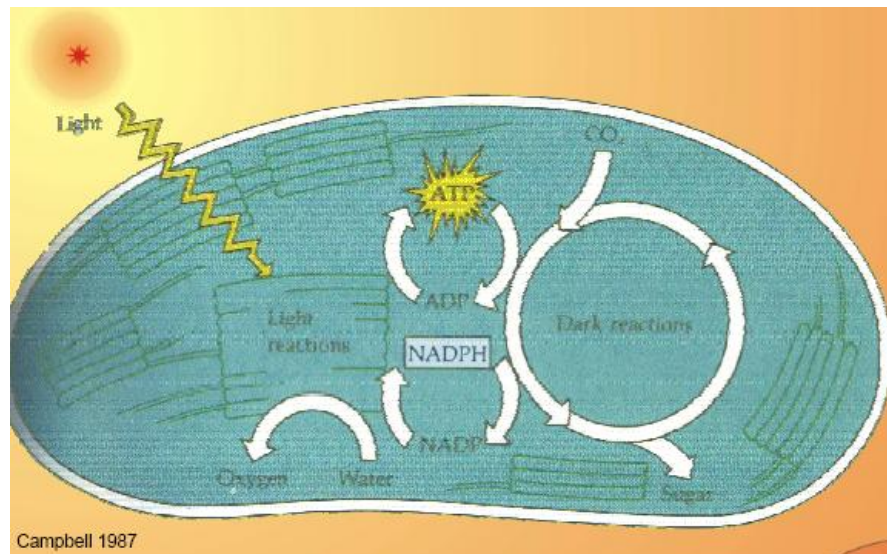
Densidad de flujo de radiación o Irradianza F_{λ}



$$F_{\lambda} = \phi_{\lambda} / A \quad (\text{W} / \text{m}^2)$$

También se usa la “**Densidad de flujo de fotones**” (particularmente para caracterizar la radiación PAR **P**hotosynthetically **A**ctive **R**adiation)

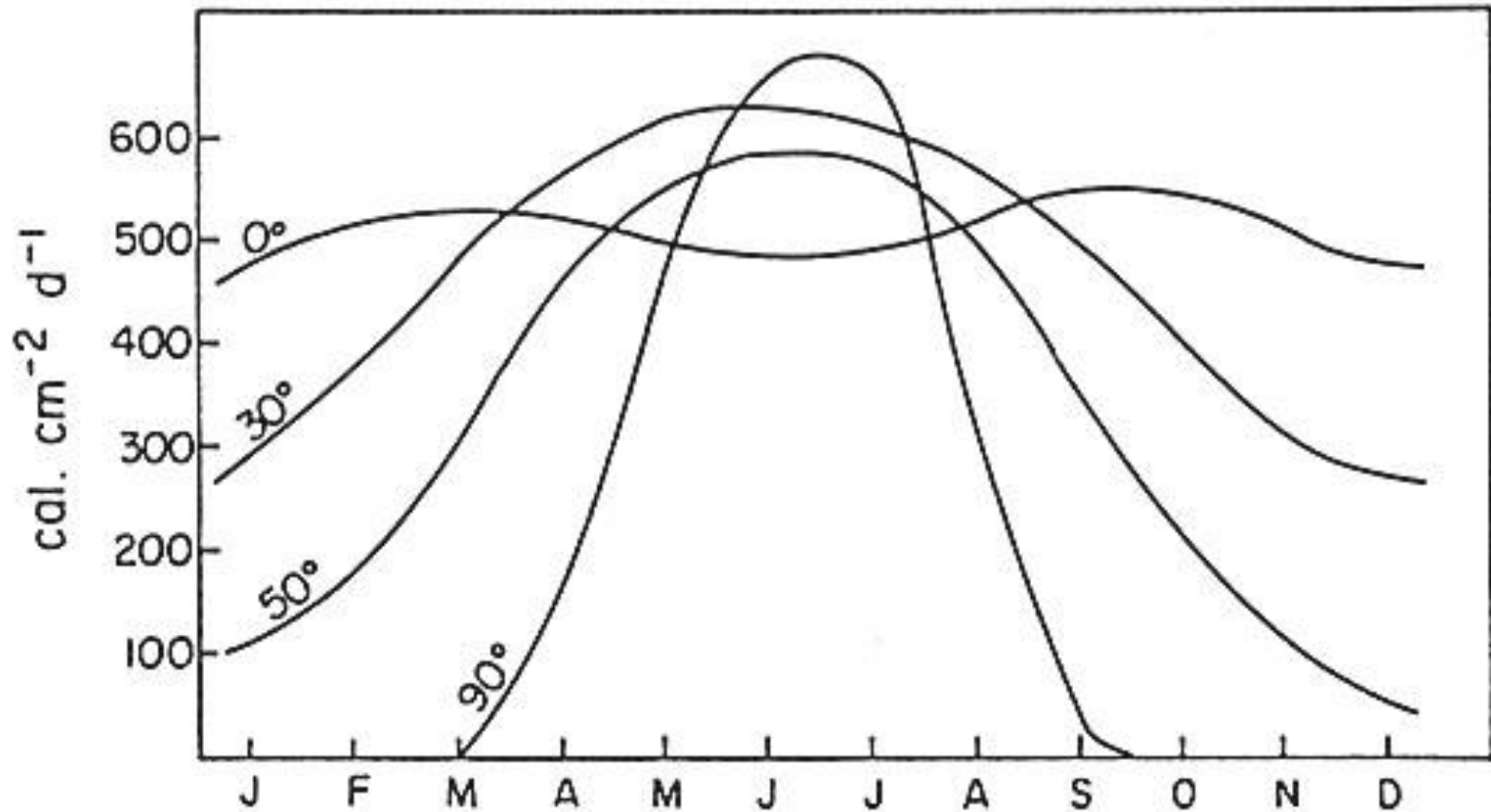
$$\frac{\text{mol de fotones}}{\text{área tiempo}} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ Avogadro de fotones}}{\text{área tiempo}} = \frac{\text{Einstein}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$



FOTOMETRICA		RADIOMETRICA			CUANTICA		
		575 nm			400-700 nm		
100000	10000	500	$5 \cdot 10^9$	500	120	1.3×10^{21}	2200
Lux	bujía	Wm^{-2}	ergs	J	Cal	fotones	μmoles

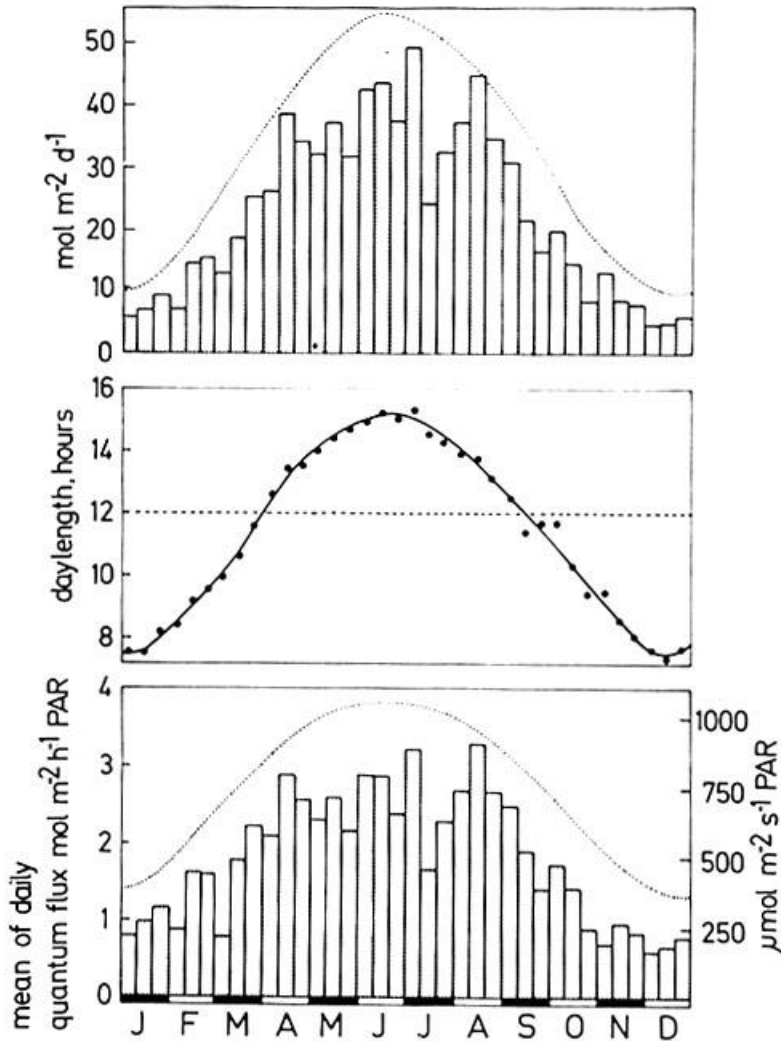
→ Einstein = 1 mol fotones (680 nm) = 42 K cal

Estacionalidad del flujo solar diario



Amplitud estacional de la energía radiante diaria aumenta con la latitud

Variabilidad estacional varía con:

