

# **FÍSICA I QUÍMICA**

## **4t ESO**

### **Autors d'aquest llibre:**

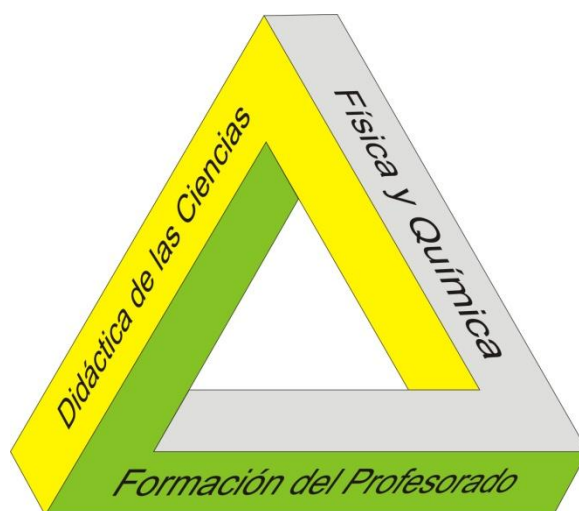
**JAIME CARRASCOSA ALÍS  
SALVADOR MARTÍNEZ SALA  
JOSÉ APARICIO SANMARTÍN  
CONSUELO DOMÍNGUEZ SALES**

Revisat a València, juny-07-2016

## NOTA PRÈVIA

*Els continguts d'aquesta obra es poden reproduir total o parcialment de forma lliure i gratuïta. Els autors no només ho autoritzem expressament sinó que ens congratulem d'això. Tan sols demanem que s'indique la font i que, per favor, sempre que siga possible, es col·labore en la seua difusió donant-los a conèixer a altres persones a les que també poqueren resultar útils.*

*El nostre objectiu és contribuir, en el que puguem, a la millora de l'ensenyament i aprenentatge de la Física i Química.*



Dipòsit legal: V-3614-2005

ISBN: 84-688-7497-3

PERMESA LA REPRODUCCIÓ TOTAL O PARCIAL D'AQUEST LLIBRE,  
CITANT SEMPRE AUTORS I FONT

[didactica fisica quimica.es](http://didactica fisica quimica.es)

# PRESENTACIÓ

El curs de física i química que ara comencem té un doble objectiu. Per alguns estudiants és l'últim any de física i química i, per tant, convé que al final del mateix hagen adquirit una mínima cultura científica. Per altres, en canvi, ha de ser una base sòlida en la qual recolzar-se per començar l'estudi d'aquestes ciències al batxillerat. Tindre una mínima cultura científica suposa que aquesta no es limite a uns quants coneixements dispersos. Al contrari, els estudiants han de tindre ocasió de percebre la globalitat i coherència de les ciències físiques i químiques en alguns dels seus camps i una visió respecte de la ciència i el treball científic el més pròxima possible a la realitat. D'altra banda, és evident que, a aquells que van a continuar estudiant ciències, els interessa també aprofundir en alguns temes. D'acord amb tot açò, al llarg del present curs ens plantejarem una aproximació a la construcció de cossos globals i coherents de coneixements científics.

Un dels fins més importants de la física i química és l'establiment de lleis, que siguen el més generals possibles i ens servisquen per explicar la natura de la matèria i el seu comportament. Però la matèria i els **canvis** que ocorren en ella són quelcom molt complex. Així, per exemple, si el vent sacseja un arbre i una poma cau a terra, quedant allí durant algun temps, es pot descriure científicament el que ocorre, però és impossible fer-ho mitjançant una sola llei que descriga tota la successió de fenòmens causalment connectats. Concretament, a més de l'energia necessària per trencar la subjecció de la poma a la branca, hauríem de referir-nos a la llei de la gravetat, al moviment de la poma sotmesa a la força pes i a la força exercida pel vent, al xoc contra el sòl, als processos químics que ocorren a conseqüència del mateix, etc. Habitualment, doncs, els **canvis materials** no es realitzen de forma tan senzilla que ens permeten distingir ràpidament lleis o regularitats. Tornant a l'exemple anterior, si volem investigar la caiguda dels cossos hauríem de reproduir al laboratori la caiguda de la poma utilitzant un objecte compacte, com una xicoteta esfera, en unes condicions en què el fregament amb l'aire fora menyspreable. Això és quelcom artificial i ens allunya de la realitat, però també és la millor forma de descobrir algunes de les lleis o regularitats que la governen. D'aquesta forma s'han conegut lleis generals com la de conservació de la massa, la conservació de l'energia, la llei de la gravitació universal, etc., i s'han construït teories i cossos de coneixement científic en general, com la teoria atómico-molecular de la matèria o la mecànica clàssica. Eixos cossos de coneixement es caracteritzen, entre altres coses, per l'elevada coherència interna.

Aquest curs, doncs, estarà destinat a l'estudi d'alguns canvis materials de gran interès. Si haguérem de decidir quina és l'espècie que més canvis ha produït a la natura, no ens cap dubte que som els éssers humans. Així que, si anem a estudiar els canvis materials, té sentit començar per analitzar els canvis que nosaltres mateixa hem generat al medi ambient i plantejar-nos algunes preguntes com per exemple:

*Quins canvis estem produint els éssers humans al planeta? Quins problemes ocasionen? Com fer-los front?*

A continuació estudiarem els canvis materials més senzills, aquells en els que únicament canvia la posició o la velocitat amb que es mouen els cossos, anomenats canvis mecànics.

*Com es mouen els cossos? Com canviar el moviment d'un cos? Poden aplicar-se les mateixes lleis per al moviment dels cossos terrestres que per als dels astres?*

Per produir la majoria dels canvis que ens interessin, els éssers humans hem de treballar i utilitzar energia. Ens podem plantejar, doncs, algunes preguntes, com les següents:

*Què és el treball? I l'energia? Estan relacionats? Quants tipus d'energia hi ha? Com es pot transferir energia d'un lloc a un altre? Quins problemes ocasiona el consum creixent d'energia? La calor és una forma d'energia?*

Per últim, per finalitzar el curs, estudiarem uns canvis més complexos que els mecànics. Ens referim a les transformacions químiques.

*Com explicar els canvis en els que, a partir d'unes substàncies es poden obtenir altres, de propietats molt diferents? Quin interès tenen eixos canvis? Quins problemes ocasionen? Es pot obtenir matèria orgànica a partir de matèria inorgànica? Com s'originaren els éssers vius?*

Al llarg del curs tractarem de donar resposta, entre d'altres, a les qüestions anteriors seguint, en part, un fil conductor històric en el que veurem alguns dels problemes associats a la construcció de cossos de coneixement científic i analitzarem algunes de les característiques d'aquest procés. Els continguts que utilitzarem ens han de permetre abastar aquest objectiu al temps que aprofundirem en alguns dels temes que ja veiérem al curs anterior. Per aconseguir-ho, seguirem l'índex que s'exposa a continuació:

- 1. Del canvi climàtic a la construcció d'un futur sostenible**
- 2. El moviment dels cossos (cinemàtica)**
- 3. Les causes del canvi de moviment (dinàmica)**
- 4. Treball i energia**
- 5. Calor**
- 6. Reaccions químiques.**
- 7. Iniciació a l'estudi de la química orgànica.**

El primer capítol està destinat íntegrament a estudiar els canvis que s'estan produint en la natura, dels quals els éssers humans som responsables i han generat greus problemes globals que afecten tots els éssers vius, inclosos nosaltres mateixa, analitzant amb cura les causes dels mateixos i les possibles solucions. Es tracta d'un capítol de gran importància al qual paga la pena dedicar el temps necessari.

L'estudi dels quatre capítols següents ens permetrà avançar cap al primer cos de coneixement científic que es va construir històricament: **la mecànica**, o ciència del moviment dels cossos. En el procés d'establiment de la mecànica clàssica s'hagueren de superar obstacles molt importants com, per exemple, la separació que, durant l'edat mitjana, es feia entre el món dels objectes terrestres i el dels astres, als què s'atribuïa naturalesa i comportaments molt distints o la idea que la Terra era el centre fix i en repòs de l'Univers i tots els altres astres giraven al seu voltant. La Teoria Heliocèntrica de Copèrnic i els treballs de Galileu sobre el moviment dels cossos van fer trontollar eixos obstacles que, finalment, acabaren d'enderrocar-se amb el desenvolupament de la Teoria de Newton de la Gravitació Universal.

Posteriorment, s'introduïren nous conceptes en mecànica, com el treball i l'energia. Una característica d'aquests era que permetien resoldre problemes ja coneguts sobre el moviment i els seus canvis, d'una forma habitualment més ràpida i senzilla. Al tema 4 s'aborda l'estudi

d'aquests conceptes i al tema 5 el de la calor. Històricament la calor es desenvolupà com un camp específic de coneixements que no tenia res a veure amb la mecànica. Ara be, la invenció d'aparells de mesura com el termòmetre i la balança de precisió, la realització de treballs experimentals amb resultats quantitius i el desenvolupament de la teoria atòmico-molecular de la matèria, van contribuir a què, finalment, la calor s'integrara dins de la mecànica, ampliant més encara aquest cos de coneixements.

Al capítol sisè estudiarem una forma de canvi molt més complexa que els canvis mecànics. Ens referim al **canvi químic**. Ho farem ací aprofundint i ampliant els continguts del curs anterior, introduint el concepte de mol i realitzant un estudi més quantitiu. Aquest tema conté diversos annexos, un dels quals està destinat a la formulació en química inorgànica. Al setè i darrer capítol prosseguirem l'estudi dels canvis químics, centrant-nos en aquells en els que intervenen els compostos de carboni i es produeixen compostos essencials per als éssers vius.

Concretament, l'índex detallat del curs és el següent:

## **1. Del canvi climàtic a la construcció d'un futur sostenible .....pàg. 7**

1. El clima terrestre com sistema autoregulat
2. Els gasos hivernacle
  - 2.1. El Diòxid De Carboni
  - 2.2. El Metà
  - 2.3. Altres gasos d'efecte hivernacle
3. Altres factors que incideixen en l'efecte hivernacle
4. Què va a ocórrer si no prenem les mesures adequades?
  - 4.1. Fusió de gel continental i marí
  - 4.2. Augment de l'acidificació dels oceans
  - 4.3. Alteració de les precipitacions i augment de fenòmens meteorològics extrems
  - 4.4. Alteració dels ritmes vitals de nombroses espècies i pèrdua de biodiversitat
  - 4.5. Augment de la probabilitat de canvis climàtics grans i abruptes
5. Què podem i devem fer?
  - 5.1. Amb quins altres greus problemes està relacionat el canvi climàtic?
  - 5.2. Quines mesures concretes convé impulsar front per avançar en la solució dels problemes?
    - 5.2.1. Mesures científicotecnològiques
    - 5.2.2. Mesures educatives
    - 5.2.3. Mesures polítiques

## **2. El moviment dels cossos (cinemàtica)..... pàg. 43**

1. Com podem saber si un objecte està quiet o es mou?
2. Invenció de magnituds útils per descriure el moviment al llarg d'una trajectòria coneguda.
  - 2.1 Determinació de la posició.
  - 2.2 Com trobar el canvi de posició experimentat per un objecte en moviment? Concepte de desplaçament sobre la trajectòria.
  - 2.3 Com mesurar com de ràpid es mou un cos? Concepte de rapidesa.
  - 2.4. Si varia la rapidesa, com calcular amb quina rapidesa s'ha produït eixa variació? Concepte d'acceleració sobre la trajectòria (o acceleració tangencial).
  - 2.5. El caràcter vectorial del moviment: introducció qualitativa del vector velocitat i del vector acceleració.
3. Càlcul de la rapidesa i de la posició en qualsevol instant.
  - 3.1 Cossos que es mouen sempre amb la mateixa rapidesa (moviment uniforme).
  - 3.2. Cossos que es mouen amb acceleració constant sobre la trajectòria (moviment uniformement accelerat).
4. Utilitat del cos de coneixements construït.
  - 4.1. El moviment de caiguda lliure.
  - 4.2. Resolució d'alguns problemes utilitzant els coneixements construïts per a l'estudi del moviment.
5. Impacte dels vehicles a motor sobre el medi ambient

Annex 1. Introducció elemental a les magnituds vectorials.

Annex 2. Orientacions per a la construcció de gràfiques.

## **3. Les causes del canvi de moviment (dinàmica).....pàg. 87**

1. A què és degut que els cossos es moguen d'una forma o una altra? Resposta d'Aristòtil.
  - 1.1. El món sublunar i els quatre elements.
  - 1.2. El món supralunar i el cinquè element.
2. A què és degut que els cossos es moguen d'una forma o altra? Resposta de Newton.
  - 2.1. Com aconseguir que un cos es moga amb moviment rectilini i uniforme? I que estiga en repòs? Primer principi de la dinàmica o principi de la inèrcia.
  - 2.2. Com aconseguir que un cos tinga acceleració? Segon principi de la dinàmica o equació fonamental de la dinàmica.
  - 2.3. Pot un cos accelerar-se a ell mateix sense interaccionar amb altres? Tercer principi de la dinàmica o principi d'acció i reacció.
3. Utilització dels principis de la dinàmica.
  - 3.1. Què li ocorre a un passatger quan el vehicle en què viatja canvia bruscament de velocitat? Sistemes de referència inercials i no inercials.
  - 3.2. Determinació de la força resultant sobre un cos. Estat d'equilibri.
  - 3.3. Obtenció de l'acceleració sobre la trajectòria.
4. Final d'una barrera històrica: La síntesi gravitatòria de Newton.
5. Forces exercides per fluids.
  - 5.1. Concepte general de pressió.
  - 5.2. Pressió a l'interior d'un líquid.
  - 5.3. Forces que exerceix l'aire sobre parets i objectes. Pressió atmosfèrica.
  - 5.4. Força que exerceix un fluid en repòs sobre un cos que se submergeix o que flota en ell.

#### **4. Treball i energia.....pàg. 133**

1. Conceptes qualitius de treball i energia.
2. L'energia i les fonts d'energia. Distintes formes d'energia.
3. Una forma de canviar l'energia mecànica d'un sistema: concepte de treball.
4. Eficàcia en la realització de treball: concepte de potència.
5. Relació entre treball exterior i canvi d'energia mecànica.
6. Energia cinètica.
7. Energia potencial gravitatòria.
8. El principi de conservació de l'energia mecànica.

#### **5. Calor .....pàg. 159**

1. Naixement de la idea de calor.
2. Alguns fenòmens i canvis relacionats amb la calor.
  - 2.1. Canvis en la temperatura dels cossos. Concepte de calor específica.
  - 2.2. Intercanvi de calor entre dos cossos. Concepte d'equilibri tèrmic.
  - 2.3. Canvis d'estat.
3. Una primera concepció sobre la calor. La teoria del calòric.
4. Dificultats de la teoria del calòric.
5. Aproximació a les idees actuals sobre calor.
6. El primer principi de la Termodinàmica.
7. Determinació de la calor específica d'una substància.

Annex: Per què els científics estan tan segurs que actualment el CO<sub>2</sub> és el principal agent responsable de l'augment de la temperatura mitjana global del planeta?

#### **6. Reaccions químiques .....pàg. 185**

1. Quin interès pot tindre estudiar els canvis químics?
2. Realització i observació d'algunes reaccions químiques.
3. Distinció entre canvi físic i canvi químic.
4. Un model elemental per a les reaccions químiques.
5. Ajust de les equacions químiques.
6. Reversibilitat d'algunes reaccions químiques.
7. Com predir les masses que s'obtenen en una reacció?
  - 7.1. Introducció del concepte de mol.
  - 7.2. Molaritat d'una dissolució
  - 7.3. Iniciació als càlculs estequiomètrics.
8. velocitat de reacció.
  - 8.1. Influència del grau de divisió dels reaccionants.
  - 8.2. Influència de la temperatura.
  - 8.3. Influència de la concentració.
  - 8.4. Naturalesa de les substàncies reaccionants, catalitzadors i velocitat de reacció.
9. Canvis d'energia en les reaccions químiques.
  - 9.1. Reaccions exotèrmiques.
  - 9.2. Reaccions endotèrmiques.

Annex 1. Les distintes cares del canvi químic.

Annex 2. Un primer intent d'explicació de canvi químic: el flogist.

Annex 3. Formulació i nomenclatura en química inorgànica

## 7. Iniciació a la química del carboni .....pàg 241

1. L'origen de la química del carboni
2. Característiques generals dels compostos del carboni
  - 2.1. Estructura electrònica de l'àtom de carboni
  - 2.2. Estabilitat dels compostos de carboni
  - 2.3. Capacitat de combinació del carboni amb altres elements i amb ell mateix
3. Compostos de carboni i hidrogen (hidrocarburs)
  - 3.1. Hidrocarburs saturats de cadena oberta
  - 3.2. Hidrocarburs insaturats de cadena oberta
  - 3.3. Hidrocarburs cíclics
  - 3.4. Fonts dels hidrocarburs
4. Combustió dels hidrocarburs
5. Alguns compostos de carboni amb altres elements
  - 5.1. Derivats halogenats
  - 5.2. Alcohols
  - 5.3. Àcids orgànics
  - 5.4. Èsters
  - 5.5. Amines.
6. Què són els polímers?
7. Macromolècules importants en la constitució dels éssers vius
  - 7.1. Els glúcids o hidrats de carboni.
  - 7.2. Els lípids
  - 7.3. Les proteïnes
8. Paper de la química en l'origen i desenvolupament de la vida

Els set capítols anteriors es desenvolupen tractant de respondre a alguns problemes d'interès que es plantegen a l'inici dels mateixos. En cursiva, van sorgint un seguit d'activitats amb les quals es pretén avançar en la recerca de respostes als esmentats problemes.

Convé que, després de la lectura de cada activitat, es reflexione sobre allò que ens planteja. Eixa reflexió pot fer-se a classe i també a casa. Després, es pot continuar llegint, per comparar les nostres respostes amb les que es donen al propi text.

La col·lecció de qüestions, exercicis i problemes que s'inclou al final de cada capítol, està seqüenciada amb cura per cobrir els continguts del tema en el mateix orde que es van estudiant. Convé que cada estudiant porte un quadern de treball on vaja incloent, almenys, els problemes i la resta d'exercicis que es vagen proposant.

Una vegada més, els autors som conscients de la dificultat d'impartir tots aquests continguts en un curs escolar, motiu pel qual és important que els professors que utilitzen aquest material l'analitzen abans de començar i seleccionen allò que consideren més convenient.



## 1. DEL CANVI CLIMÀTIC CAP A LA CONSTRUCCIÓ D'UN FUTUR SOSTENIBLE

Actualment estem assistint a un vertader canvi climàtic terrestre. Açò significa que, a escala global, s'estan modificant algunes condicions ambientals com la temperatura mitjana de l'aire, les precipitacions o la freqüència i intensitat de fenòmens meteorològics extrems (com huracans o inundacions).

Durant la llarga història de la Terra ja han ocorregut molts canvis climàtics i de vegades de tal magnitud que es van produir extincions massives d'espècies terrestres i marines i el planeta quasi va deixar de ser apte per a la vida. No obstant això, el canvi climàtic actual té unes característiques que ho fan diferent de tots els anteriors. La principal és el seu origen **antròpic**, és a dir, som els sers humans els responsables. Es tracta, a més, d'un canvi global ja instal·lat entre nosaltres i que constituïx, molt possiblement, el major repte a què hem de fer front, donades les seues greus conseqüències presents i futures.

### *A.1. Què ens interessa conèixer respecte del canvi climàtic?*

Essencialment tractarem d'analitzar en què consisteix el canvi climàtic actual, quines són les seues causes i les possibles conseqüències, amb quins altres problemes es relaciona i de quina forma podem fer-los front per a avançar en la seua solució. Ara be, per contestar adequadament, convé aclarir prèviament en què consisteix el clima terrestre i de quins factors depèn.

### **1. EL CLIMA TERRESTRE COM SISTEMA AUTOREGULAT**

El **temps** meteorològic ve donat per les propietats de la troposfera<sup>1</sup> (temperatura, humitat, cobertura de núvols, vent, precipitacions, etc.) en un lloc i moment donats. Pel contrari el clima en una zona determinada pot definir-se, de forma aproximada, com el terme mitjà del temps en aquesta zona a llarg termini (30 anys o més), incloent les variacions estacionals i els possibles fenòmens extrems (huracans, sequeres, pluges torrencials...).

El sistema climàtic és un sistema complex i interactiu i està format principalment pels següents components: Atmosfera + sol terrestre + gel i neu + mars i oceans + aigua dolça (líquida) + vegetació



<sup>1</sup> Capa més baixa de l'atmosfera. Aproximadament 17 km de grossària en l'equador i uns 7 km en els pols. És on tenen lloc els fenòmens meteorològics i on es troba la major part de l'aire i vapor d'aigua

## 1. Canvi climàtic

L'atmosfera és el component que caracteritza el clima, fonamentalment per la temperatura de l'aire i per la quantitat de precipitacions (amb les seues variacions estacionals). Els diferents patrons de temperatura i precipitacions d'unes regions a unes altres condueixen als diferents tipus de clima en el planeta (càlid, temperat, sec, tropical, etc.). Aquests patrons són produïts, en gran part, per la forma en què l'aire circula sobre la superfície terrestre.

El clima terrestre ve determinat fonamentalment pels següents factors:

**Propietats de l'aire i de l'aigua:** Quan l'aigua dels oceans s'escalfa, una part s'evapora i ascendeix. Açò té lloc especialment a prop de l'equador, on es formen àrees de baixa pressió en la superfície i es generen corrents d'aire càlid ascendent. En ascendir l'aire calent i humit es refreda alliberant humitat i també energia (al condensar el vapor d'aigua), aquest aire, que ara és més fred i sec (i, per tant, més dens) cau, generant una zona d'alta pressió. Quan aquestes masses d'aire flueixen a través de la superfície de la Terra capten de nou humitat i energia de forma que es repeteix el procés. S'anomenen cèl·lules de convecció i fan circular aire, calor i humitat, d'unes zones a altres.

**Radiació solar que arriba a la Terra** (subministra energia i varia periòdicament a causa de diversos canvis astronòmics).

**Desigual escalfament de la superfície terrestre** (molt major a l'equador, on els raigs del Sol incideixen directa i perpendicularment durant tot l'any, que als pols).

**Inclinació de l'eix terrestre** (genera estacions de signe oposat als dos hemisferis).

**Gir de la Terra sobre el seu eix** d'oest a est (evita que els corrents d'aire vagin directes al Nord i al Sud des de l'equador, fent que es desvien principalment cap a l'Est en l'hemisferi nord i cap a l'Oest en l'hemisferi sud).

D'altra banda, la circulació atmosfèrica influeix en la **circulació oceànica** mitjançant l'acció dels vents sobre les aigües de la superfície marina i els canvis de temperatura i salinitat ocasionats per les precipitacions i l'evaporació. Els **corrents oceànics** també contribueixen a redistribuir l'energia rebuda del Sol, influint en el clima i en la vegetació (especialment a prop de la costa). Així, per exemple, sense el corrent del Golf (que transporta unes 25 vegades més aigua que tots els rius del món), el clima d'Europa nord-occidental seria subàrtic. Els corrents ajuden també a distribuir nutrients i oxigen dissolt, fonamentals per a la vida aquàtica.

En el clima també influeixen la composició de l'atmosfera (percentatge dels diferents gasos que formen l'aire independentment del seu origen i la presència de **núvols i aerosols** en la mateixa) així com l'existència i distribució en la superfície terrestre de **cadena muntanyenques, rius i llacs, masses boscoses, grans deserts, gel i neu**.

Així doncs, el clima depèn de diversos factors, molts dels quals van canviant al llarg de períodes més o menys grans de temps, motiu per qual, conseqüentment, el clima es modifica, com ja ha ocorregut altres vegades en la història de la Terra (i continuarà fent-ho).

El gel antàrtic es va formar fa poc més de 30 milions d'anys i el casquet de gel àrtic al pol nord menys de 3 milions d'anys. Aquest darrer esdeveniment marcà el començament de l'era quaternària que, des de llavors, es va caracteritzar per una successió de períodes glacials (freds) d'uns 100 000 anys de duració, separats per períodes interglacials (càlids) de menor durada. No se sap exactament com comencen aquests períodes glacials, però diferents estudis indiquen que la quantitat de sol durant l'estiu és crucial per als continents de l'hemisferi nord, ja que si

descendeix per sota d'un valor crític, la neu de l'hivern anterior no es fon i els mantells de gel comencen a créixer segons es va acumulant cada vegada més neu. El ritme d'aparició dels períodes glacials està vinculat, entre altres possibles causes, a la variació periòdica de diversos factors astronòmics com l'excentricitat de l'òrbita que descriu la Terra o la obliquïtat i direcció de l'eix terrestre.

L'última glaciació va acabar fa uns 10000 anys. Des de llavors el planeta gaudeix d'un clima relativament estable (amb les seues diferències regionals) que, sens dubte, ha afavorit el ràpid desenvolupament de la civilització.

### A.2. Per què la temperatura mitjana en la Terra es manté constant i al voltant de 15 °C?

Les radiacions solars subministren energia al sistema climàtic, però la dita energia no s'acumula pel fet que hi ha un equilibri entre l'energia absorbida per la Terra (tota la superfície del planeta i l'atmosfera) i l'energia emesa a l'espai, de manera que l'energia absorbida ha de ser igual a l'emesa. El clima mundial està determinat per aquest equilibri.

No obstant això, quan es realitzen càlculs teòrics sobre quin hauria de ser la temperatura mitjana terrestre sense tindre en compte el paper de l'atmosfera, s'obté un valor entorn de -18 °C. Òbviament, si eixa fóra la temperatura mitjana del nostre planeta, la vida (almenys com la coneixem hui) no seria possible. Cal plantejar-se, perquè, què és el que té de particular l'atmosfera, perquè la temperatura mitjana real del planeta siga d'uns 14 °C en compte d'eixos -18 °C.

La major part de la radiació solar que arriba a la Terra travessa fàcilment l'atmosfera i, en conseqüència, la superfície del planeta s'escalfa. D'altra banda, la Terra emet energia cap a l'espai, principalment mitjançant radiació infraroja. Ara be, formant part de l'atmosfera terrestre hi ha vapor d'aigua i altres gasos com el diòxid de carboni que tenen la propietat d'absorbir part d'aquesta radiació infraroja i reflectir-la en totes les direccions (incloent cap al sòl de nou), fent que la temperatura mitjana terrestre siga més alta del que ho seria de no existir aquests gasos. El resultat és similar al que s'aconsegueix dins dels hivernacles i per açò es parla de **gasos hivernacle** i **d'efecte hivernacle**. Així doncs, els gasos hivernacle són els responsables de que la Terra tinga una temperatura que la fa habitable per als éssers humans i molts altres organismes.



Font original: UNEP-GRID-Arendal. Esquema (molt swimplificat) de l'efecte hivernacle.

## 1. Canvi climàtic

### A.3. Aleshores, si l'efecte hivernacle és beneficiós ... de què ens preocupem?

El problema no és l'efecte d'hivernacle en si mateix, sinó l'augment de l'efecte d'hivernacle que s'està produint a causa dels gasos hivernacle que s'emeten a l'atmosfera de forma continuada i en quantitats creixents des dels inicis de l'era industrial (a mitjan segle XVIII). A continuació tractarem d'aprofundir en este aspecte.

### A.4. Anteriorment hem vist que la temperatura mitjana del planeta es manté constant a causa de l'existència d'un equilibri entre l'energia que entra i la que ix. De quines formes es pot veure alterat aquest equilibri?

