

# **BIOENERGÈTICA**

## **PROGRAMA 2001-2002:**

### **1. INTRODUCCIÓ: L'ENERGIA I LA BIOSFERA**

Temes tractats per la Bioenergètica. Sistemes vius fototròfics i quimiotròfics. Cicle de la matèria i flux d'energia a la biosfera.

### **2. ELS PRINCIPIS DE LA TERMODINÀMICA I ELS MODELS MICROSCÒPICS**

Primer principi de la Termodinàmica. Segon principi de la Termodinàmica: entropia i producció interna d'entropia, qualitat dels diferents tipus d'energia, energia lliure i treball màxim útil, potencial químic, aplicació a les reaccions químiques. La termodinàmica i els models microscòpics. Mecànica estadística: l'entropia i el model atòmic-molecular. Mecànica quàntica: distribucions moleculars, interpretació de l'entropia. Aplicacions a proteïnes i DNA.

### **3. L'ENERGIA QUÍMICA DELS SISTEMES VIUS**

La vida com a procés químic: calor de combustió dels aliments, calorimetria directa i indirecta, metabolisme basal. Els treballs cel·lulars: els sistemes vius com a transformadors d'energia. Importància energètica dels triacilglicèrids i dels cossos cetònics. Enllaços ester fosfat: l'ATP, energia lliure d'hidròlisi, les reaccions acoblades i l'intermediari comú, la fosfocreatina, nucleòsid trifosfats diferents de l'ATP, el pirofosfat. Tractament crític del concepte d'enllaç "ric en energia". Alguns aspectes energètics de la catàlisi enzimàtica: la Termodinàmica i el temps, cinètica química, interpretacions energètiques de l'acció catalítica dels enzims, les reaccions termodinàmicament possibles i els enzims.

### **4. PRODUCCIÓ D'ATP EN LES FERMENTACIONS I EN LA RESPIRACIÓ**

Producció d'ATP en les fermentacions: fosforilació a nivell de substrat. Producció d'ATP lligada a la respiració: fosforilació oxidativa, el mitocondri. La cadena del transport electrònic mitocondrial: els transportadors i llur ordenació, localització dels transportadors en la membrana mitocondrial interna. Partícules submitocondrials: ATP sintasa. Problema de l'acoblament entre el transport electrònic i la fosforilació oxidativa: hipòtesi de l'acoblament químic, hipòtesi de l'acoblament conformacional. Hipòtesi de l'acoblament quimiosmòtic: reaccions vectorials, diferència de potencial electroquímic, determinació experimental del gradient de pH i de la diferència de potencial elèctric, ionòfors, qüestions estequiomètriques, el cicle Q, dinàmica dels transportadors, estructura de la citocrom c oxidasa, proves a favor d'un gradient de protons deslocalitzat. El complex ATPasa F<sub>1</sub>-F<sub>0</sub>: propietats, estructura, mecanisme de síntesi d'ATP. Consideracions generals sobre la fosforilació oxidativa: rendiment i reversibilitat.

## **5. PRODUCCIÓ D'ATP EN LA FOTOSÍNTESI**

Fase fosca i fase lluminosa. Cloroplasts i cromatòfors. Absorció i transport de l'energia de la radiació solar: fotoreceptors, model de l'antena, mecanisme de transport d'energia de l'antena al centre fotoquímic. Estructura d'antenes: ficobilisomes, antenes de bacteris i plantes. El centre fotoquímic: reaccions de transferència de càrrega, estructura i funcionament dels centres fotoquímics. Cadena de transport electrònic fotosintètic en bacteris. Cadena de transport fotosintètic en plantes: l'efecte cooperatiu d'Emerson i els dos fotosistemes, diagrama Z, transport electrònic cíclic. Fosforilació fotosintètica. Sistemes fotosintètics senzills: la proteïna bacteriorodopsina. Possibles aplicacions tecnològiques del coneixement actual sobre la fotosíntesi biològica.

