

# Cos antic, entorn modern

El nostre cos està preparat  
per a la vida moderna?

Javier Casado  
Miquel Llobera  
Francesc López  
Ignasi Ramírez  
Maria Soley

# Cos antic, entorn modern

*Col·lecció Catàlisi*  
*Ciència Catalana Contemporània*

# **Cos antic, entorn modern**

**El nostre cos està preparat  
per a la vida moderna?**

**Javier Casado**

**Miquel Llobera**

**Francesc López**

**Ignasi Ramírez**

**Maria Soley**



# index

|              |    |
|--------------|----|
| Pròleg ..... | 13 |
|--------------|----|

## **PART I. HEM D'ARRIBAR A LA PROPERA GASOLINERA! REGULACIÓ DEL METABOLISME**

### **Capítol 1. Metabolisme automobilístic, de Miquel Llobera Sande ..... 21**

- Un viatge de 1.200 km: de sol a sol
- El nostre vehicle és automàtic!!!
- Ple, si us plau: omplint el nostre dipòsit
- Energia: per a què i com
- No guardem monedes d'euro
- En tenim dos, de dipòsits principals
- El carburador: com recuperem l'energia emmagatzemada?
- Recapitulació

### **Capítol 2. El metabolisme: la xarxa de transport públic de les molècules, de Miquel Llobera Sande ..... 39**

- En metro per París
- A cada cèl·lula hi tenim una xarxa d'interconversions
- La nostra xarxa bàsica del metabolisme intermediari
- Com obtenim energia (de les nostres reserves) amb oxigen
- Com obtenim energia (de les nostres reserves) sense oxigen
- Podem interconvertir matèria
- Els teixits: repartiment de tasques metabòliques
- Recapitulació

### **Capítol 3. Milions de controls per segon: tot en ordre, de Miquel Llobera Sande ..... 57**

- Tot en ordre!
- Per què funcionen les reaccions químiques del nostre cos?
- Posar i treure aixetes o obrir-les i tancar-les
- Cal controlar-ho tot? Caldrà un ordinador com el Deep Blue!
- Recapitulació

## **PART II. ELS NOSTRES AVANTPASSATS (ENTORN PREHISTÒRIC)**

- Capítol 4. Estressats per sobreviure. Estrès d'abans (i d'ara),**  
d'Ignasi Ramírez Sunyer ..... 71
- La lluita per la supervivència: l'estrès d'abans
  - Uf, quin estrès!
  - Estrès: de fora o de dins?
  - Preparat per a tot: adrenalina pura!
  - El control a l'ombra (dels ronyons)
  - Recapitulació
- Capítol 5. Lluita o fugida,** de Francesc López Soriano ..... 91
- Sol davant el perill: la musculatura actua
  - Mirant dins la musculatura
  - El múscul en acció
  - Fibres de colors
  - Més fusta, és la guerra: carburants del múscul
  - Exercici físic: diferents maneres de gastar
  - Estic rebentat: fatiga muscular
  - Recapitulació
- Capítol 6. Dejuni,** de Javier Casado Merediz ..... 123
- Paleogastronomia: la dieta prehistòrica
  - De la ingesta al dejuni: fases del cicle alimentari
  - Principals protagonistes del dejuni
  - Adaptacions al dejuni
  - El final del dejuni
  - Recapitulació

## **PART III. HOME MODERN (ENTORN CONTEMPORANI)**

- Capítol 7. Sobreviure estressats. L'estrès actual,**  
d'Ignasi Ramírez Sunyer ..... 155
- L'estrès d'avui
  - Quan l'excepció es fa norma: vida estressant
  - Què tenen en comú la hipertensió i la irascibilitat?
  - L'estrès ens altera el sistema endocrí i el metabolisme
  - L'estrès, els refredats i les pèrdues de memòria
  - Recapitulació

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Capítol 8. Sedentarisme</b> , de Maria Soley Farrés .....         | 169 |
| • Aixeca't i camina!                                                 |     |
| • Mengem per gastar, o gastem per menjar?                            |     |
| • Desfilant per a tots vostès, l'índex de massa corporal             |     |
| • Les despeses de manteniment no són una hipoteca                    |     |
| • La despesa extra del gimnàs (per no parlar de les tarifes)         |     |
| • La societat s'escarxofa al sofà?                                   |     |
| • Quan no fem res ens passen moltes coses (i poques de bones)        |     |
| • La rajola de xocolata                                              |     |
| • El comandament a distància: enemic públic núm. 1                   |     |
| • Recapitulació                                                      |     |
| <b>Capítol 9. Menjar poc</b> , de Maria Soley Farrés .....           | 199 |
| • La piràmide més famosa                                             |     |
| • Deconstrucció de l'alimentació                                     |     |
| • Què és una dieta equilibrada?                                      |     |
| • Dietes per a tots els gustos                                       |     |
| • Els extrems mai són bons. Tot, tot i tot (però en la justa mesura) |     |
| • Piràmides incompletes                                              |     |
| • El club de les proteïnes                                           |     |
| • Jugant al límit                                                    |     |
| • Sempre, sempre i sempre... una dieta equilibrada                   |     |
| • Recapitulació                                                      |     |
| <b>Capítol 10. Menjar massa</b> , d'Ignasi Ramírez Sunyer .....      | 241 |
| • Persones grosses, persones grasses                                 |     |
| • La fam del sud, la gola del nord                                   |     |
| • Tots els camins porten al greix?                                   |     |
| • Amistats perilloses: obesitat i diabetis                           |     |
| • Els excessos es paguen                                             |     |
| • Recapitulació                                                      |     |
| <b>Glossari</b> .....                                                | 271 |
| <b>Bibliografia</b> .....                                            | 281 |

El nostre cos no està preparat per a l'estrès persistent, ni per al sedentarisme, ni per menjar molt. Malauradament, molts d'aquests factors són massa presents a les nostres vides i això ens pot portar a patir algunes de les malalties més freqüents de la vida moderna, com ara la diabetis, l'obesitat, l'anorèxia o les malalties cardiovasculars. El metabolisme ens explica com els òrgans i els teixits del nostre cos obtenen l'energia que necessiten per fer les seves funcions. Si entenem això, aprendrem què hem de fer per cuidar el nostre cos i gaudir d'una bona salut.

En aquest llibre expliquem què és el metabolisme; però, sobretot, volem que s'entengui que el metabolisme que tenim nosaltres avui dia és essencialment el mateix que hem heretat dels nostres avantpassats, i de les espècies antecessores de la nostra. Ens enfrontem al nostre dia a dia amb un cos antic que no està preparat per a l'estrès i els excessos de la vida moderna. D'aquí es desencadenen molts dels problemes de salut actuals.