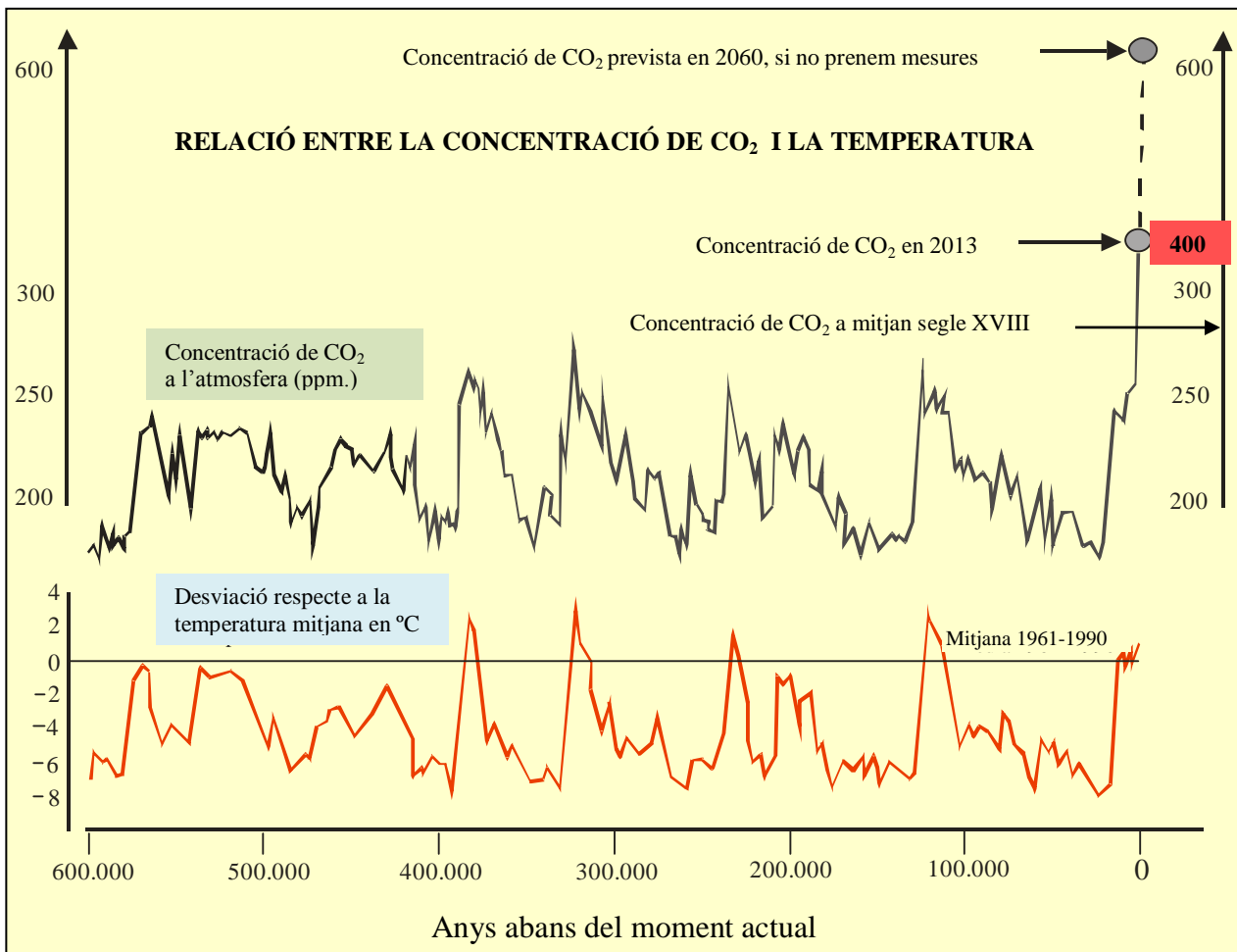
Fonamentalment mitjançant els següents factors o **forçaments**:

- ✓ Variacions en la radiació solar incident. Lleugeres desviacions periòdiques en l'eix de rotació de la Terra (tant en la seua inclinació com en la seua orientació), xicotets canvis en l'excentricitat de l'òrbita terrestre i fluctuacions en l'emissió d'energia per part del Sol.
- ✓ Modificant la fracció de radiació solar reflectida per la Terra. Existeix un índex anomenat albedo, que mesura la capacitat d'una superfície determinada per a reflectir la radiació solar que li arriba. És gran en les superfícies blanques o clares i xicotet en les fosques. L'albedo pot modificar-se fonamentalment mitjançant canvis en els núvols o en les superfícies cobertes de vegetació, gel o neu. També influeixen en ell els aerosols o partícules diminutes en suspensió presents en l'atmosfera (com pols, sutge o sals).
- ✓ Variant les concentracions dels gasos hivernacle, que actuen com un mantell parcial per a les radiacions d'ona llarga emeses cap a l'espai des de la superfície de la Terra i des de l'atmosfera.

Tots els forçaments anteriors ja han repercutit moltes vegades en els diferents canvis climàtics ocorreguts, a causa de processos naturals. Si els forçaments fan que el planeta absorbisca més energia o emeta menys cap a l'espai, l'equilibri energètic s'altera i, per a restablir-lo, la temperatura mitjana del planeta ha d'augmentar, de forma que a cada estat d'equilibri li correspon un valor donat de la temperatura mitjana global en la superfície terrestre.

Així, és cert que els éssers humans no podem influir en els canvis astronòmics que varien periòdicament de forma natural i tenen la capacitat d'alterar el balanç d'energia al que ens referim, però sí que podem incidir en els dos factors restants (i de fet, estem fent-ho). En efecte: La pols que es produeix en pedreres, mines i carreteres; contaminants de l'aire; cendres de grans incendis; fums industrials; desforestació, desglaçament, etc., són formes de canviar l'albedo. Pel que fa als gasos d'efecte hivernacle, convé destacar en primer lloc que, gràcies a l'extracció de mostres de gel profund de l'Antàrtida, disposem de coneixements precisos sobre l'evolució conjunta del clima terrestre i de l'efecte hivernacle i sabem que els canvis en la concentració de CO<sub>2</sub> estan correlacionats molt estretament amb les variacions en la temperatura mitjana de la Terra.

La figura superior de la gràfica següent representa les concentracions de CO<sub>2</sub> atmosfèric des de fa 600000 anys fins al moment actual (0). La gràfica de baix mostra la desviació de la temperatura mitjana global del planeta de la temperatura mitjana global corresponent al període 1961-1990 (que es pren com valor 0). Els mínims corresponen a glaciacions i els màxims a períodes d'escalfament.



#### A.5. Comparant les dues gràfiques anteriors, quines conclusions es poden obtenir?

És evident que ambdues encaixen. No sabem exactament quin canvi es produeix primer, però el que sembla clar és que, des de fa més de mig milió d'anys, les variacions en la temperatura mitjana de la Terra i en la concentració de CO<sub>2</sub> segueixen les mateixes pautes.

Durant els últims 600 000 anys, la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera mai va superar el valor de 300 ppm<sup>2</sup>. Eixa concentració oscil·lava aproximadament entre les 280 ppm en els períodes interglacials més càlids i les 180 ppm en els períodes glacials més freds.

Durant l'últim període interglacial, fa uns 125.000 anys, la temperatura no va arribar a superar els 4°C d'augment respecte al nivell 0 (i no obstant això, el nivell mitjà del mar estava entre 5 i 10 metres per damunt de l'actual i les capes de gel de Groenlàndia i de l'Antàrtida es trobaven pràcticament foses).

També es pot veure que aquest valor de 280 ppm per a la concentració de CO<sub>2</sub> es mantenia a mitjan segle XVIII, però des d'això aquest valor ha experimentat un brusc i considerable augment fins situar-se en les 400 ppm que hi havia en 2013. Què ha passat en els últims 300 anys per provocar aquest augment? Indubtablement el fet està relacionat amb la revolució industrial, primer amb la màquina de vapor i després amb el motor d'explosió. El desenvolupament

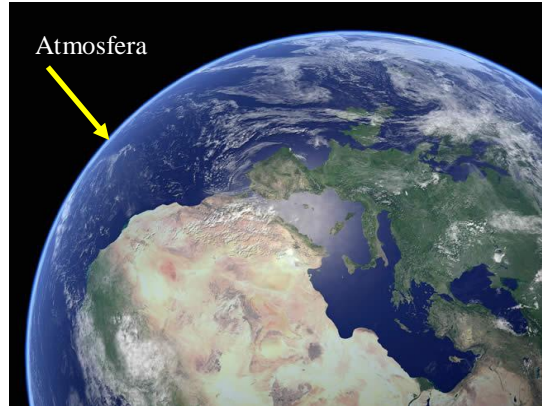
<sup>2</sup> Esta conclusió, d'acord amb el V informe del Panell Intergubernamental per a l'estudi del Canvi Climàtic (IPCC) s'estén arafins a 800000 anys abans del present.

## 1. Canvi climàtic

d'aquests enginys i la seua aplicació per obtindre cada vegada més energia, ha suposat la crema d'enormes quantitats de combustibles fòssils (carbó, petroli i gas natural), amb la consegüent emissió de milers de milions de tones de CO<sub>2</sub>.

*A.6. Hi ha persones que pensen que s'està sobrevalorant la capacitat dels éssers humans per afectar al planeta i que els canvis que observem en el clima ocorren de forma natural. Busqueu dades pertinents i després argumenteu a favor o en contra d'aquesta idea.*

És cert que comparada amb les persones, la Terra és immensament gran, però no podem perdre de vista que ocorre una cosa semblant en comparar la grandària del planeta amb el de l'atmosfera. Per fer-nos una idea podem pensar que, si la Terra es reduïra fins a abastar la grandària d'una poma, l'atmosfera no seria més gruixuda que la seua pell. Malgrat açò, es tracta d'un component fonamental del sistema climàtic. De fet, com ja es va indicar al començament, l'atmosfera és el que caracteritza al clima, per la temperatura i humitat de l'aire, les precipitacions i la forma de circular de l'aire.



Els éssers humans sí que tenim capacitat per canviar la composició de l'atmosfera (ja ho hem fet i continuem fent-ho cada vegada en major mesura). Un canvi d'especial importància és el ràpid i continuat augment en la concentració de gasos hivernacle, directament relacionat amb l'elevació de la temperatura mitjana terrestre.

La conclusió anterior està avalada per anys d'estudis científics. Entre els experts en canvi climàtic ja no hi ha cap dubte que, des del començament de l'era industrial, l'efecte net de l'activitat humana sobre el clima ha provocat un escalfament net amb un impacte superior al generat per coneguts processos naturals com erupcions volcàniques o canvis astronòmics.

## 2. ELS GASOS HIVERNACLE

Els principals gasos d'efecte hivernacle són: vapor d'aigua (H<sub>2</sub>O), diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), metà (CH<sub>4</sub>), òxid de dinitrogen (N<sub>2</sub>O), ozó troposfèric (O<sub>3</sub>), i certs derivats halogenats com els clorofluorocarbonis (CFC), hidrofluorcarbonis (HFC), perfluorocarbonis (PFC) i exa-fluorur de sofre (SF<sub>6</sub>).

*A.7. Quin és el gas que més contribueix a l'efecte hivernacle?*

El vapor d'aigua és, amb gran diferència, el gas hivernacle més important, tant perquè és el més abundant a l'atmosfera com perquè posseeix una banda d'absorció de la radiació infraroja especialment ampla. El segon en importància és el CO<sub>2</sub>, seguit pel CH<sub>4</sub>. Tots ells són components naturals de l'atmosfera però també poden ser produïts per l'ésser humà (juntament amb altres, com els derivats halogenats ja esmentats).

### 2.1. El diòxid de carboni

És el gas que més contribueix a l'augment de l'efecte d'hivernacle. La seua duració en l'atmosfera és variable (aproximadament el 50% del gas emés tarda uns 30 anys a desaparèixer, un 30% uns

quants segles i la resta uns 2000 anys), el seu potencial de calfament global<sup>3</sup> es defineix com 1 i el seu forçament radiatiu<sup>4</sup> és d'1'82 W/m<sup>2</sup>. La taxa d'augment recent és dràstica i sense precedents ja que els increments de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera des de fa almenys 600 000 anys, mai van sobrepassar les 30 ppm en mil anys mentres que ara la seua concentració s'ha elevat en 50 ppm en només 23 anys (des del 1990 al 2013) i en unes 120 ppm en des de mitjans del segle d'íhuit fins al 2013.

L'increment observat en la concentració de CO<sub>2</sub> antròpic en l'atmosfera (des de 1750), és només d'al voltant del 44 % del total emés, ja que la resta ha sigut absorbit pels oceans (aproximadament un 28'5%) i per la vegetació (aproximadament un 27'5 %). En termes de temperatura, el pas de la concentració preindustrial de CO<sub>2</sub> (280 ppm) a les 400 ppm de 2013, ha suposat un increment directe de la temperatura mitjana de l'orde d'1 °C.

El mar té un efecte net de clavegueró del CO<sub>2</sub> atmosfèric, que és molt soluble en aigua. En dissoldre's, la major part d'aquest gas reacciona amb l'aigua formant àcid carbònic (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) que, posteriorment, es dissocia produint ions bicarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i carbonat (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>). Quasi tot el carboni procedent del CO<sub>2</sub> de l'aire es troba en aquests ions. La xicoteta fracció de CO<sub>2</sub> gasós que roman com a tal dissolta en la superfície marina juga un paper fonamental en l'intercanvi d'aquest gas amb l'aire (que depèn de la temperatura de l'aigua i la concentració de CO<sub>2</sub>).

*A.8. Mitjançant quines accions, directes o indirectes, fem augmentar els éssers humans la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera?*

Una primera font de CO<sub>2</sub> és la crema de combustibles fòssils (derivats del petroli, gas natural i carbó), que causa al voltant del 75 % de les emissions antròpiques de CO<sub>2</sub>. Aquests combustibles segueixen subministrant el 80% de l'energia utilitzada en el planeta pels éssers humans (i la demanda segueix augmentant), estant associats sobretot a la indústria, la climatització d'edificis i el transport.



A títol d'exemple: la producció i ús d'energia va generar quasi 27 000 milions de tones de CO<sub>2</sub> antròpic en 2004: 40% per electricitat i calefacció, 24 % per transport, 19% per la indústria i 17% per altres activitats. Aquesta aportació es va veure incrementada a 30 600 milions de tones en 2010 (44% del sector del carbó, 36% del petroli i 20% del gas) i a 34 000 milions de tones en 2011. La mitjana mundial d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera en 2007 va ser de 4'6 t per persona, però les diferències entre uns països i uns altres eren ( i continuen sent) enormes: l'emissió per càpita a Estats Units va superar aquell any les 19 t, a Japó va ser de 9'8 t i a Espanya de 8 t, mentre que a Índia no va arribar a les 1'5 t (el mateix que en molts altres països com Nicaragua, Perú, El Salvador, Hondures, Guatemala, etc.).

En 2011 Xina va passar a ocupar el lloc de primer emissor de gasos hivernacle a l'atmosfera. Durant eixe mateix any, les emissions per habitant van ser 6'8 t en Xina, 8'1 t a Europa en el seu conjunt i 16'9 t als Estats Units.

La concentració de CO<sub>2</sub> també augmenta a causa de la desforestació per tales massives i incendis. En els boscos i en els seus sòls es troba una gran part del carboni orgànic terrestre. Per

<sup>3</sup> Efecte de calfament al llarg d'un període de temps (usualment 100 anys) que produeix hui l'alliberament instantani d'1 kg d'un gas d'hivernacle, en comparació amb el causat pel CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> Canvi net en l'equilibri energètic del sistema Terra-atmosfera degut a una pertorbació imposada. Es refereix al valor mitjà corresponent a un període de temps determinat (habitualment entre 1750 i els nostres dies). Un valor positiu indica un augment afegit en l'energia del dit sistema..

## 1. Canvi climàtic

açò són tan importants les modificacions en els ecosistemes forestals i, especialment, en els tropicals.

Les pràctiques de desforestació, unides a l'erosió dels sòls, solen suposar una pèrdua de biomassa i la devolució a l'atmosfera, en forma de  $\text{CO}_2$ , del carboni que prèviament ha sigut captat en la fotosíntesi. El que hi haja extenses zones tropicals on després de la tala no es regenera la coberta vegetal (que si ho fera recuperaria el carboni) augmenta la concentració atmosfèrica del  $\text{CO}_2$ .

Els processos de pèrdua de vegetació i de sòls són variats i difícils de quantificar. La principal causa de la desforestació són els incendis provocats amb intenció d'augmentar les terres de cultiu agrícola i la ramaderia. A manera d'exemple podem destacar que els boscos de Sibèria contenen la meitat del carboni dels ecosistemes forestals de la Terra. Els incendis de l'estiu del 2003 cremaren 22 milions d'hectàrees, llançant a l'atmosfera més de 700 milions de tones de  $\text{CO}_2$ .



A finals de la primera dècada del segle XXI aproximadament el 60% de l'àrea amazònica és massa humida perquè es puguen propagar incendis, no obstant això, el canvi climàtic afavorix la reducció de la dita àrea. En els incendis s'emeten també altres gasos hivernacle (com el  $\text{N}_2\text{O}$ ) i aerosols (com la sutja), que a més són contaminants atmosfèrics perillosos per a la salut.

Altra causa important de desforestació és la tala. Els boscos de Centre-Amèrica, el Carib, l'Amazònia, Àfrica i el Sud-est Asiàtic l'estan suportant des de l'època de la colonització europea per a obtenir fustes valuoses. Tampoc es pot oblidar que en molts països pobres, la fusta segueix sent el principal combustible d'ús domèstic, la qual cosa ha provocat la desaparició dels arbres en extenses zones del món subdesenvolupat (en el continent africà, per exemple, més del 90 % de la població rural i al voltant del 70 % de la urbana, utilitzen la fusta com a principal font d'energia).

També es forma  $\text{CO}_2$  en la fabricació de ciment. Un pas del procés de producció consisteix en escalfar la pedra calcària (carbonat de calci) per produir calç (òxid de calci), que és un component del ciment, alliberant  $\text{CO}_2$ . En aquest procés s'emeten a l'atmosfera al voltant del 4% del  $\text{CO}_2$  antròpic.

*A.9. L'anàlisi de les dades de concentració de  $\text{CO}_2$  en l'atmosfera, mostren que és menor durant l'estiu i major durant l'hivern. A què pot ser deguda aquesta oscil·lació?*

Durant la primavera i estiu la vegetació creix i genera fulles que, mitjançant la fotosíntesi, absorbeixen més  $\text{CO}_2$  de l'aire, reduint així la seua concentració atmosfèrica. A l'hivern, en canvi, el creixement vegetatiu es paralitza i les fulles cauen. En conseqüència disminueix la fotosíntesi i les plantes absorbeixen menys  $\text{CO}_2$ . La quantitat total de vegetació (biomassa) de l'hemisferi nord és major que la del sud, i per açò la seua influència és dominant en el conjunt de l'atmosfera.

## 2.2. El Metà

El metà és un gas hivernacle molt efectiu. En 2011 la seua concentració atmosfèrica mitjana superava ja les 1'8 ppm, mentre la concentració atmosfèrica en els temps pre-industrials era de 0'7 ppm. El metà té un forçament radiatiu de l'ordre de 0'48  $\text{W/m}^2$ , una vida mitjana d'uns 12 anys i un potencial d'escalfament global de 21 (el que significa que cada kg de  $\text{CH}_4$  emès té un

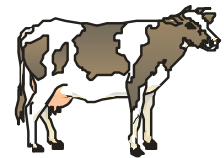


efecte d'escalfament acumulat en l'atmosfera durant els següents 100 anys equivalent a l'emissió de 21 kg de CO<sub>2</sub>).

Alguns investigadors pensen que l'augment del metà en l'atmosfera és remunta a l'inici de l'agricultura i, en especial, al del cultiu de l'arròs fa 5000 anys. Actualment els principals fonts d'emissió antròpiques d'este gas se centren en: producció d'energia a partir de carbó i gas natural, eliminació de desperdícis, cria d'animals rumiants, agricultura de l'arròs, crema de biomassa i fugues de conduccions de petroli i gas. Els dites fonts son els responsables d'entre el 50 i el 65% del total de metà emes a l'atmosfera en el present.

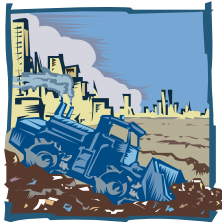
Cada any els bacteris que viuen en condicions anaeròbiques degradant la matèria orgànica produeixen uns 400 milions de tones de metà. Els mitjans en els quals actuen són molt variats: l'estómac i tracte intestinal dels rumiants, l'interior de femers, camps inundats per al cultiu d'arròs o el fons de zones pantanoses.

Entre el 5 % i el 10 % de l'aliment que ingereix una vaca es transforma en metà. A Nova Zelanda, el metà produït per vaques i ovelles suposa un 40% de l'emissió total de gasos hivernacle.



El cultiu de l'arròs sobre enormes extensions entollades a Àsia, afavoreix la metanogènesi en els fangs de les terres inundades.

Altre factor emissor de metà és la crema de vegetació, especialment la crema de males herbes en les sabanes tropicals, que es realitza com a pràctica agrícola per a fertilitzar el sòl. De vegades, el metà procedeix del propi sòl de l'àrea cremada, sobretot en els incendis boreals, per descongelació del permafrost<sup>5</sup>.



Gran part de la matèria orgànica emmagatzemada als abocadors es degrada en condicions anaeròbiques i es converteix en metà. En alguns països avançats ja s'han millorat les condicions d'emmagatzematge del fem. Segellar les instal·lacions permet la recuperació del metà generat, que pot ser utilitzat com a combustible al temps que es redueixen les emissions.

Finalment, esmentarem com font antròpica de metà els escapaments: en les mines de carbó (el perillós gas grisú), en les instal·lacions defectuoses d'extracció de gas natural (el 90 % del qual és metà) i en els centenars de milers de quilòmetres de gasoductes construïts per al seu transport. L'apogeu de la utilització energètica del metà farà necessària la construcció de més pous d'extracció i de més gasoductes, però és d'esperar que les millores tècniques facen disminuir el balafiament i els escapaments a l'atmosfera.

### 2.3. Altres gasos d'efecte hivernacle

Pel que fa al N<sub>2</sub>O, les seues fonts antròpiques més comunes són: l'ús de fertilitzants de nitrogen, la crema de combustibles fòssils, la crema de biomassa i determinats processos industrials com la fabricació de niló i d'àcid nítric. El 17 % d'aquest gas present en l'atmosfera ha estat afegit pels éssers humans des de l'era industrial.

<sup>5</sup> Capa de sòl o substrat congelat. Pot contindre materials orgànics antics semi-descompostos, que al descongelar-se pateixen una serie de reaccions químiques alliberant diòxid de carboni i metà.

## 1. Canvi climàtic

Una vegada emès, el  $N_2O$  roman a l'atmosfera uns 114 anys. El seu potencial d'escalfament global és de 296. En la dècada del 2000-10 la seua emissió mitjana anual era de l'ordre de 7 milions de tones. Al final de dita decada la seua concentració superava les 0'310 ppm, quan a l'inici de l'era industrial era de 0'275 ppm.

Entre els gasos halocarbonats<sup>6</sup> que presenten efecte hivernacle destaquen els CFCs, que es trobaven presents en gasos utilitzats com a refrigerants (frigorífics i aparells d'aire condicionat) i propel·lents (esprais). Aquests compostos, a més del seu efecte hivernacle, destrueixen la capa d'ozó que ens protegeix de les radiacions ultraviolada, motiu pel qual s'han deixat d'utilitzar a causa dels acords internacionals per a evitar la disminució de la concentració d' $O_3$  estratosfèric. En conseqüència, actualment ja no està augmentant la concentració de CFCs. No obstant açò, sí que estant augmentant les concentracions d'altres gasos halocarbonats (HCFC, HFC, PFC) i també de  $SF_6$ . Els HFCs s'utilitzen com a substituïts dels CFCs. Els PFCs i el  $SF_6$  són alliberats a l'atmosfera en activitats industrials com la soldadura d'alumini i la fabricació de semiconductors. El potencial d'escalfament global d'aquests gasos varia àmpliament. Així, per exemple, entre 5.700 i 11.000 per als CFCs i 23.500 per al  $SF_6$ . El període de vida atmosfèric d'aquests gasos varia també molt d'uns a uns altres: entre 45 i 100 anys per als CFCs, entre 1 i 18 anys per als HCFCs, d'1 a 270 anys per als HFCs i milers d'anys per als PFCs.

Als gasos anteriors podem afegir l'ozó troposfèric produït per activitats humanes, com el canvi d'ús dels sòls, la crema de combustibles fòssils i altres processos que comporten la producció dels anomenats compostos químics precursors (com  $CO$ ,  $CH_4$ , algunes substàncies orgàniques volàtils i òxids de nitrogen) que pateixen una sèrie de reaccions fotoquímiques, en les quals es produeix  $O_3$ . L' $O_3$  troposfèric té un període de vida atmosfèric breu (d'uns dies a unes setmanes) motiu pel qual la seua distribució és bastant variable, encara que la seua concentració augmenta en l'aire urbà i en les zones en les que es crema biomassa.

*A.10. Si el vapor d'aigua és el gas d'efecte hivernacle més important, per què no contribueix especialment a l'augment de l'efecte hivernacle? (Tingueu en compte que en cremar qualsevol combustible fòssil, a més de  $CO_2$  es produeix també aigua).*

El vapor d'aigua és el gas que més contribueix a aquest efecte hivernacle, però les activitats humanes a penes incideixen directament en un augment significatiu de la seua concentració a l'atmosfera i per tant, la seua contribució a l'**augment** de l'efecte hivernacle és escassa. Aquesta escassa incidència es deu, fonamentalment, a dos fets:

a) La concentració del vapor d'aigua atmosfèric varia entre 0'01% i 5 % (a major temperatura augmenta la concentració). Quan l'atmosfera se satura, el vapor condensa i cau de nou en forma de pluja, fet que no ocorre amb els altres gasos hivernacle.

b) Els núvols tenen un efecte doble. Absorbeixen radiació infraroja (escalfament) però també reflecteixen a l'espai part de la radiació solar (albedo dels núvols) produint un refredament. A nivell global l'efecte net dels núvols, sembla ser de refredament.



<sup>6</sup>El terme halocarbonat fa referència a que les molècules del compost contenen carboni i un element (normalment el fluor) de la setena columna de la taula periòdica o grup dels halògens.

### 3. ALTRES FACTORS QUE INCIDEIXEN EN L'EFECTE HIVERNACLE

A més dels gasos anteriors i dels canvis astronòmics ja esmentats, existeixen altres factors que també incideixen de forma notable en l'efecte hivernacle.

#### A. 11. *Què altres factors incideixen en l'efecte hivernacle? Com actuen?*

Ja hem comentat abans l'important paper que tenen els boscos en l'efecte hivernacle. Aproximadament la quarta part del CO<sub>2</sub> que emetem a l'atmosfera és absorbit per les plantes verdes en realitzar la fotosíntesi.

**Els aerosols** són un component més de l'atmosfera, que intervenen en processos tan importants com la formació de núvols, el transport de contaminants i l'absorció o dispersió de la radiació. Es tracta de materials en suspensió procedents de fonts naturals com les erupcions volcàniques o la suspensió de sal marina i pols a causa del vent. Però també hi ha fonts procedents de l'activitat humana, com l'ús massiu de combustibles fòssils, que allibera sutge i altres substàncies, explotació de mines i pedreres, moviments de sòl amb finalitats urbanístiques, incendis, etc. El seu impacte és doble, en funció principalment del contingut en sutge (si és elevat, predomina l'absorció de radiació, afavorint l'escalfament de l'atmosfera i viceversa). Cal notar que, en conjunt, a data de 2011, l'efecte predominant és el de refrigeració.

**Els núvols**, com ja s'ha dit, tenen un efecte doble, depenent de diversos factors com el tipus de núvol, la seua altura o el fet que siga de dia o de nit. Per exemple, la cultura popular ens diu que en les nits d'hivern en les que el cel està clar, les temperatures solen ser més baixes que si està ennuvolat. Durant el dia els núvols alts (com els nimbostrats) deixen passar la radiació solar però absorbeixen la terrestre, mentre que les mitjanes (com els altocúmuls) impedeixen notablement el pas de la radiació solar.

La **superfície fosca de l'oceà obert i la superfície terrestre coberta d'espessa vegetació** reflecteixen només un 10% de la radiació solar que els arriba, mentre que aquest efecte albedo augmenta en superfícies clares com són les zones àrides, deserts i les superfícies cobertes de gel o neu (en aquestes últimes pot acostar-se al 90%). A principis del segle XXI l'albedo mitjà del planeta era de l'ordre del 30 %. La seua reducció suposaria un augment de l'escalfament, d'ací el paper tan important que tenen els gels del pol nord i del continent antàrtic en la refrigeració del planeta.

### 4. QUÈ VA A OCÓRRER SI NO PRENEM LES MESURES ADEQUADES?

Si l'efecte hivernacle continua augmentant, la temperatura mitjana en la Terra seguirà incrementant-se. Podem esmentar com a dada que la temperatura mitjana mundial en la superfície de la Terra va augmentar en 0'89 °C entre 1901 i 2012. Mentre que a Europa va pujar 1°C a Espanya ho va fer entre 1'2 °C i 1'5 °C. A llarg termini, els models utilitzats pel IPCC<sup>7</sup> prediuen per al 2100 una pujada mitjana de la temperatura entre 1'5 °C i 4'5 °C.