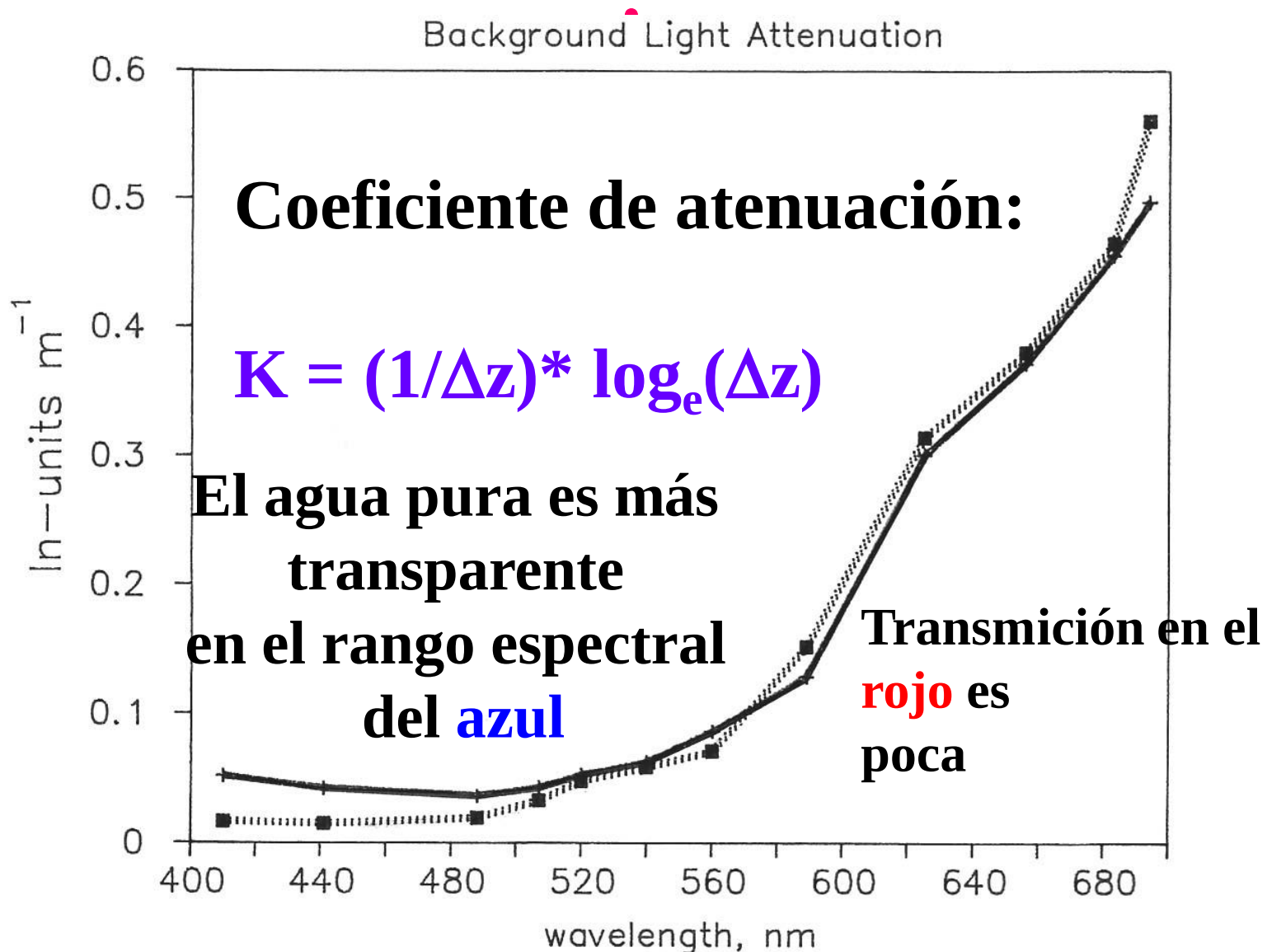


Duración del día

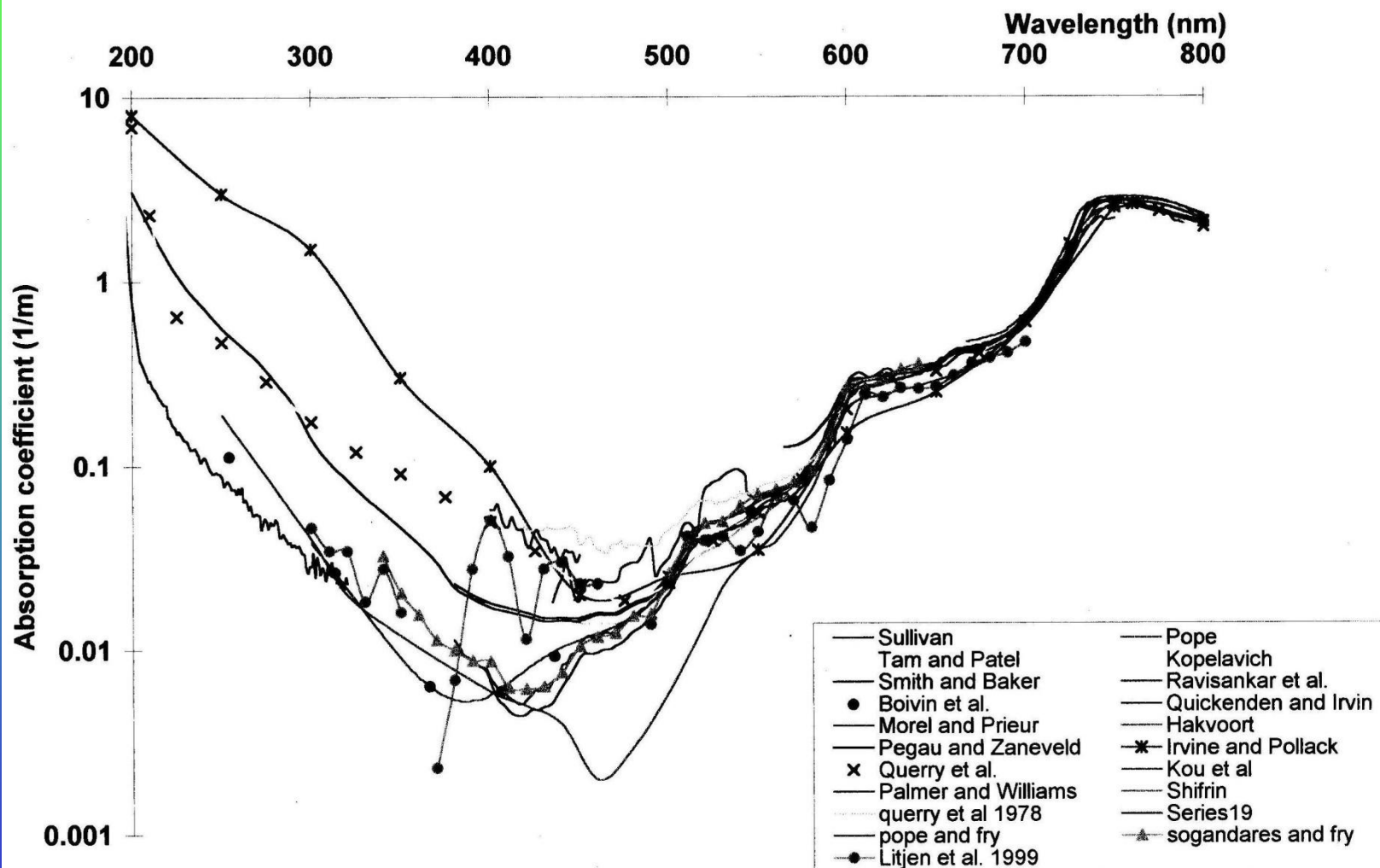
**Promedio de la
intensidad**

**(en función del
ángulo solar)**

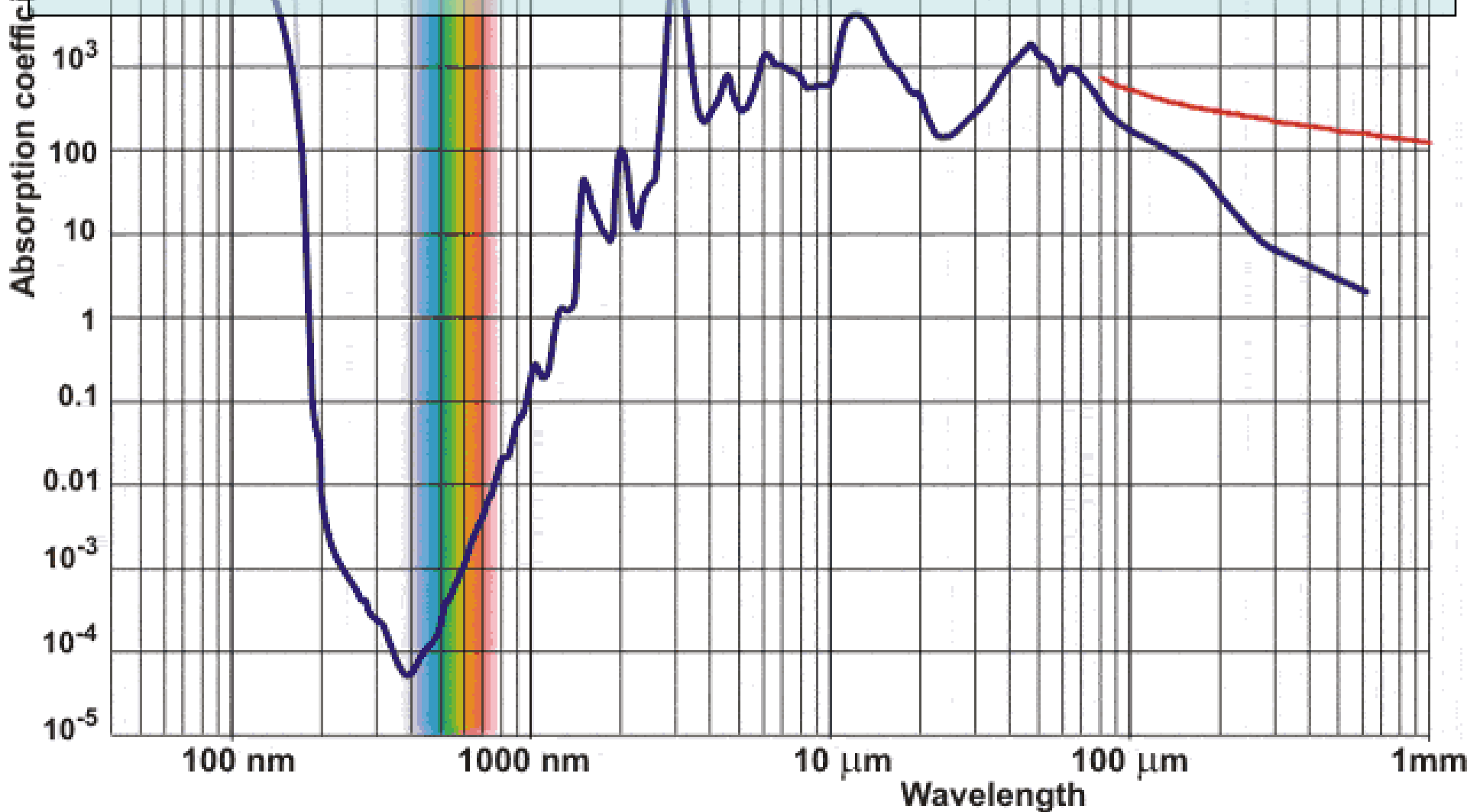
Atenuación de la luz por el agua



Absorption coefficient of pure water (S. Pegau, 1999)



El agua es transparente a la luz visible, lo que es favorable a la fotosíntesis y permite la producción de biomasa y oxígeno. El agua es "azul" debido a que la luz roja se absorbe 100 veces mas que la azul junto con las cinco veces mayor **dispersión** de la luz azul sobre la luz roja. La sílice coloidal contribuye al azul-azul, el hielo es también es azul por las mismas razones.



Dispersión es la separación de la luz en sus diferentes longitudes de onda. Todas las sustancias transparentes dispersan luz (scattering) porque sus índices de refracción cambian con la longitud de onda: las longitudes mas largas (luz roja) se refractan menos que las de longitud más corta (luz azul).

Refracción ocurre cuando la luz penetra en un material transparente

La luz se refleja cuando la luz rebota en un material opaco





BIO-OPTICA

Estudia la interacción de los procesos
biológicos y físicos en
diferentes escalas temporales y espaciales

Transferencia en el medio acuático:

dos procesos

ABSORCIÓN

DISPERSIÓN (scattering) Preisendörfer 1961

tres propiedades IOP

a, **b** y **c**

a: **ap** fitoplancton (vivo)

ad materiales muertos y **ag** materiales disueltos

b: dispersión (difracción, refracción y reflexión)

c: coeficiente de atenuación

$$c = a + b$$

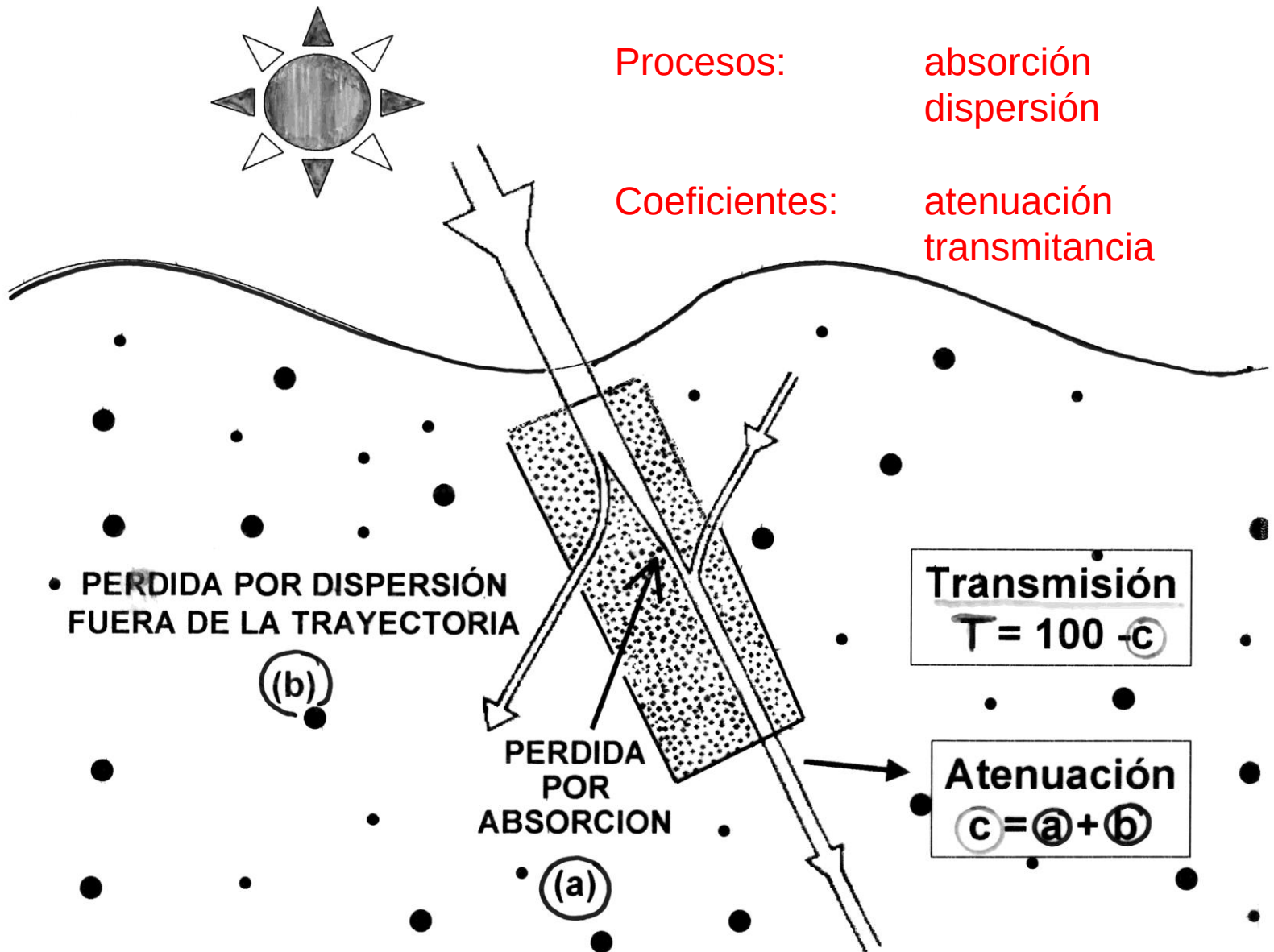
Transparencia medio acuático

Procesos:

absorción
dispersión

Coeficientes:

atenuación
transmitancia



$$\text{absorbancia total} = a_w + a_g + a_d + a_b$$

Bio-óptica acuática

Procesos físicos y biológicos que afectan las propiedades ópticas y su variabilidad - espacio- tiempo

Fotosíntesis



Fotólisis del agua

Se liberan enlaces H – O

Se libera O_2

C oxidado $\rightarrow$ CO₂

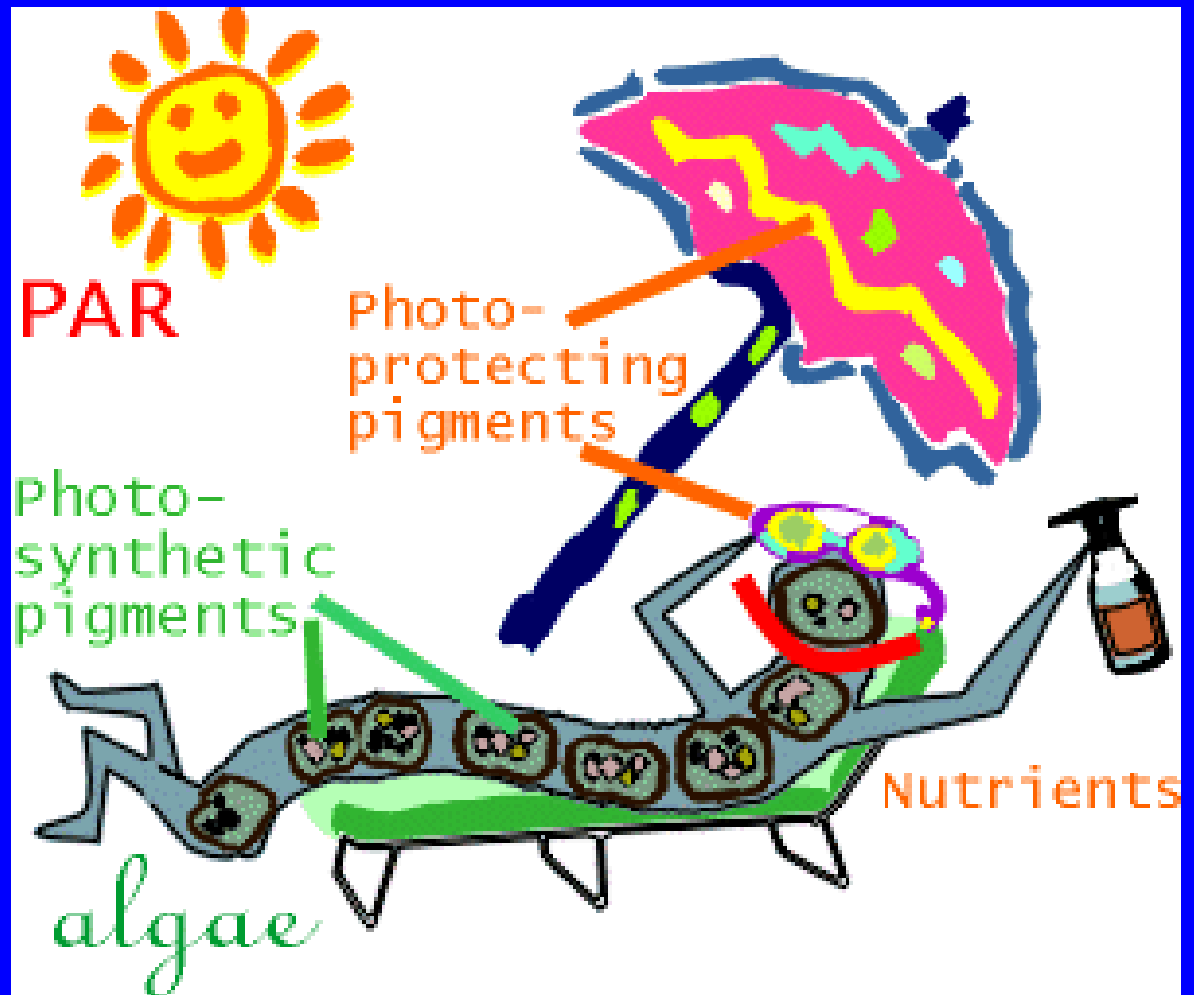
$$\text{C reducido} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Aceptor ↑ carbohidratos ↑

especie oxidada + e + H⁻¹ → especie reducida

FACTORES FORZANTES-conductores DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DEL FITOPLANCTON