Aquest cos antic, profundament arrelat en la història evolutiva dels animals, està adaptat a molt moviment i a menjar ara sí, ara no. Els nostres avantpassats feien activitats físiques molt intenses, que eren necessàries i fonamentals per sobreviure. Avui dia correm i correm sense pràcticament fer activitat física. El ritme de la vida moderna és frenètic, però la mobilitat no ens sol implicar gaire esforç físic: anem amb el cotxe de porta a porta. Abans, en canvi, els humans es movien molt però vivien a poc a poc. Els nostres avantpassats, a més, vivien períodes d'escassetat intercalats amb períodes de disponibilitat d'aliments. Això els permetia mantenir un pes corporal adequat: ni massa baix, ja que els faltarien reserves per als moments d'escassetat; ni massa elevat, ja que els dificultaria el moviment.

I és que els nostres avantpassats no tenien un plat a taula cada dia de l'any. Passaven temporades durant les quals els aliments eren escassos. No cal anar molt lluny per saber què feien els pagesos dels nostres pobles davant d'aquestes situacions: dels excedents de menjar, en guardaven una part per a l'hivern, i si una temporada hi havia males collites es passava gana. Actualment la fam també és la causa de la malnutrició de gairebé mil milions de persones al món, i d'aquestes n'hi ha uns tres-cents milions en situació extrema. Així, la malnutrició ha estat i continua sent

la causa de la mort prematura tant d'infants com d'adults, així com de moltes malalties.

En períodes d'escassetat els que sobreviuen són els que tenen més reserves. La reserva pot ser al graner, però per què no al propi cos? Antigament, tenir la reserva al cos era una millor garantia de supervivència en períodes de privació d'aliments. Per aquest motiu tenir un percentatge de greix corporal a l'entorn d'un 25% era molt convenient. Aquesta reserva ens pot permetre viure en dejuni total durant gairebé un parell de setmanes, sense que per això es produeixin danys irreversibles per al cos. També sabem que una persona pot viure a l'entorn de cinquanta dies sense menjar res... malgrat tot, el preu d'aquesta acció és un deteriorament progressiu que, finalment, pot acabar en la mort. Els canvis que es donen a mesura que el dejuni s'allarga en el temps ens indiquen que el nostre cos està molt preparat per passar una certa escassetat.

L'estudi de l'adaptació metabòlica al dejuni ens demostra que la reserva de greix del teixit adipós serà fonamental per a gairebé tots els teixits i òrgans del nostre cos. És per això que davant dels aliments el nostre instint "primitiu" ens diu: "Menja!". Però si sempre tenim aliments a disposició, aquest instint acabarà fent-nos mal. El que era un avantatge per als nostres avantpassats, ara és una trampa per a nosaltres. L'instint d'emmagatzemar ens porta a menjar sense control i a esdevenir obesos. Aquesta obesitat (que a dia d'avui gairebé afecta uns mil milions de persones) és la base de minusvalideses o de malalties associades, com ara la diabetis i les malalties cardiovasculars o de l'escurçament de l'esperança de vida. Actualment, la sobreabundància d'aliments es combina amb els estímuls comercials al consum. I, a l'altra cara de la moneda, hi ha la pressió per estar prim, que porta a l'anorèxia i a altres problemes que se'n deriven. Tots són fenòmens que, si bé no són nous, afecten capes cada vegada més extenses de la població en les societats més desenvolupades econòmicament.

Els nostres avantpassats també van sobreviure amb un cert nivell d'estrès al seu entorn. Les seves condicions de vida eren molt dures: a diferència de nosaltres, no podien combatre el fred o la calor amb la calefacció o amb l'aire condicionat. Afortunadament, tenien el foc i de vegades rius d'aigua fresca al seu abast. Els animals salvatges eren els seus enemics i, alhora, part del seu aliment. La sequera no la podien solucionar amb transvasaments ni dessaladores. En aquestes condicions, havien de migrar contínuament d'un lloc a un altre, sovint a la recerca d'aliment. Alguns joves morien de malalties de les quals avui ens curem amb un senzill antibiòtic. Així doncs, l'estrès no és un invent modern, sinó que sempre n'hi ha hagut.

Però el que ha variat al llarg de la nostra història evolutiva són les causes que el provoquen.

La societat en què vivim ens genera unes tensions que els nostres avantpassats no van experimentar mai. El que ens produeix estrès en l'actualitat anys enrere no existia. Aquesta pressa, aquest afany de tenir més i més o d'arribar amunt i amunt en l'escala social, la creença falsa de la nostra ubiqüitat, ens rosega els anys i la qualitat de vida. És el nostre estrès de cada dia i hem de mirar de no tenir-lo demà. La resposta del nostre cos davant diferents tipus d'estrès, tot i els matisos, és molt semblant i no ha variat al llarg de milions d'anys. Un avantpassat nostre, davant d'una bèstia feroç, patia una descàrrega d'adrenalina molt semblant a la que sentim nosaltres davant d'un atracament. L'adrenalina és la mateixa i té els mateixos efectes: provoca la mobilització de reserves energètiques del nostre cos cap al cor i els músculs perquè les cames i els braços estiguin preparats per poder lluitar o fugir. Per tant, la resposta a l'estrès és un mecanisme de supervivència. L'estrès no és dolent, ni el d'abans ni el d'avui. Fins i tot, pot ser bo. Per què, doncs, tenim por a l'estrès? L'estrès és dolent quan és massa fort i quan es fa crònic, com és habitual en moltes persones de la nostra societat.

L'estrès prepara el cos per a la lluita o la fugida i això, per als nostres avantpassats, implicava moviment. Com s'ho fan els músculs per treballar més? Què els passa? Això ens ho explica el metabolisme. El cor rep més energia i batega més fort i més ràpid, fent que surti més sang cap als músculs, els quals reben més energia i més oxigen per poder treballar més intensament. Per obtenir energia els músculs utilitzen glúcids o lípids, de vegades tots dos. Però quines conseqüències té utilitzar un o altre carburant? Com ens condiciona la capacitat de treball dels nostres músculs? Doncs pot arribar a significar la vida o la mort: escapar d'una amenaça, aguantar en el combat més que el contrincant i guanyar la batalla depenen del nostre metabolisme! Ara bé, tothom sap que per córrer bé cal un bon entrenament... cosa que sí que practicaven els nostres avantpassats i, malauradament, no gaires de nosaltres.

Centenars i milers d'anys enrere, la mort o les malalties no es produïen per excés d'aliments, sinó que es produïen a causa d'accidents, de la confrontació amb altres congèneres o animals, d'infeccions o de la desnutrició. Als països més desenvolupats econòmicament hem solucionat bona part de les infeccions, podem guarir el dany de molts accidents, les condicions higièniques han millorat i un percentatge elevat de la població no presenta problemes greus de desnutrició. Així doncs, podríem dir que hem solucionat una part notable dels problemes dels nostres avantpassats. Però, a canvi, patim els problemes de l'excés.