#### A.12. *Quina importància pot tindre el fet de que la temperatura mitjana de la Terra pugue uns pocs graus?*

<sup>7</sup> Panell Intergovernamental del Canvi Climàtic. Es tracta d'un organisme científic internacional creat per les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial, per a estudiar el canvi climàtic, avaluar les seues conseqüències i elaborar estratègies de resposta realistes.

## 1. Canvi climàtic

Convé tindre en compte que estem parlant de valors mitjans de la temperatura de l'aire pròxim al sòl, obtinguts en milers de llocs diferents repartits per tot el planeta i durant molts anys (el que inclou variacions estacionals i fenòmens meteorològics extrems). Per tant, allò realment important no són dades particulars com la calor que va fer ací l'estiu passat o si l'altre estiu en va fer més. El que importa realment és la tendència general a escala global. L'hivern de 2010, per exemple, va semblar molt gelat, no obstant açò, solament ho va ser a Europa Occidental i a la costa Est d'Amèrica del Nord. En realitat, fou l'hivern més càlid a tot el món des que es tenen registres (1850). La dècada 2000-2010 ha sigut la més càlida des de 1850; ha estat més càlida que la dels 90 i aquesta, al seu torn, més que la dels 80 ... (tendència general).

Els experts consideren que un augment de més de 2 °C (respecte al seu valor en el període pre-industrial) de la temperatura mitjana de la Terra no s'hauria de sobrepassar, perquè molt probablement provocaria perturbacions climàtiques catastròfiques i irreversibles, no solament per als ecosistemes sinó també en l'economia i la salut de les societats humanes. No obstant açò, no cal que ens esperem a superar eixe límit per adonar-nos que l'escalfament global ja ha començat a provocar una sèrie de conseqüències.



### A.13. Enumereu algunes conseqüències del procés d'escalfament global

Entre les més importants estan: Fusió del gel continental i marí, acidificació dels oceans, augment de la intensitat i freqüència de fenòmens meteorològics extrems, canvis en els ritmes vitals de moltes espècies i disminució de la biodiversitat, augment de la probabilitat d'ocórrer canvis importants i abruptes.

### 4.1. Fusió de gel continental i marí

Més d'un 85% de l'àrea terrestre ocupada per gels permanents es troba a l'Antàrtida (un continent amb una superfície unes 28 vegades major que la d'Espanya). Un 10% correspon al gel de Groenlàndia i en el 5% restant s'inclou el conjunt de totes les altres glaceres.

L'espessor mitjà del gel en l'Antàrtida és de 2'4 km i en alguns llocs quasi aconseguix els 5 km. Té un volum tan gran que la seua descongelació completa elevaria el nivell del mar uns 60 metres. La major part de tota aquesta massa de gel (quasi el 90 %) es troba en l'Antàrtida Oriental.



D'altra banda, la **banquisa**<sup>8</sup> de gel marí que envolta el continent antàrtic (no representada en la figura), experimenta una gran variabilitat estacional (des dels 2-3 milions de km<sup>2</sup> durant l'estiu als 15-16 milions de km<sup>2</sup> a l'hivern, aproximadament).

Groenlàndia és la major illa del món (unes quatre vegades major que Espanya) i té el 80% de la superfície coberta de gel. Les dades que es disposen indiquen, no obstant açò, que part d'eixa

<sup>8</sup> Capa de gel marí flotant que es forma en les regions polars.

massa de gel es fon. La pèrdua de gel a **Groenlàndia** es va duplicar entre 1996 i 2005. L'illa va perdre  $50 \text{ km}^3$  de gel tan sols durant l'any 2005. La fusió de tot el gel faria pujar en més de 6 m el nivell del mar.

La fusió de part del gel terrestre que hi ha sobre el continent antàrtic i en glaceres d'algunes zones de l'hemisferi nord com Alaska, Islàndia i Groenlàndia, està contribuint sens dubte a l'augment del nivell del mar. D'altra banda, les mesures que s'estan realitzant des de 1961 mostren que la temperatura mitjana dels oceans ha augmentat fins a profunditats d'uns 3000 m i que aquests absorbeixen més del 80 % de la energia afegida al sistema climàtic a conseqüència del calfament global, amb el que l'aigua tèbia es dilata i açò es tradueix també en un eixamplament dels oceans i, conseqüentment, en una elevació del nivell del mar. Actualment, tots dos efectes (fusió del gel i expansió de l'aigua) contribueixen aproximadament per igual a aquesta elevació.

La velocitat a què ha anat pujant el nivell del mar a augmentat durant els dos últims segles. Concretament, durant el període 1900-2012 s'ha constatat una elevació mitjana del nivell del mar d'uns 19 cm i les previsions més fiables indiquen que a causa de l'expansió tèrmica el nivell continuarà pujant durant molts segles, depenent de les futures emissions de gasos hivernacle. Els models es manejats pels científics de l'IPCC indiquen per a l'any 2300 un augment entre 1m i 3 m si la concentració de gasos hivernacle en l'atmosfera sobrepasa les 700 ppm de  $\text{CO}_2$  equivalent<sup>9</sup>.

L'escalfament global també està contribuint a la fusió del gel en moltes glaceres continentals de muntanya i a una disminució de les nevades en general, factors que expliquen el retrocés experimentat per les esmentades glaceres. En efecte, al ritme actual, és bastant probable que totes les glaceres del Pirineus espanyol hagen desaparegut abans de 2050. La mateixa tendència s'observa en Àfrica, a l'Himàlaia, a Alaska i en altres llocs. Es tracta d'un fenomen a escala planetària.



<sup>9</sup> Concentració d'aquest gas que causaria el mateix forçament radiatiu mig mundial que la mescla real de tots els gasos hivernacle i aerosols existent en l'atmosfera.

## 1. Canvi climàtic

En l'Àrtic, la temperatura de l'aire ha augmentat almenys en 3°C entre 1990 i 2010, augment suficient per a fondre una gran part del gel flotant (entre 3 m i 4 m d'espessor mitjà a final de l'hivern). A més de l'increment en la concentració de gasos hivernacle en l'atmosfera, altres raons d'aquesta elevació de la temperatura poden ser el transport a eixa zona d'aerosols contaminants procedents d'altres regions molt poblades de latituds mitjanes com Xina, Estats Units i Europa.

L'extensió del gel marí àrtic durant l'estiu (el que s'anomena gel multianual o perenne) ha disminuït sistemàticament entre 700.000 km<sup>2</sup> i 1000.000 km<sup>2</sup> cada dècada des del 1979 al 2012. També ha disminuït (menor superfície i menor grossor) el volum de gel àrtic a l'estiu (els mesuraments realitzats per satèl·lit indiquen una pèrdua d'unes tres quartes parts del dit volum respecte a 1980).

*A.14. Per què la fusió del gel flotant (com el de l'Àrtic o la banquisa de l'Antàrtida) no produeix cap efecte directe sobre l'elevació del nivell del mar?*

La fusió del gel àrtic no fa augmentar el nivell del mar com tampoc fa pujar el nivell de l'aigua un glaçó en un got ple d'aigua quan es fon. Açò ocorre perquè el gel ocupa més volum que l'aigua líquida corresponent, de tal forma que, quan el gel fon, l'aigua líquida resultant té un volum exactament igual al de la part submergida del gel que la va originar, motiu pel qual no es produeix cap augment ni disminució de nivell.

*A.15. Quines conseqüències sobre la vida en el planeta poden tindre els efectes anteriors?*

El mar té unes 800 vegades més capacitat de retenir calor que tots els continents junts (més del 90% de l'excés d'energia emmagatzemada per la Terra durant els últims 50 anys, es troba en els oceans). És un termòmetre molt més fiable que la temperatura de l'aire (subjecta a molta major variabilitat). El seu augment de nivell, lent però constant i imparabile, és un indicador similar a la dilatació del mercuri d'un termòmetre i ens està dient clarament que la temperatura del planeta augmenta. És necessari tindre en compte que en els oceans existeix una gran inèrcia, que fa que davant un determinat forçament (positiu o negatiu) puguen transcórrer desenes o centenars d'anys fins a aconseguir-se un nou equilibri. En l'atmosfera, la inèrcia tèrmica és menor. Per açò cal ser conscients que, encara en el cas que deixara d'augmentar ara la temperatura, el mar seguiria expandint-se durant bastants anys.

La pujada del nivell del mar produirà la destrucció d'ecosistemes essencials com aiguamolls, manglars i àmplies zones costaneres habitades, així com la salinització d'aqüífers. Més de 250 milions de persones en el món viuen a menys d'5 m d'altura sobre el nivell del mar. Moltes terres cultivables i també moltes grans ciutats es troben en zones litorals. Una elevació d'1 m en el nivell del mar inundaria 16.000 km<sup>2</sup> en Bangla-Desh, 20.000 km<sup>2</sup> a Vietnam i 30.000 km<sup>2</sup> a Indonèsia, generant milions de refugiats climàtics a la recerca d'altres llocs on poder viure.

La disminució i desaparició de glaceres de muntanya farà que també es veja reduïda la quantitat d'aigua subterrània i de l'aigua continguda en molts llacs, així com el cabal dels rius connectats amb eixes glaceres. Pensem en els efectes negatius que tindrà la disminució d'aquest recurs bàsic en sectors com l'agricultura o la ramaderia i en particular en totes les persones de les zones afectades.

*A.16. Com seria un món en el que no hi haguera gel en l'Àrtic?*

Possiblement ja hi ha companyies mineres, petrolieres i navilieres que somien amb eixe dia, però també seria un món sense óssos polars i sense focs. Sense eixe escut protector que reflecteix gran part de la radiació solar que li arriba, el planeta s'escalfaria més, els corrents d'aigua i d'aire provocades per la diferència de temperatures entre l'Àrtic i els tròpics s'afeblirien, la desaparició de permafrost en els continents propers al pol nord alliberaria grans quantitats de metà accelerant més l'escalfament global ...



En definitiva: l'Àrtic és una zona especialment sensible al canvi climàtic però tot el planeta és especialment sensible als canvis en l'Àrtic.

### 4.2. Augment de l'acidificació dels oceans

El mar actua com un immens embornal de CO<sub>2</sub> (efecte net actual) ja que aquest gas es dissol bé en l'aigua (i millor en aigua freda). La concentració d'aquest gas en l'aigua superficial és un factor determinant (juntament amb uns altres com la temperatura) en l'intercanvi de CO<sub>2</sub> entre l'atmosfera i el mar. La incorporació de CO<sub>2</sub> antròpic des de l'inici de l'era industrial ha acidificat l'aigua marina, ja que el seu pH ha disminuït una mitjana de 0'1 unitats (a menor valor de pH major grau d'acidesa). Una major concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera acceleraria aquest procés. Les previsions mostren una reducció del valor mitjà del pH en la superfície marina d'entre 0'14 i 0'35 unitats durant el segle XXI. Des de fa almenys 500000 anys que l'aigua marina no presenta un grau d'acidesa tan alt com l'actual.

*A.17. A quin tipus d'organismes marins cal esperar que afecte, en principi, l'augment d'acidesa de l'aigua?*

És de coneixement general que un llimó obert damunt d'un banc de marbre produeix una taca sobre la zona que ha estat en contacte amb el suc de llima. Açò ocorre perquè els àcids ataquen al carbonat de calci, que és el component principal del marbre, i el suc de llima o el de taronja són un poc àcids.

Una cosa semblant pot passar si s'acidifiquen els oceans. Encara que els efectes de l'acidificació dels oceans sobre la biosfera marina no estan encara ben documentats sembla clar que tindrà efectes negatius. Es posarà en perill als organismes que posseeixen carbonat de calci en la seua estructura com els corals i els animals amb petxina o capa- (mol·luscs, crancs, etc.) i, tot seguit, també a totes les espècies que depenen d'ells. Per exemple, quan un escull de coral desapareix ho fan també molts peixos i altres éssers que viuen en ell, a més que deixa d'haver-hi una barrera protectora de la zona costanera. Tot això pot tindre efectes catastròfics sobre la vida marina.

### 4.3. Alteració de les precipitacions i augment de fenòmens meteorològics extrems

L'aire càlid pot contenir més vapor d'aigua que el gelat. El contingut de vapor d'aigua de l'aire ha anat augmentant en els últims anys, tant sobre la terra com sobre els oceans i també en la troposfera superior. Tot açò augmenta el risc d'episodis de pluges torrencials i inundacions.

Les pluges torrencials i les inundacions, juntament amb les greus sequeres, huracans, i onades de calor, són exemples de fenòmens meteorològics extrems i, encara que resulta impossible decidir si un d'aquests fenòmens en particular està causat o no per l'augment de l'efecte hivernacle, la veritat és que les anàlisis realitzades durant el passat segle indiquen clarament que ha augmentat la probabilitat de que ocorren tals successos extrems.

## 1. Canvi climàtic



En efecte, des de 1950 han augmentat tant les onades de calor com les nits càlides. Els deu anys més càlids registrats es donaren en els 15 anys anteriors a l'any 2010. Les primeres posicions serien per al 1998, seguit del 2010 i el 2003. L'any 2013 va ser el setèim més càlid des que es tenen registres. En l'hemisferi nord els anys entre 1983 i 2012 han suposat el període de 30 anys més càlid durant els últims 800 anys. Les condicions ambientals més càlides han fet augmentar l'evaporació de l'aigua del sòl. Tanmateix, han disminuït les precipitacions (pluja o neu) en general, malgrat que esporàdicament es produeixen episodis de precipitacions molt intenses que provoquen greus inundacions en determinades zones<sup>10</sup>. Tots aquests factors han fet augmentar les regions del planeta afectades per sequeres de llarga duració.

En general, a causa de l'augment de l'efecte hivernacle, un clima més càlid incrementa els riscos de sequera on no plou i d'inundacions on si que ho fa. D'igual manera augmenta la probabilitat de precipitacions en forma de pluja en compte de neu (sobretot en latituds mitjanes i altes de l'hemisferi nord), fet que redueix els recursos hídrics a l'estiu, que és quan més es necessiten.

*A.18. A què es pot deure que els huracans siguin cada vegada més catastròfics?*

Alguns fenòmens com els **huracans**, extrauen l'energia de l'aigua del mar i es frenen quan xoquen contra barreres costaneres (esculls de coral, manglars, boscos) i muntanyes. L'augment en la temperatura de l'aigua del mar i la degradació de zones costaneres (amb la desaparició d'esculls de coral i de vegetació) són factors que potencien aquests fenòmens extrems i els seus efectes.



Els fenòmens meteorològics extrems, no sols suposen enormes pèrdues econòmiques, sinó que també causen la mort de milers d'éssers humans. Així, per exemple, durant els últims anys han augmentat sensiblement les morts de persones (sobretot ancians) durant l'estiu a causa de les altes temperatures, especialment en alguns països d'Europa on els estius solien ser suaus.

### **4.4. Alteració dels ritmes vitals de nombroses espècies i pèrdua de biodiversitat**

*A.19. L'augment de l'efecte hivernacle ha contribuït al fet que en algunes zones del planeta, com Espanya, els hiverns siguin cada vegada més suaus i els estius més calorosos i llargs. Quin impacte pot tindre açò en la flora i la fauna?*

<sup>10</sup> En el període 1982-2007 es registrà al Mediterrani occidental un augment de la temperatura mitjana de 0'5 °C i del 20% en els episodis de pluges torrencials (ambdós factors estan relacionats).



Alguns exemples d'aquest impacte són: Les fulles de les figueres brollen abans i cauen després, i el mateix passa amb moltes flors i fruits. En general, els arbres caducifolis tarden més temps del acostumat a perdre les fulles.

L'avançament en la floració comporta una presència més prolongada de pol·len a l'atmosfera, el que repercuteix en les al·lèrgies. A més, si no hi ha coordinació temporal entre la floració i els insectes que pol·linitzen les plantes, podem trobar-nos que la producció de mel i de fruites es veja greument afectada. Aquesta descoordinació temporal pot afectar també a altres espècies. Així, si les erugues s'avancen de juny a maig, és possible (i així ocorre ja en alguns casos) que els pollets que naixen a primers de juny, es perden gran quantitat d'elles i no s'abreixen, amb la consegüent proliferació d'insectes al disminuir la població d'ocells que s'alimenten d'ells.

Algunes espècies de plantes com ginebres, faigs i roures, es poden trobar cada vegada a major altitud, desplaçant a altres espècies alpines com l'abet. D'altra banda, espècies d'animals que abans emigraven (com les cigonyes) ara no ho fan i passen aquí l'hivern, degut no només al fet que troben abundant menjar en els grans abocadors d'escombraries sinó també al fet que els hiverns són cada vegada més suaus. Altres aus característiques de climes més càlids (com algunes cotorres) s'han instal·lat definitivament en certes zones d'Espanya. Aquesta situació no només es dona en plantes i aus sinó que afecta també a altres éssers vius com ara, alguns mosquits, característics (fins ara) de zones tropicals, transmissors de greus malalties com la malària o el dengue, els quals es detecten cada vegada en latituds més altes.

L'augment en la temperatura dels oceans també propicia canvis en la distribució d'espècies (molt més ràpids que en el mitjà terrestre ja que es tracta d'un medi obert i les espècies marines tenen gran mobilitat). Solament en el Mediterrani s'ha comptabilitzat una entrada de diversos centenars d'espècies exòtiques (en la seua major part d'origen tropical). Algunes d'aquestes espècies foranes es comporten de forma agressiva desplaçant a altres autòctones. L'augment en la temperatura de l'aigua del mar afavoreix també altres fenòmens com la proliferació d'algues o les invasions de meduses (el que pot afectar al turisme de moltes zones costaneres). L'escalfament i la reducció del gel marí afecta també a la reproducció del krill antàrtic (l'animal més abundant del planeta i un enllaç fonamental de la cadena tròfica).

### *A.20. Com pot contribuir l'escalfament global a la pèrdua de biodiversitat?*

Els desajustos esmentats són exemples de canvis que trastornen les cadenes reproductives i alimentàries de moltes plantes i animals. Acaben de començar, però ja sabem que els seus efectes poden ser catastròfics. Un d'aquests efectes és la seua contribució a la pèrdua de biodiversitat.

A l'actualitat es coneixen aproximadament 1'5 milions d'espècies d'éssers vius, de les quals més de la meitat són insectes, menys de 50.000 animals vertebrats i unes 14.000 entre aus i mamífers. No obstant açò, ningú sap quantes espècies més queden encara per descobrir.

A causa del canvi climàtic, està pujant la temperatura mitjana de la superfície terrestre i marina, canvien els patrons espacials i temporals de les precipitacions, s'està elevant el nivell del mar i augmentant el seu grau d'acidesa, etc. Aquests canvis, sobretot la pujada de les temperatures en algunes zones, estan afectant a:

- ✓ L'estació de la reproducció d'animals i plantes.
- ✓ La migració d'animals.
- ✓ La distribució de les espècies i la grandària de les seues poblacions. (A este respecte, convé tindre en compte que algunes espècies foranes es comporten de forma agressiva desplaçant a altres espècies autòctones).
- ✓ La freqüència de plagues.
- ✓ La salut de moltes espècies.

## 1. Canvi climàtic

Actualment moltes espècies de tot el món estan amenaçades d'extinció (óssos polars, corals, peixos,...). S'ha observat que, alguns factors relacionats amb l'augment de l'efecte hivernacle, també contribueixen a aquesta extinció (per exemple la destrucció de la selva amazònica i boscos a Indonèsia, els grans incendis forestals, l'augment de la temperatura i grau d'acidesa de l'aigua marina, la fusió del gel àrtic, etc.).

L'escalfament global canviarà també l'aspecte i la localització de molts boscos del món. Els boscos de les zones temperades tendiran a moure's a zones de major altitud. No obstant açò, algunes espècies arbòries, com els fajos, podrien no ser capaços d'emigrar a velocitat suficient i s'extingirien, amb el que varietats completes d'arbres podrien desaparèixer i provocar una hecatombe forestal que acceleraria la pèrdua de biodiversitat i l'escalfament global.

Encara que no es coneix exactament el nombre d'espècies que a causa del canvi climàtic i a altres causes (relacionades o no amb el mateix) estan desapareixent cada any (cosa lògica, ja que tampoc se sap quantes espècies hi ha), sí sabem que la taxa d'extinció és entre 100 i 1000 vegades superior a l'esperada per causes naturals. Estem perdent biodiversitat a tal velocitat que alguns autors parlen ja d'una extinció massiva i, aquesta vegada... el meteorit som nosaltres.

### 4.5. Augment de la probabilitat de canvis climàtics grans i abruptes

D'acord amb l'informe elaborat en 2007 pel IPCC, tenint en compte les dades disponibles en aquella data, no es considera probable que es produïsquen canvis climàtics abruptes de conseqüències planetàries al segle XXI (tals com l'ensulsiada de la capa de gel de l'Antàrtida occidental, la pèrdua de la capa de gel de Groenlàndia o canvis a gran escala en la circulació oceànica). No obstant açò, aquest informe també afirmava que:

“ ... la possibilitat de tals canvis es torna cada vegada més probable a mesura que avancen les pertorbacions del sistema climàtic”.

Aquests canvis ja s'han produït en el passat. Una preocupació constant és que l'augment de la temperatura mitjana terrestre pugui conduir a unes pertorbacions prou fortes com per a desencadenar-los. A aquest respecte convé tindre en compte l'important paper que exerceixen els denominats "**cicles d'auto-reforçament**" en l'acceleració de l'augment de l'efecte hivernacle.

*A.21. Proposeu possibles cicles d'auto-reforçament que comencen i acaben en l'augment de la temperatura mitjana global del planeta.*

En efecte, si continua augmentant la temperatura mitjana global del planeta:

- ✓ Augmentarà la quantitat d'aigua evaporada així com la proporció de vapor d'aigua que pot contenir l'atmosfera (s'estima que per cada augment d'1 °C la capacitat de retenció de vapor d'aigua per l'atmosfera augmenta en un 7%), la qual cosa farà augmentar l'efecte hivernacle (recordem que el vapor d'aigua és el gas que més contribueix a aquest efecte hivernacle) i, conseqüentment, la temperatura.
- ✓ Augmentaran els grans incendis (es resseca el sòl i les fulles, es produeixen més rajos), amb els quals s'emetran gasos hivernacle a l'atmosfera alhora que hi haurà menys plantes per a absorbir CO<sub>2</sub> mitjançant la fotosíntesi, factor que provocarà l'augment de l'efecte hivernacle i, per tant, de la temperatura.

- ✓ Augmentarà la quantitat de gel marí fos, amb el que disminuirà l'efecte aïllant de la capa de gel, afavorint l'emissió de calor a l'aire des del mar, augmentant la temperatura de l'aire.
- ✓ Augmentarà la temperatura dels oceans i la possibilitat que s'allibere metà que hi ha en fangs marins → augment de l'efecte hivernacle → augment de la temperatura.
- ✓ Augmentarà la descongelació de sòls congelats de la tundra siberiana, Canadà i Groenlàndia, rics en matèria orgànica que en descongelar-se es descompon alliberant metà → augment de l'efecte hivernacle → augment de la temperatura.
- ✓ Augmentarà la fusió de grans masses de gel (continentals i marines) motiu pel qual es reflectirà menys radiació solar a l'espai, calfant-se més les zones pròximes (més fosques) d'aigua o sòl, fent que fonga més gel pròxim i augmente la temperatura.
- ✓ Hi haurà boscos sencers (com les fagedes) que no podran adaptar-se a l'augment ràpid de temperatura desplaçant-se a latituds més altes (no tindran temps) i desapareixeran, amb el que augmentarà l'efecte hivernacle i, per tant, la temperatura.
- ✓ Augmentarà la pèrdua d'humitat del sòl en moltes zones i la sequedat de les fulles amb la consegüent disminució de productivitat en l'agricultura i un augment de l'aridesa → menys vegetació → augment de l'efecte hivernacle.
- ✓ Es dissoldrà menys CO<sub>2</sub> en l'aigua marina (el CO<sub>2</sub> es dissol millor en aigua freda que en aigua calenta) i el mar podria passar de ser un embornal net de CO<sub>2</sub> a emissor net de l'esmentat gas, augmentant l'efecte hivernacle i, per tant, la temperatura.
- ✓ ...

Els cicles d'auto-reforçament anteriors (o altres similars) poden fer que el sistema climàtic evolucione de manera imprevisible i afavorir que es produeixen grans canvis de forma ràpida. A continuació analitzarem alguns d'ells.

#### *A.22. Què hauria d'ocórrer perquè es frenara o es parara el corrent del Golf?*

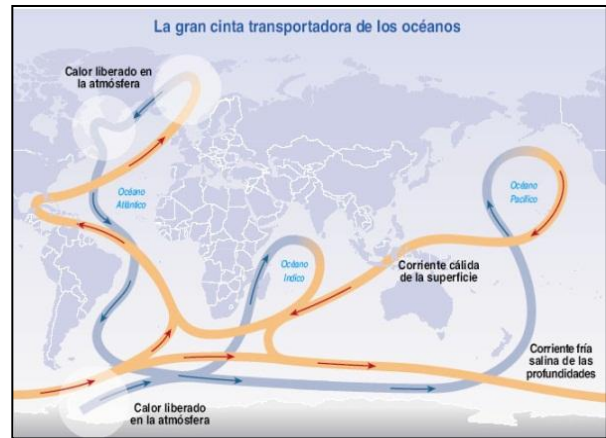
Un exemple de gran canvi climàtic abrupte és el possible col·lapse del Corrent del Golf que proporciona quantitats notables d'energia mitjançant calor als mars i terres properes de Noruega, Groenlàndia i Islàndia. Aquest corrent fa que ciutats com París o Madrid, tinguen temperatures més elevades que, per exemple, Montreal o Nova York respectivament, encara que es troben en latituds semblants.

En l'Atlàntic Nord, en xocar les aigües càlides amb els vents freds que provenen de l'Àrtic, s'origina vapor que és portat cap a l'Est pels vents dominants i la rotació de la Terra. Després de l'evaporació, l'aigua és més freda i més salada. Tots dos factors fan que la seua densitat siga major i s'enfonse en grans quantitats i a gran velocitat cap al fons de l'oceà, alimentant així el corrent transportador d'aigua freda cap al sud.

Si la densitat de les aigües superficials de l'Atlàntic Nord disminuirà causa de l'escalfament, l'aigua deixaria d'enfonsar-se, amb la qual cosa, eixa cinta transportadora d'energia podria parar-se i amb açò, el lliurament de calor a àmplies zones del nord d'Europa. Convé conèixer que la densitat de l'aigua disminueix si ho fa la concentració de sals dissoltes en ella, la qual cosa ocorre quan augmenta la quantitat d'aigua dolça present, bé siga provinent de la fusió del gel o de la intensificació del cicle hidrològic. També disminueix (a partir de 4°C) amb l'augment de temperatura.