LUZ



Nutrientes

Temperatura

Circulación (mezcla-estratificación)...otros

$$I_z = I_0 e^{-kz}$$

$$K_t = K_a + K_f + K_p + K_g$$

a: agua

clorofila

f: fitoplancton

absorbedores
no - pigmento

p: particulado

sustancias
amarillas
disueltas

g: gilvin

$$K = (a + b) / \mu$$

$$a_t = a_a + \underline{a_f + a_p} + a_g$$

$$a_t = a_a + a^*f C + a^*p P + a^*g G$$

a^*f : absorbancia específica del
fitoplancton. (a_f) normalizado por la
concentración de Cla (C)

CLOROFILA

agregados funcionales

8 cuantos de luz = 1 molécula de oxígeno

Pigmentos antena+centros de reacción

Unidad fotosintetizadora

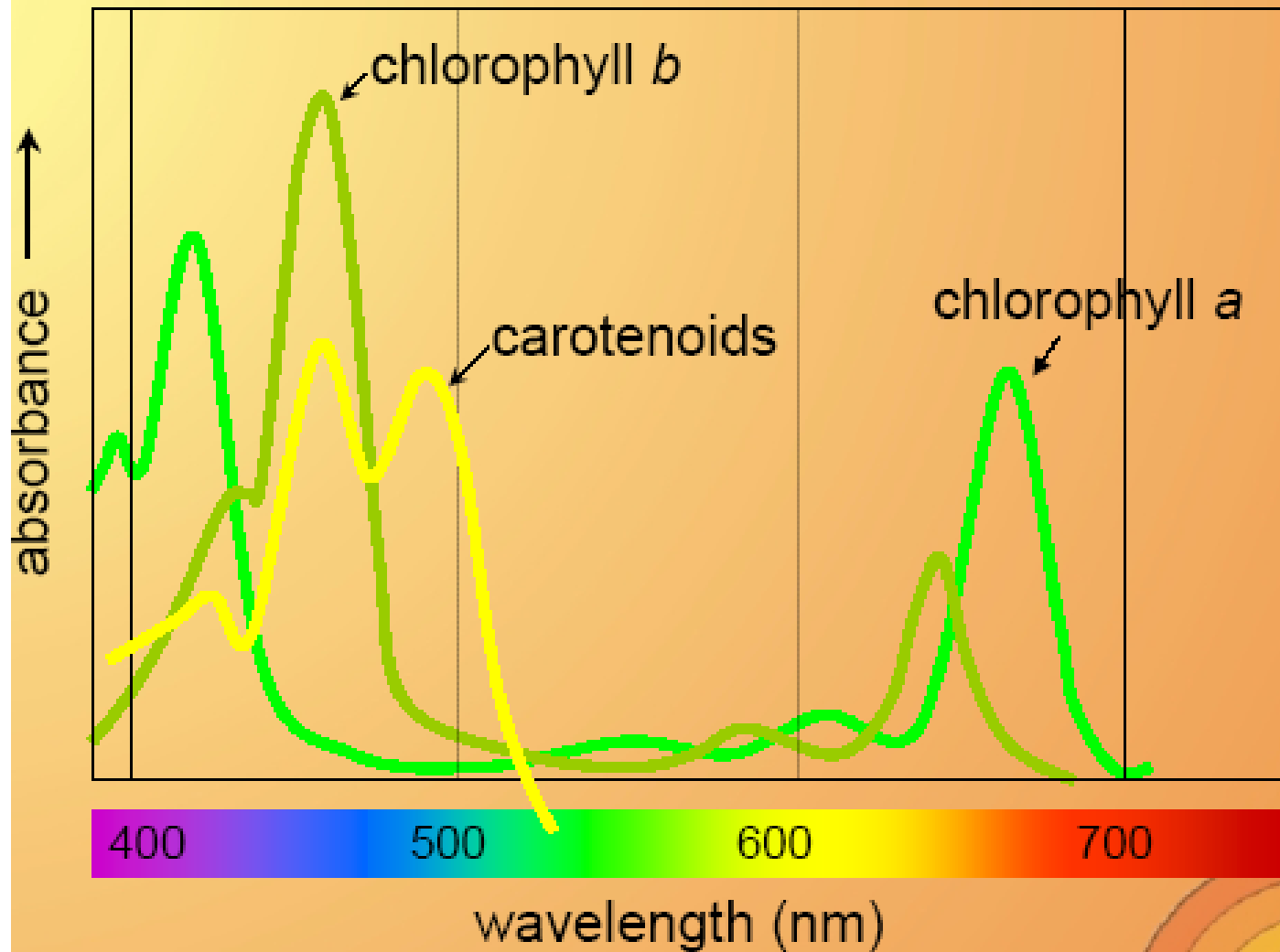
Para liberar un mol de O_2 se requieren 336 Kcal

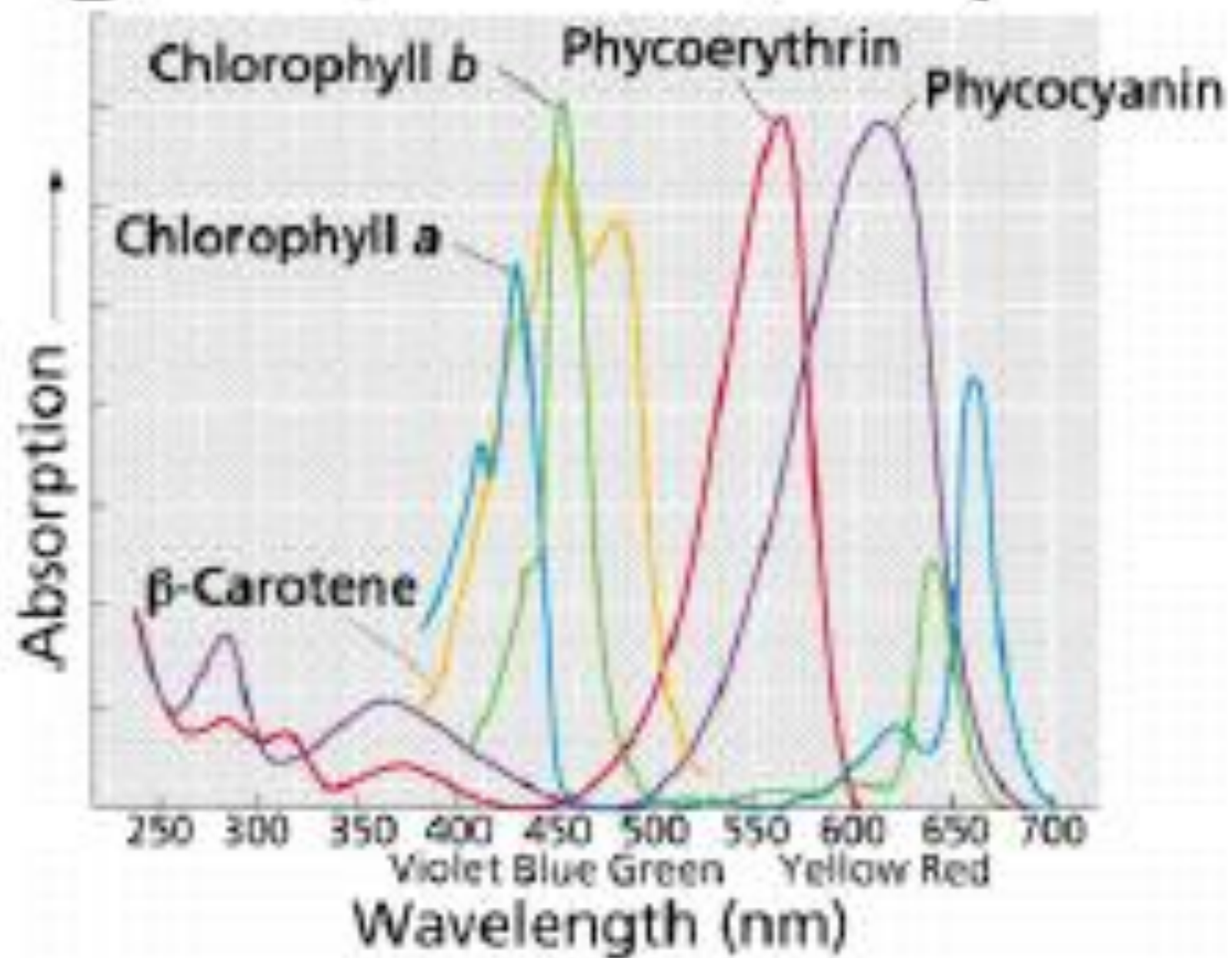
1 mol de fotones = 42 Kcal (8 cuantos)