## **6. TREBALL DE BIOSÍNTESI**

Importància del treball de biosíntesi: vida mitjana dels components moleculars de les cèl·lules de diferents teixits, treball de biosíntesi en cèl·lules en creixement. El nivell d'ATP i el treball de biosíntesi: estat estacionari, càrrega energètica, regulació independent de les vies productores i consumidores d'ATP. Aspectes energètics de la biosíntesi i degradació de la glucosa: relació entre els valors de  $\Delta G$  i els punts de regulació d'aquestes dues vies, cicles fútils. Aprofitament de la fotosíntesi per l'obtenció d'energia i materials: plantes C3 i C4, fotorespiració, millorament del rendiment energètic de la fotosíntesi mitjançant intervenció bioquímica.

## **7. TREBALL DE TRANSPORT**

Processos de transport espontani en membranes: difusió, òsmosi, equilibri Donnan i potencial de membrana. Exemples de transport espontani en sistemes biològics. Transport facilitat. Treball de transport: transport actiu i transport passiu. Sistemes de transport:  $(\text{Na}^+ - \text{K}^+) - \text{ATPasa}$ ,  $\text{Ca}^{2+} - \text{ATPasa}$ , cotransport, transport dirigit per gradients de protons, transposició de grup.

## **8. TREBALL MECÀNIC I ALTRES TREBALLS CEL·LULARS**

Transformació de l'energia química en energia mecànica: contracció muscular, motors moleculars. Transformació directa de l'energia dels gradients de protons en energia mecànica: els flagels bacterians. Energia elèctrica: membranes excitables, potencial d'acció, electroplaques de peixos elèctrics. Transformacions energètiques diverses en els receptors. Transformació de l'energia química en energia fotònica: bioluminescència.

## **9. RELACIONS ENTRE LA TEORIA DE LA INFORMACIÓ, LA TERMODINÀMICA I LA BIOLOGIA**

Temes bàsics de la teoria de la informació. Contingut d=informació. Relacions entre el contingut d=informació i l=entropia. Relacions entre energia i informació: el problema del dimoni de Maxwell. Implicacions a nivell biològic. Els sistemes vius i el segon principi de la Termodinàmica.

## **10. LA TERMODINÀMICA DELS PROCESSOS IRREVERSIBLES I LA BIOLOGIA**

Necessitat d=una Termodinàmica de sistemes oberts. Sistemes poc allunyats de l=equilibri: velocitat de producció interna d=entropia, equacions d=Onsager, estat estacionari, principi de la mínima producció d=entropia, aplicacions a sistemes vius. Sistemes molt allunyats de l=equilibri: inestabilitat de Bénard, reacció de Zhabotinski. Estructures dissipatives: possibles aplicacions a l=estudi dels sistemes vius.

## **11. QÜESTIONS ENERGÈTIQUES SOBRE LA FORMACIÓ D=ESTRUCTURES CEL·LULARS**

Formació d=estructures supramoleculares: diferències entre el treball de biosíntesi i la formació d=estructures supramoleculares, renaturalitzacions i reassociacions espontànies, cooperativitat, processos dirigits per l=entropia, efecte hidrofòbic. Consideracions energètiques sobre l=origen de la vida: fonts d=energia per la síntesi dels elements i les molècules fonamentals de la vida, formació de macromolècules, hipercicles, sistemes oberts. Evolució de les reaccions redox emprades pels sistemes vius: evolució de les cadenes de transport d=electrons, aparició dels organismes autotròfics fotosintètics, dels heterotròfics i dels eucariotes.