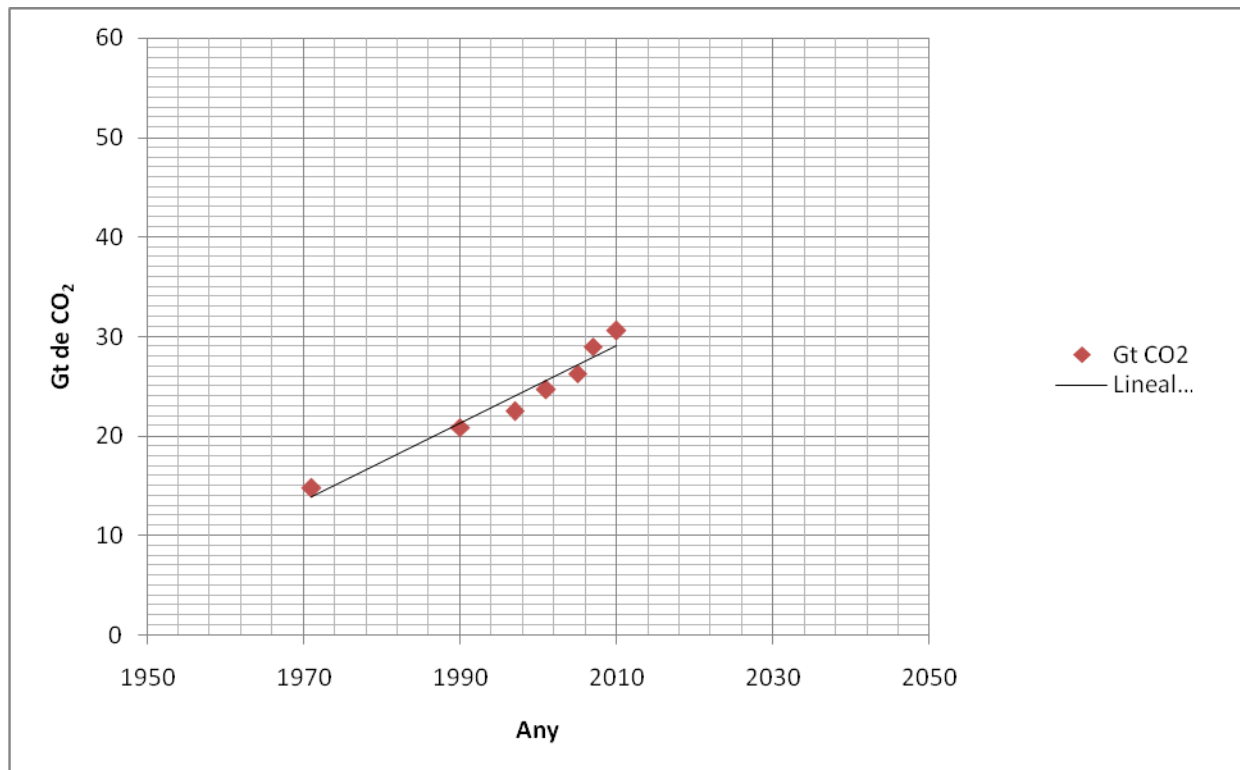
## 1. Canvi climàtic

Si el corrent del Golf disminueix sensiblement o es col·lapsa, no hi ha dubte que els efectes es notarien a escala planetària, encara que no es puguin predir amb certesa (al refredament causat per la desaparició del corrent s'oposaria el forçament radiatiu causat per l'augment de l'efecte hivernacle). El que sí és clar és que açò afectaria al fons oceànic profund i a la distribució d'oxigen i nutrients marins en els oceans.



Altres possibles canvis climàtics abruptes seria la ràpida desintegració del mantell de gel de Groenlàndia o l'ensulsiada sobtada dels mantells de gel de l'Antàrtida occidental. Les dades indiquen que hi ha un llindar de temperatura crítica més enllà del qual el mantell de gel que cobreix Groenlàndia estaria condemnat a desaparèixer completament. Eixe llindar està situat entre 2 °C i 4 °C per damunt del valor mitjà de la temperatura corresponent al període preindustrial i, desgraciadament, podria encreuar-se en el transcurs del segle XXI. Encara que la fusió d'eixe manto de gel seria un procés que tardaria un mil·lenni o més a completar-se, la veritat és que també pot veure's accelerat pels cicles d'auto-reforçament. Convé saber que la fusió de la mitat de la capa de gel de Groenlàndia i la mitat de la de l'Antàrtida occidental, ocasionarien tals inundacions que caldria tornar a dibuixar els mapes del món.

L'augment de l'efecte hivernacle i les seues conseqüències (elevació de les temperatures, fusió del gel continental i marí, major freqüència i intensitat de fenòmens meteorològics extrems, pèrdua de massa forestal, etc.) suposa l'aparició d'un vertader canvi climàtic a escala planetària. La incidència d'aquest podria limitar-se si s'emprenguera una acció conjunta mundial de reducció d'emissions (també hauria d'interrompre's la desforestació, especialment en els boscos tropicals).



Un objectiu clau, perquè no es produïsquen canvis irreversibles (en l'escala de temps humana) que escapen a tot control, és que la temperatura mitjana no augmente en més de dos graus (respecte del seu valor preindustrial), per a la qual cosa la concentració de CO<sub>2</sub> atmosfèric no hauria de sobrepassar les 450 ppm, la qual cosa suposa al seu torn una disminució de les emissions, de manera que en 2050 s'hagen reduït a la mitat del que es va emetre en 1990.

*A.23. La gràfica anterior ofereix les emissions mundials de CO<sub>2</sub> degudes a combustibles fòssils en Gt (giga-tones)<sup>11</sup>. Quin seria el valor aproximat de les emissions mundials de CO<sub>2</sub> l'any 2050 si no hi hagueren acords internacionals conjunts i se seguira amb la mateixa tendència que s'observa en la gràfica?*

Hem vist que el canvi és una cosa consubstancial al nostre planeta, que al llarg de milers de milions d'anys ha experimentat canvis molt més intensos que els que s'aveïnen. No obstant açò hi ha algunes característiques del canvi climàtic actual que el fan únic.

*A.24. Quines característiques específiques té el canvi climàtic actual que el fan diferent d'altres canvis climàtics ja ocorreguts al llarg de la història de la Terra?*

Es poden concretar en les següents:

- ✓ Ser causat per la humanitat, que en aquest cas actua com una nova i poderosa força, capaç d'afectar a processos fonamentals de la biosfera.
- ✓ La rapidesa amb que està tenint lloc. En poc més de dos segles la concentració de CO<sub>2</sub> atmosfèric ha augmentat en unes 100 ppm fins a aconseguir en 2013 les 400 ppm, quan se sap que durant els períodes glacials i interglacials des de fa mig milió d'anys, un augment així tardava a produir-se, com a mínim, diversos milers d'anys (a més no eren augments acumulats: la concentració es va mantindre entre 180 ppm i 280 ppm, amb pujades a què seguien baixades, mentres que ara només hi ha pujada). La dita rapidesa, incidirà negativament en les possibilitats d'adaptació de moltes espècies.
- ✓ Forma part d'un canvi global més ampli caracteritzat per tot un seguit de greus problemes de diferent tipus que afecten a la humanitat i a la resta dels éssers vius i que estan estretament relacionats, interaccionant entre ells de manera que cadascun pot ser alhora causa i conseqüència d'altres.
- ✓ Sabem quins són les seues causes i com fer-los front abans que siga irreversible.

Fins ací hem estudiat què és l'efecte hivernacle i en què consisteix el seu augment. Els gasos hivernacle i les seues fonts, així com algunes de les conseqüències més importants del procés d'escalfament global del planeta al que estem assistint, les quals formen part ja d'un vertader canvi climàtic terrestre. Cal plantejar-se ara què podem (i devem) fer per afrontar aquest canvi climàtic abans que siga irreversible.

## **5. QUÈ PODEM I DEVEM FER?**

En primer lloc hem d'analitzar les causes profundes del problema. Si ho fem, ens adonarem que el canvi climàtic no és un fet aïllat sinó que està intensament lligat a altres greus problemes. Cal pensar, doncs, que la millor estratègia (i segurament l'única efectiva) per enfrontar-nos al canvi climàtic ha de ser una estratègia global en la qual s'aborde conjunta i simultàniament el tractament de tots ells.

---

<sup>11</sup> 1 Gt = 10<sup>9</sup> tones (mil milions de tones)

## 1. Canvi climàtic

### 5.1. Amb quins altres greus problemes està relacionat el canvi climàtic?

L'any 1990 es van emetre a l'atmosfera per la utilització de combustibles fòssils unes 21 Gt de CO<sub>2</sub> mentre que en 2010 eixa quantitat va augmentar a quasi 31 Gt i en 2013 a 36 Gt. De seguir eixa tendència, en 2050 no sols no s'hauran reduït les emissions a la mitat que en 1990 (tal com aconsellen els experts en canvi climàtic) sinó que s'hauran duplicat amb escreix.

#### A.25. Per què emetem cada vegada més CO<sub>2</sub>?

Cada vegada emetem més CO<sub>2</sub> perquè la manera de creixement econòmic vigent necessita, per a mantenir-se, un consum cada vegada major de recursos naturals i per a processar-los es precisa cada vegada de més energia, la qual s'obté de forma majoritària cremant combustibles fòssils i, en conseqüència<sup>12</sup>, emetent CO<sub>2</sub>. El problema s'agreuja si tenim en compte que la població mundial supera els 7000 milions i que mentre que la meitat de tota aquesta població malviu pobrament, una cinquena part consumeix més del que es necessita per viure dignament.

Així doncs, hem de relacionar el canvi climàtic amb altres problemes tals com l'hiperconsum, la superpoblació i les grans desigualtats socials. A continuació analitzarem breument cadascun d'ells.

El model de creixement econòmic actual és insostenible, guiat per interessos particulars a curt termini que actua com si el planeta tinguera recursos il·limitats. Un creixement especialment accelerat des de la segona meitat del segle XX i que s'ha traduït en **l'hiperconsum**

Es tracta d'un creixement explosiu, que alguns defensen com una cosa desitjable ja que ha fet possible indubtables avanços socials (encara que només per a una quarta part de la humanitat), però que també té repercussions molt negatives per al medi ambient i consegüentment per al futur de tots.



Perquè aquest model de creixement econòmic pugui continuar, és necessari un consum cada vegada major i ininterromput de tots els béns que es produeixen contínuament. Un hiperconsum sobre el qual tenim molta major responsabilitat les societats “desenvolupades”, i que segueix creixent com si les capacitats del planeta foren infinites.

#### A.26. Enumereu aspectes importants que caracteritzen l'hiperconsum

Entre altres, es poden citar els següents:

- ✓ Estar estimulat per una publicitat agressiva, creadora de “necessitats”.
- ✓ Impulsar l'usar i tirar, ignorant reduir, reutilitzar, reciclar...

<sup>12</sup> La crema de qualsevol combustible fòssil (carbó, petroli i els seus derivats, gas natural) i de fusta, sempre produeix (entre altres substàncies) CO<sub>2</sub>.

- ✓ Modes efímeres.
- ✓ Reduir la durabilitat de productes (obsolescència programada).
- ✓ Promocionar certs productes, malgrat l'elevada despesa energètica que suposen i l'alt impacte ecològic, com els "tot terrenys" per a circular per carreteres i ciutats.
- ✓ No reparar components de màquines i aparells. Quan alguna peça es desbarata, es canvia el bloc complet al que pertany o es compra un altre aparell.
- ✓ ...

Alguns indicadors d'hiperconsum són: ús de vehicles a motor per a desplaçar-se escassos metres, acumulació en les llars de nombrosos objectes i productes innecessaris, renovació sistemàtica d'aparells i màquines encara útils o de roba i calçat en bon estat, etc

No es tracta, és clar, de condemnar tot el consum, sense matisacions. Cal disminuir, sobretot, el consum innecessari i evitar el consum de productes que tenen un gran impacte negatiu sobre el mitjà natural; però sense oblidar que el consum contribueix al desenvolupament humà quan millora la qualitat de vida d'unes persones sense minva de la vida de les altres. Així, mentre que la majoria d'habitants d'Estats Units, Europa o Canadà, haurien de consumir menys i eliminar un malbaratament que no contribueix gens a la qualitat de vida, per a més de 1400 milions de les persones més pobres del món, augmentar el seu consum és qüestió de vida o mort i un dret bàsic.

L'hiperconsum sols afecta a una cinquena part de la humanitat, però açò no significa que el consum molt més moderat (i, sovint, insuficient per a unes condicions de vida acceptables) de la resta no repercutisca també sobre el medi ambient. Açò ens porta a la consideració d'un segon factor: el **creixement demogràfic**. Parlar de milers de milions de persones amb necessitat de consumir ens remet a l'explosió demogràfica en un planeta de recursos limitats. Òbviament, si en la Terra visqueren 2000 milions de persones, els problemes als quals ens estem referint no serien tan aclaparadors.



La **superpoblació** representa avui un greu problema, sobre el qual es ve alertant des de fa dècades en les successives Conferències Mundials de Població i en informes dels experts. No obstant açò, una bona part de la ciutadania no sembla tenir consciència d'aquest problema i es detecten, fins i tot, resistències a prendre'l en consideració; per aquest motiu és necessari proporcionar algunes dades que permeten comprendre el seu paper en l'actual creixement insostenible:

- ✓ La població mundial en 2011 va superar els **7000 milions** d'habitants, el doble de la que hi havia en 1971 i, encara que s'ha produït un descens en la taxa de creixement de la població, aquesta segueix augmentant en uns 75 milions (nets) cada any, (cada setmana milió i mig), per la qual cosa es duplicarà de nou en poques dècades. Per al 2050 es preveu més de 9000 milions d'habitants i la gran majoria d'ells viurà en grans ciutats (ja ho fa més de la meitat de la població mundial), potenciant encara més altres problemes com l'acumulació de residus en immensos abocadors, la contaminació urbana i el canvi climàtic.

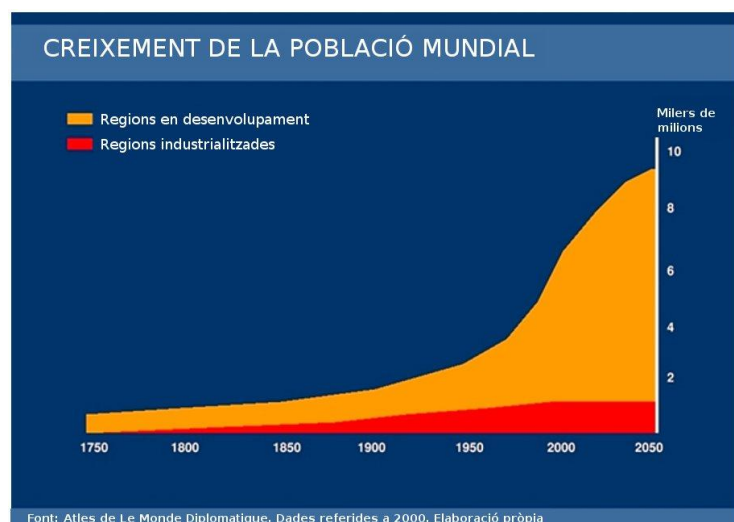
## 1. Canvi climàtic

- ✓ Solament amb la població actual mundial ja caldrien, almenys, els recursos de dos planetes com la Terra perquè totes les persones aconseguiren nivells i formes de vida semblants als dels països més desenvolupats.
- ✓ Els éssers humans consumim cada vegada més recursos (com territori, aigua potable i energia) al temps que generem també més residus. Aquest consum de recursos avança en l'actualitat a un ritme molt major que el del creixement de la població mundial. Açò suposa, de seguir així, que la capacitat de càrrega del nostre planeta (nombre màxim de persones que pot suportar) s'aconseguirà abans del termini previst.
- ✓ Hi ha grans diferències. Per exemple, la **petjada ecològica**<sup>13</sup> sobre el planeta d'un nord-americà mitjà és unes 18 vegades major que un ciutadà mitjà d'Haití o de República del Congo. Respecte a les emissions globals de CO<sub>2</sub>, la meitat d'elles corresponen a menys del 10% de la població mundial.

La superpoblació constitueix un factor destacat que potencia molts altres problemes, ja que les persones dels països subdesenvolupats aspiren, legítimament, a aconseguir el mateix nivell de vida que les dels més desenvolupats, el que es tradueix en coses tan concretes com: tenir electrodomèstics, cotxe, utensilis, vestits i altres béns de consum, així com accés a una bona alimentació, educació, sanitat, capacitat de viatjar, etc. Tot açò, quan es multiplica pels milions de persones que ho demanden, suposa utilitzar quantitats enormes de recursos naturals, així com generar gran nombre de residus de tot tipus, incrementant problemes com l'esgotament de combustibles fòssils, la desforestació, la disminució de les pesqueres, l'augment de l'efecte hivernacle, la pèrdua de biodiversitat, la disminució d'aigua potable, la contaminació, etc. Pensem en les últimes dades que tenim sobre països com Xina o Índia. Xina, per exemple, emet ja, globalment, més CO<sub>2</sub> que els Estats Units i si aquests dos grans països aconseguiren un nivell de vida similar al d'Estats Units o Europa, el consum mundial de recursos es triplicaria.

*A.27. En la gràfica de la dreta es representa el creixement de la població mundial així com la seua previsió, entre 1750 i 2050, distingint entre zones més desenvolupades (industrialitzades) i zones més pobres.*

- Quina població hi havia en 1970?*
- Quant tardà a duplicar-se?*
- A la vista de les diferències que s'aprecien en la gràfica, quina és la manera més efectiva d'enfrontar-nos a la superpoblació del planeta?*



Analitzant la gràfica, podem veure que la població mundial en 1970 era de l'orde de 3500 milions d'habitants i que es va duplicar aproximadament en 40 anys. Les previsions indiquen que per al 2050 se superaran els 9000 milions d'habitants. També podem veure que l'augment de població és molt major en les regions en desenrotllament que en les industrialitzades (o més desen-

<sup>13</sup> Índex d'impacte ambiental que es defineix com l'àrea de territori ecològicament productiu necessària per produir els recursos utilitzats i per assimilar els residus produïts per una població donada.



rotllades), mostrant que el millor mètode anticonceptiu és la incorporació de la dona al treball (junt amb l'accés a la cultura, sanitat, educació, una jubilació digna, etc.).

Ja hem comentat que la població mundial supera els 7000 milions però, aproximadament, sols la cinquena part ostenta un model d'hiperconsum i benestar, front a una resta formada per amplis sectors de marginats en societats opulentes i pels milers de milions d'habitants de països subdesenvolupats (o amb seriosos conflictes socials, polítics i mediambientals), que amb prou faenes poden sobreviure però que aspiren a una vida millor. Tot açò dóna lloc a **grans desigualtats**.

*A.28. Quina relació pot tindre el canvi climàtic amb l'existència de grans desigualtats entre diferents poblacions humanes?*

Entre les grans (i greus) desigualtats que afecten a diferents grups humans, és possible referir-se a: Les diferències en l'esperança de vida (en alguns països africans, per exemple, l'esperança de vida no arriba als cinquanta anys), a l'explotació laboral, a l'accés a l'educació o la sanitat, etc., però també a l'existència de grans diferències en la qualitat del medi ambient i en la disponibilitat d'aigua potable i altres recursos bàsics. Totes eixes desigualtats estan sent (cada vegada més) una font de conflictes.

El canvi climàtic, a l'incidir negativament en recursos naturals com l'aigua potable, algunes fonts d'energia, sòls de cultiu, boscos, etc., contribuirà a accelerar el seu esgotament, a potenciar les lluites pel control dels mateixos i a l'aparició de migracions massives d'un gran nombre de persones buscant millors condicions de vida en altres llocs i, sens dubte, un habitant d'una gran ciutat consumix més recursos i més energia que un habitant del medi rural. A més, la pobresa extrema obliga també a la sobreexplotació dels ecosistemes contribuint a la disminució de recursos naturals, alguns d'ells molt importants per a frenar el canvi climàtic (com succeïx amb els boscos).

### **5.2. Quines mesures concretes convé impulsar front al canvi climàtic?**

Hem vist que el canvi climàtic és un dels problemes més greus als quals s'enfronta la humanitat però no l'únic i al mateix temps està relacionat amb altres com l'hiperconsum, la superpoblació i l'existència de grans desigualtats. Les estretes relacions existents entre tots ells, permeten comprendre la necessitat d'un **desenvolupament sostenible**<sup>14</sup> mundial com a marc global en el que fer-los front de forma conjunta i simultània i la poca efectivitat que tindria tractar-los de forma aïllada.

Sabem quins són els problemes i les seues causes. A més, disposem dels coneixements necessaris per poder enfrontar-nos a ells. Falta, no obstant, prendre les decisions necessàries per a engegar de forma efectiva les mesures que permeten la transició cap a la sostenibilitat. Encara estem a temps, però és necessari actuar ja, abans que es produïsqen canvis irreversibles. A continuació tractarem algunes d'eixes mesures.

#### **5.2.1. Mesures científico-tecnològiques**

*A.29. Quines mesures de tipus científicotecnològic convé impulsar per a afavorir un desenvolupament sostenible i poder fer front així al conjunt de greus problemes que suposen una seriosa amenaça per a la vida en el planeta?*

---

<sup>14</sup> El desenvolupament sostenible és aquell que satisfà les necessitats de la generació present sense comprometre la capacitat de les generacions futures per a satisfer les seues.

## 1. Canvi climàtic

És necessari dirigir els esforços d'investigació i innovació cap a l'assoliment de tecnologies afavoridores d'un desenvolupament sostenible incloent, entre d'altres:

- ✓ Major utilització de fonts d'energies netes i renovables.
- ✓ Increment de l'eficiència energètica (que possibilita el necessari estalvi d'energia). Açò pot fer-se mitjançant millores tecnològiques en molts camps (per, exemple, en la construcció, il·luminació, electrodomèstics, automoció ...) i donant prioritat a sectors com el ferrocarril i el transport marítim.
- ✓ Reducció de la contaminació amb la disminució i tractament de residus.
- ✓ Gestió sostenible de l'aigua i altres recursos essencials.
- ✓ Desenvolupament de tecnologies agràries i forestals sostenibles.
- ✓ Prevenció i tractament de malalties (en particular les que assoten als països menys desenvolupats).
- ✓ Assoliment d'una paternitat i maternitat responsables, evitant els embarassos no desitjats i fomentant taxes de natalitat adequades als recursos disponibles.
- ✓ Regeneració d'entorns danyats.
- ✓ Fabricació d'objectes amb materials biodegradables.
- ✓ Capturar i emmagatzemar CO<sub>2</sub>.
- ✓ ...

Però també cal analitzar amb cura les noves mesures científicotecnològiques abans de dur-les a terme, per evitar que les aparents solucions generen problemes més greus, com ja ha succeït altres vegades. Per exemple, podem esmentar l'increment de producció de les collites després de la segona guerra mundial, gràcies als fertilitzants i pesticides químics com el DDT. Aquesta revolució agrícola va satisfer les necessitats d'aliments d'una població mundial que experimentava un ràpid creixement; però s'hagueren de denunciar els efectes perniciosos del DDT (càncer, malformacions congènites...) i aquest i altres "Contaminants Orgànics Persistents" (COP) es varen prohibir en molts països. Recordem també el que va ocórrer quan es tractà de resoldre el problema de les despulles animals reutilitzant-les en forma de pinsos (farines càrniques) que va generar el problema, molt major, de les "vaques boges", obligant a sacrificar milions de caps de bestiar. Recentment s'han suggerit solucions molt discutibles per a lluitar contra el canvi climàtic, tals com tirar ferro als oceans (per a estimular el creixement d'algues marines que eliminen més CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesi), injectar sulfats en l'estratosfera (que reflectisquen la llum solar) o impulsar l'ús de l'energia nuclear (que produeix només la sisena part de CO<sub>2</sub> que el carbó, per cada kWh d'energia elèctrica produït).

*A.30. A més de no generar problemes més greus que els que pretenen solucionar quins altres criteris convindria tindre en compte per a fer que les noves solucions científicotecnològiques puguin contribuir realment a un desenvolupament sostenible?*

Per a què les solucions científicotecnològiques puguin contribuir a un desenvolupament realment sostenible<sup>15</sup>, caldria procurar també que:

- ✓ Les taxes d'explotació dels recursos naturals renovables no superen a les de la seua regeneració (o, per als no renovables, a les de creació de substituïts renovables).
- ✓ Les taxes d'emissió de residus haurien de ser inferiors a les capacitats d'assimilació dels ecosistemes als quals s'emeten eixos residus.

---

<sup>15</sup> No pot ser realment sostenible res que supose un creixement net continuat basat en el consum d'uns recursos naturals no renovables.

- ✓ Donar prioritat a tecnologies que augmenten la productivitat dels recursos, més que incrementar la quantitat de recursos extrets. Açò significa, per exemple, formes d'il·luminació més eficient, en compte de més centrals elèctriques.
- ✓ Afavorir el desenvolupament de les noves tecnologies que estiguen orientades a satisfer necessitats bàsiques i que contribuïsquen a reduir les desigualtats entre els diferents grups humans.

Cal assenyalar que l'aplicació de noves tecnologies s'enfronta, sovint, amb interessos particulars a curt termini i també amb impediments de tipus ètic i polític. Açò ve a qüestionar la idea simplista que les solucions als problemes amb que s'enfronta avui la humanitat depenen, únicament, de la disposició de tecnologies més avançades.

Entre les noves tecnologies, tenen un paper essencial les que permeten utilitzar energies renovables. Per energia renovable s'entén aquella que s'obté d'una font pràcticament inesgotable i que es troba a la naturalesa. El seu caràcter inesgotable fa referència a la seua quantitat i durada (per exemple el Sol va a durar bastant més que la Terra) o be al fet que es pot reposar de forma natural i tornar a ser usada (per exemple la fusta o l'aigua). Entre les energies renovables es troben la solar, eòlica, hidràulica, geotèrmica, i la procedent de la biomassa (aquesta última té greus inconvenients quan s'obté de cereals que podrien dedicar-se a l'alimentació en lloc de cremar-los i no de restes vegetals).

Actualment, l'esgotament de fonts d'energia com el petroli o l'urani i els greus problemes mediambientals que ocasiona el creixent consum d'eixes fonts d'energia, han obert un gran debat al voltant de la necessitat de potenciar l'ús de les fonts d'energia renovables netes.



A Espanya, l'any 2010, les energies renovables en el seu conjunt suposaren un poc més del 9 % del total d'energies primàries utilitzades, i el 35 % de la generació d'electricitat, sent l'energia eòlica (aerogeneradors) el sector de major creixement. Desgraciadament, després d'eixa data, el suport al desenrotllament de les renovables s'ha vist dràsticament reduït (quelcom incomprensible en un país tan ric en sol i tan pobre en petroli).

Alguns autors projecten un futur basat en les energies renovables, el seu emmagatzemament, distribució i aprofitament usant noves tecnologies. Al maig de 2011 l'IPCC va publicar un sòlid informe on es mostrava la viabilitat de satisfer les necessitats energètiques del planeta comptant únicament amb recursos renovables i nets. En aquest informe s'expressava també la necessitat de realitzar les inversions necessàries per aconseguir aquest objectiu abans de 2050, amb el que es podria evitar que la concentració de gasos d'efecte hivernacle supere valors que impliquen canvis incontrolables.



## 1. Canvi climàtic

Moltes de les mesures tecnocientífiques exposades estan ja disponibles però, per a la seua implantació efectiva i generalitzada, precisen d'una sèrie de condicions que no es proporcionen, potser perquè afecten a plantejaments ideològics i a interessos econòmics. Tot açò fa veure la importància de les mesures educatives i polítiques que han d'acompanyar-les.

### 5.2.2. Mesures educatives

Es precisa una educació que ajude a comprendre tant els problemes ambientals com els del desenvolupament de forma global, tenint en compte les repercussions a curt, mitjà i llarg termini, tant per a una col·lectivitat determinada com per al conjunt de la humanitat i el nostre planeta. Però no es tracta únicament de comprendre. Cal conèixer i, sobretot, **posar en pràctica** el que cadascú de nosaltres podem fer, junt amb moltíssimes persones més, en els diferents àmbits.

*A.31. Què podem fer cadascun de nosaltres? (Elaboreu una llista amb les vostres propostes i argumenteu-les posteriorment).*



A continuació, i a títol d'exemple, es detallen algunes propostes:

#### **Reduir el consum de:**

**Aigua** (utilitzar dispositius d'estalvi a casa, dutxes ràpides, control de fugues d'aigua, reg per degoteig, no deixar aixetes obertes ...).

**Energia en climatització** (aïllar tèrmicament la llar; no programar temperatures ni massa altes ni massa baixes; prioritzar altres mètodes com ventilació natural, tendals, posar-se més o menys roba ...).

**Energia en il·luminació** (usar llums de baix o molt baix consum com la tecnologia LED, aprofitar al màxim la llum natural, apagar sempre les llums innecessàries o dels llocs on no anem a estar, no contractar una potència elèctrica major de la necessària o, si és el cas, rebaixar l'existent...).

**Energia en transport** (desplaçar-se a peu o amb bicicleta, usar transport públic col·lectiu com tren o autobús, organitzar desplaçaments de diverses persones en un mateix vehicle, conduir a velocitat reduïda utilitzant marxes llargues i sense acceleracions brusques, pujar i baixar per escales en compte d'usar ascensors, evitar viatges en avió sempre que siga possible ...).

**Energia en electrodomèstics** (comprar electrodomèstics de baix consum; carregar al màxim el rentavaixelles o rentadora abans de posar-los en funcionament; mantenir aparells en bon estat per a evitar sobre consums; no deixar televisor, ordinador o equips de música en manera stand-by; utilitzar piles recarregables ...).

**Energia en l'alimentació** (millorar l'alimentació incloent més fruites i verdures, sense excedir-se en el consum de carns; evitar productes exòtics que exigeixen transports llargs; consumir productes de temporada; prioritzar aliments de baixa petjada ecològica ...).