Eficiencia cuántica

moles de CO_2 fijados/moles cuanta absorbidos

Photosynthetic pigments

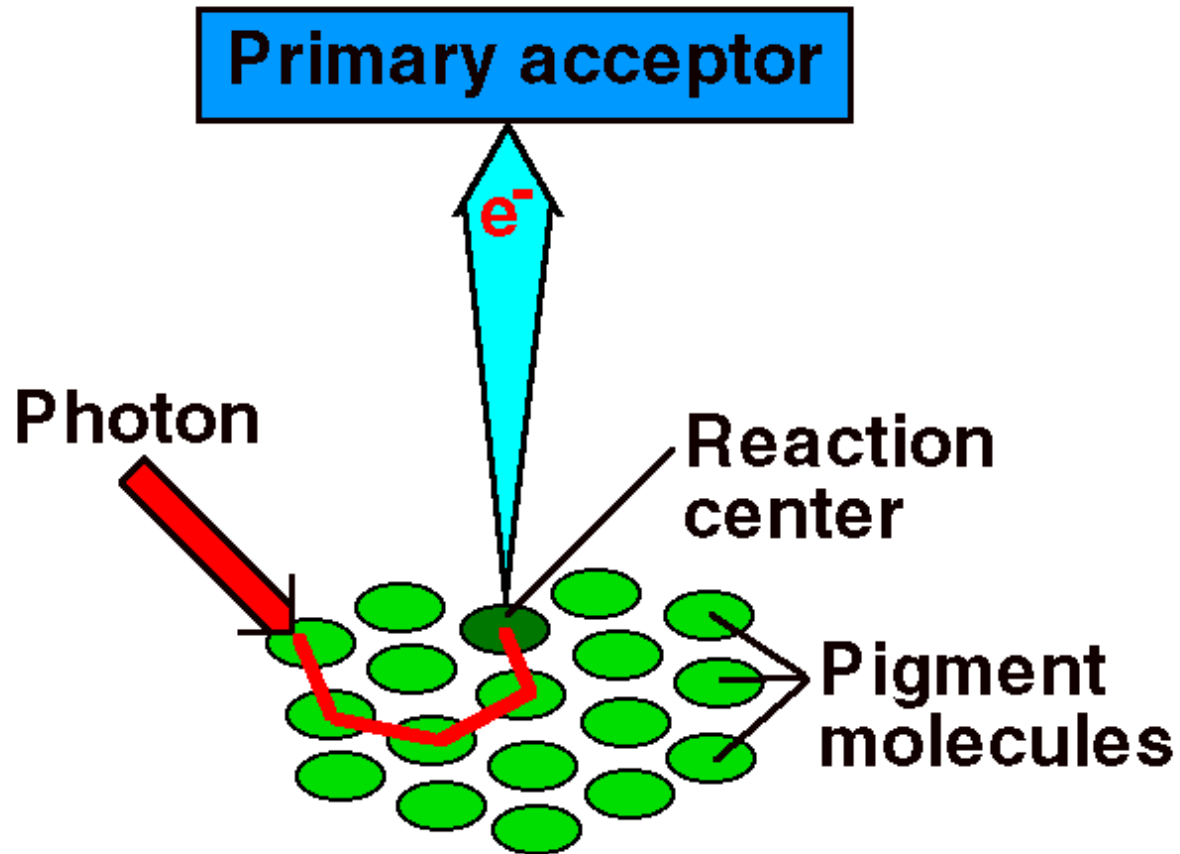




Absorción de PAR

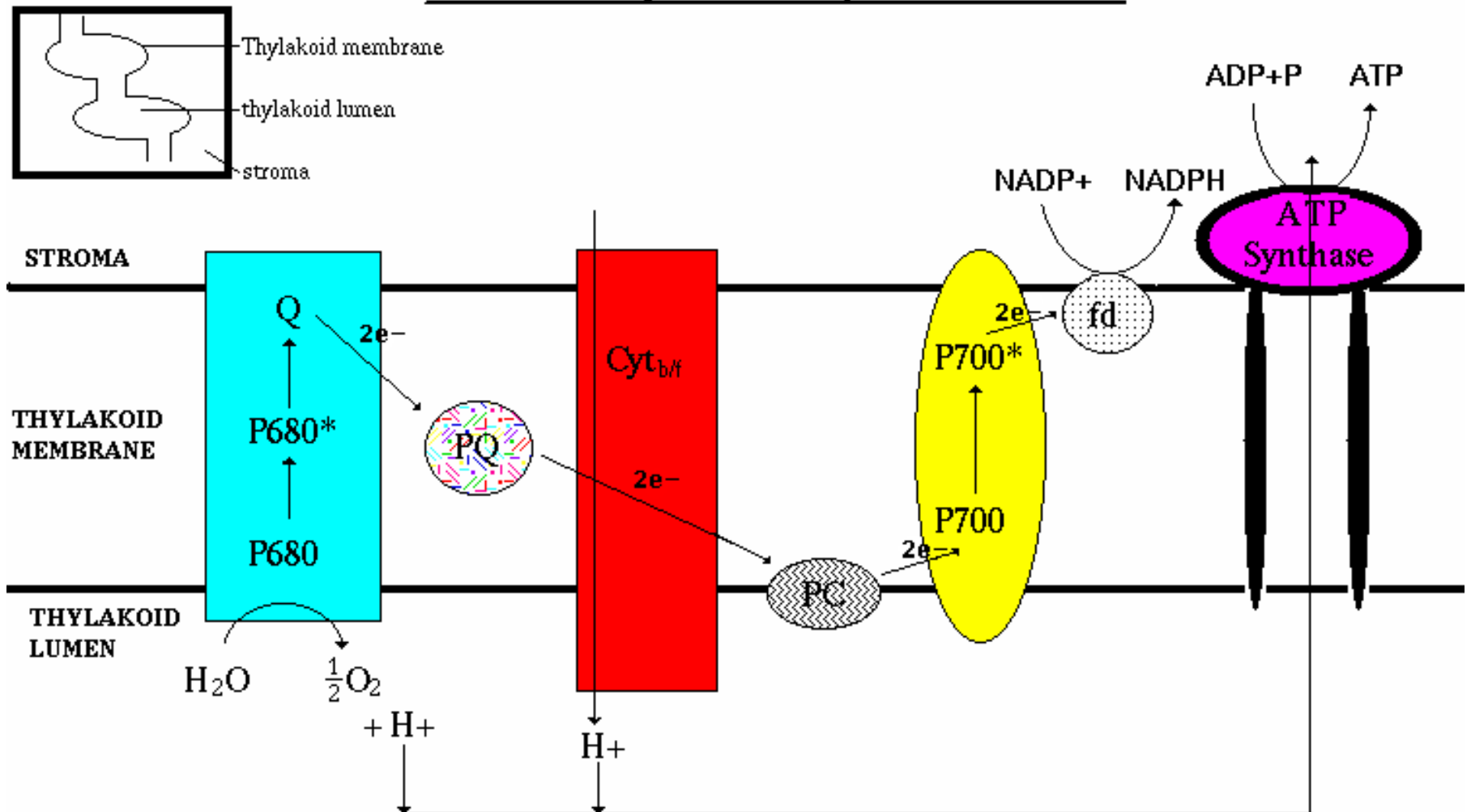
Reacción fotosintética I

Cosecha de luz

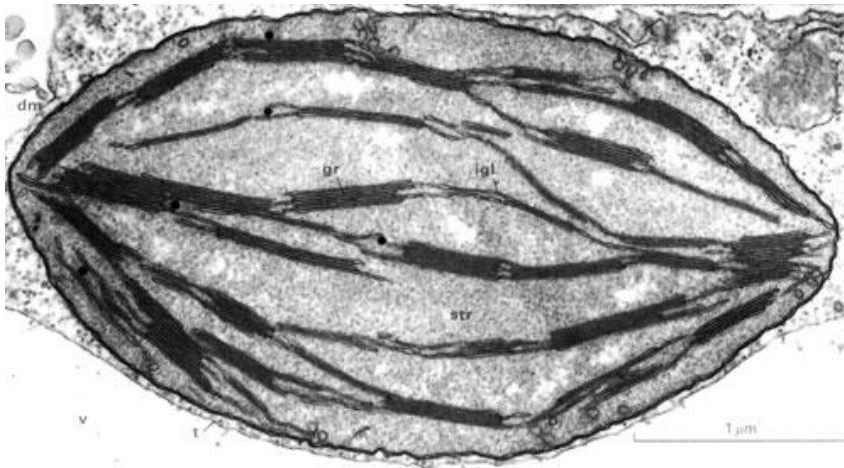
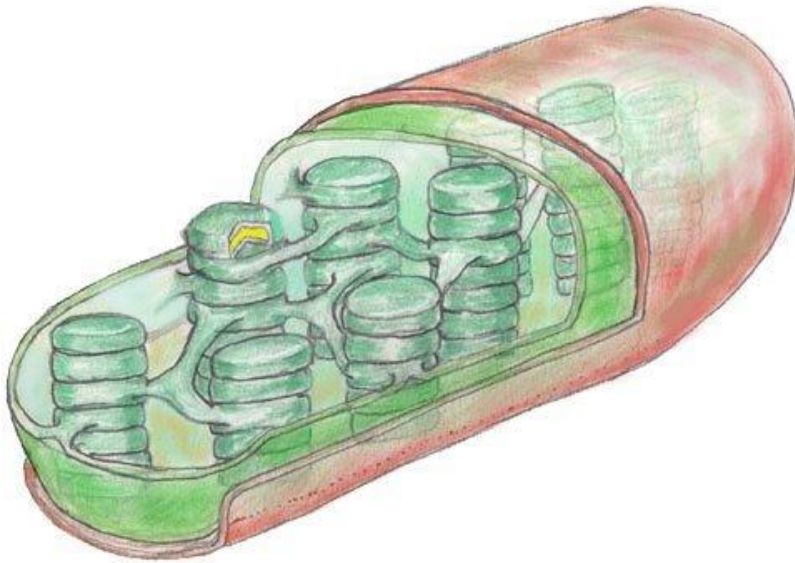


Reacción fotosintética II

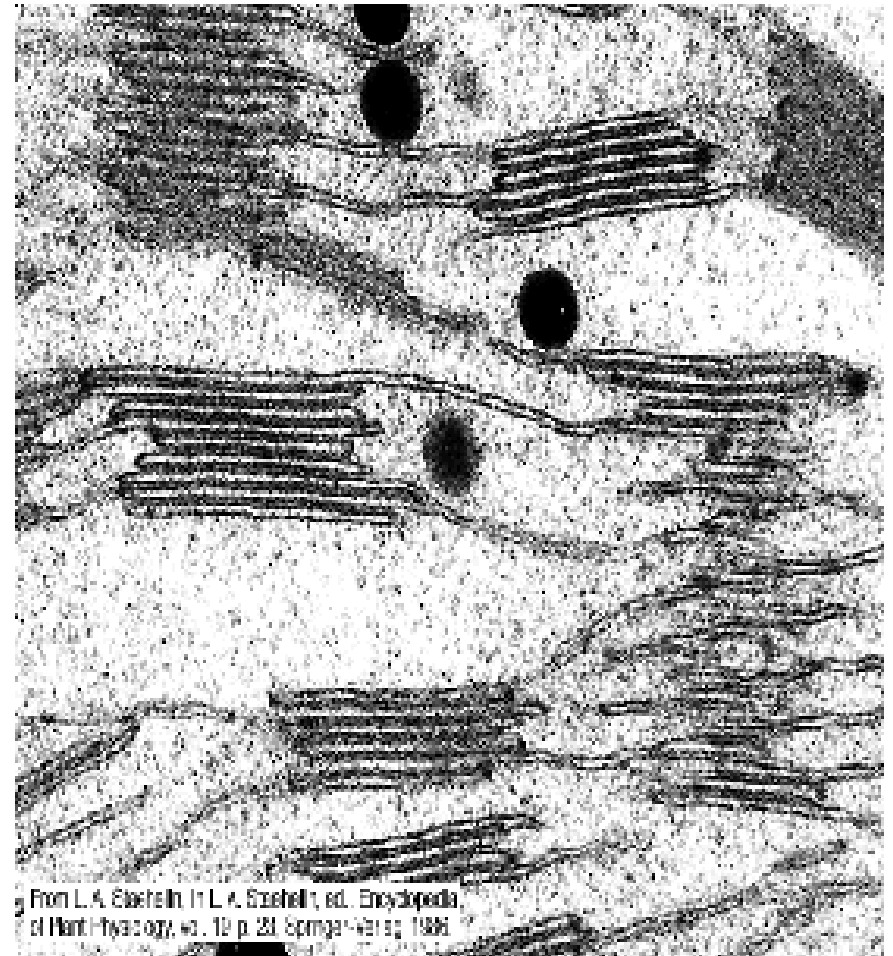
Electron Transport in the Thylakoid Membrane



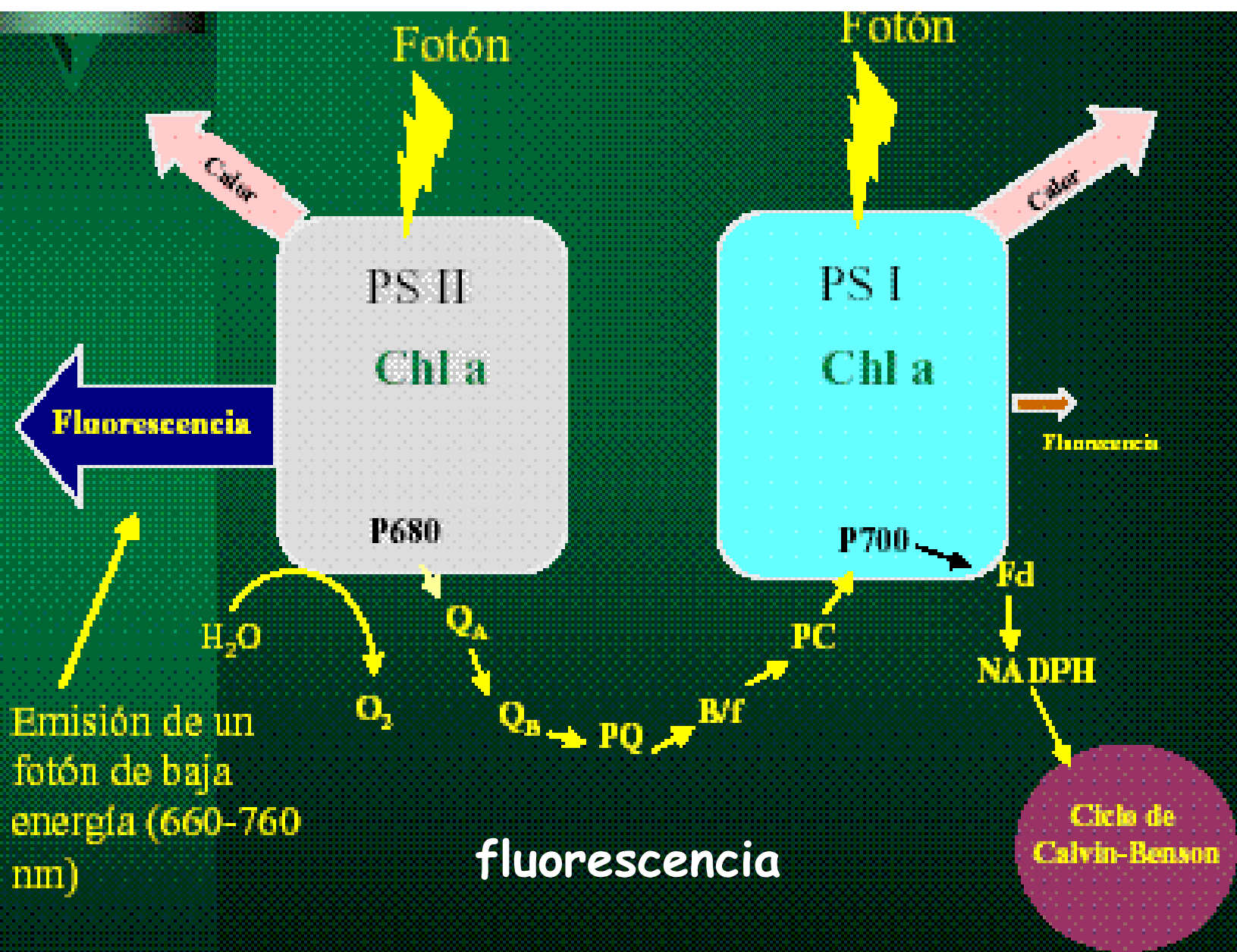
Reacción fotosintética III



Cloroplasto



Tilacoides

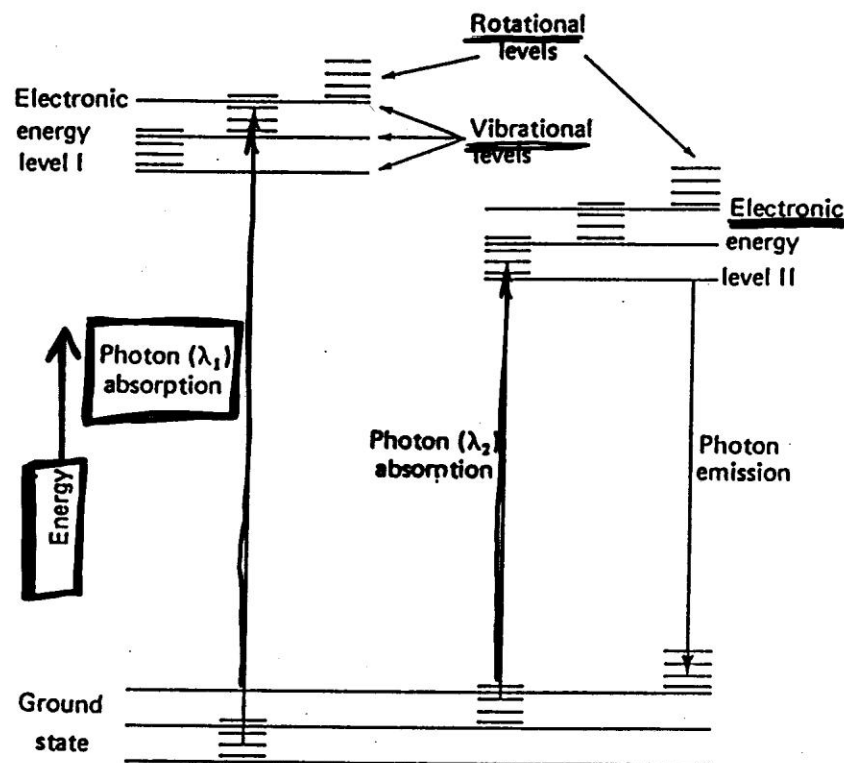


Fotón absorbido – electrones pasan a estado excitado
re-emisión → fluorescencia

Centro de reacción → E química → otra forma de E
→ calor

ABSORPTION

Fig. 3.1. Absorption of a photon raises an electron from the ground state to one of two possible excited singlet states, depending on the wavelength (and therefore energy) of the photon. Wavelengths λ_1 and λ_2 are each within a separate absorption band in the absorption spectrum of the molecule ($\lambda_2 > \lambda_1$).