És obvi que, ni com a individus ni com a espècie, tolerem bé l'estrès esdevingut crònic, el sedentarisme o la sobreabundància d'aliments. Els nostres cossos no disposen de bons mecanismes d'adaptació a aquestes situacions. A hores d'ara estarem tots d'acord que el metabolisme és important per a les nostres vides, per entendre'ns a nosaltres mateixos. El nostre cos està format per òrgans i teixits, cadascun dels quals té una funció específica. Com obtenen l'energia que necessiten? Ho fan tots de la mateixa manera? Com la utilitzen o l'emmagatzemen? Què passa quan mengem una botifarra amb seques?

Aquest llibre està dirigit a totes aquelles persones que en vulguin saber les respostes i que vulguin entendre aquest metabolisme que hem heretat dels nostres avantpassats. Les pàgines que segueixen són producte d'un gran esforç per explicar de la manera més amena possible la complexitat del nostre metabolisme. Els lectors trobaran explicacions bàsiques i entenedores dels processos biològics que sustenten el nostre metabolisme, acompanyades de gràfics i taules que en facilitaran la lectura. Al text també es trobaran explicacions més específiques i detallades, adreçades a lectors més iniciats en el tema. Ningú, però, s'hauria de fer enrere per culpa de la terminologia científica: els conceptes més bàsics i complicats s'expliquen àmpliament al text i al glossari, mentre que els detalls més tècnics poden ser passats per alt per aquells que estiguin interessats en una lectura més general.

El text consta de deu capítols, organitzats en tres parts. La primera part és una introducció als conceptes bàsics del metabolisme i als seus mecanismes de regulació. A través dels tres primers capítols (1-3), si entenem com funcionen els cotxes, les línies de metro d'una gran ciutat o els sistemes de vasos comunicants, també acabarem per entendre d'on i com obté l'energia el nostre cos, com s'estructuren les xarxes metabòliques que ens permeten fabricar i utilitzar aquesta energia per viure, i quins mecanismes té el nostre cos per controlar aquestes reaccions metabòliques.

La segona part està dedicada a l'entorn prehistòric i repassa les característiques del metabolisme dels nostres avantpassats. Aquesta part comprèn tres capítols més (4-6), en els quals s'explica com responien els nostres avantpassats a les situacions d'estrès, com reaccionava el seu cos davant d'una situació de lluita o fugida i com era possible sobreviure a situacions de dejuni, tant esporàdiques com cròniques. Però no es tracta només de conèixer el passat. Com ja hem explicat, el metabolisme d'avui és el metabolisme d'abans, i gràcies a aquests coneixements entendrem per què l'estrès, en petites dosis, pot augmentar la nostra eficiència; entendrem per què sentim fatiga després de fer un exercici molt intens i com respon el nostre cos a l'entrenament físic; i també ens adonarem que les situacions de dejuni encara for-

men part del nostre dia a dia; pensem si no en les hores que passem dormint, en les persones que fan el ramadà i en les que fan vagues de fam com a actes de protesta.

La tercera i última part consta de quatre capítols (7-10) dedicats a l'entorn contemporani, al metabolisme d'avui. En cada capítol es tracta un dels excessos associats a l'estil de vida moderna: l'estrès intens i crònic, el sedentarisme, el menjar escàs i el menjar abundant. Aquests temes se solen prendre a la lleugera, però cadascun d'aquests excessos està associat a diferents malalties que malauradament cada cop són més freqüents en la nostra societat. Amb aquest llibre entendrem quant de mal pot fer-nos l'estrès i la manca d'activitat física i, d'altra banda, quant de bé ens pot fer una dieta sana i equilibrada.

Seguint aquesta estructura lògica, els capítols estan ordenats per donar una visió àmplia, però també detallada, de la manera com el metabolisme ens afecta en diferents aspectes del nostre dia a dia. Els primers tres capítols ofereixen el coneixement general per entendre els ets i uts del metabolisme i de tot allò que s'explica en els capítols següents. El lector, però, també pot optar per llegir directament el capítol concret que li desperta més interès. Una lectura a la carta, podríem dir, que esperem que sigui del gust de tots els consumidors. Bon profit!

# CAPÍTOL 1

## **METABOLISME AUTOMOBILÍSTIC**

MIQUEL LLOBERA SANDE

### *Un viatge de 1.200 km: de sol a sol*

—Ens estem quedant sense gasolina!

—Ostres, Arthur! Quantes vegades t'ho he dit...?

—És que... tants camions i tantes pujades... gastem més del que em pensava!

—I ara què fem? Quant falta per a una gasolinera?

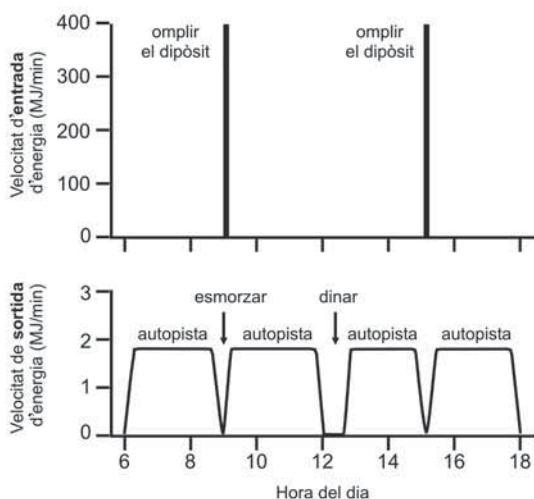
—Més de 100 km... no crec que hi arribem...

Una escapadeta a París! L'Arthur i la Bruna han sortit de Badalona a les 6 h i d'una tirada han fet uns 300 km. Cap a les 9 h han parat per fer gasolina, i tornem-hi! A les 12 h han parat per estirar les cames i dinar, i a 3/4 de 13 h han tornat a agafar l'autopista. Es quedaven sense gasolina, però a 2/4 de 16 h per fi han pogut omplir el dipòsit. Cap a les 20 h ja han arribat a Montmartre, després de deixar el cotxe al pàrquing de l'hotel.

Durant aquest viatge, la distribució horària d'entrades d'energia del cotxe

ha estat clarament diferent de la de les despeses (sortides d'energia) (figura 1.1): les entrades han estat disperses, mentre que la despesa ha estat molt més constant i mantinguda. De fet, les dues entrades d'energia s'han fet en moments de despesa zero, quan el cotxe estava parat a la benzinera mentre s'emplenava el dipòsit de gasolina. I és que encara no s'utilitzen sistemes més sofisticats de posar gasolina com els de repostatge en vol amb avions d'abastament!