**Paper** (evitar imprimir documents que es puguin llegir en pantalla; escriure, fotocopiar i imprimir a doble cara, sense utilitzar marges excessius ...).

**Articles i productes innecessaris** (anar a la compra amb una llista prèvia del que ens cal, no deixar-se arrossegar per campanyes publicitàries ...).

### **Col·laborar en el reciclatge:**

**Separar** restes produïdes en la llar per a la seua recollida selectiva (vidre, paper, orgànics ...).

**Portar a eco parcs** o altres punts de recollida tot tipus de productes contaminants rebutjats (piles usades, oli, ordinadors, productes tòxics, electrodomèstics, bateries de cotxe, fluorescents ...).

**Utilitzar productes reciclats** (paper, cartutxos de tinta ...).

### **Utilitzar:**

**Productes respectuosos amb el medi ambient** (materials reciclables, no tòxics, biodegradables, amb baixa petjada de carboni<sup>16</sup> ...).

**Energies renovables** (panells solars, Comercialitzadores d'electricitat que utilitzen renovables..).

**Sistemes intel·ligents** (programadors, llums que s'encenen només quan penses o estàs ...).

**Energia elèctrica d'origen net** (contractant amb companyies comercialitzadors que treballen només amb energia obtinguda a partir de fonts renovables).

### **Reutilitzar:**

El paper ja escrit per una cara.

Aigua de pluja per a regar.

Roba i altres complements usats.

Oli usat per a fer sabó.

Portar a les farmàcies medicaments sobrants perquè els puguin utilitzar altres persones.

Donar roba, joguets, calcer ... a organitzacions que s'encarreguen de gestionar el seu repartiment.

Tractar d'aconseguir el que necessitem en el mercat de segona mà.

Donar altres usos (convertir pots buits en contenidors de llapis i bolígrafs, bidons buits en compostadores per a transformar restes vegetals en adobs ...).

### **Rebutjar els productes d'usar i tirar:**

Substituir les bosses de plàstic d'un sol ús (en particular en les compres), per bosses d'ús continuat.

Reparar abans que rebutjar i canviar (soles de les sabates, electrodomèstics i altres aparells ...).

### **Participar activament en l'educació ciutadana i les decisions polítiques:**

Col·laborar amb organitzacions ecologistes, votar a partits polítics que en els seus programes incloguen mesures per a la sostenibilitat, realitzar tasques de divulgació (amics, família, etc.) ...

---

<sup>16</sup> Petjada de carboni d'un producte és un índex per a quantificar la quantitat de gasos hivernacle (mesurats en CO<sub>2</sub> equivalent) emesos a l'atmosfera per causa directa o indirecta del dit producte al llarg de tot el seu cicle de vida, des del seu inici o fabricació, manufacturació, transport, comercialización... fins al tractament final dels seus residus.

## 1. Canvi climàtic

### 5.2.3. Mesures polítiques

La incidència del canvi climàtic podria limitar-se si s'emprenguera una acció conjunta mundial per a facilitar el canvi d'una economia marró (basada en l'ús de combustibles fòssils) a una economia verda (basada en l'ús d'energies més netes i el desenvolupament de tecnologies que permeten la seua implantació) alhora que s'impulsen altres mesures per a afavorir el desenvolupament sos-tenible, com les que hem comentat. Per mostrar la importància de la política podem fer referència, a títol d'exemple, a algunes mesures polítiques planetàries ja adoptades, que constitueixen autèntics assoliments per a la sostenibilitat de l'espècie humana. (Açò mateix, pot ser plantejat com una activitat de busca bibliogràfica sobre el tema).



Protocol de Montreal. Tractat internacional per a evitar la destrucció de la capa d'ozó que ens protegeix de les radiacions ultraviolada, mitjançant el control dels compostos clor-fluor-carbonats (freons) responsables d'aquesta destrucció. (Entrà en vigor en 1989).

Cort Penal Internacional. Tribunal de justícia internacional amb seu a l'Haia, per jutjar als que hagen comès crims de genocidi, de guerra i de lesa humanitat com esclavitud, apartheid, extermini i destrucció ambiental. (En vigor des de 2002).

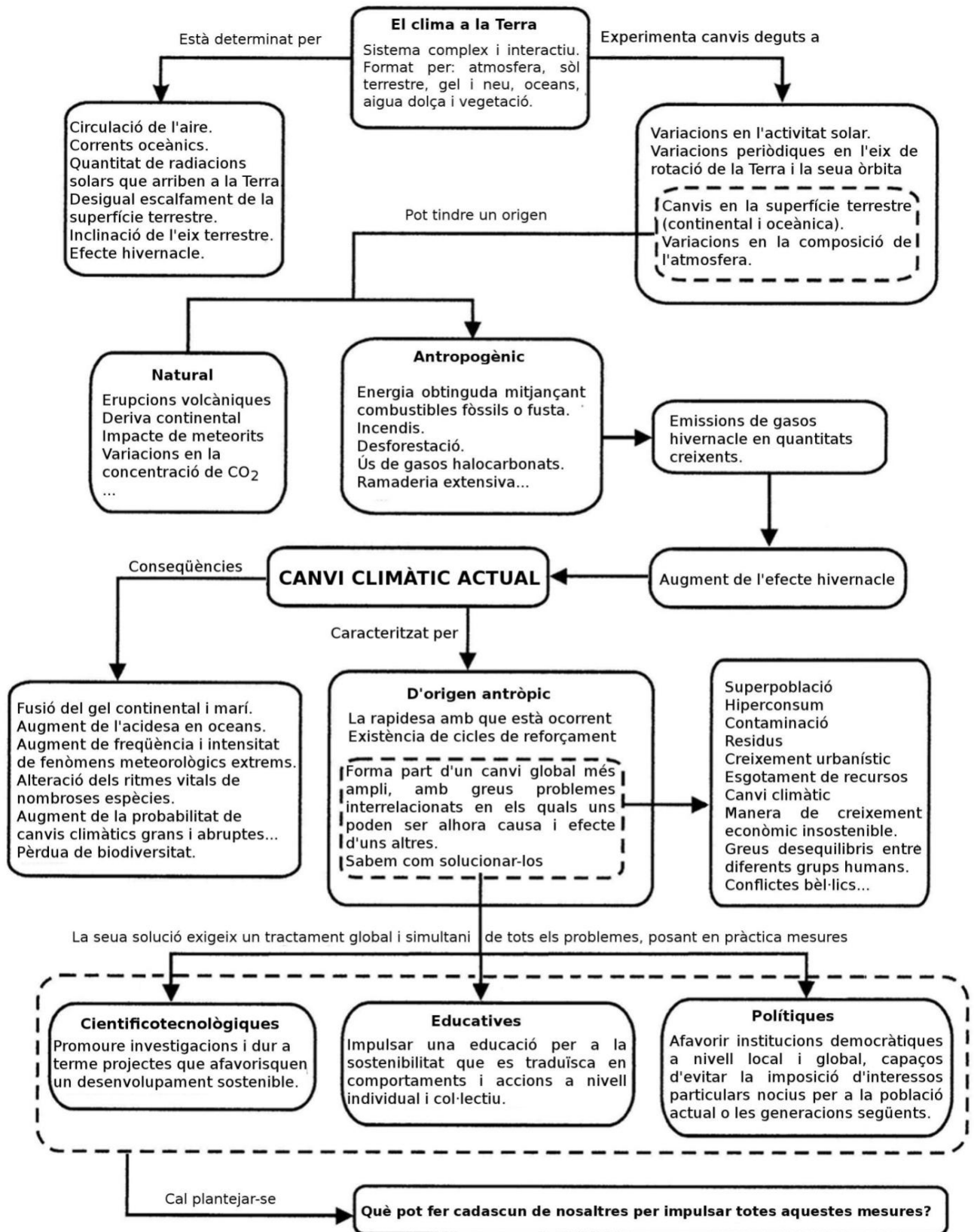
Protocol de Kyoto. Tractat internacional per a la disminució de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, que contribueixen a l'escalfament global del planeta. (Adoptat en 1997, entrà en vigor en 2005). Constitueix un exemple de l'existència de diferents polítiques enfrontades i de la necessitat de recolzar la que defensa, fonamentadament, els interessos generals. Ratificat per 132 països, només dos dels països desenvolupats no el van signar: Estats Units i Austràlia. Finalitzà en 2012.

Després del protocol de Kyoto s'han succeït diverses cimeres sobre el clima com la de Bali (2007), Copenhaguen (2009), Cancún (2010) i Durban (2011), Varsòvia (2013), amb resultats, en general, poc destacables, per la qual cosa en data de hui (2014) fa falta, encara, d'un ampli acord internacional just i vinculant per a la reducció de gasos d'efecte d'hivernacle, a escala planetària, més ambiciós que el Protocol de Kyoto. En la cima de Varsòvia (novembre del 2013), els prop de 200 països participants van aconseguir arribar a un acord d'última hora que, encara que modest, perfila un full de ruta cap al pacte global i vinculant sobre Reducció d'emissions que hauria d'aconseguir-se a París, en 2015.

Finalment, cap assenyalar l'existència de lleis i projectes recents de protecció del medi ambient que convé conèixer com, per exemple, l'obligatorietat de col·locar plaques fotovoltaïques en els nous edificis, la substitució de bombetes incandescentes per altres de baix o molt baix consum, les normes per a disminuir la contaminació de l'aire en les ciutats o la inclusió en les etiquetes de productes agroalimentaris de la petjada de carboni corresponent. Desafortunadament, També es legisla de vegades en sentit contrari, com per exemple, quan es retallen o eliminen subvencions públiques a energies renovables i a investigació en eixe camp.

*A.32. Reviseu el tema assenyalant les preguntes inicialment plantejades i les respostes elaborades. Després, elaboreu un esquema o mapa conceptual que proporcione una visió global dels continguts tractats. Contrasteu amb el que s'inclou, a manera d'exemple, en la pàgina següent.*

**MAPA CONCEPTUAL DELS CONTINGUTS TRACTATS AL TEMA**



### RECAPITULACIÓ

En aquest tema hem començat per analitzar en què consisteix el clima terrestre i quins són els factors que el determinen. A continuació ens hem detingut a estudiar els gasos hivernacle i l'augment de l'efecte hivernacle així com algunes de les seues principals conseqüències, les quals estan donant lloc a un vertader canvi climàtic.

També hem vist que el canvi climàtic no és un problema aïllat sinó que està estretament relacionat amb altres greus problemes com un model de creixement econòmic basat en l'hiperconsum, i un planeta superpoblat amb grans desigualtats entre distints grups humans i, en particular amb les conseqüències derivades dels mateixos (urbanisme descontrolat, degradació i esgotament de recursos naturals, etc.). Tot això mostra que la millor estratègia per a enfrontar-nos al canvi climàtic és una acció global en què s'aborde de forma conjunta i simultània el tractament de tots eixos problemes. La dita estratègia suposa la posada en marxa de mesures científicotecnològiques, educatives i polítiques que facen possible la necessària transició a la sostenibilitat.

El tema que acabem de veure, ha d'entendre's com una primera aproximació a la incorporació de l'educació per a la sostenibilitat en el currículum i en la formació del professorat, en la que partint d'un tema concret (el canvi climàtic) es tracta de plantejar una problemàtica més global, però atés que es tracta de problemes molt relacionats entre si (en els que uns són, al mateix temps, causa i efecte d'altres), igualment podríem haver partit d'un altre qualsevol d'ells.

L'estudi iniciat en este tema, pot no sols actualitzar-se arreglant les successives dades i resultades que es vagen produint, sinó també aprofundint en cada un dels problemes i en les relacions entre ells, amb el propòsit d'incorporar els continguts adequats en el currículum de manera funcional i contribuir així, des de l'educació a la transició cap a la sostenibilitat.

### Referències bibliogràfiques

- Dècada per una Educació per a la Sostenibilitat. OEI. En <http://www.oei.es/decada>
- DUARTE, C. (Coord.) (2006). *Canvi Global. Impacte de l'activitat humana sobre el sistema Terra*. Madrid: CSIC.
- IPCC. Informes IV (2007) i V (2013). Accessibles en internet.
- PEARCE, F. (2007). *L'última generació*. Benasque: Barrabes
- RIFKIN, J. (2010). *La civilització empàtica. La carrera cap a una consciència global en un món en crisi*. Barcelona: Paidós.
- URIARTE, A. *Història del Clima de la Terra*. (Última actualització on *line* consultada: febrer 2011). (2a edició impresa accessible en <http://www.elkar.com>).
- VILCHES, A. I GIL, D. (2003). *Construïm un futur sostenible. Diàlegs de supervivència*. Madrid: Cambridge University Press.
- GIL PÉREZ, D. i VILCHES, A. (2005): Quins desafiaments té plantejats hui la Humanitat? Educació per al desenvolupament sostenible, en GIL PÉREZ, D.; MACEDO, B.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; SIFREDO, C.; VALDÉS, P. i VILCHES, A. (eds.), *Com promoure l'interés per la cultura científica? Una proposta didàctica fonamentada per a l'educació científica de jòvens de 15 a 18 anys*. Santiago: OREALC/ UNESCO: 297-326 (accessible on *line* en <http://www.campusoei.org/decada/promocion16.pdf>).



## 1. CANVI CLIMÀTIC. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES

1. És perillós l'efecte d'hivernacle? Diferències entre efecte d'hivernacle, augment de l'efecte d'hivernacle i canvi climàtic.
2. Actualment ja hi ha cotxes elèctrics en el mercat. Atés que el tràfic de motor és responsable d'una part molt considerable de les emissions no naturals de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, si la majoria dels vehicles anessen elèctrics podria solucionar-se el problema de l'augment de l'efecte d'hivernacle?
3. Diuen que l'ús de combustibles com el biodièsel no augmenta la quantitat de CO<sub>2</sub> existent en l'atmosfera. No obstant això, en química s'estudia que al cremar estos productes sempre es produïx CO<sub>2</sub>. No és quelcom contradictori? D'altra banda, suposant que no es d'eixe augment, hi hauria algun possible inconvenient per a impulsar eixe tipus de combustible?
4. Encara que no siguem capaços de reduir les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, els combustibles fòssils acabaran per esgotar-se i a partir d'eixe moment la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera hauria de començar a disminuir gràcies a la fotosíntesi de les plantes, amb la qual cosa els problemes mediambientals creats s'anirien solucionant a poc a poc de forma natural. És així?
5. Alguns experts en sostenibilitat afirmen que els greus problemes que afligixen al nostre planeta estan connectats uns amb altres formant una espècie de xarxa i que això fa impossible que, per exemple, el calfament global, pugui ser tractat separatament dels altres problemes. És necessari aclarir açò, ja que molta gent pot no entendre, per exemple, què ha de veure la misèria en què viu una gran part de la humanitat amb l'emissió creixent de CO<sub>2</sub> per indústries i vehicles en els països més desenrotllats, o els conflictes bèl·lics amb el canvi climàtic, etc. D'altra banda, si es tractara de solucionar la misèria de milers de milions de persones... no es potenciaria més encara la dita emissió?
6. Per a no emetre tant CO<sub>2</sub> a l'atmosfera hem de consumir menys però ... si reduïm molt el consum entrem en crisi econòmica, es tanquen empreses i es perd ocupació. No seria millor llavors no combatre el canvi climàtic i tractar d'adaptar-nos a ell?
7. Suposarem que tots els governs del món es posaren d'acord en una sèrie de mesures econòmiques i mediambientals, per a atallar el canvi climàtic. Podrien tindre èxit si la població mundial continuara creixent al mateix ritme amb què ho fa ara?
8. Alguns afirmen que la Comunitat Valenciana és una de les comunitats espanyoles que emet menys CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, pel fet que gran part de l'electricitat que consumim prové de la central nuclear de Cofrentes, situada a només 80 km de València. Pot l'energia nuclear ajudar a solucionar el problema del canvi climàtic? Per exemple, França, que té moltes més centrals nuclears que Espanya quant CO<sub>2</sub> menys emet (per habitant i any) que altres països semblants? Debateu la qüestió donant arguments a favor i en contra.
9. És veritat que el conjunt de la comunitat científica està d'acord en què el canvi climàtic actual està causat pels sers humans i no tenen res a veure altres fenòmens naturals com podrien ser perturbacions en el Sol o variacions en l'eix de rotació de la Terra? En la premsa, TV, internet... s'arrepleguen informacions de gent que nega el canvi climàtic. A qui hem de fer cas? Si els científics han mostrat clarament la gravetat de la situació per què la ciutadania no reacciona?
10. En la pel·lícula "El dia de demà" el científic protagonista explica l'entrada en una nova era glacera en l'hemisferi nord, per la incorporació massiva d'aigua dolça procedent del desgel, que paralitza el Corrent del golf. Este mateix efecte, se suggerix que podria passar realment, en el documental del Gore "Una veritat incòmoda" si es fongueren els gels de Groenlàndia. Podria succeir realment?

## 1. Canvi climàtic

**11.** En alguns textos i documentals sobre el calfament global es menciona que ens queda poc de temps per a evitar que es produïsquen greus canvis de caràcter irreversible en el nostre planeta. Els científics adverteixen també de la necessitat evitar que la temperatura mitjana global augmente en només dos graus respecte a la que hi havia en 1750 (inici de l'era industrial). A vegades fa la sensació que ens amenacen amb el fi del món No s'està exagerant? Tant influïxen un parell de graus més?

**12.** El metà és un gas hivernacle unes 21 vegades més potent que el CO<sub>2</sub> i el vapor d'aigua és en realitat qui més contribuïx a este efecte hivernacle en el nostre planeta. A més, sempre que es cremen hidrocarburs no sols es produïx CO<sub>2</sub> sinó també H<sub>2</sub>O. Per què, llavors de qui més es parla és del CO<sub>2</sub>?

**13.** Els experts sobre canvi climàtic es referixen, a vegades, a processos de retroalimentació que poden desencadenar canvis grans i abruptes en el clima. ¿Fins a quin punt açò és així? Podria afectar-nos nosaltres o als nostres fills algun d'estos canvis? L'augment de la temperatura mitjana global serà necessàriament lent (la Terra és molt gran), així que cal plantejar-se si no hi haurà temps per a anar adaptant-nos a les noves condicions.

**14.** Segons la majoria dels governs de la Comunitat Europea és urgent acordar estratègies conjuntes per a lluitar contra el canvi climàtic. Llavors... Per què no s'han pres ja una sèrie de mesures efectives a nivell europeu com, per exemple, l'obligació que tot nou edifici dispose de panells solars? És més, per què el govern espanyol actual (2014) desenrotlla una política energètica en contra de l'ús de les energies renovables posant, per exemple, obstacles molt seriosos a l'autoconsum?

**15.** Podran tots els països sobirans sotmetre's a un procediment de control i decisió internacional amb una sèrie de mesures que afecten sectors estratègics per al seu desenrotllament, com l'energia, el transport o l'agricultura? Els precedents no són molt optimistes (feu una revisió crítica de les conclusions de les trobades internacionals ja celebrats o en marxa).

**16.** Quins són les principals raons per les quals els jòvens (i la resta de la societat) hauríem de preocupar-nos pel problema del canvi climàtic. En què ens va a afectar concretament?

**17.** Un problema tan enorme i important com és el del canvi climàtic, no és responsabilitat de les grans indústries i dels polítics?, quina importància pot tindre el que cada un de nosaltres faça o deixe de fer?

**18.** Segur que la ciència acabarà trobant la manera de resoldre el problema del canvi climàtic, igual que ha resolt ja molts altres, llavors ¿per a què preocupar-nos?

**19.** Quins són els problemes més preocupants als que s'enfronta la humanitat? Quin caldria començar a resoldre prioritàriament?

**20.** En una situació de crisi econòmica i financera, la posada en pràctica de mesures adequades amb les que afrontar problemes tan greus com el canvi climàtic, la contaminació o l'esgotament de recursos naturals, és vista per molts dirigents com un obstacle a l'eixida de la dita crisi, per a la que no veuen una altra solució que reactivar el consum, tornant a les taxes de creixement anteriors. No obstant això, també hi ha els que afirmen que eixa crisi constituïx una bona oportunitat per a reconsiderar el model econòmic vigent, basat en els combustibles fòssils i en l'hiperconsum, i començar a canviar-ho per un altre basat en energies renovables, noves tecnologies i sostenibilitat, que alhora que crega noves ocupacions permeta avançar en la solució d'eixos problemes. Organitzeu un debat en què s'argumente a favor de l'una i l'altra postura.

**21.** La substitució d'una pereta incandescent de 100 W per una altra de baix consum evita l'emissió de 0'5 tones de CO<sub>2</sub> a l'any. Calculeu quantes tones de CO<sub>2</sub> es podria evitar emetre a l'atmosfera cada any si se substituïren 10 milions de les dites peretes. Rdo.  $5 \cdot 10^6$  t.

**22.** Una persona canvia una pereta incandescent de 60 W per una altra equivalent de baix consum d'11 W. Suposant que eixa pereta estiga encesa un total de 500 h a l'any i que cada kWh es pague a 1'5 euros. a) Quanta energia i quant de diners s'estalviaria per eixe xicotet canvi? b) I si en compte d'una sola persona anessen 100 milions? Rdo. a) 24'5 kWh i 36'75 euros; b) 2450 000 000 kWh i 3675 000 000 euros.

**23.** D'acord amb la seua distància al Sol, la temperatura mitjana teòrica de Venus hauria de ser 155 °C i la de Mart de -63 °C, mentres que les temperatures mitges reals són 447 °C i -55 °C. D'altra banda, se sap que l'atmosfera de Venus és molt densa i està formada aproximadament per un 96% de CO<sub>2</sub> i un 3'5% de N<sub>2</sub>, mentres que Mart té una atmosfera molt tènue. A què poden deure's totes estes diferències?

**24.** Per què la desforestació afavorix l'efecte d'hivernacle?

**25.** Una persona gasta de mitja al mes: 300 kWh d'electricitat i 40 m<sup>3</sup> de gas natural. A més fa 20000 km amb el seu tot terreny a l'any. També ha realitzat un viatge turística d'anada i tornada París-Shanghái amb avió. De quants kg de CO<sub>2</sub> a l'any es pot considerar que és responsable a causa d'estes accions?

Dades: Suposeu que per cada kWh s'han produït 376 g de CO<sub>2</sub>. Cada m<sup>3</sup> de gas natural cremat produïx aproximadament 2 kg de CO<sub>2</sub>. El cotxe emet 230 g de CO<sub>2</sub> per cada km recorregut. En un avió de passatgers (el vehicle que més CO<sub>2</sub> produïx) s'emeten aproximadament uns 94'2 g de CO<sub>2</sub> per persona i quilòmetre. Distància París-Shanghái és de 19256 km.

Rdo. 10 544'4 kg

**26.** En les nits aclarides d'hivern sol notar-se que la temperatura baixa prou més que durant la mateixa època si el cel Roman ennuvolat. A què pot ser degut?

**27.** Els HFCs són gasos hivernacle en auge, a causa de la creixent demanda mundial d'aire condicionat i refrigeració en general. Amb esta dada, proposeu un possible cicle de reforçament, semblant a què s'han presentat en el tema.

**28.** Les dades següents han sigut extrets de l'annex II del V informe de l'IPCC. A partir d'ells, construïu una gràfica que mostre l'evolució històrica de la concentració de CO<sub>2</sub> atmosfèric i feu una predicció de quan podria aconseguir-se una concentració de 500 ppm si no actuem i se seguix la tendència plasmada dita gràfica. Després busqueu en la bibliografia quins efectes pot tindre aproximar-se o sobrepassar la dita concentració.

Any	Concentració de CO <sub>2</sub> en ppm	Any	Concentració de CO <sub>2</sub> en ppm
1760	276'5	1900	296'2
1780	278'2	1920	303'3
1800	282'6	1940	310'4
1820	283'3	1960	316'7
1840	284'1	1980	338'0
1860	286'1	2000	368'7
1880	289'8	2011	390'5

**29.** En la pàgina següent es reproduïxen uns retalls de premsa sobre el canvi climàtic. U, alertant sobre la necessitat realitzar canvis radicals a nivell mundial, sense la qual cosa els danys ocasionats pel canvi climàtic, seran irreversibles. En l'altre es comenten algunes possibilitats de negoci que obri el canvi climàtic. Llegiu amb atenció ambdós textos i després debateu i argumenteu entorn de les qüestions següents: A costa de què i dels que s'obtindran eixos beneficis econòmics? Qui els obtindran? Es podrà compensar amb ells els danys de qualsevol tipus ocasionats?

## 1. Canvi climàtic

El País 15 ABR 2014

Cuanto más tiempo pasa, peores son las predicciones sobre los efectos del cambio climático. Solo una acción decidida y radical a nivel mundial podrá asegurar que la temperatura no suba más de dos grados de aquí a finales de siglo. Esta es la enésima advertencia que lanza el panel científico de Naciones Unidas ante la pasividad que demuestra la comunidad internacional, y especialmente los países que más contaminan —Estados Unidos y China— frente al reto más importante que tiene el planeta. En un nuevo informe, en este caso sobre políticas a aplicar, el panel científico alerta de que no hay demasiado tiempo, pero si se toman decisiones valientes y radicales a nivel global, aún es posible evitar el desastre y mitigar los efectos, aunque no por completo pues las emisiones realizadas ya han provocado un aumento de temperaturas que está alterando el clima.

Sin esa determinación, las consecuencias se verificarán muy pronto: aumentarán los fenómenos meteorológicos extremos, que serán más frecuentes y más virulentos; la subida del nivel del mar provocará cuantiosos daños económicos, especialmente en los países insulares; las oleadas de calor y las inundaciones echarán a perder enormes extensiones de cultivo, con lo que las cosechas disminuirán hasta en un 50%; se producirán oleadas migratorias y enfrentamientos por los recursos, en particular por el agua, y veremos un nuevo fenómeno: el de los refugiados climáticos.

El cambio radical que reclama el panel de Naciones Unidas exige un nuevo acuerdo político que permita ir más allá del Protocolo de Kioto que, además de no haberse cumplido, se ha demostrado totalmente insuficiente. El nuevo acuerdo debe adoptarse en la cumbre prevista en París en 2015, para entrar en vigor a partir de 2020. Europa debe seguir siendo el gran impulsor del cambio. Su objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% respecto a 1990 debe generalizarse y, si es posible, aumentarse.

El País 24 FEB 2014

El año pasado un satélite de la Nasa registró en la Antártida 92,9° bajo cero. La segunda temperatura más baja de la historia. Incluso en los veranos marcianos, en sus polos, la climatología resulta más benigna. A la vez, el periodo que va de 1983 a 2012 el más cálido en 1.400 años, según las conclusiones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. En este mundo extremo, la OCDE advierte de que casi la mitad de la población mundial vivirá en 2030 en condiciones graves de estrés hídrico, algunos se preparan para hacer (mucho) dinero.

El calentamiento global aumenta la posibilidad de padecer alergias, incrementa los déficits nutricionales, multiplica la exposición de la población a catástrofes ambientales y enfrenta a millones de seres humanos al desabastecimiento de agua y alimentos. Frente a esta situación, la industria actúa de dos formas: adaptándose o innovando. Y ambas pueden ser muy lucrativas.

La previsible carestía de agua está provocando que cada vez más países e inversores acaparen tierras en África y Latinoamérica para asegurarse reservas acuíferas. La plataforma Land Matrix ya contabiliza 35,64 millones de hectáreas de tierras (casi cuatro veces el tamaño de Portugal) acaparadas en el mundo.

Como señala el periodista McKenzie Funk, quien acaba de publicar *Windfall (The Booming Business of Global Warming)*, “el deshielo en el Ártico abre paso a la explotación de las petroleras” y a nuevas rutas de navegación y comercio, lo cual, a la vez, podría avivar la tensión geopolítica entre los países de la zona.

El cambio climático minará la producción mundial de alimentos. Compañías como Cargil, (negocio del grano), Monsanto (primer fabricante de semillas genéticamente modificadas), o Yara, (fertilizantes), obtienen ya beneficios récord”, avisa Devlin Kuyek, experto de la ONG Grain. Y advierte: “El control de las multinacionales resulta cada vez más extremo”.

## 2. EL MOVIMENT DELS COSSOS (CINEMÀTICA)

La importància de l'estudi del moviment ve reflectida no sols pel fet que els orígens de la Física poden situar-se en les investigacions que alguns científics, com Galileu i Newton, realitzaren en aquest camp durant els segles XVII i XVIII, sinó també perquè, associada al mateix, podem trobar una vertadera revolució científica, que suposà un canvi profund en la concepció de l'Univers, superant l'enorme barrera existent entre la Terra i el Cel (que es concebien com dos móns completament distints), així com el desenvolupament d'uns procediments de la Ciència que cristal·litzaren en allò que actualment coneixem com Metodologia Científica.