> Azul

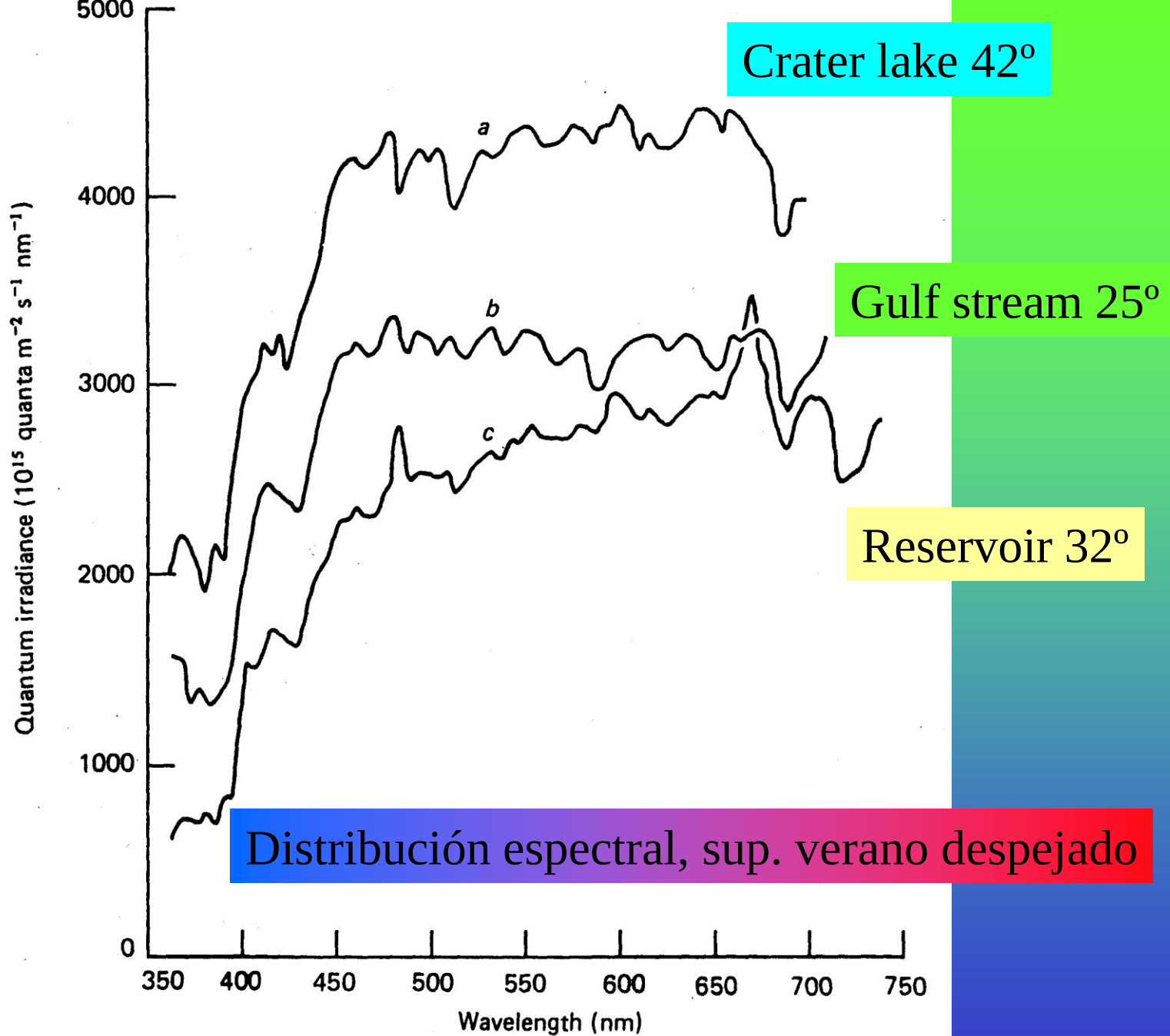
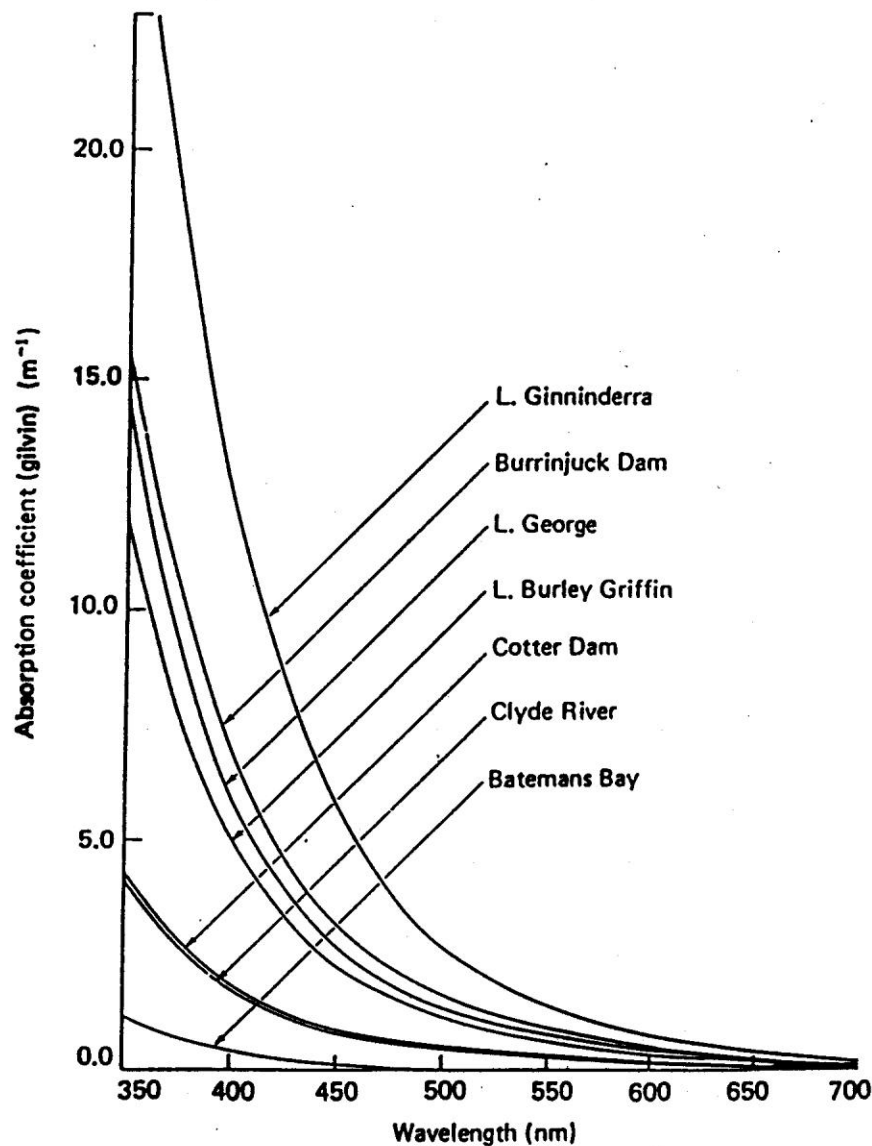


Fig. 2.3. Spectral distribution of solar quantum irradiance at the Earth's surface at three geographical locations (plotted from the data of Tyler &

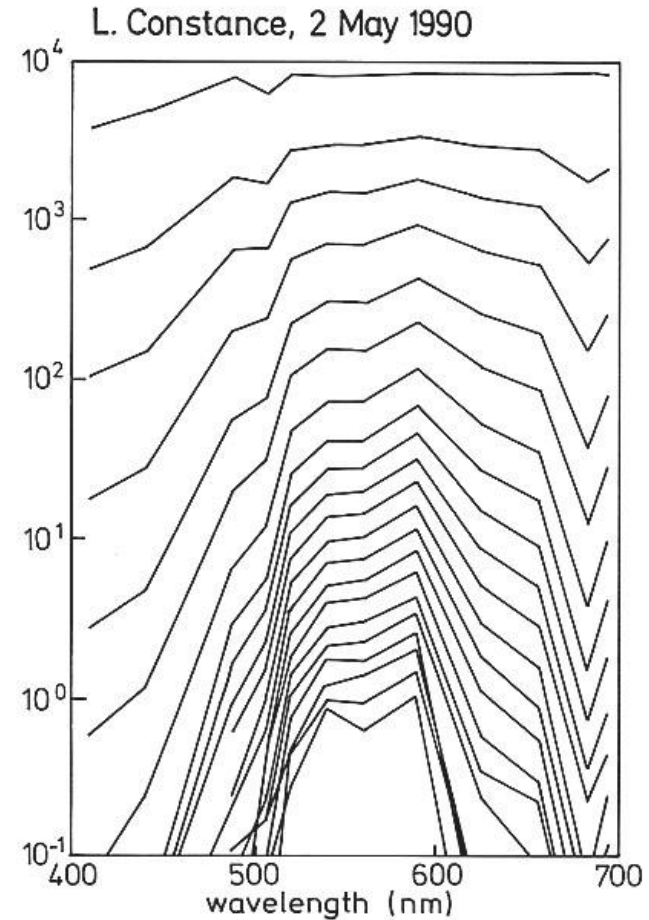
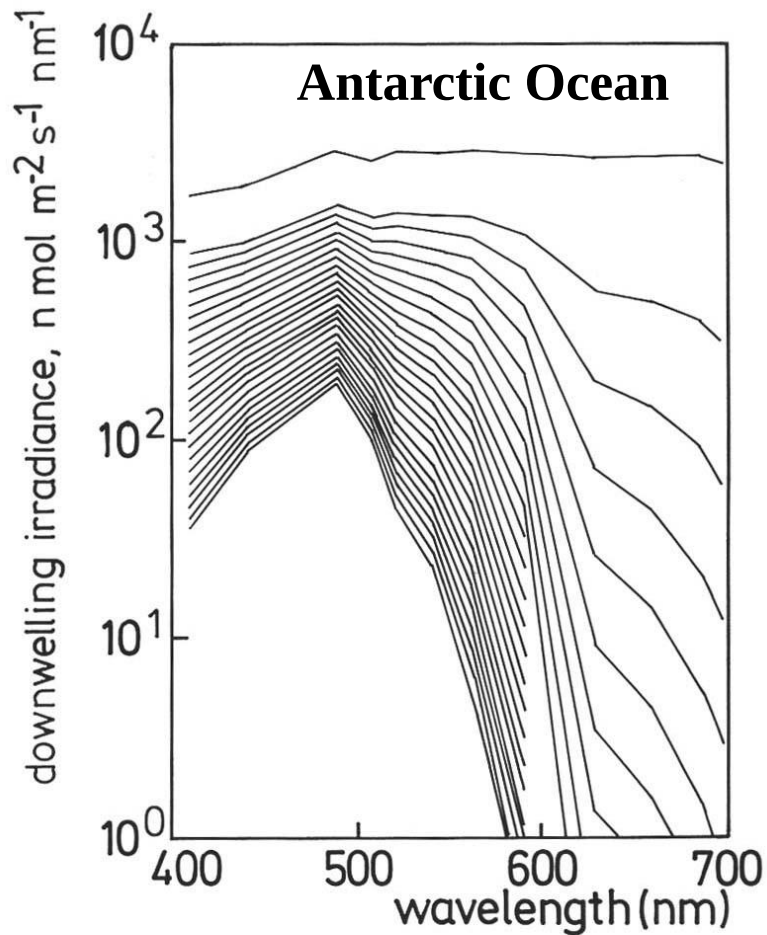
Espectros MOD (gilvin) aguas costeras, estuarios, lagos

Fig. 3.5. Absorption spectra of soluble yellow material (gilvin) in various Australian natural waters (from Kirk 1976). The lowest curve

remainder are for inland water bodies in the southern tablelands of New South Wales/Australian Capital Territory. The ordinate scale corresponds to the true *in situ* absorption coefficient due to gilvin.