Fixem-nos també que entre les 9 h i 2/4 de 16 h han fet una gran despesa (més de 700 km) sense cap entrada d'energia. Evidentment, això és possible perquè el cotxe té un sistema de magatzem d'energia (el dipòsit), un sistema de conversió d'aquesta energia emmagatzemada en treball útil (el motor) i un mecanisme de control. La veritat és que, fins que els cotxes no siguin tan fantàstics com el d'en Michael Knight, aquesta funció de control encara l'hem de fer els humans, amb el nostre cervell... Entre l'Arthur



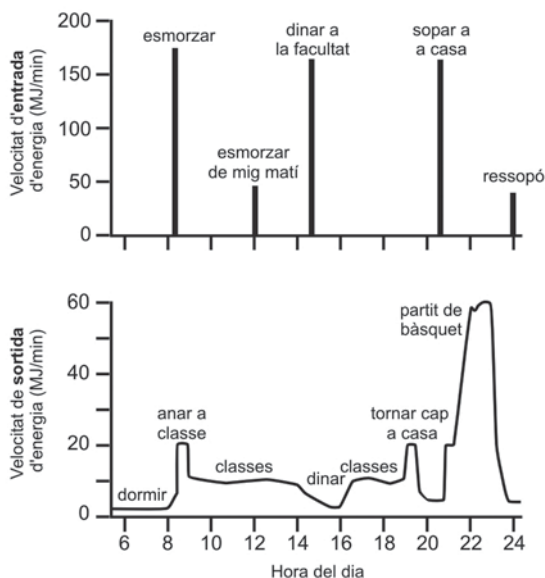
**Figura 1.1.** Velocitats d'entrada i sortida d'energia en un cotxe durant un viatge (redibuixat de Frayn, 1998).

i la Bruna han regulat el flux de transformació de l'energia emmagatzemada en treball durant el viatge: han decidit a quina velocitat viatjar i quan calia fer gasolina (de fet, la Bruna prou que li ho adverteix... cal parar abans!).

### ***El nostre vehicle és automàtic!!!***

Què hi fa l'escapada a París de l'Arthur i la Bruna en un llibre de regulació del metabolisme? Doncs molt senzill, el que passa és que en el nostre "viatge" diari, de sol a sol, al nostre cos li

passen coses semblants, energèticament parlant, a les del seu cotxe. A la figura 1.2 en tenim un exemple. A la part superior de la figura hi ha representada la distribució horària de les ingestes d'un estudiant universitari: esmorzar cap a les 8.15 h (val a dir que l'individu del nostre exemple no matina massa); un cafetó i una pasteta cap a les 12 h; el dinar passades les 14 h; el sopar cap a les 21 h (tot veient el telenotícies), i unes galetetes abans d'anar a dormir, a les 24 h. A la part inferior de la figura hi ha la distribució horària de les despeses d'energia: entre les 8.30 h i les 9 h anant cap a classe; fins a les 14 h el que



**Figura 1.2.** Velocitats d'entrada i sortida d'energia en una persona durant un dia típic (redibuixat de Frayn, 1998).

gasta a les classes (prenent apunts, perquè pensant... no gaire!); entre les 19 h i les 20 h tornant a casa (sí, sí, fent una volta perquè triga més que al matí); i fent un partidet de bàsquet després de sopar.

Veiem, doncs, que el nostre cos també importa energia (l'energia química obtinguda a partir dels aliments) seguint una distribució horària discreta (de vegades massa poc discreta...!), que no coincideix amb la distribució horària de la despesa energètica. Ben al contrari, quan mengem no gastem. O això hauríem de fer, perquè això de

menjar tot caminant no és gens saludable!

Per tant, el nostre cos ha de disposar de sistemes d'emmagatzematge de l'energia ingerida (fonamentalment el glicogen que acumulem al fetge i al múscul –ja en parlarem!– i els mixelins de greix que acumulem... a tot arreu!... però sí, especialment aquí i allà). A més, el nostre cos consumeix energia i és capaç de transformar l'energia (ingerida i/o emmagatzemada) en treball físic, intel·lectual, etc. La nostra despesa és més variable que la del cotxe en el viatge per autopista perquè nosal-

tres no anem tota l'estona a 130 km/h per pla, sinó que la nostra activitat al llarg del dia és molt variable. Tanmateix, fixem-nos que a diferència del cotxe, nosaltres mai no estem “parats” del tot, sinó al ralenti. Sempre gastem una mica d'energia, fins i tot dormint. Aquesta activitat mínima s'anomena “metabolisme basal”. I, finalment, el nostre cos sí que disposa d'un sistema de regulació que sincronitza la mobilització de reserves amb la despesa. Com en el cas del motor, aquest sistema de regulació està relacionat amb el cervell, però en aquest cas no depèn de la part conscient: no cal que discutim amb la Bruna o l'Arthur si és el moment d'alliberar energia dels nostres magatzems, ni si arribarem al final del dia amb prou quantitat d'energia. És un sistema automàtic!

### *Ple, si us plau: omplint el nostre dipòsit*

Tota l'energia que consumim (i que transformem en treball físic, electricitat, calor, etc.) ve del Sol. Però, tot i sent tan sofisticats com semblen (i el que abarateixen les plaques solars), no som capaços de captar-la directament. Els vegetals, i alguns bacteris, són els únics organismes que són capaços de captar l'energia de la llum solar. Són els anomenats “organismes fotòtrofs”. Mitjançant la fotosíntesi, transformen l'energia solar en energia química, i ho fan de la manera següent: a partir de

molècules inorgàniques com el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) i l'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), fabriquen molècules de matèria orgànica, com ara la glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). L'energia química que generen en aquest procés l'emmagatzemen en alguns dels enllaços químics que uneixen els sis àtoms de carboni, els dotze d'hidrogen i els sis d'oxigen de la molècula de glucosa. Aquesta capacitat de produir matèria a partir de la llum del sol és un gran avantatge per als organismes fotòtrofs, i, de retruc, aquests organismes, com que consumeixen  $\text{CO}_2$ , disminueixen l'efecte hivernacle!

Nosaltres, que som organismes quimiòtrofs, hem d'aprofitar l'energia dels compostos orgànics fabricats pels fotòtrofs. Això ho aconseguim fent uns passos molt bàsics relacionats amb el procés de la digestió (que explicarem amb més detall al capítol 6). El primer pas consisteix a ingerir els compostos orgànics, o bé directament (menjant vegetals com amanides, fruites i verdures); o bé indirectament, menjant-nos animals (com el pollastre) que prèviament s'han alimentat de les plantes (el pinso), o animals que han menjat altres animals que, al seu torn, han menjat plantes... Aquest camí que segueix l'energia s'anomena “cadena tròfica”; i en cadascun dels seus “nivells” (els “nivells tròfics”) només s'acumula el 10% de l'energia, perquè l'altre 90% s'utilitza o es perd en forma de calor durant l'activitat vital. Així, els pollastres d'una granja, per cada 10 kg de pinso que mengen, només produeixen 1 kg de carn, de la qual després ens

podrem alimentar nosaltres. Ja se sap, com en els negocis, en cada subcontracte es “deriven” molts diners!