*A.1 Enumereu distintes situacions concretes en les que siga interessant estudiar el moviment d'algun cos, indicant quines qüestions o aspectes convindria plantejar-se en l'esmentat estudi.*

Són moltes les situacions a què, a títol d'exemple, podem fer referència:

- ✓ Pràctiques esportives, com una carrera d'atletisme, tir amb arc, paracaigudisme, futbol, etc.
- ✓ Mitjans de transport (moviment de trens, avions i vehicles en general).
- ✓ Posada en òrbita de satèl·lits, enviament de sondes espacials a altres planetes, etc.
- ✓ Astronomia (moviment d'astres, com planetes, satèl·lits, cometes, estrelles, etc.).
- ✓ Fenòmens meteorològics (evolució dels huracans, prediccions del temps, etc.).

Si pensem un poc més en les situacions anteriors o en altres semblants, podem plantejar-nos algunes preguntes com, per exemple:

- Quines diferències existeixen entre el moviment dels cossos “terrestres” (com un projectil llançat a l'aire) i el dels cossos “celests” (com la Lluna al voltant de la Terra)?
- És possible descriure el moviment de qualsevol cos mitjançant les mateixes magnituds, independentment de la natura de l'esmentat cos, que es tracte d'un globus ple de gas o una pedra, un vehicle, un astre, etc.?
- Com expressar la posició d'un mòbil en un instant donat? El que s'ha desplaçat al moure's? La rapidesa amb que ha variat de posició? La rapidesa amb què s'està movent en un instant donat? La rapidesa amb què és capaç d'aturar-se? etc.
- Com podem predir on estarà i amb quina rapidesa es mourà un cos en un instant donat del seu moviment?
- Per què els planetes o la Lluna es mouen contínuament, descrivint trajectòries més o menys circulars al voltant del Sol i la Terra, respectivament?
- Quines repercussions té, per a la Terra, el moviment de milions de vehicles de tot tipus?

Per poder contestar a preguntes com les anteriors, ens cal plantejar-nos primer *què es necessita per poder descriure amb precisió un moviment.*

Descriure el moviment d'un vehicle o d'un cos, per exemple un que s'ha llançat a l'aire, requereix, en primer lloc, imaginar-lo com un objecte puntual (com si fóra un punt lluminós a l'obscuritat) al què anomenarem “mòbil” –açò equival a ignorar el tipus d'objecte que es mou i l'estructura d'aquest, una simplificació necessària per avançar– i indicar on està, és a dir, donar la posició i la rapidesa amb què canvia de posició i, si no es moguera sempre igual de ràpid,

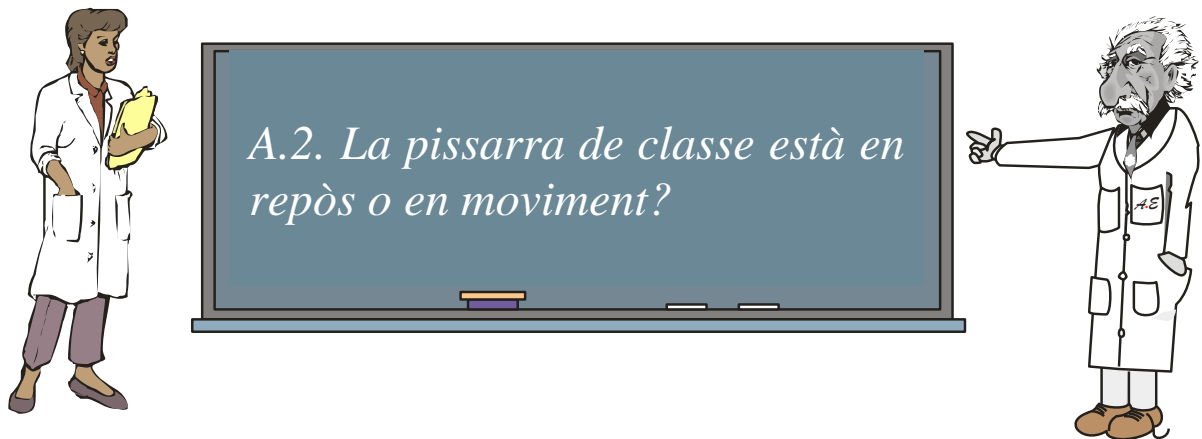
## 2. Cinemàtica

per descriure'l completament hauríem de saber la rapidesa amb què canvia aquesta rapidesa (és a dir, si canvia més o menys lentament).

Naturalment, no podrem contestar a totes les preguntes plantejades. Algunes d'elles (com el moviment dels astres o el de mòbils dels quals no coneguem prèviament la trajectòria) s'estudiaran en cursos propers. Però, al llarg d'aquest tema i del següent, sí que ens detindrem a analitzar algunes de les similituds i diferències entre el moviment d'objectes "terrestres" i "celests", atès que és un problema que tingué una gran importància històrica en el desenvolupament d'una idea unitària per a tota la matèria i en la construcció d'un cos de coneixements científic (Física clàssica) en el que s'apliquen les mateixes lleis per a tot tipus d'objectes, des d'una pedra que cau al terra fins al moviment de la Lluna al voltant de la Terra.

### 1. COM PODEM SABER SI UN OBJECTE ESTÀ QUIET O ES MOU?

Algunes persones pensen que un objecte en moviment es mou amb una única velocitat. *És això correcte?* Per donar resposta a aquesta qüestió, podem estudiar algunes situacions concretes com les que es proposen a continuació:

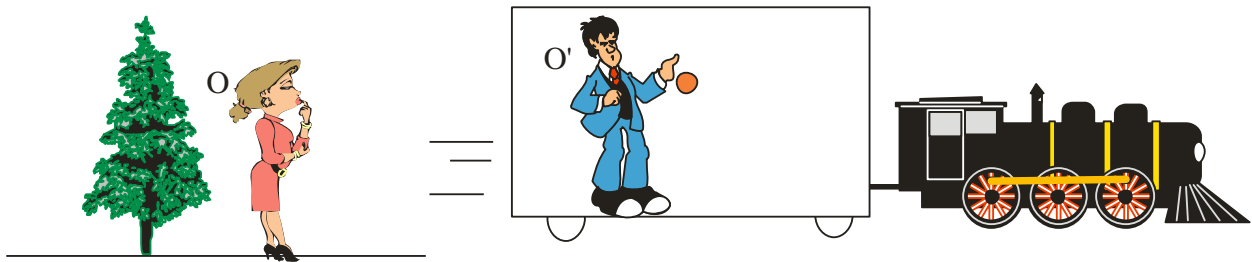


La resposta a la qüestió anterior no pot ser única, perquè, com és lògic, dependrà del lloc en què ens situem per mesurar-la (sistema de referència). Si prenem com sistema de referència la pròpia classe, és evident que la pissarra, respecte de les parets i el pis de classe no es mou, està en repòs. Però, si prenem com sistema de referència el Sol, està clar que la pissarra, per trobar-se a la Terra, es trasllada, solidàriament amb ella al voltant del Sol, recorrent aproximadament 30 km cada segon. En el primer cas la velocitat és nul·la, mentre en el segon, val 30 km/s. Així, doncs, no té sentit preguntar si quelcom està en repòs o en moviment o bé quina velocitat porta, si no s'especifica respecte de què o qui estem mesurant-la. Per tant:

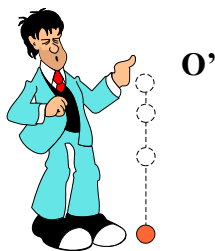
**En tots els problemes de mòbils caldrà especificar, en primer lloc, el sistema de referència a què ens referim.**

**A.3.** *Dibuixeu la trajectòria d'una pedra deixada caure a l'interior d'un vagó de tren que es mou en línia recta amb velocitat constant: a) Segons un passatger. b) Segons una persona que es troba sobre un punt de l'estació, fora del tren.*

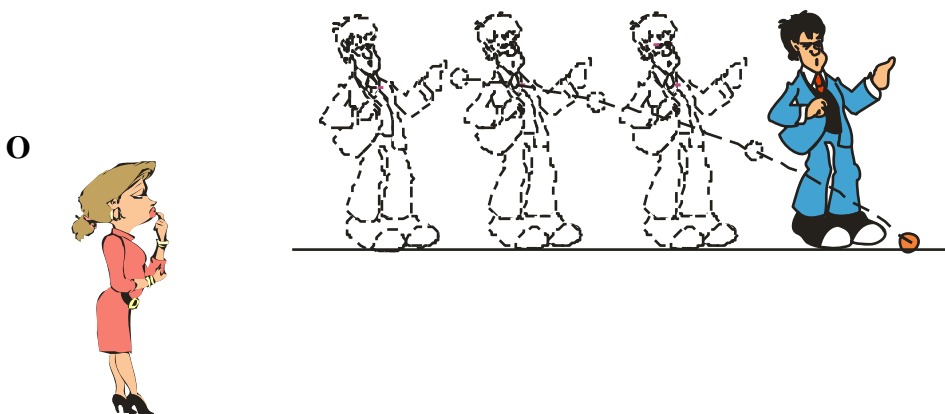
La figura següent representa la situació plantejada a l'activitat 3. A la persona que està a l'estació l'hem anomenat O i al passatger O'.



Si li preguntem al passatger, dirà que, per a ell, la pedra està inicialment en repòs i que quan l'amolla, comença a caure i continua una trajectòria recta fins arribar al sòl del vagó, just al costat dels seus peus.



En canvi, si li preguntem a l'observador O, que es troba en repòs a l'estació, dirà que, tant el passatger com la pedra que porta a la mà, s'allunyen d'ell amb una certa velocitat. Per tant, segons O, la pedra es mou horitzontalment a la mateixa velocitat constant que ho fa el tren, **al temps que va caient**, per la qual cosa, per a O, la pedra no cau en línia recta, sinó que descriu una trajectòria corba com la que s'indica a continuació:



Així doncs, sempre que ens posem a estudiar el moviment de qualsevol objecte, ens caldrà indicar respecte de quin sistema de referència estem estudiant-lo, ja que magnituds com la posició de l'objecte o la velocitat, així com la forma de la trajectòria descrita, dependran del sistema de referència escollit. Així, a l'exemple utilitzat, la velocitat de la pedra en qualsevol instant del moviment serà diferent per al passatger que per a l'observador situat a l'estació. Naturalment, es poden definir diferents sistemes de referència, però mentre no es diga una altra cosa, referirem tots els moviments que estudiem a un observador lligat a la Terra.

## 2. Cinemàtica

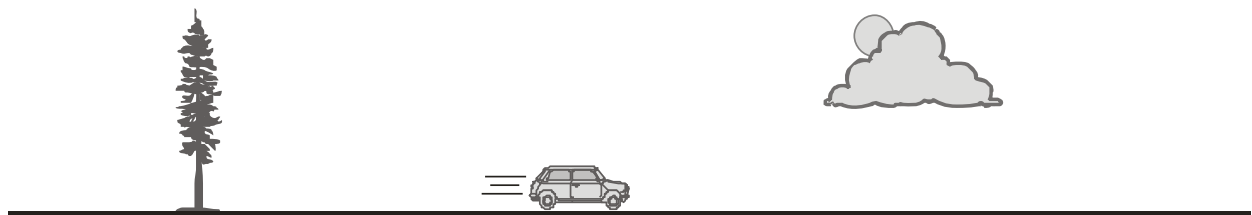
Per estudiar qualsevol moviment, abans ens caldrà definir una sèrie de magnituds útils per a poder descriure'l. Açò és el que anem a tractar a continuació.

### 2. INVENCIO DE MAGNITUDS ÚTILS PER DESCRIBRE EL MOVIMENT AL LLARG D'UNA TRAJECTÒRIA CONEGUDA

Per descriure un moviment ens interessa saber expressar, almenys, on està el mòbil (posició), quant s'ha desplaçat (canvi de posició o desplaçament), amb quina rapidesa es mou (velocitat) i com de ràpidament canvia de velocitat (acceleració). A continuació ens detindrem a introduir les magnituds necessàries per al cas particular de mòbils que segueixen trajectòries definides.

#### 2.1. Determinació de la posició

*A.4. Proposeu una forma senzilla de donar la posició d'un cotxe en un instant donat del seu recorregut per una carretera.*



Com la trajectòria és prèviament coneguda (se suposa que el cotxe no va a eixir-se'n de la carretera) n'hi ha prou amb elegir arbitràriament un punt qualsevol d'aquesta com referència o origen i expressar mitjançant una quantitat (positiva o negativa) la **posició sobre la trajectòria**.

En general, la trajectòria no ha de ser recta necessàriament. El més habitual és representar-la mitjançant una línia amb corbes, calibrada en trossos iguals (que representen metres). Una vegada assenyalat el punt escollit com origen "O" i per poder diferenciar si el mòbil està situat a un costat o un altre del mateix, es prenen arbitràriament valors positius a un costat i negatius a l'altre.

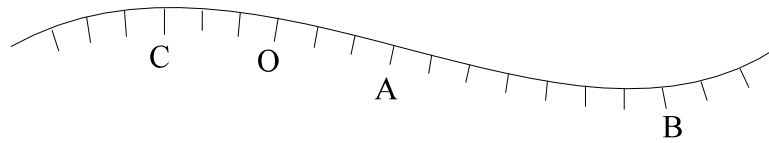
Convé aclarir que, l'origen de la trajectòria no ha de ser el punt d'on "va eixir" el mòbil. La posició sobre la trajectòria en un instant donat s'anomena també espai i la designarem mitjançant el símbol "e" (es mesura en metres). El valor absolut sempre coincideix amb la distància (mesurada sobre la trajectòria) a què es troba el mòbil de l'origen.

Ja que el mòbil canvia de posició, és necessari indicar quan es troba en una posició determinada. Per això, s'indica el que marca un rellotge quan el mòbil està en eixa posició. El que marca el rellotge sol simbolitzar-se amb  $t_0, t_1, t_2, \dots$  si ens referim a instants en què la posició és coneguda i val  $e_0, e_1, e_2, \dots$ , o bé per  $t$ , quan simbolitza *qualsevol* instant en què la posició serà "e".

El terme "espai", utilitzat per donar la posició sobre la trajectòria no ha de confondre's en cap cas amb l'espai de tres dimensions ni amb l'espai on es troben els astres, amb els que no té res a veure.



**A.5.** Determineu la posició d'un objecte situat en els punts A, B, C de la figura (cada subdivisió té una longitud d'un metre).



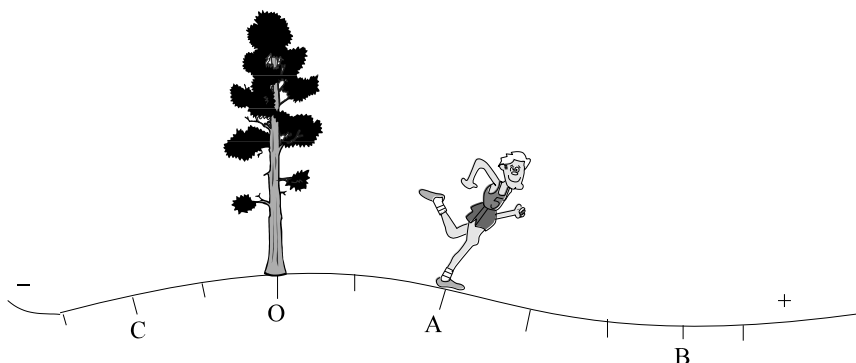
Si escollim com sentit positiu cap a la dreta de l'origen O, és fàcil adonar-se que  $e_A = 3$  m,  $e_B = 10$  m i  $e_C = -3$  m. Com podeu veure, el valor de la posició depèn d'on s'haja pres l'origen i el conveni de signes elegit. Encara que l'elecció de l'origen i el conveni és quelcom arbitrari, és imprescindible expressar clarament on s'ha pres i quin conveni de signes s'ha utilitzat, perquè tots els valors estan basats en ells (si l'origen en la figura anterior s'haguera pres, per exemple, en A i el sentit positiu cap a l'esquerra de l'origen, tindríem que:  $e_A = 0$ ;  $e_B = -7$  m i  $e_C = 6$  m).

A la vista dels resultats anteriors podem plantejar-nos si la posició "e" coincideix o no amb la distància recorreguda pel mòbil. La resposta seria que no coincideix, ja que, en primer lloc, el valor de "e", només ens informa del punt de la trajectòria sobre el qual es troba el mòbil en un instant donat. No ens diu res respecte del punt d'on va partir i, ni tan sols, si s'ha mogut alguna vegada o sempre ha estat ací. A més "e" pot representar-se per un nombre negatiu, mentre que una distància recorreguda, com és lògic, mai pot ser inferior a 0 m.

Sabem que, quan un mòbil canvia de posició pot fer-ho més o menys ràpidament. Una magnitud que ens indique la rapidesa amb què canvia la posició d'un cos, ha de tindre en compte el valor del canvi de posició i el temps que ha tardat a produir-se l'esmentat canvi. Tot seguit tractarem, doncs, de veure com podem mesurar el canvi de posició sobre la trajectòria.

## 2.2. Com trobar el canvi de posició experimentat per un objecte en moviment? Concepte de desplaçament sobre la trajectòria

**A.6.** Proposeu una forma d'indicar el canvi de posició o desplaçament sobre la trajectòria realitzat per un mòbil.



**Practiqueu amb la nova magnitud introduïda calculant el seu valor quan el corredor de la figura anterior es moga:**

- 1r) Des de la posició A a la B.
- 2n) Des de la B a la A.

## 2. Cinemàtica

3r) Des de la A a la A, passant abans per la B.

4t) Des de la A a la C, passant abans per la B.

*Cada divisió té una longitud de 10 m*

Està clar que, per a calcular en quina quantitat ha canviat la posició del mòbil, bastarà restar a la posició final sobre la trajectòria el valor de la posició inicial. L'esmentada magnitud es denomina **canvi de posició sobre la trajectòria** o simplement **desplaçament sobre la trajectòria**, es representa per  $\Delta e$ , i es mesura en metres.

Si analitzem la figura anterior, podem veure que, les posicions marcades per les lletres A, B i C corresponen, respectivament, a  $e_A = 20$  m,  $e_B = 50$  m i  $e_C = -20$  m. De manera que, quan el corredor vaja d'A fins a B, el desplaçament sobre la trajectòria vindrà donat per  $\Delta e = e_B - e_A = 50 - 20 = 30$  m. Anàlogament, quan es desplaça de B fins A serà  $\Delta e = e_A - e_B = 20 - 50 = -30$  m. Quan la posició inicial i final coincidisquen, com ocorre quan ix d'A, arriba fins B i torna de nou al punt A, és evident que  $\Delta e = e_A - e_A = 20 - 20 = 0$ . Finalment quan, eixint d'A, arribe a B i retrocedisca fins C, la posició inicial serà A i la final C, amb la qual cosa  $\Delta e = e_C - e_A = -20 - 20 = -40$  m.

*Quant valdrà la distància recorreguda en cadascun dels quatre casos anteriors?*

En el primer es mou en un sol sentit (positiu) i la distància recorreguda és 30 m, és a dir, el seu valor coincideix amb el canvi de posició. Però entre B i A la distància recorreguda és també 30 m, mentre que el canvi de posició és -30 m. Quan la posició inicial i final és la mateixa (passant per B) la distància recorreguda és de 60 m (30 m a l'anada i altres 30 m a la tornada), però el canvi de posició és 0. Finalment, quan s'estudia el trajecte des d'A fins C passant per B, podem veure que la distància recorreguda és de 100 m, mentre que el desplaçament sobre la trajectòria és de -40 m.

Així doncs: sols podem afirmar que els valors del canvi de posició experimentats i la distància recorreguda coincideixen, quan un mòbil es desplaça sobre una trajectòria determinada en el sentit escollit com positiu (sense retrocés).

### 2.3. Com mesurar la rapidesa amb què es mou un cos? Concepte de rapidesa

Quan considerem el moviment, per exemple, d'un cotxe que circula per una carretera determinada, no sols ens interessa saber que ha anat d'un lloc a altre, sinó també la rapidesa amb que s'ha desplaçat, és a dir, amb què ha canviat de posició.

**A.7.** *Un mòbil A experimenta un canvi de posició sobre la trajectòria de 200 m en 20 s. Altre mòbil B experimenta el mateix canvi de 200 m en 10 s. Quin dels dos ha anat més ràpid?*

En principi, podem dir que la rapidesa de B ha segut doble que la desenvolupada per A, donat que ha fet el mateix canvi de posició en la meitat de temps.

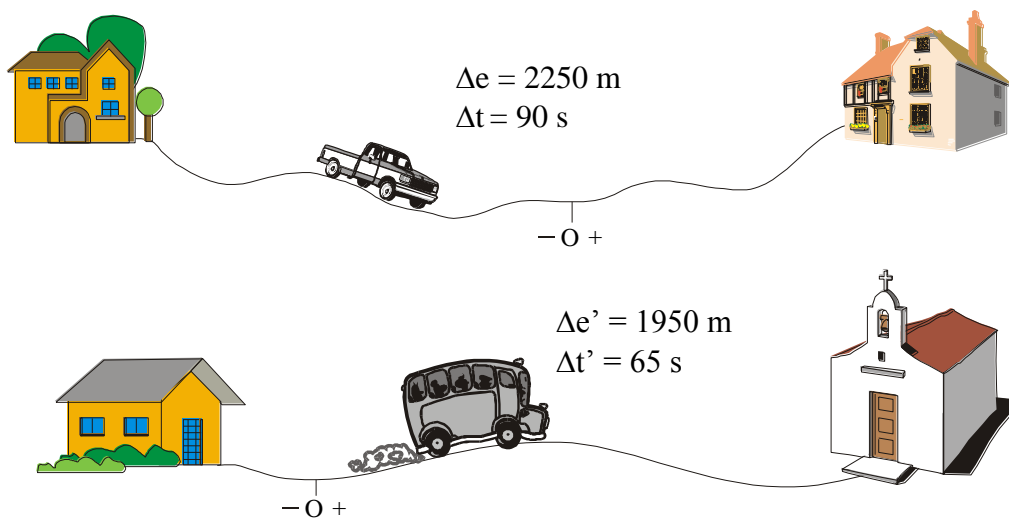
**A.8.** *Un mòbil C tarda 8 segons per realitzar un canvi de posició de 100 m sobre la trajectòria. Altre mòbil D, tarda 8 segons a realitzar un canvi de posició de 25 m sobre la trajectòria. Quin dels dos ha anat més ràpid?*

En aquest cas, és evident que C s'ha mogut més ràpid que D. Concretament, com en el mateix temps el canvi de posició és quatre vegades major, podem dir que la rapidesa desenvolupada per C, ha estat el quàdruple que la del mòbil D.

Així doncs: Com major siga el canvi de posició i menor siga el temps emprat en efectuar-lo, major serà la rapidesa.

Fins ací ha estat fàcil contestar, perquè o bé els desplaçaments sobre la trajectòria eren iguals o bé ho eren els temps. Però, també es poden donar altres situacions, com la que es planteja a continuació.

**A.9.** A partir de les dades mostrades a la figura següent, decideu quin dels dos vehicles (el tot terreny o l'autobús) s'ha desplaçat amb major rapidesa. A continuació, reflexioneu sobre el que heu fet per poder esbrinar-ho i proposeu una expressió general per expressar la rapidesa en funció del canvi de posició sobre la trajectòria i del temps utilitzat.



En aquest cas són diferents tant els desplaçaments del tot terreny i de l'autobús com els temps. Per poder comparar, ens bastarà dividir el desplaçament de cadascun d'ells pel temps invertit en realitzar-lo. Així, obtindrem la mateixa proporció en els dos casos, és a dir, el desplaçament experimentat per unitat de temps.

Al quocient  $\Delta e/\Delta t$ , l'anomenem **rapidesa mitjana**, es representa per  $v_m$  i es mesura en m/s. Així doncs:

$$v_m = \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

Si utilitzem aquesta magnitud en l'exemple proposat, la rapidesa mitjana de l'autobús resulta ser de 30 m/s i la del vehicle "tot terreny" de 25 m/s. La rapidesa mitjana de l'autobús ha segut, doncs, major (i, a més, contamina menys i pot transportar més persones).

Calculeu el valor de la rapidesa mitjana corresponent als casos que es plantegen a les activitats A.7 i A.8 anteriors.

## 2. Cinemàtica

*Que significa 30 m/s? Vol dir que el mòbil ha avançat sempre 30 m cada segon del seu moviment?*

Òbviament, no. Pot ser, per exemple, que al principi es moguera a més de 30 m/s i després a menys, o que s'haja parat un moment, etc. El que ens proporciona l'expressió anterior és tan sols el valor mitjà de la rapidesa. Aquest valor indica que **si haguera anat** sempre a 30 m/s hauria tardat just el mateix temps que ha utilitzat en realitat, movent-se amb una rapidesa variable (unes vegades major i altres menor que 30 m/s), és a dir, 65 s.

Quan la rapidesa és constant (no canvia), el seu valor mitjà coincidirà amb el valor en cada instant. En aquest cas particular el moviment s'anomena **moviment uniforme**.

*A.10. Un estudiant va directament de sa casa a l'institut per un camí de 2'5 km en 35 minuts. Un ciclista va per carretera d'un poble a altre, distants 51'3 km, en una hora i mitja. Un corredor de 100 m llisos té una marca de 9'8 s. Calculeu la rapidesa mitjana (en m/s) de cadascun d'ells.*

R. 1'2 m/s, 9'5 m/s, i 10'2 m/s (estudiant, ciclista i corredor, respectivament).

*A.11. Què vol dir que la rapidesa d'un mòbil és de -5 m/s?*

Una resposta seria que, de mantindre constant la rapidesa, la posició sobre la trajectòria canviaria, disminuint 5 m cada segon. En efecte, si "v" és negativa, d'acord amb la definició indicarà que " $\Delta e$ " és negatiu (ja que l'interval de temps  $\Delta t$  entre dues posicions successives ha de ser sempre una quantitat positiva), és a dir, que "e" està disminuint.

*A.12. Un cotxe tarda 25 minuts en anar de València a Chiva (30 Km). Dies després rep la notificació d'una multa per excés de velocitat. Suposant que la màxima rapidesa permesa en qualsevol punt d'eixa carretera siga de 80 km/h, considereu si es pot recórrer o no contra la multa.*

Naturalment els mòbils no solen anar sempre amb la mateixa rapidesa. Pensem, per exemple, en un cotxe que es desplaça per una carretera. Pot ser que, en avançar altre cotxe, necessite augmentar molt la rapidesa en molt poc de temps, però en altre moment voldrà detindre's, en altre frenar, etc. Així doncs, una magnitud de gran interès en l'estudi dels moviments és la rapidesa amb què un mòbil canvia de rapidesa. Aquesta magnitud s'anomena **acceleració sobre la trajectòria** o també **acceleració tangencial** i es representa pel símbol  $a_t$ .

### **2.4. Si varia la rapidesa, com podem calcular com de ràpid s'ha produït aquesta variació? Concepte d'acceleració sobre la trajectòria (o acceleració tangencial)**

*A.13. Un mòbil A tarda 12 segons en passar de 0 a 100 km/h. Altre mòbil B tarda 6 segons en realitzar el mateix canvi de rapidesa. Quin dels dos ha accelerat més?*

La situació que es planteja en aquesta activitat té a veure amb l'anomenat "represa" d'un vehicle. En molts fulls de propaganda d'automòbils es dona aquesta informació com una de les característiques més importants.

És evident que l'acceleració experimentada pel mòbil B serà just el doble que l'acceleració experimentada per l'A, atès que realitza el mateix canvi de rapidesa en la meitat de temps.