El clima de luz subacuático



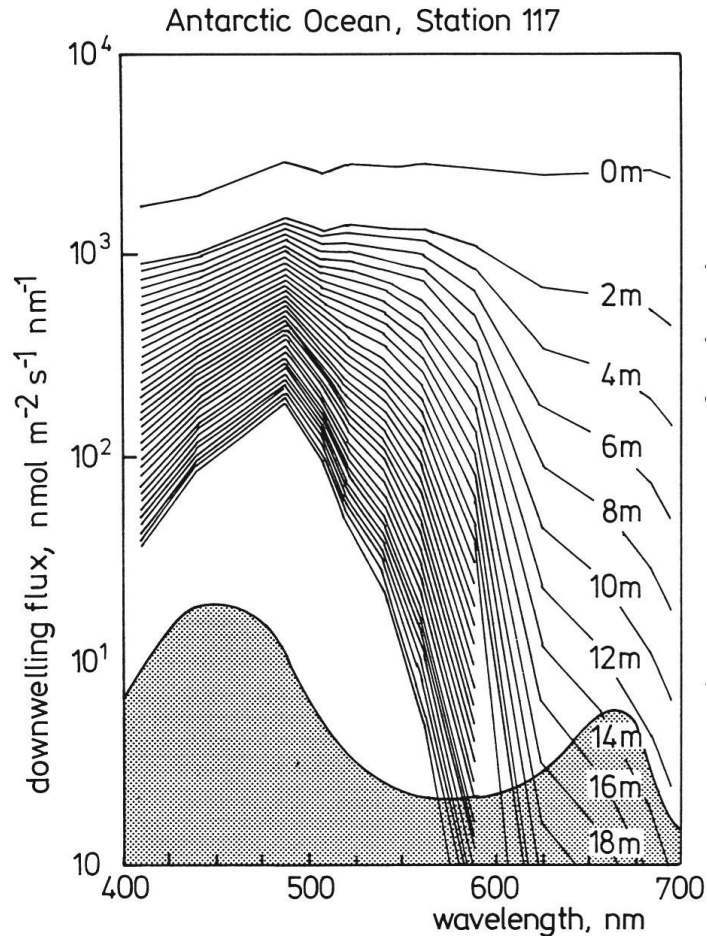
Intervalos de profundidad: 10 m

: 1 m

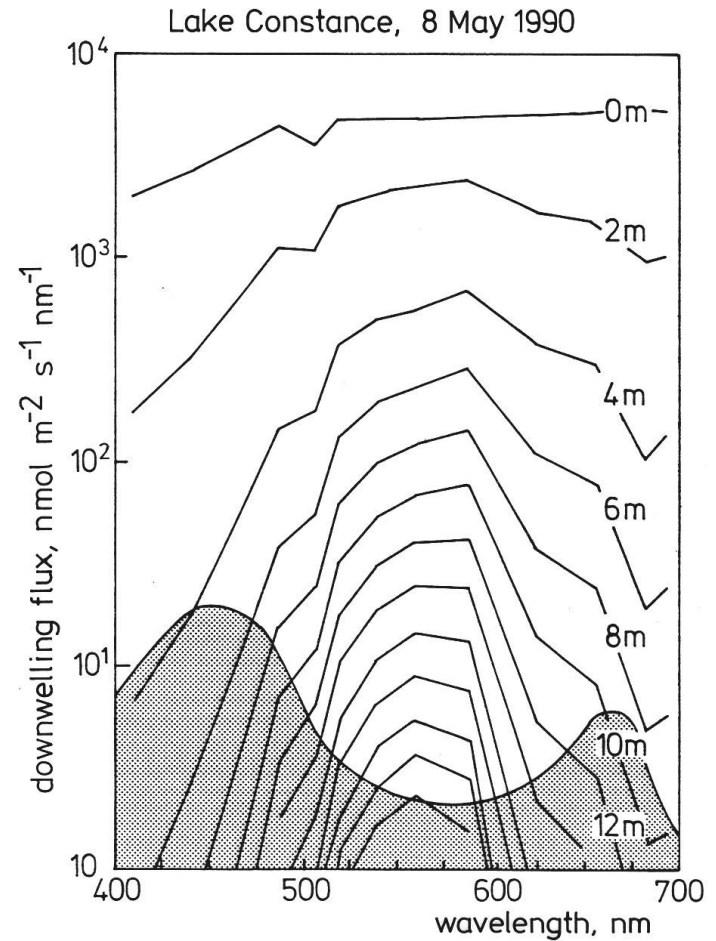
Agua oligotrófica es azul

agua eutrófica es verde

Espectros subacuáticos de luz y espectros de absorción del fitoplancton



oceano oligotrófico



lago mesotrófico

Ley de Lambert Beer

Proceso de absorción

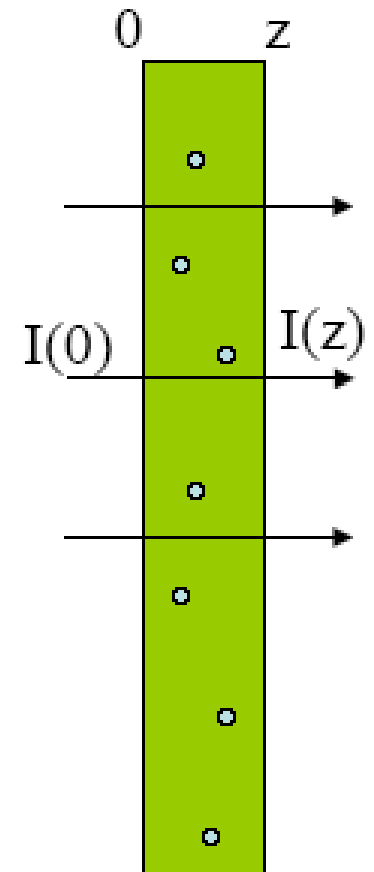
Consideremos un haz paralelo monocromático que incide sobre una capa de espesor z que contiene un gas que **absorbe** distribuido uniformemente

$$I(z, \lambda) = I(0, \lambda) e^{-\sigma(\lambda) n z}$$

n = densidad de moléculas

$\sigma(\lambda) n z = \tau(\lambda, z)$ espesor óptico para la absorción

$\sigma(\lambda)$ = sección eficaz de absorción



RESUMEN

Agua – Es constante a T° y presión constante
Variabilidad debida a la vibración O-H.
Dependiente de la longitud de onda.

Gilvin y **Detritus** – Variable y dependiente en forma exponencial de λ .

Bacterias – Mayor a menor λ (picoplancton a 412 nm).

Sales – Despreciable en PAR, débil en UV.

Fitoplancton – Respuesta espectral es dependiente de pigmentos, especies, historia de luz.

Picos – rojo y azul asociado a clorofila a.

$$aT = a_w + a_g + a_d + a_b$$

Transmitancia

Depende del coeficiente de extinción (k)

Reflectancia

Depende del coeficiente de absorción (IOP)
y retrodispersión (upwelling irradiance)

depende de los constituyentes y no del
campo lumínico

Propiedades **inherentes** a y d - dependen de los materiales en el medio

$$\text{atenuación } c = a + d$$

Propiedades **aparentes** k- dependen de los inherentes y el campo lumínico

Reflectancia

$$E_d / E_u$$

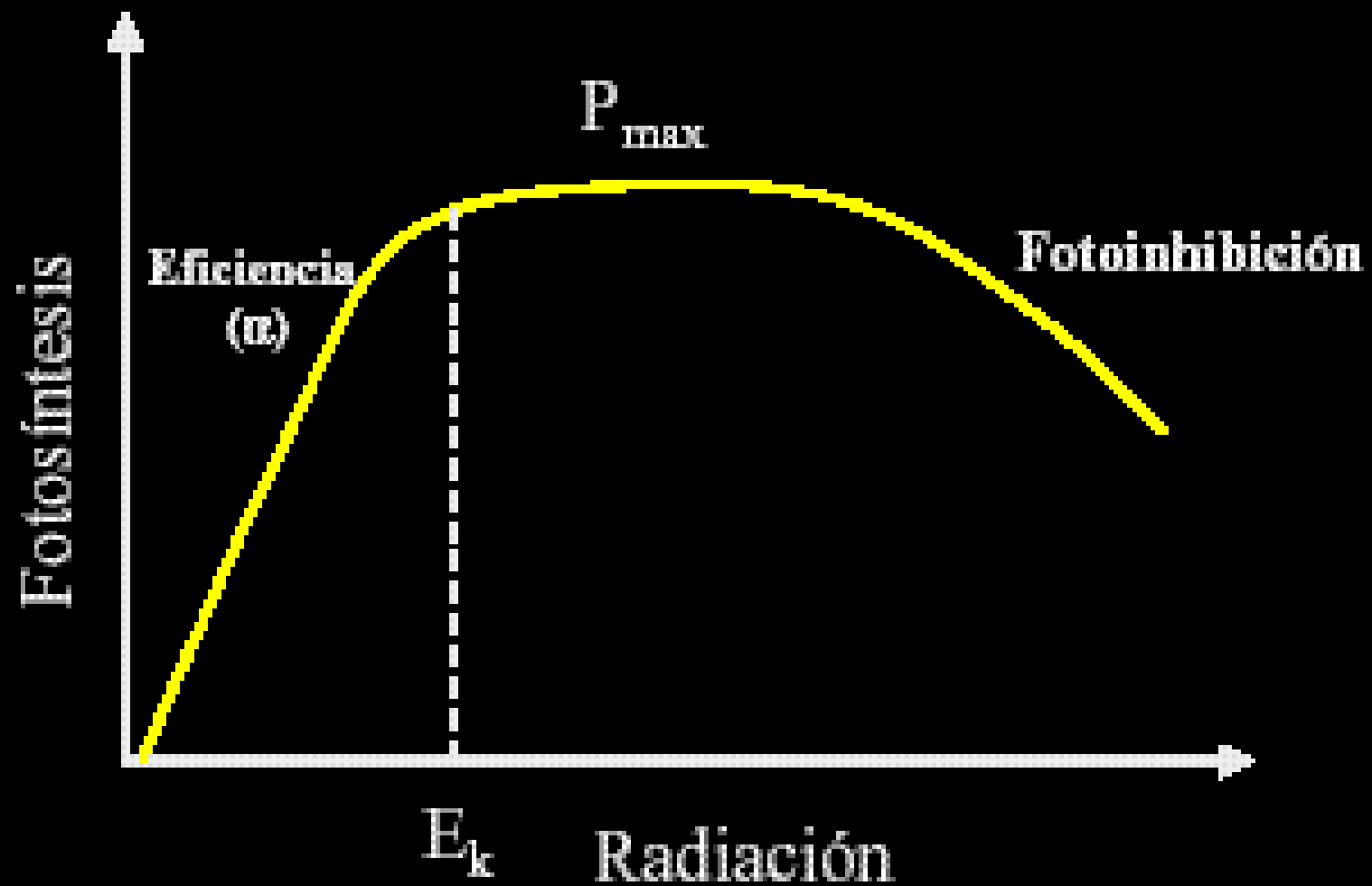
d – descendente

u – ascendente



La zona eufótica alcanza en promedio una profundidad máxima de no mas de 50 a 100 m en lagos y en el océano oligotrófico

CURVAS P-E





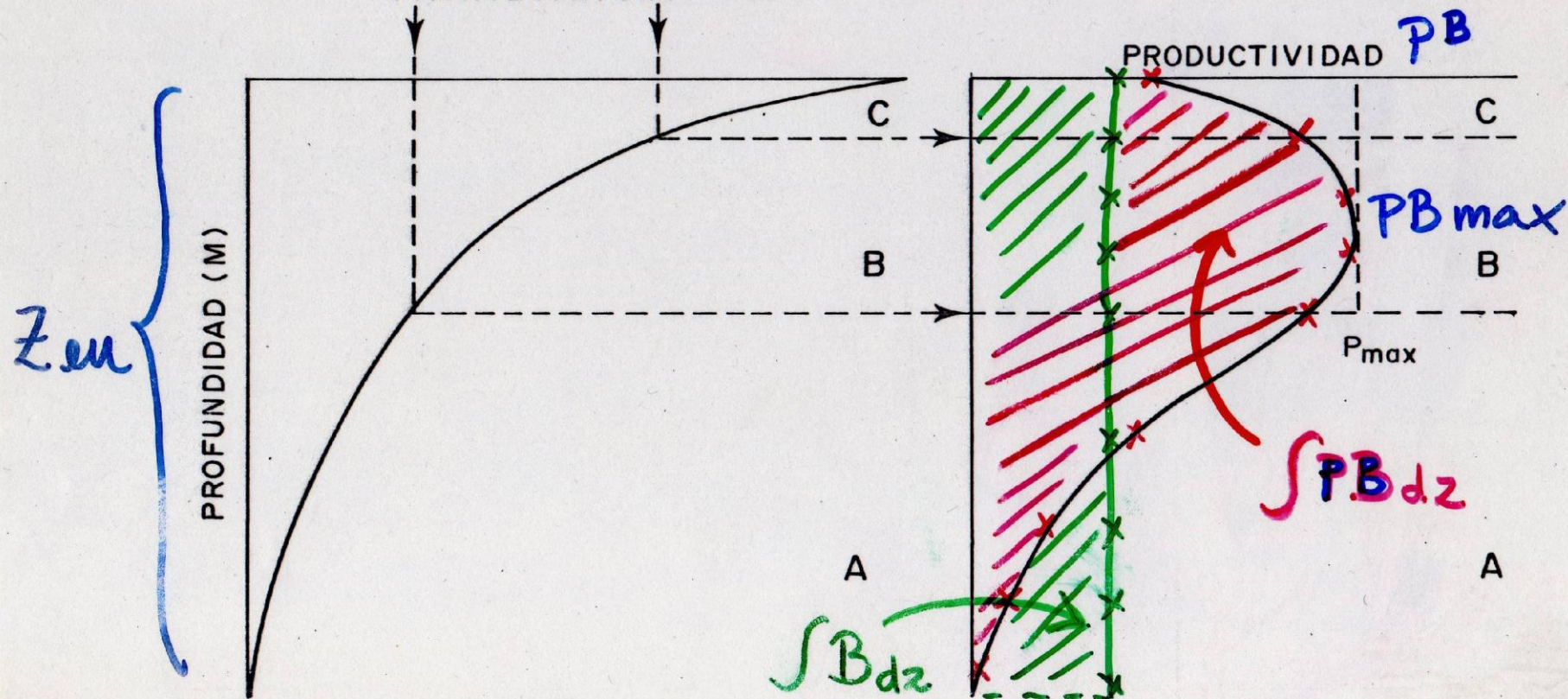
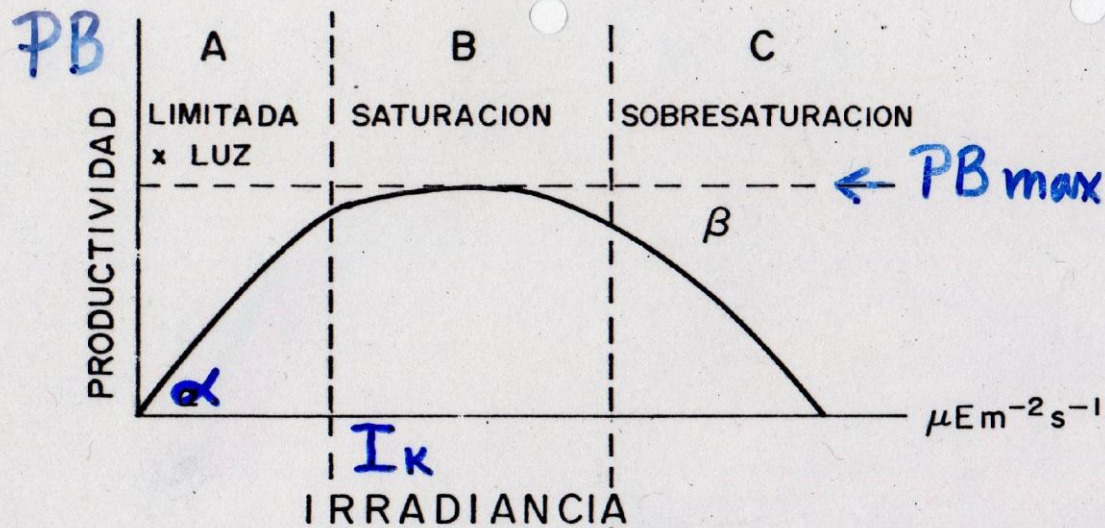
$$I_z = I_o e^{-kz}$$