## **12. BIOENERGÈTICA I ECOLOGIA**

Flux d=energia en els ecosistemes: la cadena tròfica, el segon principi de la Termodinàmica i la piràmide energètica dels ecosistemes, energètica dels ecosistemes madurs, necessitat de l=existència d=un flux d=energia.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- Concepts in Bioenergetics  
L. Peusner (1974) Prentice-Hall.
- Foundations of Bioenergetics  
H.J. Morowitz (1979) Academic Press.
- The Vital Force: A Study of Bioenergetics  
F.M. Harold (1986) W.H. Freeman and Company.
- Molecules, Dynamics and Life: An Introduction to Self-organization of Matter  
A. Babloyantz (1986) J. Willey and Sons.
- Energy and the Evolution of Life  
R.F. Fox (1988) Academic Press.
- Energy Transduction in Biological Membranes: A Textbook of Bioenergetics  
W.A. Cramer & D.B. Knaff (1990) Springer-Verlag.
- Bioenergetics 2  
D.G. Nicolls & S.J. Ferguson (1992) Academic Press.
- Bioenergetics at a glance  
D.A. Harris (1995) Blackwell Science.

## **PRÀCTIQUES:**

Experiments sobre respiració de llevats. Respiració i fosforilació oxidativa en mitocondris de fetge de rata. Cloroplasts: experiments de fotosíntesi.

## **AVALUACIÓ:**

Examen amb preguntes de temes fonamentals i problemes teòrics (80% de la nota).  
Realització de les pràctiques i memòria sobre les pràctiques (20% de la nota).

**PROFESSORS:** Teoria: Joan-Ramon Daban  
Pràctiques: Maria Rosa Quintero

## **BIOENERGÈTICA: PROGRAMA DE SEMINARIS**

### **1. Història de la Bioenergètica**

- Fruton, J.A. (1972). Intracellular Respiration. Al llibre: Molecules and Life, pàg. 262-396. Wiley-Interscience, New York.
- Coleman, W. (1977). Biology in the Nineteenth Century, Cap. 6. Cambridge University Press, Cambridge.

### **2. Aplicació de la Termodinàmica a l'estudi de macromolècules biològiques: (a) Desnaturalització tèrmica de proteïnes; (b) Distribució de topoisòmers de DNA circular**

- Van Holde, K.E. (1971). Physical Biochemistry, Cap. 1. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Pulleyblank, D.E., Shure, M., Tang, D., Vinograd, J. & Vosberg, H.P. (1975). Action of Nicking-Closing Enzyme on Supercoiled and Non-supercoiled DNA: Formation of a Boltzmann Distribution of Topological Isomers. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 72, 4280-4284.
- Shure, M., Pulleyblank, D.E. & Vinograd, J. (1997). The Problems of Eukariotic and Prokariotic DNA Packaging and in vivo Conformation Posed by Superhelix Density Heterogeneity. Nucleic Acids Res., 4, 1183-1204

### **3. El genoma dels mitocondris i els cloroplasts**

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Watson, J.D. (1994). Molecular Biology of the Cell, pàg. 704-716. Garland Publishing, New York.

### **4. Energia tèrmica dissipada pels animals: Metabolisme basal**

- Ulmer, H.V. (1993). Metabolismo energético. Al llibre: Fisiología humana (Schmidt, R.F. & Thews, G., Eds.), Cap. 24. Interamericana/McGraw-Hill, New York.
- Hammond, K.A. & Diamond, J. (1997). Maximal Sustained Energy Budgets in Human and Animals. Nature, 386, 457-462.
- Lowell, B.B. & Spiegelman, B.M. (2000). Towards a Molecular Understanding of Adaptive Thermogenesis. Nature, 404, 652-660.

### **5. Patologies del metabolisme energètic dels mitocondris**

- Wallace, D.C. (1997). Mitochondrial DNA in Aging and Disease. Scientific American, Agost de 1997, 22-29.
- Wallace, D.C. (1999). Mitochondrial Diseases in Man and Mouse. Science, 283, 1482-1488.
- Weindruch, R. (1996). Caloric Restriction and Aging. Scientific American, Gener 1996, 32-39.