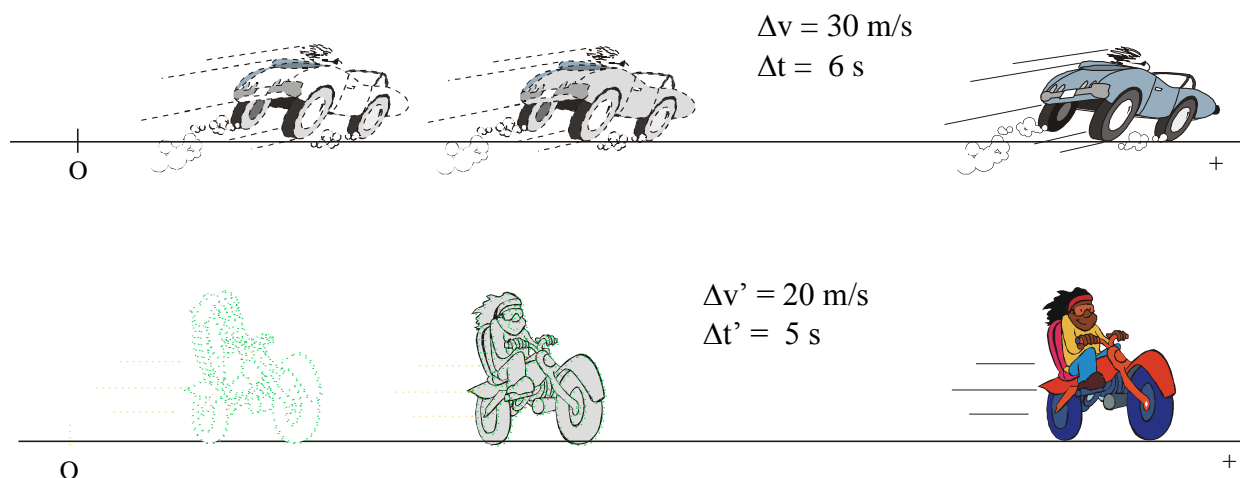
**A.14.** Un mòbil C passa de 30 m/s a 40 m/s en 5 s, mentre altre mòbil D tarda 5 s en passar de 30 m/s a 60 m/s fa. Quin dels dos ha experimentat una major acceleració sobre la trajectòria?

En aquest cas, és evident que D ha sofert una major acceleració que C. Concretament, com el canvi de rapidesa és el triple en el mateix temps, podem dir que l'acceleració soferta per D ha estat el triple que la corresponent a C.

Fins ací ha estat fàcil contestar, perquè o bé els canvis de rapidesa eren iguals o bé els temps eren iguals.

Sembla clar que, com major siga el canvi de rapidesa i menor el temps emprat en el canvi, major serà el valor de l'acceleració sobre la trajectòria.

**A.15.** A la vista de les dades que ens donen en la figura següent, decideu quin dels dos vehicles s'ha desplaçat amb major acceleració sobre la trajectòria. A continuació, reflexioneu sobre el que heu fet per esbrinar-ho i proposeu una expressió general per expressar l'acceleració sobre la trajectòria en funció del canvi de rapidesa i del temps utilitzat.



En aquest cas, els canvis de rapidesa del cotxe i de la moto són diferents i també ho són els temps. Per poder comparar les acceleracions sols haurem de dividir el canvi de rapidesa de cadascun d'ells pel temps que ha utilitzat en efectuar el canvi. Així tindrem el mateix en els dos casos: el canvi de rapidesa realitzat en una unitat de temps.

El quocient  $\Delta v/\Delta t$  s'anomena **acceleració mitjana sobre la trajectòria**, i es representa per  $a_{tm}$ .

Així doncs:

$$a_{tm} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Com el numerador es mesura en m/s i el denominador en segons, la unitat per a l'acceleració en el sistema internacional serà  $1\text{m/s}^2$ , que es pot interpretar com l'acceleració d'un mòbil, la rapidesa del qual augmenta en 1 m/s cada segon.

Analitzant l'expressió anterior veiem que, efectivament, com major siga el canvi de rapidesa i menor el temps utilitzat, major serà l'acceleració. A més, si no hi ha canvi de rapidesa (és a dir, si  $\Delta v = 0$ ), l'acceleració mitjana sobre la trajectòria, serà 0.

## 2. Cinemàtica

Aplicant l'expressió al cas que es planteja en l'activitat, obtindrem que el valor mitjà de l'acceleració sobre la trajectòria per al cotxe ha estat de  $5 \text{ m/s}^2$ , mentre el valor per a la moto és de  $4 \text{ m/s}^2$ .

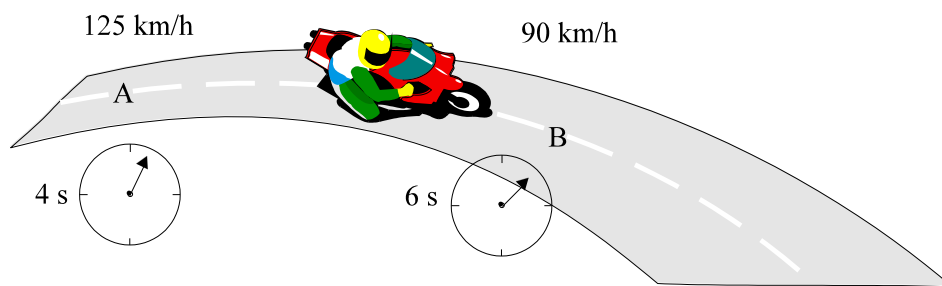
Calculeu el valor de l'acceleració tangencial mitjana corresponent als casos que es plantegen a les activitats **A.13** i **A.14** anteriors.

Què significa l'expressió  $5 \text{ m/s}^2$ ? Vol dir que la rapidesa del cotxe ha augmentat sempre en  $5 \text{ m/s}$  cada segon?

Significa que, si el cotxe haguera sofert sempre eixa acceleració, la rapidesa hauria augmentat en  $5 \text{ m/s}$  cada segon transcorregut. Quan l'acceleració sobre la trajectòria és constant, el seu valor en cada moment (valor instantani) coincideix amb el seu valor mitjà. En eixe cas, el moviment s'anomena **uniformement accelerat**.

Els següents exercicis ens ajudaran a comprendre millor aquest nou concepte.

**A.16.** Una moto es mou per la carretera de la figura. El pilot observa el velocímetre quan passa pels punts A i B en els instants que marquen els rellotges. Calculeu el valor mitjà de l'acceleració sobre la trajectòria en  $\text{m/s}^2$  i raoneu el significat físic del signe obtingut.

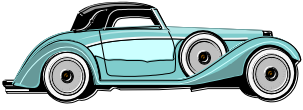

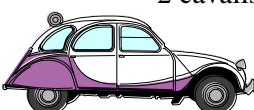


D'acord amb l'enunciat de l'exercici proposat, la moto es mou per una trajectòria prefixada en el sentit triat com a positiu, de forma que la rapidesa (positiva) va disminuint. L'acceleració mitjana sobre la trajectòria en l'interval indicat, serà  $\Delta v / \Delta t$ , on  $\Delta v = v_B - v_A$  i  $\Delta t = t_B - t_A$

Com que sempre usarem unitats del S.I. (Sistema Internacional), hem de passar la rapidesa a  $\text{m/s}$ . Així: la rapidesa al final de l'interval,  $v_B = 90000 / 3600 = 25 \text{ m/s}$ , i la rapidesa a l'inici del mateix,  $v_A = 125000 / 3600 = 34,72 \text{ m/s}$ , per tant, el canvi de rapidesa  $\Delta v$  es calcularà a partir de l'expressió  $\Delta v = v_B - v_A = 25 - 34,72 = -9,72 \text{ m/s}$ .

Com la durada de l'interval és  $\Delta t = 6 - 4 = 2 \text{ s}$ ; l'acceleració mitjana en l'interval s'obindrà com:  $a_{\text{tm}} = \Delta v / \Delta t = -9,72 / 2 = -4,86 \text{ m/s}^2$ . Es tracta, naturalment d'un valor mitjà, que pot interpretar-se dient que, si la moto haguera frenat sempre amb la mateixa acceleració, la rapidesa hauria anat disminuint regularment a raó de  $4,86 \text{ m/s}$  cada segon.

**A.17.** A la taula següent s'expressen els canvis de rapidesa que han experimentat tres models de cotxes, així com el temps emprat per cadascun. Analitzeu els resultats i ordeneu-los de menor a major acceleració sobre la trajectòria (expressada en  $\text{m/s}^2$ ). Finalment, comenteu quina importància pot tindre el fet que un vehicle pugui desenvolupar més o menys represa.

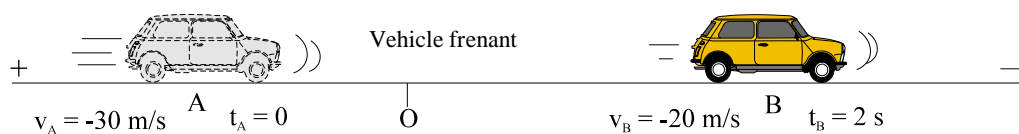
MODEL	 Chevro	 Mustang	 2 cavalls
$\Delta v$ (km/h)	50-90	15-180	40-120
$\Delta t$ (s)	5	14	9

La resolució de l'activitat anterior condueix a ordenar de menor a major acceleració mitjana sobre la trajectòria al Chevro, seguit del "2 cavalls" i finalment el Mustang, amb valors de  $2'2 \text{ m/s}^2$ ,  $2'5 \text{ m/s}^2$  i  $3'3 \text{ m/s}^2$ , respectivament.

La capacitat d'un vehicle per aconseguir grans canvis en la rapidesa amb què es desplaça en el menor temps possible (augmentant-la o disminuint-la), és quelcom molt important, sobretot en situacions de risc com, per exemple, quan s'avança altre vehicle en carretera, encara que també cal tindre en compte que un excés de confiança per part del conductor a aquest respecte, pot provocar greus accidents i que una conducció en què es realitzen grans acceleracions amb freqüència, suposa un sensible augment del consum de combustible i, per tant, de la contaminació.

**A.18.** *En ocasions es pensa que, sempre que un mòbil frena, l'acceleració sobre la trajectòria ha d'ésser negativa. Però el signe d'aquesta magnitud en realitat depèn del signe que tinga la variació de la rapidesa. Proposeu un exemple en què un vehicle frene (es desplaça cada vegada més lentament) i, en canvi, el valor mitjà de l'acceleració sobre la trajectòria siga positiu.*

Sols haurem de determinar l'origen d'espais i el criteri de signes de tal forma que el mòbil es desplaça cada vegada més lentament, però cap a valors decreixents de la posició "e". Això implica una rapidesa negativa, en la qual el valor absolut va disminuint, amb la qual cosa en la variació de la rapidesa s'obté un nombre positiu i, consegüentment, el valor mitjà de l'acceleració sobre la trajectòria també ho serà. La figura següent proposa un exemple concret on es dona aquesta situació:



Si calculem el valor mitjà de l'acceleració sobre la trajectòria podrem comprovar que resulta un nombre positiu ( $5 \text{ m/s}^2$ ) malgrat que el vehicle està frenant. En canvi, podem afirmar que, sempre que un mòbil està frenant, els signes de  $v$  i  $a_t$  són oposats (*comproveu-ho imaginant possibles situacions*).

**A.19.** *Les taules següents reproduïxen valors de la rapidesa de tres mòbils, obtinguts a intervals regulars de temps. Calculeu el valor de l'acceleració mitjana sobre la trajectòria entre els instants  $t = 0$  i  $t = 4$  s en cadascun dels tres casos.*

$t$ (s)
$v$ (m/s)

0	1	2	3	4
0	3	7	9	18

0	1	2	3	4
1	4	7	10	13

0	1	2	3	4
20	20	20	20	20

## 2. Cinemàtica

Si analitzem les taules veurem que, al primer interval, hi ha acceleració sobre la trajectòria, perquè el mòbil va cada vegada més ràpid, però aquesta no és constant (moviment variat); en el segon cas sí que pot ser constant, ja que la rapidesa sembla augmentar regularment amb el temps (moviment uniformement accelerat); mentre que en el tercer cas, l'acceleració sobre la trajectòria és 0 ja que la rapidesa no canvia (moviment uniforme).

Si realitzem els càlculs, s'obté, respectivament:  $4'5 \text{ m/s}^2$ ,  $3 \text{ m/s}^2$  i  $0 \text{ m/s}^2$ .

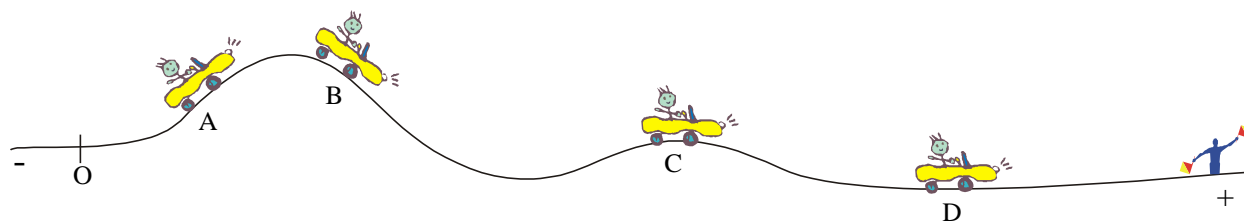
### 2.5. El caràcter vectorial del moviment: introducció qualitativa del vector velocitat i del vector acceleració

Quan s'estudia el moviment d'un cos en general, no sols ens interessa conèixer amb quina rapidesa es mou en cada instant, sinó també en quina direcció i amb quin sentit. Açò ho podem esbrinar mitjançant la utilització d'una nova magnitud (molt coneguda per tots) anomenada velocitat o més pròpiament, mitjançant el vector velocitat instantània.

La **velocitat instantània** o velocitat amb què es mou un cos en un instant donat es representa per un vector o fletxa, orientat sempre en el sentit en què es mou el cos i el mòdul del qual (grandària), coincideix sempre amb el valor absolut de la rapidesa en eixe instant. Diem llavors que la velocitat  $\vec{v}$ , (al contrari que la posició  $e$ , la rapidesa o la temperatura) és una magnitud **vectorial**.

**El concepte de velocitat és més potent que el de rapidesa, perquè serveix per estudiar tot tipus de moviments i no sols els que es realitzen al llarg d'una trajectòria ja coneguda.** En representar-se mitjançant una fletxa orientada, ens indica no sols la rapidesa amb què el cos està canviant de posició sinó també la direcció i sentit en què es mou en eixe instant. El fet que habitualment s'utilitzen ambdós conceptes indistintament es deu, sens dubte, a què els valors instantanis de les dues magnituds coincideixen sempre numèricament (si prescindim del signe de la rapidesa). En aquest curs no calcularem vectors velocitat, però sí que aprendrem a representar-los i operar un poc amb ells.

*A.20. En una prova automobilística s'ha controlat la rapidesa que porta un cotxe de carreres en diversos instants poc abans d'arribar a la meta, segons s'indica a la figura i la taula adjuntes.*



Posició	A	B	C	D
Rapidesa (km/h)	100	150	200	250

*Dibuixeu, en cadascuna de les posicions marcades, un vector representatiu de la velocitat amb què es mou el cotxe.*



**A.21.** En altra prova destinada a esbrinar el consum de gasolina i el comportament en carretera d'un nou model de cotxe, se'l va sotmetre a les situacions següents:

- a) Anar sempre a 90 km/h per una pista circular
- b) Anar sempre a 120 km/h per una carretera recta
- c) Anar sempre a 70 km/h per una carretera amb corbes
- d) Anar a 180 km/h per una carretera recta i frenar fins quedar parat

Construïu els esquemes apropiats per a cada cas, incloent tres vectors representatius de la velocitat en altres tantes posicions i explicant en què es diferencien uns d'altres.

La realització del que es demana en l'activitat ha de portar a construir quatre esquemes de forma que, en el primer (cas a), es vegem tres vectors del mateix mòdul, però amb distinta direcció (moviment circular i uniforme), destacant que, en aquest cas, la velocitat sols va canviant de direcció; en el segon esquema els tres vectors velocitat tindran el mateix mòdul i també la mateixa direcció i sentit, és a dir, en el cas b, la velocitat no canvia en res, és constant (moviment rectilini i uniforme); en el tercer la trajectòria no és circular ni rectilínia però el mòdul de la velocitat és constant (moviment uniforme); finalment en el quart (cas d), la velocitat no canvia de direcció (la trajectòria és recta), però sí de mòdul (va disminuint).

Així doncs, excepte en el cas b, en tots els altres casos la velocitat canvia en quelcom.

**Sempre que la velocitat amb què es mou un cos canvie en quelcom (encara que siga només en una cosa), diem que aquest experimenta una acceleració.**

L'acceleració ens dóna una mesura de la rapidesa amb que canvia la velocitat. Naturalment, com la velocitat és una magnitud vectorial, l'acceleració corresponent també ho serà, per això s'anomena **vector acceleració** i es representa com  $\vec{a}$ .

**A.22.** Tenint en compte la informació del paràgraf anterior, proposeu una expressió que ens permeti calcular el vector acceleració.

Seguint un raonament igual al realitzat en la introducció de la rapidesa mitjana i de l'acceleració tangencial mitjana, és fàcil ara arribar a l'expressió:

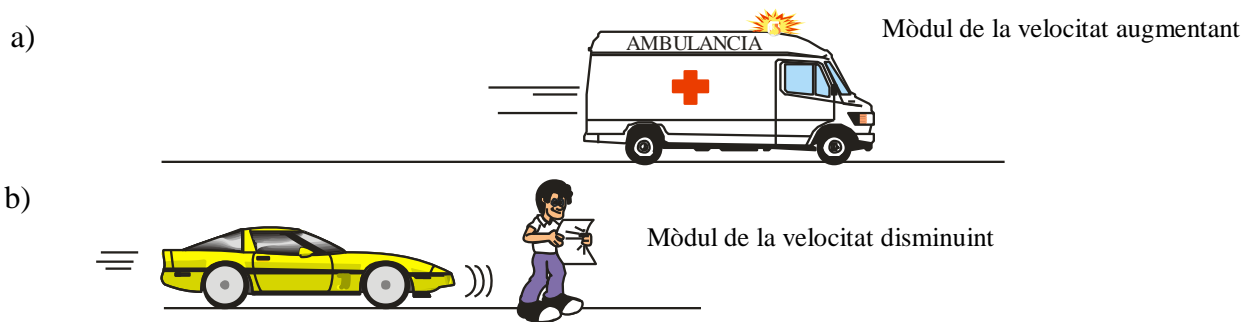
$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

El càlcul del vector acceleració mitjana, i sobre tot, el del vector acceleració instantània, excedeixen dels objectius d'aquest curs i seran abordats en cursos posteriors. No obstant això, el que sí que farem (per ser molt convenient per comprendre altres conceptes fonamentals de mecànica, com el concepte de força), és aprendre a dibuixar el vector acceleració a partir dels vectors velocitat. Per això és fonamental que ens detinguem a esbrinar com se sumen i es resten vectors gràficament, resolent les activitats que figuren a l'annex 1, que es presenta al final d'aquest capítol.

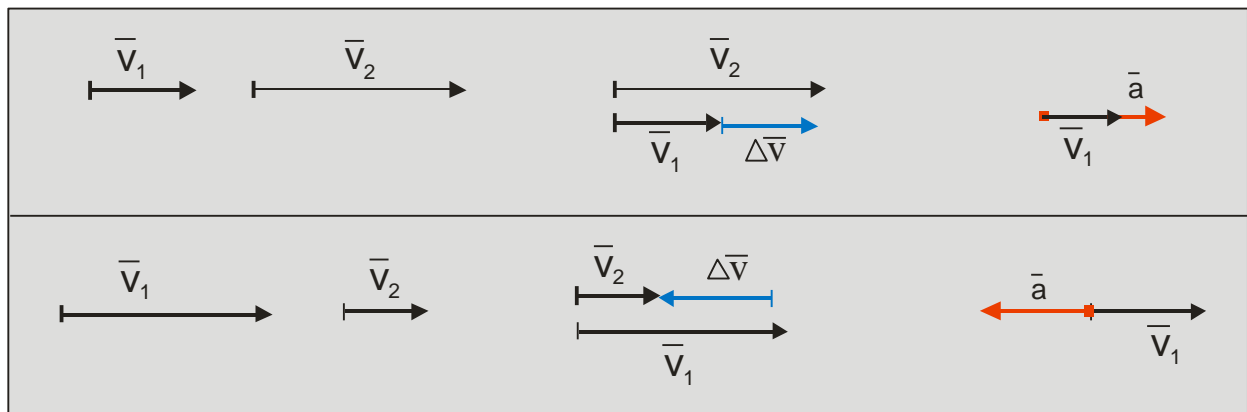
*(Introducció elemental a l'àlgebra vectorial. Suma i resta de vectors gràficament. Producte d'un vector per un nombre. Càlcul del mòdul del vector suma en alguns casos senzills).*

## 2. Cinemàtica

**A.23.** Com sabem, la velocitat d'un mòbil pot canviar tant en mòdul com en direcció. Suposem un cotxe que va per una carretera recta augmentant constantment la velocitat. Justifiqueu cap a on aniria el vector acceleració. Ídem per al cas que el cotxe disminuísca de velocitat.



En els dos casos la trajectòria és rectilínia i el mòbil es desplaça en el mateix sentit, per la qual cosa, el vector velocitat no canvia de direcció ni de sentit. Però en el primer cas, el mòdul de la velocitat va augmentant, mentre que, en el segon, va disminuint. Per saber cap a on anirà el vector acceleració bastarà veure cap a on va el vector  $\Delta\vec{v}$ , que obtindrem de restar  $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$  corresponents a un interval de temps molt xicotet. Els resultats de realitzar aquestes operacions es donen a les figures següents:

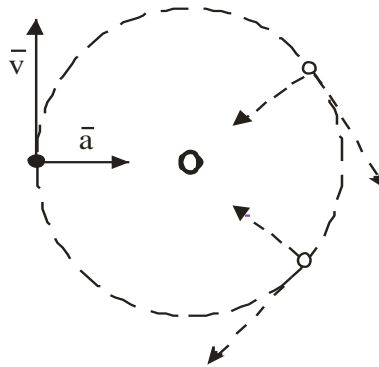


La meitat superior de l'esquema anterior, correspon al cas del cotxe quan, sense modificar la direcció, s'augmenta el mòdul del vector velocitat. Pel contrari, la meitat inferior correspon a una disminució del mòdul del vector velocitat quan el cotxe, a la vista de la persona que està distreta llegint, frena per no atropellar-la, però sense desviar-se'n.

**A.24.** D'acord amb els resultats de l'activitat anterior, assenyaieu, a títol d'hipòtesi, quina direcció haurà de tindre el vector acceleració, perquè canvie només la direcció de la velocitat, però no es modifiqui el seu valor.

A l'activitat anterior hem vist que, quan el vector acceleració té el mateix sentit que el vector velocitat, el mòdul d'aquesta augmenta (i la direcció no canvia). Al contrari, quan el vector acceleració té sentit contrari a la velocitat, succeeix que el mòdul d'aquesta disminueix (i la direcció tampoc canvia).

Podem pensar, doncs que, per a què només canvie la direcció de la velocitat, el vector acceleració haurà de ser perpendicular en tot moment al vector velocitat. D'aquesta forma l'acceleració no es pot "utilitzar" per augmentar ni disminuir el mòdul del vector velocitat, sinó tan sols, per canviar contínuament la direcció d'aquest vector o, el que és equivalent, la direcció amb què es mou el cos.



A la figura anterior hem representat el cas d'un objecte que es mou sotmès a una acceleració de mòdul constant i perpendicular en tot moment al vector velocitat. Es tracta d'un moviment circular i uniforme. En aquest moviment el mòdul de la velocitat no canvia, per tant, la rapidesa és constant i l'acceleració sobre la trajectòria (o acceleració tangencial) és nul·la. No obstant això, com la velocitat està canviant contínuament de direcció, sí que hi ha una acceleració responsable del canvi. L'esmentada acceleració, per ser perpendicular a la velocitat, s'anomena acceleració normal.

### 3. CÀLCUL DE LA RAPIDESA I LA POSICIÓ EN QUALSEVOL INSTANT

Fins ací ens hem limitat a introduir les magnituds necessàries per a l'estudi del moviment. Hem vist, per exemple, com donar la posició d'un objecte en diferents punts  $i$ , a partir d'aquests valors, com determinar el canvi de posició, la rapidesa, el canvi de rapidesa  $i$ , finalment, l'acceleració sobre la trajectòria. El problema que ens anem a plantejar ara és, precisament, el contrari: coneguda l'acceleració sobre la trajectòria ( $a_t$ ) amb què es mou un cos, determinar la rapidesa " $v$ " del mòbil i la seua posició " $e$ " en qualsevol instant del seu moviment (equacions del moviment).

**A.25.** *Suposant coneguda la rapidesa mitjana en un interval de temps i la posició a l'inici de l'interval, trobeu una equació que ens permeti conèixer la posició,  $e$ , al final de l'interval.*

Si coneixem la rapidesa mitjana, com:  $v_m = \frac{\Delta e}{\Delta t}$

podem aïllar el desplaçament sobre la trajectòria, obtenint:  $\Delta e = v_m \cdot \Delta t$

i desenvolupant cada increment:  $e - e_0 = v_m \cdot (t - t_0)$ .

Finalment, aïllant  $e$ , ens queda que la posició del cos en qualsevol instant  $t$ , vindrà donada per:

$$e = e_0 + v_m (t - t_0)$$

## 2. Cinemàtica

**A.26.** Suposant coneguda  $a_m$  en un interval de temps i la rapidesa a l'inici d'aquest interval, trobeu una equació que ens permeti conèixer la rapidesa,  $v$ , al final de l'interval.

Com l'acceleració mitjana sobre la trajectòria és:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

seguint un procediment anàleg a l'anterior podem obtenir fàcilment que la rapidesa a l'instant  $t$  vindrà donada per:

$$v = v_0 + a_m \cdot (t - t_0)$$

Dels diversos tipus de moviment, ens limitarem a estudiar dos especialment importants. El moviment uniforme ( $a_t = 0$ ,  $v = \text{constant}$ ) i l'uniformement accelerat ( $a_t = \text{constant}$ ,  $v$  canvia regularment), utilitzant les expressions generals (aplicables a qualsevol tipus de moviment), obtingudes a les activitats anteriors.

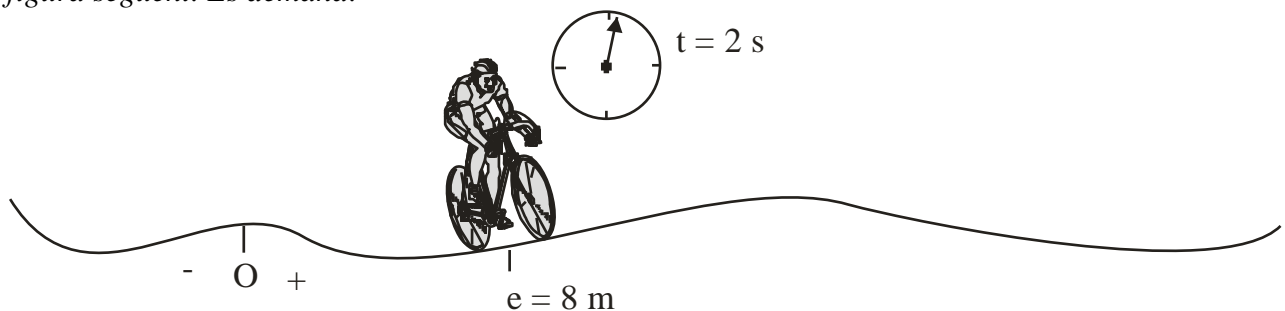
### 3.1. Cossos que es mouen sempre amb la mateixa rapidesa (moviment uniforme)

**A.27.** Concreteu les expressions generals anteriors per al cas d'un moviment uniforme.

Com l'acceleració tangencial és nul·la, les magnituds que determinen aquest moviment tindran les següents característiques:

$$a_t = 0 \rightarrow v = \text{constant} \rightarrow v_m = v \rightarrow e = e_0 + v(t - t_0)$$

**A.28.** Un ciclista va rodant amb moviment uniforme i  $v = 3 \text{ m/s}$  en l'instant en què un cronòmetre marca 2 s i el corredor es troba a 8 m de l'origen d'espais, segons es mostra a la figura següent. Es demana:



a) On es trobarà 5 segons després? b) Construïu i interpreteu les gràfiques  $e = e(t)$  i  $v = v(t)$ . c) Assenyaleu en un esquema amb ajuda de creus sobre la trajectòria les posicions successives del ciclista a intervals d'un segon.