$$\% \text{ de luz} = I_z / I_o = e^{-kz}$$

$$\ln (I_z/I_o) = -kz$$

$$z = -\ln (I_z-I_o) /k$$

	%	ln
Zona eufótica	100.0	4.6
	1.0	0



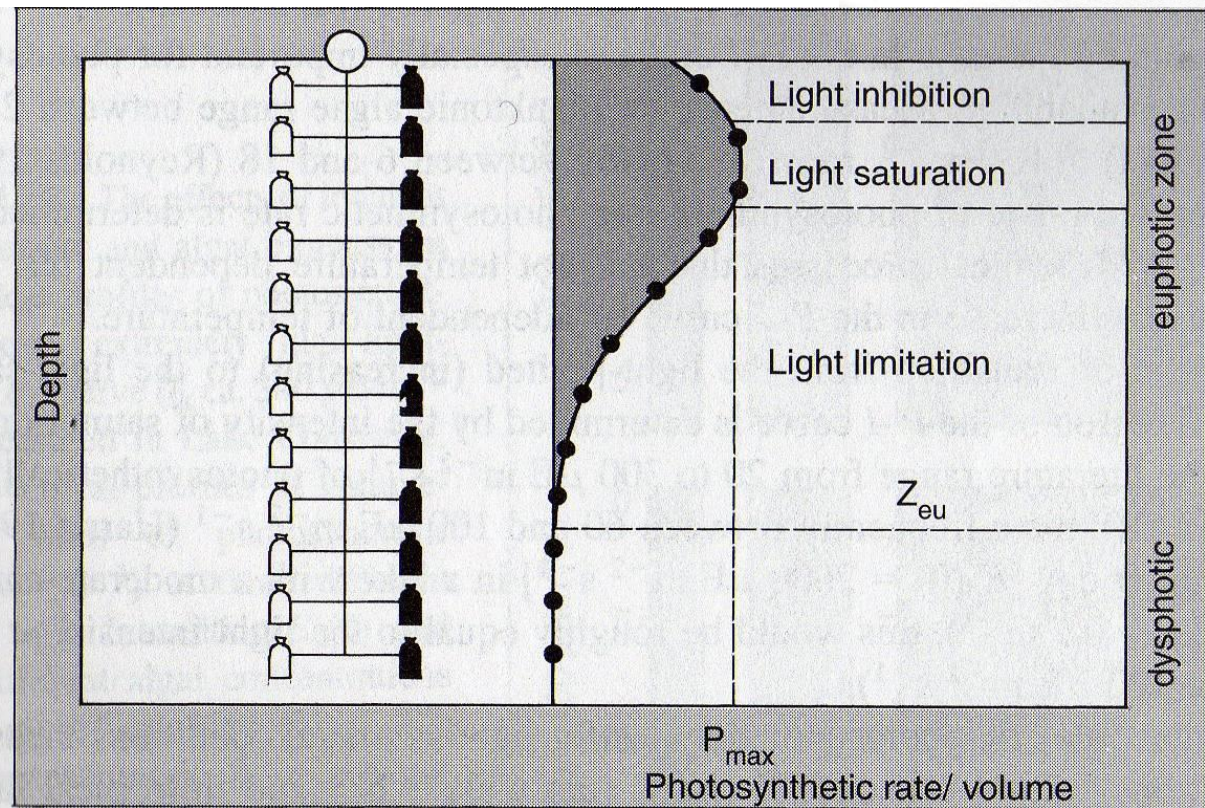
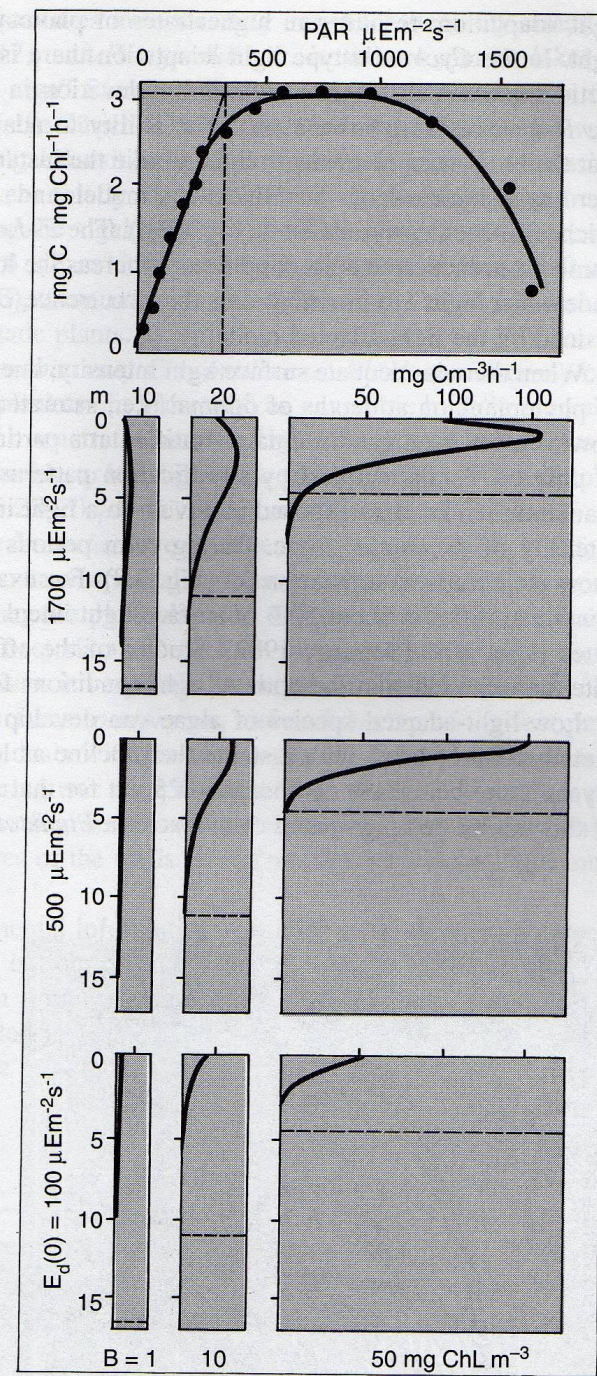


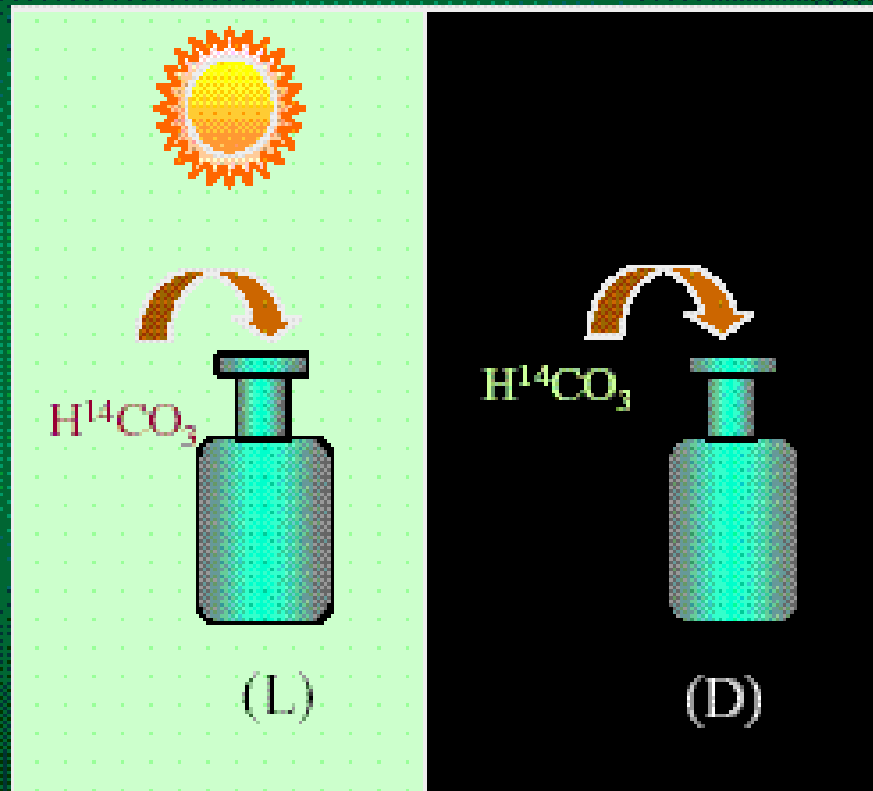
Figure 4.15 The effects of incident light intensity and algal biomass on the vertical profiles of photosynthesis: Above: extremely high-light-adapted $P-I$ curve (I_k ca. $300 \mu E m^{-2} s^{-1}$), measured in Lake Constance. Below: vertical profiles of volume-specific rates of photosynthesis ($mg C m^{-3} h^{-1}$) at three different surface light intensities $E_d(0)$ and three different algal concentrations (as chlorophyll concentration). - - -: the compensation depth, as conventionally defined [$1\% E_d(0)$]. All assumption about light attenuation are derived from Lake Constance data (from Tilzer).





Asimilación de Carbono:

Método del ^{14}C



Fotosíntesis calculada como:

$$P = (R_L - R_D) \times [\text{CO}_2] / (R \times t)$$

P = Fotosíntesis

R = radioactividad añadida

R_L = radioactividad en (L)

R_D = radioactividad en (D)

$[\text{CO}_2]$ = concentración total CO_2
en el agua

t = tiempo de incubación

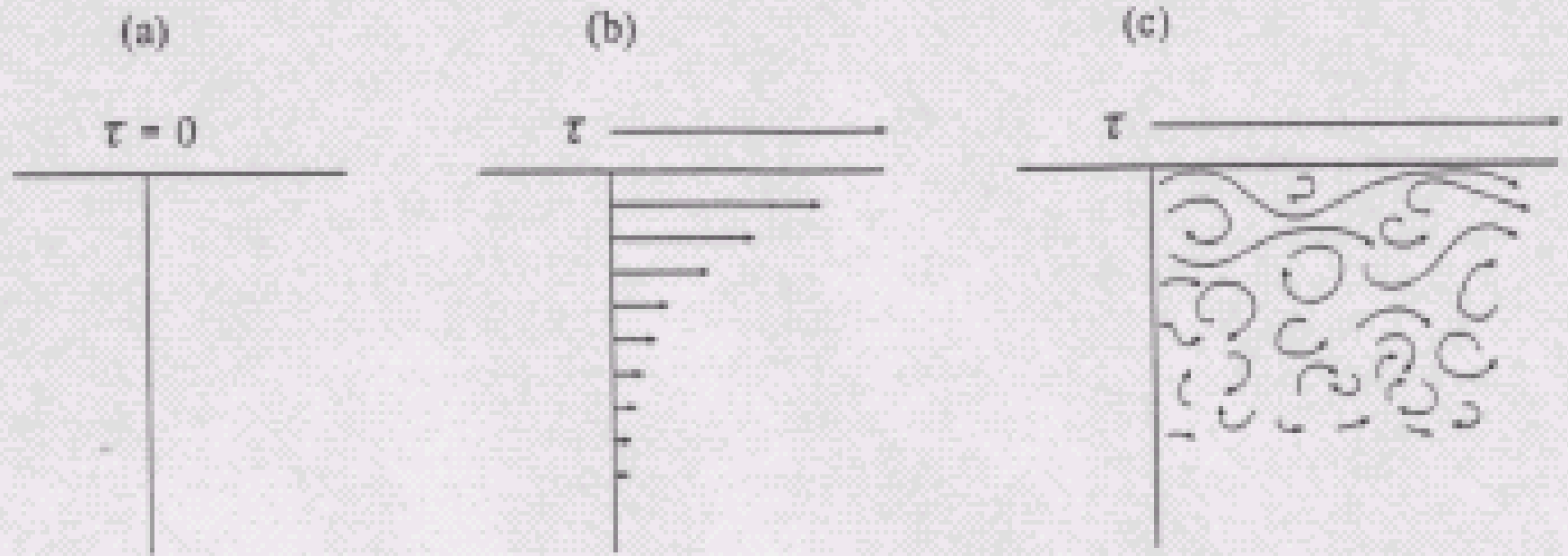


Fig. 3. Generation of turbulence by shear force. In (a), the water beneath the horizontal surface is unstressed and at rest. A mild stress, τ , is applied (b), dragging water molecules in the direction of force, which motion is transmitted to the layer below, forming a field of orderly, laminar flow. When the force intensifies (c), the energy can no longer be contained by the velocity gradient and it breaks down into turbulence