### **6. Estructura i mecanisme de transport de protons de la citocrom c oxidasa**

- Iwata, S., Ostermeier, C., Ludwig, B. & Michel, H. (1995). Structure at 2.8 Å Resolution of Cytochrome c Oxidase from *Paracoccus denitrificans*. Nature, 376, 660-669.

### **7. Premi Nobel de Química 1997. Estructura i mecanisme de la ATP sintasa**

- Boyer, P.D. (1993). The Binding Charge Mechanism for ATP Synthase. Some Probabilities and Possibilities. Biochim. Biophys. Acta., 1140, 215-250.
- Abrahams, J.P., Leslie, A.G.W., Lutter, R. & Walker, J.E. (1994). Structure at 2.8 Å Resolution of F<sub>1</sub>-ATPase from Bovine Heart Mitochondria. Nature, 370, 621-628.
- Noji, H., Yasuda, R., Yoshida, M. & Kinosita, K. (1997). Direct Observation of the Rotation of F<sub>1</sub>-ATPase. Nature, 386, 299-302.

## **8. Centres de reacció fotosintètics**

- Huber, R. (1989). Nobel Lecture: A Structural Basis of Light Energy and Electron Transfer in Biology. *EMBO J.*, 8, 2125-2147.
- Deisenhofer, J. & Michel, H. (1989). Nobel Lecture: The Photosynthetic Reaction Centre from the Purple Bacterium *Rhodospseudomonas viridis*. *EMBO J.*, 8, 2149-2169.

## **9. Possibles aplicacions tecnològiques del coneixement actual sobre aspectes fonamentals de la fotosíntesi**

- Vega, J.M., Castillo, F. & Cárdenas, J. (1983). Fotoproducción de Combustibles. Al llibre: La Bioconversión de la energía, pág. 101-128. Ediciones Pirámide, Madrid.
- Adams, M.W.W. & Steifel, E.I. (1998). Biological Hydrogen Production: Not so Elementary. *Science*, 282, 1842-1843.
- Cogdell, R.L & Lindsay, J.G. (1998). Can Photosynthesis Provide a “Biological Blueprint” for the Design of Novel Solar Cells? *Trends in Biotechnology*, 16, 521-527.

## **10. Biomassa: Energia i estalvi de materials**

- Calvin, M. (1983). New Sources for Fuel and Materials. *Science*, 219, 24-26.
- Patterson, W. (1994). Power from Plants. Earthcan Publications, London.
- Mann, C.C. (1999). Genetic Engineers Aim to Soup Up Crop Photosynthesis. *Science*, 283, 314-316.

## **11. Observació directa de la força i el treball desenvolupats pels motors monomoleculars de miosina**

- Finer, J.T., Simmons, R.M. & Spudich, J.A. (1994). Single Myosin Molecule Mechanics: Piconewton Forces and Nanometre Steps. *Nature*, 368, 113-119.
- Spudich, J.A. (1994). How Molecular Motors Work. *Nature*, 372, 515-518.

## **12. Els límits físics de la Teoria de la Informació: Ordinadors moleculars de mínima despesa energètica**

- Birge, R.R. (1995). Protein-Based Computers. *Scientific American*, Març de 1995, 66-71.
- Adleman, L.M. (1998). Computing with DNA. *Scientific American*, Agost de 1998, 34-41.

## **13. Aspectes energètics de la formació dels àtoms i molècules essencials per a la vida sobre la Terra**

- Fox, R.F. (1988) Energy and the Evolution of Life, Cap. 1. Academic Press, New York.

## **14. Evolució de les cadenes biològiques de transport electrònic**

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Watson, J.D. (1994). Molecular Biology of the Cell, pág. 697-703. Garland Publishing, New York.
- Martin, W. & Müller, M. (1998). The Hydrogen Hypothesis for the First Eukaryote. *Nature*, 392, 37-41.

## **15. Visió global dels fluxos d'energia a la biosfera**

- Smil, V. (1991) General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. J. Wiley and Sons, New York.