El segon pas consisteix a digerir els compostos orgànics. És a dir, hem de desmuntar-ne els components primaris; és com desmuntar un castell de Lego en peces de dos, quatre, allargades, rodones, vermelles, verdes, blaves... El que és fantàstic del metabolisme és que aquestes peces que digerim a partir dels aliments (que són ni més ni menys que les famoses biomolècules, com els monosacàrids, els aminoàcids i els àcids grassos, que veurem més endavant) són pràcticament iguals als components de les molècules que ens constitueixen a nosaltres mateixos! A partir d'aquestes molècules, de vegades modificant-les lleugerament, podrem construir les nostres molècules més complexes.

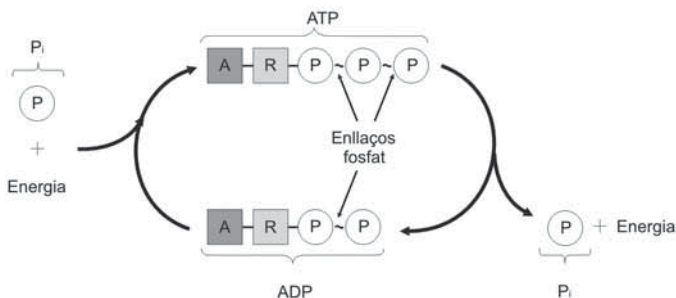
Després de digerir aquestes peces bàsiques, les hem d'absorbir, i això es fa principalment al budell prim. Un cop absorbides, les hem de transportar per tot el cos a través d'una cadena contínua, com és la sang. I, finalment, les hem de degradar per tal d'extreure'n l'energia que les plantes hi havien emmagatzemat. Si malgrat tot en aquell moment no necessitem fer cap despesa d'energia, també podem transformar les molècules en reserves que podrem utilitzar quan necessitem l'energia que contenen. Així doncs, consumim energia procedent del Sol que recentment ha estat emmagatzemada per les plantes en forma de compostos orgànics.

Pensat així, no ens diferenciem tant

dels cotxes actuals. I és que l'“aliment” dels cotxes, la gasolina, procedeix del petroli, que no és més que grans acumulacions de matèria orgànica (restes d'organismes microscòpics i d'algues marines) que es van dipositar al fons del mar i que amb el temps, molt de temps, es van fossilitzar i van quedar enterrades sota grans capes de sediments. Per tant, la gasolina també és una forma d'energia procedent del Sol! I encara ens assemblem més als cotxes del futur, que funcionaran amb biodièsel (obtingut a partir d'olis vegetals o greixos animals) o amb electricitat (que podrà procedir de plaques solars).

## *Energia: per a què i com*

Necessitem energia per poder treballar. Sí, sí, a les nostres cèl·lules es treballa, i molt! Continuament es desmunten molècules i estructures velles o fetes mal bé, i se'n construeixen de noves. Així s'aconsegueix alentir el procés d'envel·liment (quants ajuntaments n'haurien d'aprendre, entre altres coses, respecte al mobiliari urbà!). A les cèl·lules també es transporten molècules contínuament amunt i avall: que si aquests ions s'han de portar a l'altre costat de la membrana tot i que allà n'hi hagi més que aquí, que si cal transportar aquestes vesícules o aquests mitocondris cap a aquella zona, que si s'han d'ajuntar aquestes estructures, tot i que costi, perquè es pugui produir la contracció muscular, que si ara toca dividir la cèl·lula



**Figura 1.3.** La interconversió entre ATP i ADP + Pi com a moneda energètica. Una molècula d'ADP, amb un suplement d'energia, pot incorporar un àtom de fosfat i convertir-se en una molècula d'ATP. La cèl·lula pot recuperar part d'aquesta energia trencant l'últim enllaç fosfat de la molècula d'ATP i d'aquesta manera es tanca el cicle, alliberant un àtom de fosfat inorgànic (Pi) i tornant a formar una molècula d'ADP. L'ATP i l'ADP estan formades per la unió de les molècules següents: A: adenosina, R: ribosa, P: fosfat.

i hem de copiar tots els cromosomes i repartir-los a parts iguals, etc.

Tot aquest treball no es paga amb euros, sinó que la moneda en circulació al mercat del metabolisme són els enllaços fosfat. L'ATP és una molècula relativament petita que s'anomena així perquè està formada per una molècula que es diu adenosina (A) que hi té units tres (T) àtoms de fosfat, que en anglès s'escriu "phosphates" (P) (figura 1.3). Com aquelles varetes que contenen un líquid verd que fa llum, quan la molècula de l'ATP es trenca alliberant el seu tercer fosfat (Pi, la primera i d'"inorgànic") es

genera energia. La molècula que en resulta s'anomena ADP perquè ara només té dos (D) fosfats. Amb una certa quantitat d'energia (més de la que obtindrem en trencar l'ATP), l'ADP es pot tornar a unir a un Pi i generar ATP. D'aquesta manera, el sistema ATP/ADP+Pi és com una mena de corretja de transmissió que funciona entre els llocs de la cèl·lula on se'n produeix i els llocs on se'n gasta.

### Lligat amb l'energia... en quines unitats la mesurem?

Quan parlem d'energia, des de sempre s'ha fet servir com a mesura la ca-

loria (cal). Una caloria és la quantitat de calor necessària per fer pujar la temperatura d'un gram d'aigua destil·lada (aigua-aigua, sense sals, ni calci, ni res) de 14,5 °C a 15,5 °C. Com que per a moltes coses resulta una unitat petita, s'utilitza la quilocaloria (kcal); és a dir, consisteix a comptar les calories de mil en mil (com els euros, que compten les pessetes de 166 en 166). La caloria (i la quilocaloria) encara s'utilitzen molt, però la unitat d'energia acceptada pel sistema internacional és una altra unitat: el joule (pronunciat "jul" i abreuiat J), i el seu múltiple, el quilojoule (kJ). Un joule són aproximadament 0,24 calories i, per tant, 1 caloria són aproximadament 4,2 joules.