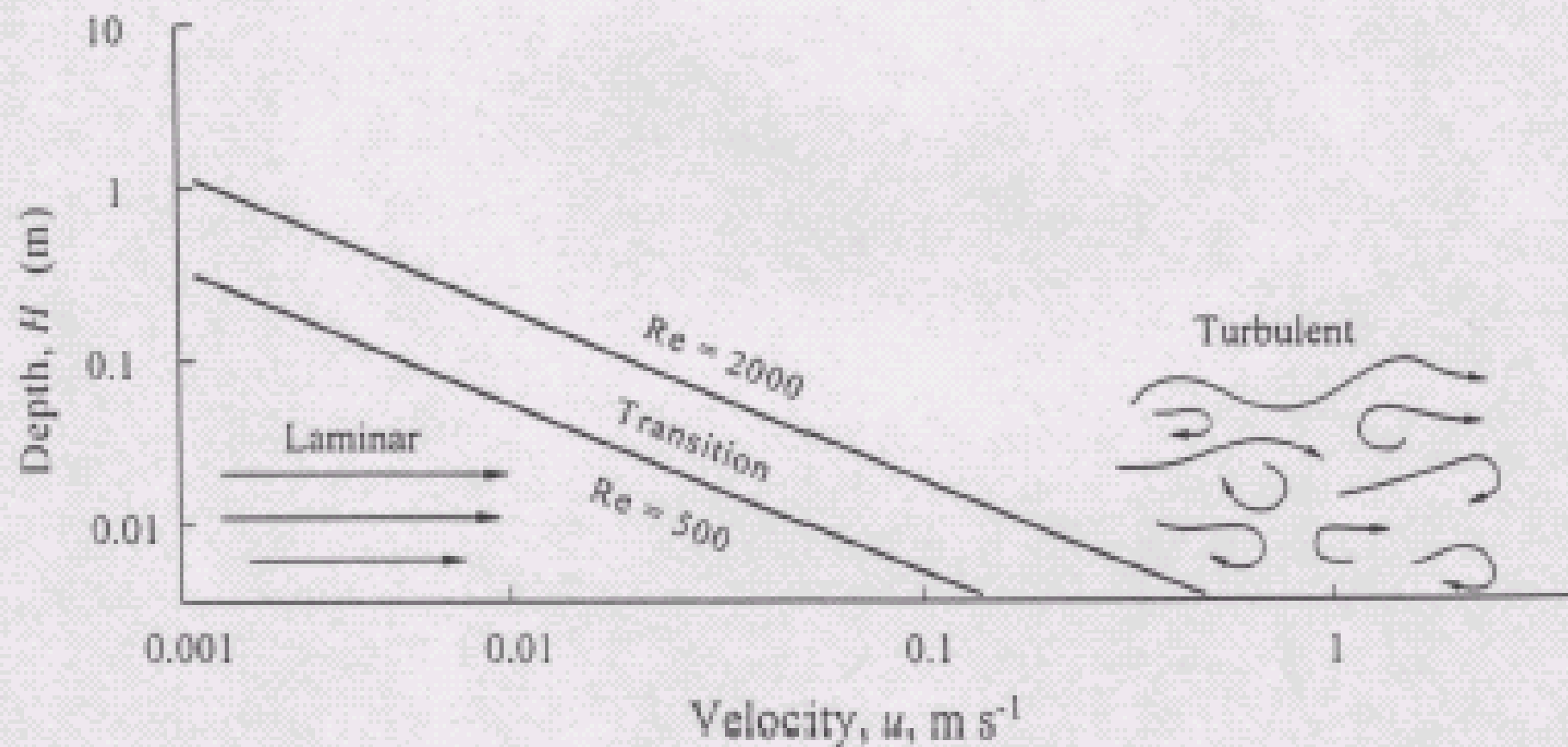
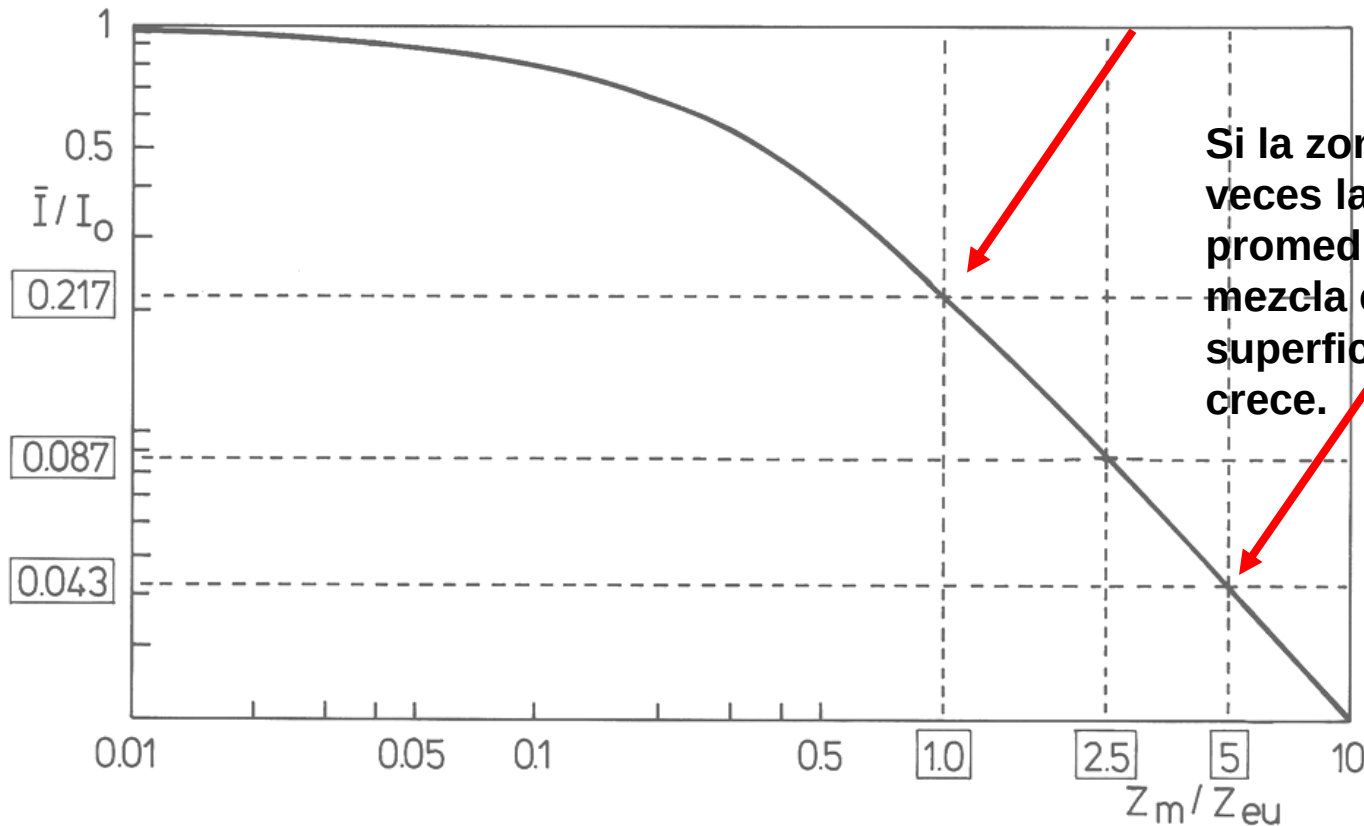


Fig. 4. The onset of turbulence as a function of velocity and depth. The boundary is not precise, occurring at Reynolds numbers between 500 and 2000. Redrawn from Reynolds (1992a)

la cantidad promedio de luz disminuye a medida que aumenta la zona de mezcla

Luz es **21.7 %** del valor superficial



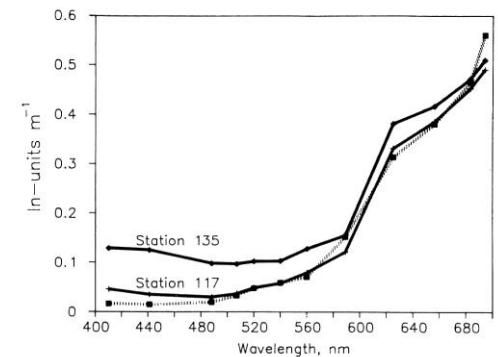
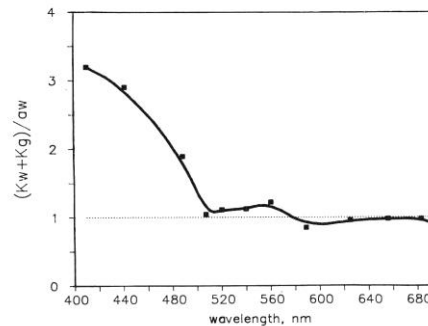
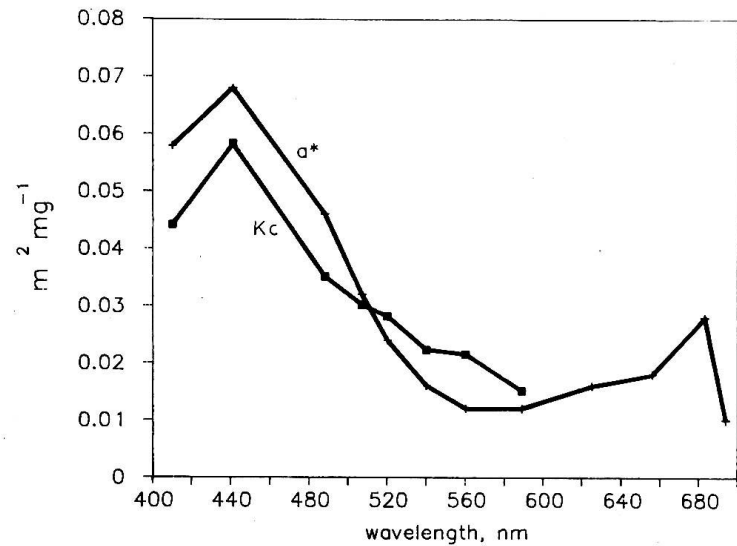
Si la zona de mezcla es 5 veces la zona eufótica la luz promedio en la zona de mezcla es **4.3 %** del valor superficial. Fitoplancton no crece.

Mezcla profunda.....
menos luz promedio que recibe el fitoplancton

Utilización de recursos

Energía: la que puede usarse es poca

- 1: elevadas proporciones son absorbidas por el agua
- 2: desajuste espectral entre absorción y composición de la luz subacuática
- 3: autosombreamiento
- 4: procesos de mezcla disminuyen luz promedio



Tilzer et al., 1994

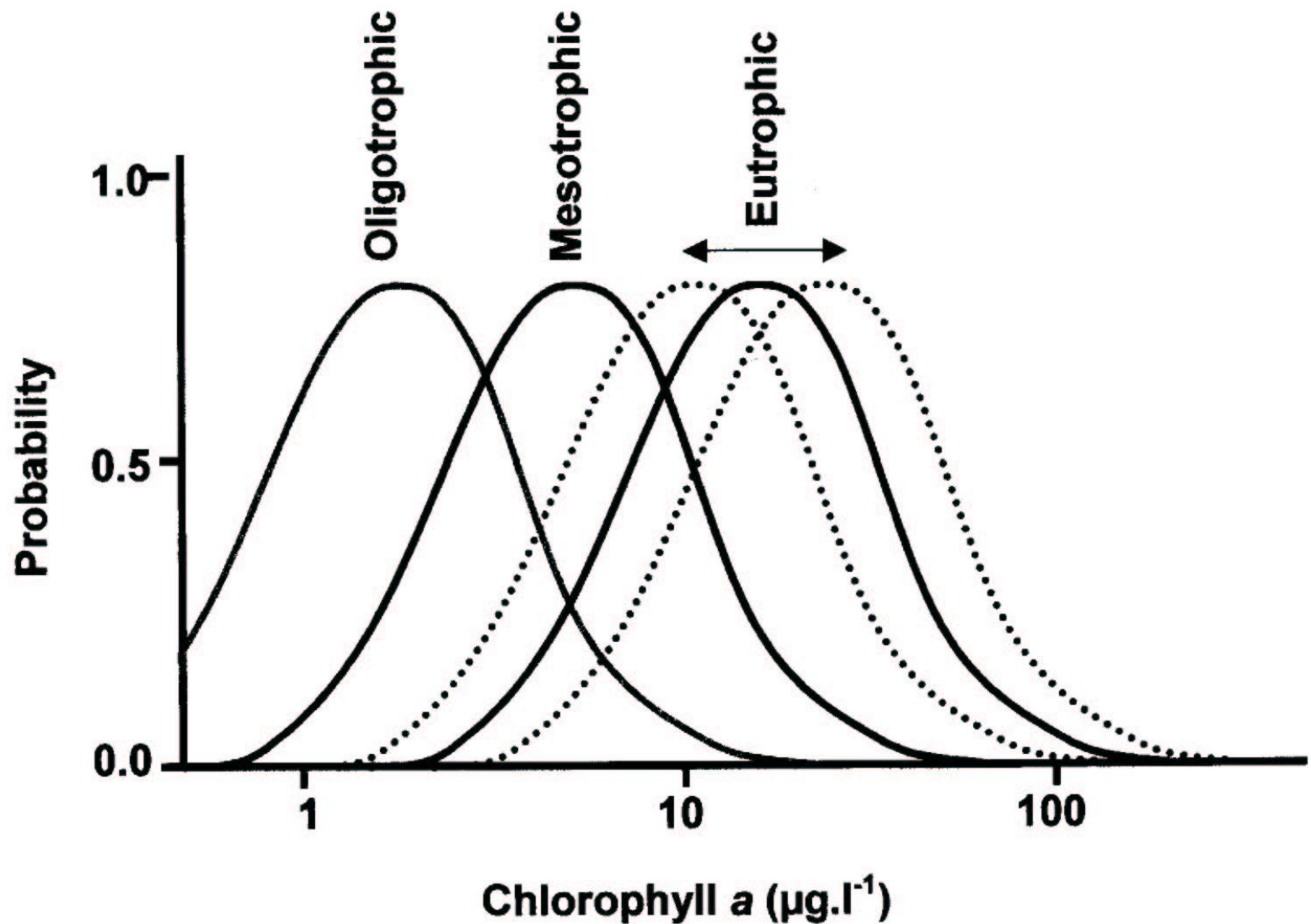


Fig. 10.13 Schematic diagram showing the possible effects of climate change on the classification system used to assess the trophic status of lakes. The solid curves show the historical limits defined by the OECD. The broken curves show the climate-related changes that could occur in lakes that are currently classified as eutrophic.

Preguntas???