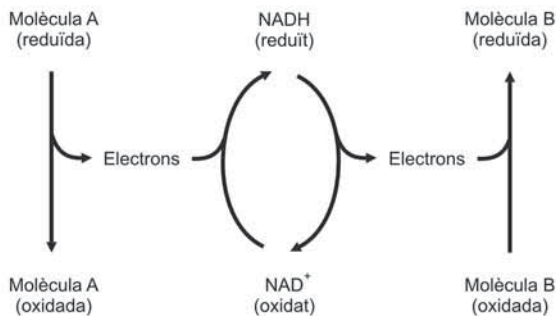
## *No guardem monedes d'euro*

En condicions de repòs, consumim aproximadament 1 kcal per minut (uns 4.200 J). Vaja, com una bombeta de 70 W (un watt, abreuiat W, és una unitat de potència elèctrica i correspon a un J per segon). Doncs tampoc consumim tant! Depenent, però, de l'activitat física que fem (la intel·lectual gasta molt menys i, no ens enganyem, tampoc en fem tanta!) podem arribar a consumir 2.600 kcal (uns 10.900 kJ o, el que és el mateix, 1.500 W durant 2 hores) si estem corrent una maratón, o 22 kcal (92 kJ, que corresponen a uns 9.200 W durant 10 segons) si estem corrent una cursa de 100 metres!

Durant un dia d'activitat normal, però, gastem unes 2.500 kcal (uns

10.500 kJ). I tenim emmagatzemades (de mitjana... si estem grassets molta més!) unes 120.000 kcal (més de mig milió de quilojoules!). És a dir, la gasolina suficient per a uns 50 dies d'activitat normal, una quantitat que equivaldria a quasi dos mesos d'autonomia sense menjar. Molt més que el cotxe de l'Arthur i la Bruna! Fixem-nos, però, que els 10.500 kJ que gastem diàriament suposen unes quantes monedes d'ATP. Els científics (entre altres coses, no ens enganyem, perquè no se'ls entengui!) no parlen de monedes d'ATP, sinó de mols. Un mol és una quantitat del compost igual al seu pes molecular, però expressada en grams. Cada mol d'ATP, quan passa a ADP i Pi, allibera uns 30,6 kJ (figura 1.3). La nostra despesa diària equival, doncs, a uns 340 mol d'ATP. Així, quant pesa un mol d'ATP? Doncs, tot i que ja hem dit que és una molècula relativament petita, pesa més de mig quilo (547 grams per ser exactes). Per tant, si l'energia que consumim cada dia l'emmagatzeméssim en ATP, pesaria gairebé uns 200 quilos! ( $340 \text{ mol d'ATP} \times 547 \text{ g/mol} = 186 \text{ kg}$ ). I encara més, l'energia que emmagatzemem de mitjana en els nostres cossos, si es guardés en forma d'ATP, suposaria un pes de...  $500.000 \text{ kJ} \times 547 \text{ g} / 30,6 \text{ kJ ATP} =$  unes 8,9 tones!

Sí que és veritat que hi ha gent que és molt pesant, però no tant! És evident, doncs, que el sistema ATP/ADP+Pi no és el que utilitzen per emmagatzemar energia. En efecte, només és un sistema de transport de l'energia des dels llocs



**Figura 1.4.** El sistema  $NAD^+/NADH$  permet transportar electrons entre molècules. En aquest exemple veiem com l' $NAD^+/NADH$  actua com a missatger d'electrons des de la molècula A fins a la B. La molècula A, que en principi està reduïda, perd els seus electrons i s'oxida. Aquests electrons lliures són captats per l' $NAD^+$  i en fer-ho es redueix a NADH. L'NADH també pot perdre els electrons, oxidant-se a  $NAD^+$ . En cedir els electrons a la molècula oxidada B, aquesta es redueix.

on es produeix i els llocs on es consumeix. Ara ho explicarem amb més detall a l'apartat següent, però és important que quedi clara la idea que, de fet, a cada cèl·lula hi ha un nombre relativament baix de molècules d'ATP+ADP. El que passa és que es converteixen molt ràpidament l'una en l'altra omplint ( $ADP+P_i \rightarrow ATP$ ) i buidant ( $ATP \rightarrow ADP+P_i$ ) la “galleda” d'energia i fent de llançadora entre els llocs de producció i els de consum d'energia.

### ...guardem or!

Si els bancs haguessin de guardar les monedes d'euro, els diners ocuparien molt d'espai... En comptes d'això, els

bancs compren or amb els euros per emmagatzemar-lo, ja que el mateix valor ocupa molt menys espai. De la mateixa manera, el nostre metabolisme no guarda l'energia en forma de monedes d'ATP (que ja hem vist que pesarien moltíssim), sinó d'una altra manera. Així, no guardem l'energia en forma d'enllaç fosfat, sinó en forma de potencial redox. I què és el potencial redox?

Quan una molècula perd electrons, tant si són electrons en solitari com acompanyats de protons ( $H^+$ ), s'allibera energia i es diu que la molècula s'ha oxidat. Oxidar-se és, doncs, perdre electrons. Els electrons que cedeix una molècula en oxidar-se són captats per una altra

molècula (la qual es redueix). Es diu que la segona accepta electrons de la primera. La tendència a acceptar electrons es mesura pel potencial redox. Les molècules de menor potencial redox tendeixen a cedir electrons (oxidant-se) a les de més potencial redox (reduint-se).

De manera semblant a l'ATP i l'energia d'enllaç fosfat, els electrons viatgen per l'interior de la cèl·lula entre uns compostos i uns altres gràcies a molècules transportadores d'electrons. Un exemple d'aquest tipus de molècules transportadores el formen la parella de molècules anomenades  $\text{NAD}^+/\text{NADH}$  (figura 1.4). Aquesta molècula es diu així perquè és un dinucleòtid (D) de nicotinamida (N) i adenina (A). La molècula  $\text{NAD}^+$  és la forma oxidada, que ha perdut un electró i un protó, mentre que la molècula  $\text{NADH}$  és la forma reduïda, que ha adquirit l'electró i el protó que ha cedit la seva companya, l' $\text{NAD}^+$ .

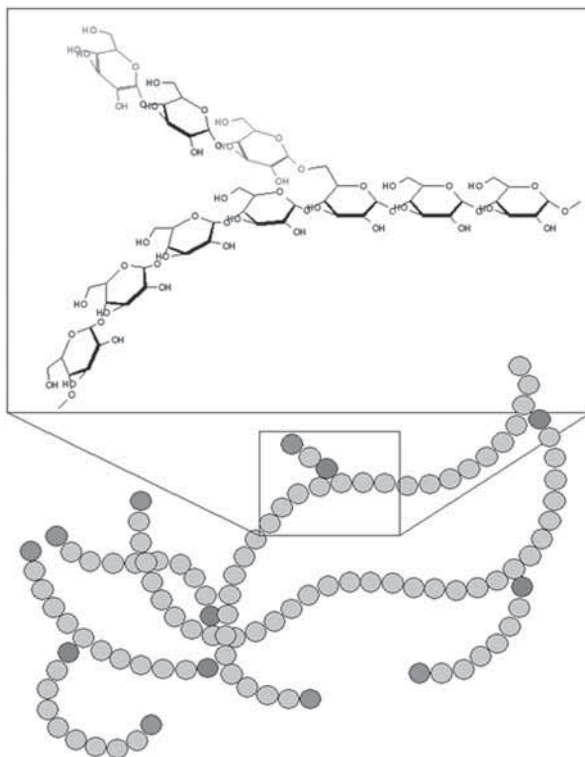
### *En tenim dos, de dipòsits principals*

En una molècula amb una gran capacitat d'oxidació (és a dir, molt reduïda) es pot emmagatzemar moltíssima més quantitat d'energia que en els 30,6 kJ de cada 547 grams de l'ATP. Així, no saltres omplim el nostre dipòsit amb compostos reduïts, que es puguin oxidar molt. Les principals molècules reduïdes que usem per emmagatzemar energia són dues: el glicogen i els tri-

cilglicerols, unes molècules que també utilitzem com a reserves de material.

El glicogen és un polisacàrid (figura 1.5) format per molècules de glucosa unides formant cadenes que, de tant en tant, es ramifiquen formant petites esferes entre 10 i 40 nanòmetres de diàmetre (0,00001 i 0,00004 mil·límetres). En degradar-se, el glicogen dóna molècules de glucosa que poden ser oxidades fins a  $\text{CO}_2$ , generant energia. Però, com tot, l'ús de la molècula de glicogen com a reserva energètica té avantatges i inconvenients. El principal desavantatge del glicogen és que la majoria dels seus carbonis ja estan parcialment oxidats i, per tant, és una molècula que es podrà oxidar relativament poc. És a dir, contindrà relativament poca quantitat d'energia (de fet, uns 16,7 kJ/g). L'altre desavantatge del glicogen és que és una molècula que té bastanta afinitat per l'aigua, la qual cosa vol dir que quan l'acumulem també acumulem molta aigua: per cada gram de glicogen hem de guardar 3 o 4 grams més d'aigua. Per tant, no podem "concentrar" massa l'energia que volem emmagatzemar en forma de glicogen. Així i tot, el glicogen també té un avantatge important, i és que en degradar-se donarà novament glucoses, a partir de les quals no només podrem obtenir energia, sinó que, com veurem al llarg d'aquest llibre, també podrem transformar en moltíssims altres compostos necessaris per al nostre metabolisme.

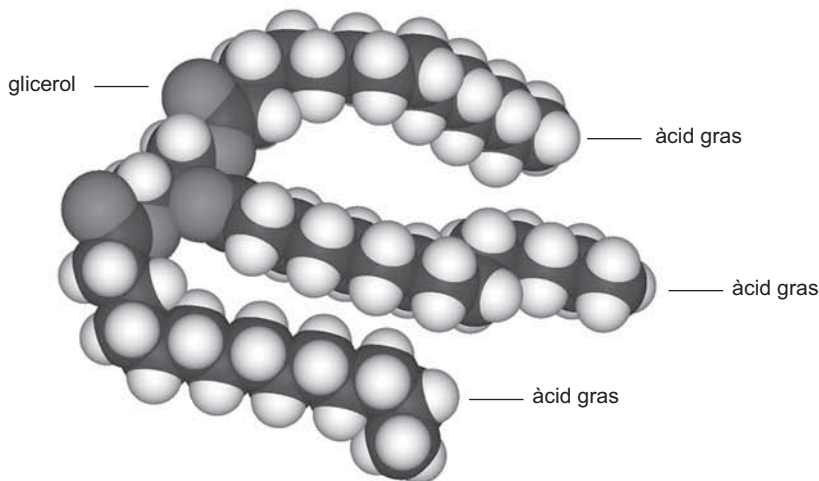
L'altra molècula de reserva és el triacilglicerol. Què són aquestes molècules i per què s'utilitzen com a reserva



**Figura 1.5.** El glicogen és un immens polímer de glucoses. Cada esfera representa una molècula de glucosa; en la part superior vegeu amb més detall com és l'estructura d'aquest polímer. Imatge modificada de Viquipèdia.

d'energia? Els triacilglicerols estan formats per tres àcids grassos units a una molècula de glicerol (figura 1.6), que s'agrupen formant gotetes a l'interior de moltes cèl·lules (a l'anomenat “citòsol cel·lular”). El nostre greix està format per cèl·lules ocupades per una gran gota formada per molècules de triacilglicerols i de colesterol esterificat (ve-

geu el capítol 2 per a més detalls). Com en el cas del glicogen, l'ús d'aquesta molècula té aspectes positius i negatius. El principal inconvenient és que, en degradar-se, els triacilglicerols donen àcids grassos. Per qüestions que expliquem al capítol 2, a partir dels àcids grassos només podem obtenir un ventall relativament petit de compostos necessaris



**Figura 1.6.** Un triacilglicerol està format per tres molècules d'àcids grassos (dreta) i una de glicerol (esquerra). Imatge modificada de Viquipèdia.

per al nostre metabolisme. No podem obtenir glucosa i, per tant, són una mala reserva de material. L'avantatge dels triacilglicerols, però, és que la majoria dels seus carbonis estan completament reduïts. És a dir, els carbonis dels triacilglicerols els podem oxidar molt més que els del glicogen i, per tant, obtenir (i emmagatzemar) molta més quantitat d'energia (uns 37,7 kJ/g... més del doble que del glicogen!). A més, els triacilglicerols són molècules que “fugen” de l'aigua. De fet, es comporten com l'oli, que en contacte amb l'aigua fan gotes que com més grans siguin millor, perquè així minimitzen la superfície de contacte entre l'oli i l'aigua.

Així, i a diferència de les molècules de glicogen, els triacilglicerols s'emmagatzemen sense cap molècula d'aigua. Energia pura.

També tenim un últim tipus de molècula que pot actuar com a reserva d'energia: les proteïnes. Però no havíem dit que de reserves en tenim dues? En efecte, totes les nostres proteïnes (a diferència d'algunes dels vegetals, especialment de les llavors) tenen una funció biològica diferent de la d'actuar com a magatzem d'energia. El que passa és que en situacions extremes, com ara un dejuni perllongat (vegeu el capítol 6 per a més detalls) podem utilitzar proteïnes per obtenir energia. Ara bé,

|                         | Teixit | Massa (g) | Energia            |         |           |               |
|-------------------------|--------|-----------|--------------------|---------|-----------|---------------|
|                         |        |           | Total (quilojoule) |         | %         |               |
|                         |        |           |                    |         | del total | de l'habitual |
| <b>Triacilglicerols</b> | Adipós | 12.000    | 450.000            | 462.000 | 83        | 98,3          |
|                         | Múscul | 300       | 12.000             |         |           |               |
| <b>Glicogen</b>         | Fetge  | 100       | 1.500              | 8.000   | 1,4       | 1,7           |
|                         | Múscul | 400       | 6.500              |         |           |               |
| <b>Proteïnes</b>        | Múscul | 5.000     | 84.000             | 84.000  | 15,6      |               |

**Taula 1.1.** Distribució de les reserves d'energia en un individu d'uns 75 kg de pes.

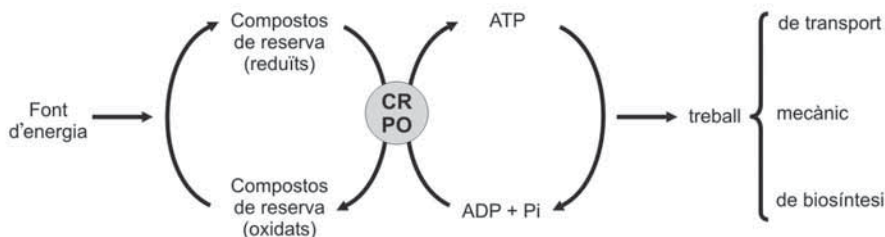
aquest ús de les proteïnes es produeix a costa de perdre alguna funció, i per això no podem considerar les proteïnes com a magatzem habitual d'energia, però sí com a magatzem que es pot utilitzar en situacions extremes.

A la taula 1.1 podem veure que, com hem dit, tenim dos dipòsits. Un dipòsit enorme, en forma de triacilglicerols, que es troba als teixits adiposos de moltes zones del nostre cos, i en el qual emmagatzemem més de 460.000 kJ. Això representa més del 98% de les nostres reserves habituals; és a dir, sense tenir en compte les proteïnes. I un altre dipòsit més petit, en forma de glicogen, que es troba al fetge i al múscul. El glicogen està més concentrat al fetge (un 5% del seu pes) que no pas al múscul

(un 0,5% del seu pes), perquè al cos tenim molta més quantitat de múscul que de fetge. En aquest dipòsit emmagatzemem una quantitat d'energia molt semblant a la que utilitzem diàriament (uns 8.000 kJ) i aquesta reserva és la que utilitzem sobretot per a l'activitat que fem entre els àpats (taula 1.1).

### ***El carburador: com recuperem l'energia emmagatzemada?***

En resum, bona part de l'energia que ingerim i emmagatzemem està en forma de potencial redox. Tanmateix, la majoria dels nostres processos cel·lulars consumeixen energia d'enllaç fos-



**Figura 1.7.** L'energia emmagatzemada en forma redox s'ha de transformar en enllaç fosfat perquè pugui ser utilitzada en el treball, cosa que es fa a la cadena respiratòria (CR) / fosforilació oxidativa (PO). Quan la molècula d'ATP es trenca i perd un àtom de fosfat inorgànic (Pi), es forma ADP i es genera energia perquè la cèl·lula pugui treballar.

fat. Com ho fa el nostre cos per resoldre-ho? És evident que hem de disposar d'un sistema de transformació d'una forma d'energia en l'altra (figura 1.7). Aquest sistema de transformació és la cadena respiratòria / fosforilació oxidativa. No entrarem en massa detalls, però és un truc de màgia molt sofisticat (al capítol 2 en parlem una mica més). Encara que no us ho cregueu, els nostres organismes oxiden els compostos reduïts i van empaquetant “dosis” d'energia redox en molècules transportadores, com ara l'NADH i altres molècules similars (figura 1.4).

Aquestes “dosis” de potencial redox es transporten fins a la membrana interna del mitocondri (l'òrganul cel·lular on es produeix la respiració cel·lular), on hi ha un tobogan (la cadena de transport d'electrons) que acaba en l'oxigen. Els electrons, atrets per l'elevat potencial redox de l'oxigen, cauen

pel tobogan i van impulsant la sortida de protons ( $H^+$ ) del mitocondri. Això genera un gradient de protons a través de la membrana interna del mitocondri. Més difícil encara: en aquesta membrana interna hi ha una turbina (l'ATP sintasa, el motor més petit del món) que gira a milers de revolucions per minut empesa pels protons que la travessen quan tornen a la matriu mitocondrial a favor del seu gradient electroquímic. En girar, per un mecanisme complicat, fa que el fosfat ( $P_i$ ) s'uneixi a l'ADP, sintetitzant ATP (figura 1.3).

Ara, en forma d'enllaç fosfat de l'ATP, aquesta energia és utilitzada per produir treballs de molts tipus (figura 1.7). Tot això funciona “per demanda”, de manera controlada i automàtica: com més en calgui, més se'n produeix (fins a un límit, és clar!). Per exemple, quan un múscul comença a fer contraccions, també comença a gastar moltíssim ATP.

Aleshores tota la maquinària es posa en marxa: es degraden reserves de greixos i de glicogen, s'oxiden els compostos produïts (els àcids grassos i la glucosa respectivament), s'accelera el sistema de transport del potencial redox

(NADH/NAD<sup>+</sup>) per abocar enormes quantitats d'electrons a la cadena respiratòria i aquesta comença a consumir oxigen i a produir quantitats enormes d'ATP. Si pot, tot el que la contracció muscular demani.

# recapitulació

*Hem vist que oxidem els aliments que digerim per obtenir part de l'energia que contenen. Aquesta energia l'emmagatzemem en dos dipòsits: el de greix (molt gran) i el de glicogen (unes 60 vegades més petit). A més, en casos de necessitat extrema, podem utilitzar un dipòsit (la "reserva" dels cotxes d'abans), que són les proteïnes. A mesura que anem necessitant energia, anem mobilitzant aquestes reserves, les oxidem (al "forn", que són els mitocondris de les nostres cèl·lules) i l'energia que obtenim la transformem en enllaços fosfat de l'ATP (a partir d'ADP i Pi) (també als mitocondris). Aquest ATP transporta la seva "dosi" d'energia fins a les reaccions que la necessiten, trencant el seu segon enllaç fosfat i, per tant, transformant-se en ADP i Pi, els quals tornen al mitocondri a buscar una altra "dosi" energètica.*

*Més endavant explicarem alguns dels detalls de la meravellosa màquina que ens permet obtenir, emmagatzemar i utilitzar energia en diferents situacions fisiològiques o patològiques. I descriurem la manera com molts de nosaltres utilitzem malament una maquinària tan antiga (molt antiga, com les d'abans!) en situacions completament noves per a ella, com són les d'una ingesta extraordinàriament elevada d'energia o de compostos poc habituals. Però, abans, vegem com es regula aquest sistema tan complex.*