Atès que es tracta d'un moviment uniforme (la rapidesa és constant), l'equació a utilitzar serà:

$e = e_0 + v \cdot (t - t_0)$ . Substituint en ella les dades de què disposem, obtindrem l'equació

$$e = 8 + 3(t - 2) \quad \text{i d'ací obtenim} \quad e = 3t + 2$$

L'última equació ens permet obtenir la posició del ciclista en qualsevol instant "t" del moviment. Com volem saber on estarà a l'instant  $t = 7 \text{ s}$ , bastarà substituir  $t$  per aquest nombre, amb la qual cosa obtindrem finalment  $e = 23 \text{ m}$ . Altra qüestió seria el càlcul de la distància recorreguda en un cert interval de temps, per exemple des dels 2 s fins als 7 s. Com el ciclista no

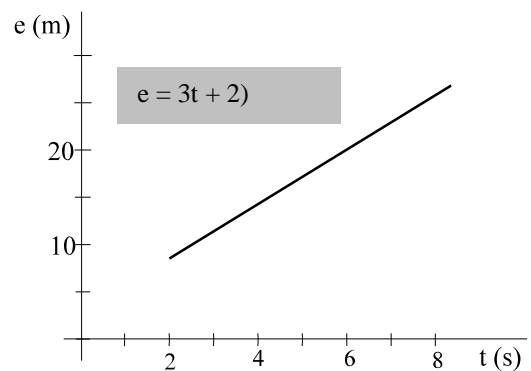
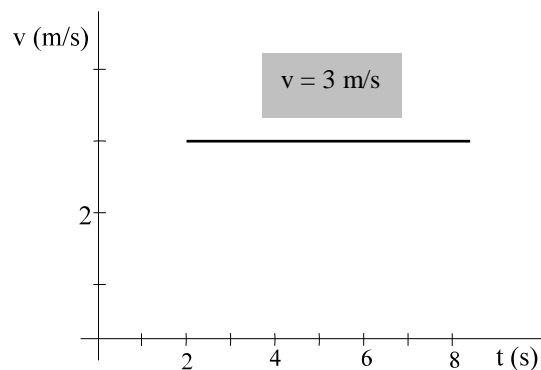
retrocedeix i es mou en el sentit positiu, el valor de la distància coincidirà amb el del canvi de posició sobre la trajectòria, és a dir:  $\Delta e = 23 - 8 = 15 \text{ m}$ .

Respecte de la construcció de les gràfiques que es demana a l'enunciat, convé tindre en compte en primer lloc que, com la rapidesa té sempre el mateix valor, la gràfica de la rapidesa en funció del temps serà una línia recta paral·lela a l'eix de temps. Pel que fa a la posició, com aquesta canvia linealment amb el temps, és a dir, sempre a aquest "ritme" (en aquest cas 3 m cada segon que passa), en representar els distints valors de "e" front als de "t", s'obindrà una línia recta tant més inclinada (pendent) com major siga la rapidesa. Per comprovar el que estem dient, primer hem d'obtenir les taules de valors corresponents, a partir de les equacions concretes del moviment, cosa que ens condueix a:

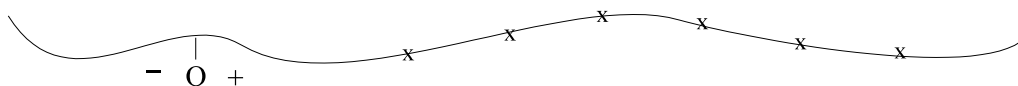
v (m/s)	3	3	3	3	3	3	3
t (s)	2	3	4	5	6	7	8

e (m)	8	11	14	17	20	23	26
t (s)	2	3	4	5	6	7	8

Si representem ara els valors anteriors obtenim les gràfiques següents:



És important adonar-se que el que ix a les gràfiques anteriors **no** representa mai la trajectòria per la qual s'ha desplaçat el mòbil. Aquesta, com s'observa a l'enunciat, no és rectilínia. La posició del ciclista a intervals de temps d'1 s es pot indicar col·locant sobre la trajectòria una sèrie de creus cada 3 m de trajecte.



*Determineu les modificacions que es produirien al moviment del ciclista si:*

- Haguera començat a rodar quan el rellotge marcava zero i estava a l'origen
- Haguera començat a rodar quan el rellotge marcava zero i estava a 8 m de l'origen

## 2. Cinemàtica

Convé recordar que, en el cas que la trajectòria seguida en un moviment uniforme siga una línia recta, el moviment es denomina rectilini i uniforme (MRU). Un vehicle movent-se en una carretera recta sempre amb la mateixa rapidesa posseiria aquest tipus de moviment. Anàlogament, en el cas particular d'un cos que es moga sempre amb la mateixa rapidesa, però descrivint una circumferència, el moviment es denomina circular i uniforme (MCU).

### 3.2. Cossos que es mouen amb acceleració sobre la trajectòria constant (moviment uniformement accelerat)

**A.29.** Concreteu les expressions generals  $v = v_0 + a_m \cdot (t - t_0)$  i  $e = e_0 + v_m \cdot (t - t_0)$  per al cas d'un moviment uniformement accelerat (acceleració sobre la trajectòria constant).

Com l'acceleració tangencial és constant s'acomplirà que, en qualsevol instant:

$$\mathbf{a_t = constant} \rightarrow a_m = a_t \rightarrow \mathbf{v = v_0 + a_t \cdot (t-t_0)}$$

Quant a la determinació de la posició en qualsevol instant  $t$ , hem de tindre en compte que la rapidesa va canviant contínuament, però com el moviment és uniformement accelerat, el ritme amb què va canviant la rapidesa és sempre el mateix. Açò permet obtindre el seu valor mitjà en qualsevol interval de temps com la mitjana de les rapideses als extrems de l'interval elegit. Si prenem l'instant  $t_0$  i un altre instant qualsevol  $t$ , la rapidesa mitjana serà:

$$v_m = \frac{v_0 + v}{2}$$

Per tant, l'expressió  $e = e_0 + v_m (t-t_0)$ , quedarà en aquest cas com:  $e = e_0 + \frac{v_0 + v}{2} (t - t_0)$

Substituint ara  $v$  pel valor de l'expressió obtinguda anteriorment i simplificant, obtenim finalment que la posició en qualsevol instant " $t$ ", en aquest tipus de moviment, vindrà donada per l'expressió:

$$e = e_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a_t(t - t_0)^2$$

**A.30.** Un cotxe inicialment en repòs, comença a moure's amb una acceleració sobre la trajectòria de  $3 \text{ m/s}^2$ . Suposant que mantinga constant l'acceleració durant 5 segons, es demana:

- Amb quina rapidesa es mourà i on es trobarà al cap d'eixos 5 segons?
- Construïu i interpreteu les gràfiques  $v = v(t)$  i  $e = e(t)$
- Construïu un possible esquema i assenyaieu amb creus sobre la trajectòria, les posicions successives del cotxe a intervals d'un segon.

En general, per respondre a les preguntes que ens puguen formular sobre el moviment d'un cos, és necessari conèixer com es mou, la qual cosa significa conèixer les equacions que ens proporcionen els valors de l'acceleració, rapidesa i posició en funció del temps. Per això procedirem com s'indica tot seguit:

1r) Dibuem la trajectòria i sobre ella decidim on situar l'origen (O) per mesurar espais (posicions) i, a quin costat d' O prenem valors positius. Després decidim en quin moment ens interessa posar el cronòmetre en marxa (0 s).

En aquest cas concret, situarem l'origen d'espais O en la posició que ocupa el cotxe quan es troba en repòs i considerarem com sentit positiu el del moviment. El cronòmetre el posarem en marxa en el mateix instant en què es posa en marxa el vehicle.

Totes aquestes dades convé reflectir-les en l'esquema adient:



2n) Analitzem la informació relativa al moviment per poder escriure les equacions generals de les magnituds característiques (equacions del moviment).

En aquest cas es tracta d'un MUA i les equacions són:

$$a_t = \text{constant}; \quad v = v_0 + a_t \cdot (t-t_0); \quad e = e_0 + v_0(t-t_0) + \frac{1}{2} a_t (t-t_0)^2$$

3r) Després, particularitzem les equacions anteriors per al moviment concret que estem estudiant. Per fer-ho, hem de conèixer l'acceleració  $a_t$ , així com els valors, en un instant qualsevol " $t_0$ " del moviment, de la rapidesa ( $v_0$ ) i de la posició ( $e_0$ ).

Al nostre cas, sabem que  $a_t = 3 \text{ m/s}^2$  i ens convindrà considerar  $t_0 = 0$  ja que sabem que, en eixe instant,  $v_0 = 0$  i  $e_0 = 0$ . Substituint obtenim les equacions:

$$a_t = 3 \text{ m/s}^2; \quad v = 3t; \quad e = 3t^2/2$$

4t) Una vegada disposem de les equacions del moviment, podem respondre a les qüestions que se'ns plantegen al problema:

a) Per conèixer la rapidesa i posició quan el rellotge marque 5 s bastarà substituir t per 5 en les expressions de "v" i de "e", amb la qual cosa:

$$v = 3 \cdot 5 = 15 \text{ m/s}; \quad e = 3 \cdot 5^2 / 2 = 37,5 \text{ m}$$

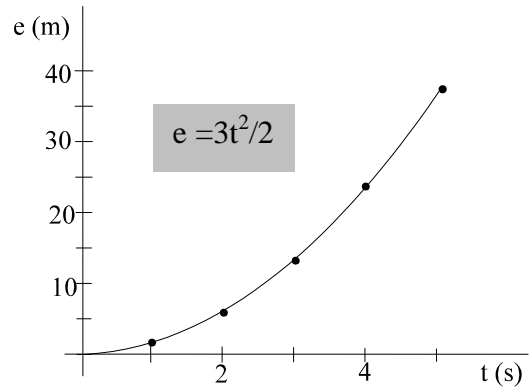
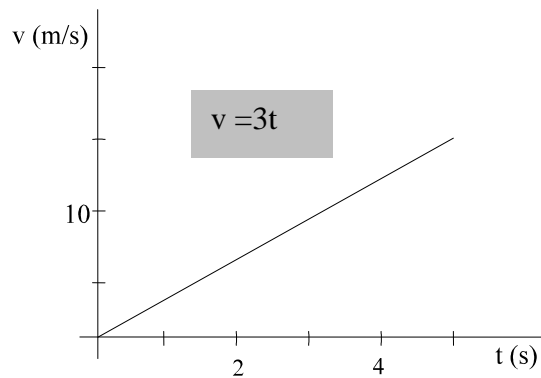
b) Substituint valors de t en les equacions anteriors obtenim les taules següents:

v (m/s)	0	3	6	9	12	15
t (s)	0	1	2	3	4	5

e (m)	0	1,5	6	13,5	24	37,5
t (s)	0	1	2	3	4	5

Les taules anteriors concorden amb la idea expressada de moviment uniformement accelerat. En efecte, que l'acceleració tangencial siga constant implica que la rapidesa va canviant sempre al mateix ritme (en aquest cas de  $3 \text{ m/s}$  cada s), mentre que els canvis de posició, atès que el cotxe es mou cada vegada més ràpid, són cada vegada majors. Per exemple, durant el primer segon la posició del cotxe canvia sol en  $1,5 \text{ m}$ , mentre que en l'últim segon canvia  $13,5 \text{ m}$ . A la figura següent s'han representat gràficament les dues taules de valors.

## 2. Cinemàtica



Podem veure que, a la primera gràfica ens ix una línia recta, mentre que a la segona s'obté una paràbola, la qual cosa és coherent amb les equacions matemàtiques que relacionen la rapidesa i la posició amb el temps, així com amb la idea física que tenim de moviment uniformement accelerat.

c) La posició del cotxe sobre la trajectòria es pot indicar col·locant creus representatives de la posició del mòbil cada segon. Ara bé, com en aquest cas el vehicle es mou cada vegada més a pressa, les posicions estaran cada vegada més distanciades entre elles.



## 4. UTILITAT DEL COS DE CONEIXEMENTS CONSTRUÏT

A la primera part del tema s'introdueixen algunes magnituds útils per estudiar el moviment dels cossos. A la segona, acabem d'utilitzar-les per obtenir les equacions que ens donen la rapidesa i la posició en funció del temps, per a dos tipus de moviment diferents (l'uniforme i l'uniformement accelerat). Però, tots aquests conceptes i equacions són invencions que han de mostrar la validesa en el tractament dels moviments reals, mitjançant la capacitat per descriure'ls i predir resultats contrastables experimentalment. En aquest curs abordarem un exemple especialment important des del punt de vista històric i pràctic: "La caiguda de greus" i, per acabar, realitzarem alguns problemes sobre moviments on ens caldrà manejar els conceptes i equacions introduïts.

### 4.1. El moviment de caiguda lliure

1r) Què pot dir-se partint de les observacions i de les experiències quotidianes, sobre el moviment de caiguda dels cossos?





Sembla clar que es tracta d'un moviment de trajectòria coneguda (rectilínia) no uniforme, és a dir, accelerat, encara que, en principi, no sabem si la rapidesa creix, o no, linealment (és a dir, si l'acceleració sobre la trajectòria és, o no, constant). Altra qüestió a tindre en compte és la possible influència de la massa. Algunes persones pensen que, com major siga aquesta, abans arribarà el cos a terra. De vegades afirmen, fins i tot que, si la massa augmenta al doble, el temps de caiguda (des d'una certa altura) es reduirà just a la meitat. Altre efecte que cal tindre en compte és el del fregament amb l'aire, en el qual influeix molt la forma del cos, que pot fer que seguisca trajectòries no rectilínies i, de vegades molt complicades, com per exemple quan s'amolla un full de paper. De fet, hi ha persones que afirmen que, en absència de fregament amb l'aire, tots els objectes, sense importar quina massa tinguen, arriben al sòl alhora, si s'han deixat caure des de la mateixa altura.

És necessari doncs simplificar el problema, evitant en la mesura del possible, que intervinga el fregament. En eixes condicions, les hipòtesis respecte de la naturalesa del moviment de caiguda dels cossos queden com:

- ✓ La velocitat adquirida per un cos depèn de la massa, de forma que els cossos més pesats tarden menys temps a caure des d'una certa altura, que altres menys pesats.
- ✓ Es tracta d'un moviment de rapidesa creixent i, sembla que uniformement accelerat.

*2n) Per contrastar les hipòtesis anteriors, hem vist la necessitat d'eliminar el fregament amb l'aire o de fer-lo quasi menyspreable. Indiqueu una forma d'aconseguir-ho.*

Podria pensar-se en utilitzar un tub de buit. Però existeixen també altres possibilitats més simples com utilitzar objectes esfèrics xicotets i compactes (per exemple boles d'acer) a fi que el fregament amb l'aire pugua considerar-se pràcticament nul.

*3r) Una vegada establerta la forma d'aconseguir que la fricció amb l'aire siga menyspreable, procediu de forma senzilla a contrastar la primera hipòtesi anterior.*

Una possibilitat és deixar caure en primer lloc, des d'una mateixa altura, una goma d'esborrar gran i un full de paper. Podem veure que la goma arriba molt abans al sòl. Però, si tornem a realitzar l'experiència havent arrugat abans el full fins formar una bola compacta (que, clar està, tindrà la mateixa massa que abans), podrem comprovar que els temps de caiguda són pràcticament iguals, fet que, inicialment, confirma la hipòtesi que, en condicions de fregament nul, tots els cossos, independentment de la massa, quan es deixen caure des d'una mateixa

## 2. Cinemàtica

altura, tarden el mateix temps en arribar a terra. Per tant, no és cert que amb doble massa, la duració de la caiguda siga la meitat. A les mateixes conclusions han arribat els científics realitzant experiments molt rigorosos.

A continuació passarem a contrastar la hipòtesi que el moviment de caiguda lliure dels cossos es produeix amb acceleració constant, és a dir: es tracta d'un moviment uniformement accelerat. Però, atès que no podem mesurar directament l'acceleració de caiguda per veure si és constant o no, hem de derivar alguna conseqüència que sí que es puga contrastar.

*4t) Si l'acceleració sobre la trajectòria és constant, s'han d'acomplir les equacions del moviment uniformement accelerat. Considereu les esmentades equacions i intenteu derivar a partir d'elles alguna conseqüència que puguem contrastar experimentalment, per veure si la caiguda lliure dels cossos és un moviment d'acceleració constant, suggerint com podríem fer-ho.*

Podem utilitzar l'equació d'un moviment uniformement accelerat en la forma de:

$$e = \frac{1}{2} a_t \cdot t^2$$

El problema es redueix, llavors, a deixar caure una boleta sense velocitat inicial des de distintes altures  $h$  i mesurar el temps que tarda en arribar a terra en cada cas, per veure si s'ajusten a la relació mencionada anteriorment, que (escollint el sistema de referència adequat) es pot posar com:  $h = k \cdot t^2$  (ja que en un MUA l'acceleració sobre la trajectòria ha de ser constant amb el que  $a_t/2 = k =$  una nova constant). Però, si tractem de portar a terme aquest disseny directament, veurem que resulta massa imprecís (a menys que disposem de material prou sofisticat) ja que el temps de caiguda és massa xicotet. Es fa, doncs, necessari "debilitar" la caiguda sense alterar la natura del moviment.

*5t) Com podria aconseguir-se aquesta disminució?*

Una possibilitat és utilitzar una politja subjecta al sostre, de la qual penjarem dues masses diferents, de forma que, la més pesada siga frenada per l'altra i així caiga més lenta. Altra possibilitat és utilitzar un plànol inclinat pel qual deixar rodar una boleta d'acer. Aquest darrer disseny és el muntatge que, sembla que utilitzà en el seu dia el propi Galileu. Normalment s'obtenen bons resultats utilitzant riells de cortines o també barres d'alumini amb una ranura o canal per on puga anar la bola sense desviar-se.

És necessari que el carril no s'incline i que tinga una longitud suficient, si pot ser, superior al metre i mig. També cal procurar que siga el més llis possible i donar-li molt poca inclinació. I, sens dubte, cal repetir cada mesura diverses vegades, donada la dispersió dels resultats, així com treballar amb la mitjana dels resultats.



Mitjançant aquest disseny, la longitud  $L$  de plànol inclinat que recorre la bola abans de trobar-se amb el topall de baix fa el mateix paper que l'altura  $h$  a què ens referíem al disseny anterior,

amb l'avantatge que ara la “caiguda” és més lenta. La hipòtesi queda, doncs, precisada dient que la longitud del plànol recorreguda per la bola i el temps al quadrat utilitzat en la baixada, han d'ésser directament proporcionals. És a dir, es tracta de comprovar si s'acompleix que:

$$L = \text{constant} \cdot t^2 \quad \text{o bé, el que és equivalent:} \quad L/t^2 = \text{constant}$$

Per això, podem recórrer a amollar la bola des de distints punts del riell (prèviament marcats pel professor) per a què recorregui distintes longituds del mateix fins impactar contra el topall que haurem situat a la base (per exemple: 0'50 m, 0'90 m, 1'30 m i 1'70 m).

Essencialment es tracta de realitzar les mesures necessàries per omplir una taula com la següent:

L (m)	t (s)	t <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )
L <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> <sup>2</sup>
L <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> <sup>2</sup>
L <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> <sup>2</sup>
L <sub>4</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> <sup>2</sup>

Els valors de “L” coincideixen en cada cas amb la longitud de riell que recorre la bola des que s'amolla fins que impacta contra l'objecte utilitzat com topall.

Per cada valor de L es prenen tres mesures del temps i es calcula la mitjana. Aquest valor és el que ha de figurar a la columna de “t”.

Si la hipòtesi és vàlida i resulta que la caiguda de greus és un MUA, s'haurà d'acomplir l'equació  $L = \text{constant} \cdot t^2$ . Una forma senzilla de comprovar-ho és dividir cada valor de “L” entre el  $t^2$  corresponent i veure si, aproximadament, sempre s'obté el mateix nombre (cal tindre en compte que tota mesura experimental ve afectada d'un cert error).

Altra forma (més elaborada) consisteix a representar gràficament els valors de L davant els de t i veure si s'ajusten a una paràbola. Després, representar “L” front als valors de  $t^2$  i veure si s'ajusten a una recta que passa per l'origen de coordenades. En eixe cas, l'equació serà  $L = c \cdot t^2$  i, per tant, es tracta d'un MUA.

#### 6é) Procediu a la realització de l'experiment dissenyat.

Durant aquesta etapa de manipulació al laboratori solen sorgir alguns problemes tècnics que s'han de resoldre. Per exemple, en el cas del plànol inclinat podem plantejar-nos: *Com amollar l'esfera per no comunicar-li velocitat inicial?* Una forma és col·locar un regle o altre xicotet objecte semblant davant de l'esfera i retirar-lo de cop per iniciar el moviment. O també: *Com mesurar amb precisió el temps emprat en el recorregut?* Respecte a aquesta qüestió, convé que l'alumne que retira el regle siga el mateix que controle el cronòmetre (perquè així puguen fer-se les dues coses simultàniament). D'altra banda, interessa col·locar un altre topall al final del plànol, de forma que el so del xoc de l'esfera amb ell servisca de senyal per parar el cronòmetre. També cal prestar atenció en la mesura correcta de la longitud del riell recorreguda, etc.

## 2. Cinemàtica

7é) Procediu al tractament de les dades obtingudes i a la seua interpretació. A continuació elaboreu un informe, el més detallat possible, sobre el treball realitzat, on es destaquen cadascuna de les fases: plantejament precís del problema, hipòtesi emesa, dissenys, experimentals elaborats, resultats, anàlisi i conclusions, etc.

L'experiència anterior ha d'haver-nos permès comprovar que, tots els cossos, quan cauen verticalment des de xicotetes altures i sense fregament, ho fan sempre amb acceleració tangencial constant (MUA),. Sempre que el fregament amb l'aire es puga considerar menyspreable. Aquesta acceleració es coneix com acceleració de la gravetat i es designa com "g". El seu valor al nivell del mar és de  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Convé tindre present que, encara que l'experiència s'ha proposat per a un objecte que cau lliurement, els resultats són igualment vàlids per a un objecte que ha segut llançat en l'aire cap amunt. Naturalment tot açò s'ha pogut comprovar per mitjà d'experiències molt més precises que la que hem proposat ací.

Així doncs, les equacions del moviment per un objecte en caiguda lliure i vertical, a xicotetes altures sobre terra, són:

$$v = v_0 + g(t - t_0) \quad \text{i} \quad e = e_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} g(t - t_0)^2$$

### 4.2. Resolució d'alguns problemes utilitzant els coneixements construïts per a l'estudi del moviment

**A.31.** Un avió pren terra amb una rapidesa de 360 km/h en una pista de 600 m de llarga, de forma que, immediatament comença a frenar, amb una acceleració sobre la trajectòria constant i de  $6 \text{ m/s}^2$  (valor absolut). Es demana:

- Se n'eixirà o no de la pista?
- Quina serà la màxima rapidesa amb què podria prendre terra?

Per resoldre el problema farem en primer lloc un esquema en què especificarem el sistema de referència espacial i temporal que ens convé:



A l'esquema anterior, donat el criteri de signes triat i que la rapidesa (positiva) va disminuint, l'acceleració sobre la trajectòria resulta ser negativa. Com  $a_t$  és constant, el moviment és uniformement accelerat, per tant les equacions generals seran:

$$(1) \quad a_t = \text{constant}; \quad (2) \quad v = v_0 + a_t \cdot (t - t_0); \quad (3) \quad e = e_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a_t (t - t_0)^2$$

Ens convindrà prendre  $t_0 = 0$  (l'instant en què pren terra) ja que en eixe instant  $v_0 = 360 \text{ km/h} = 100 \text{ m/s}$  i  $e_0 = 0$ . Substituint les dades en les equacions anteriors, obtindrem les equacions corresponents al moviment de l'avió des que aterra.

$$a_t = -6 \text{ m/s}^2; \quad v = 100 - 6t; \quad e = 100t - 3t^2$$

Amb les tres equacions anteriors ja estem en condicions de resoldre la primera pregunta.

a) La qüestió de si se n'eixirà o no de la pista equival a preguntar-se quina seria la posició "e" de l'avió en el precís instant en què s'ature.

Si el valor de l'esmentada posició és major que la longitud de la pista, òbviament se n'eixirà.

Fent  $v = 0$  en l'equació (2) obtenim que  $0 = 100 - 6t \rightarrow t = 100/6 = 50/3 \text{ s}$

Substituint el valor de  $t$  en l'equació (3) ens queda  $e = 100 \cdot (50/3) - 3 \cdot (50/3)^2 = 833'3 \text{ m}$

Així doncs l'avió se n'eixirà de la pista, perquè  $833'3 \text{ m} > 600 \text{ m}$ .

b) Una forma d'evitar eixir-se'n de la pista és aconseguir prendre terra amb menor rapidesa. Per determinar el valor de la rapidesa màxima permès amb què pot aterrar l'avió (frenant amb la mateixa acceleració), bastarà adonar-se que, aquesta rapidesa, és el valor de  $v_0$  per a què pare just al final de la pista (aquest valor el designarem com  $v_{0\text{màx}}$ ). En altres paraules:

Les equacions d'aquest moviment seran:

$$a_t = -6 \text{ m/s}^2; \quad v = v_0 - 6t; \quad e = v_0 t - 3t^2$$

Quant ha de valdre  $v_0$  per què en l'instant en què  $v = 0$  la posició de l'avió siga  $e = 600 \text{ m}$ ?

$$\begin{array}{ll} \text{Fent } v = 0 & \text{obtidrem: } 0 = v_{0\text{màx}} - 6t \\ \text{Fent } e = 600 & \text{obtidrem: } 600 = v_{0\text{màx}} \cdot t - 3t^2 \end{array}$$

Com tenim 2 equacions i dues incògnites, podrem resoldre el sistema:

De la primera obtenim que:  $v_{0\text{màx}} = 6t$ , i substituint a la segona:  $600 = 6t^2 - 3t^2 = 3t^2$

$$\text{Aïllant } t = \sqrt{\frac{600}{3}} = \sqrt{200} = 14'14 \text{ s}$$

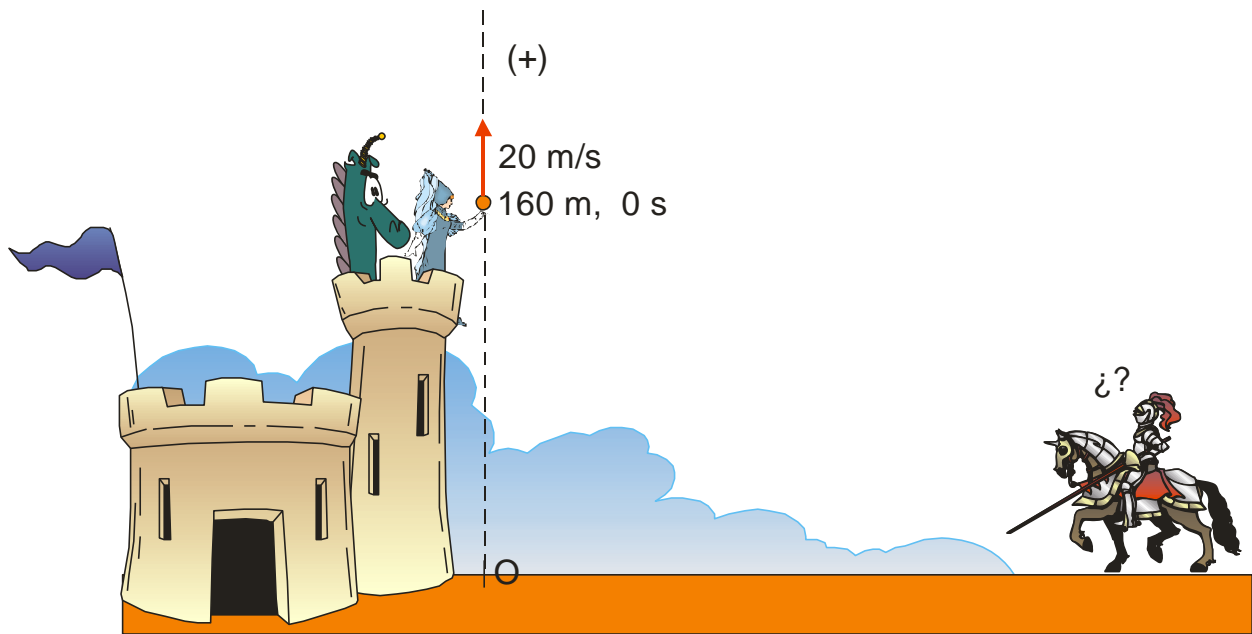
amb la qual cosa  $v_{0\text{màx}} = 6t = 6 \cdot 14'14 = 84'85 \text{ m/s} = 305'46 \text{ km/h}$

**A.32.** Des d'una torre a 160 m d'altura sobre el sòl, es llança verticalment cap amunt un cos amb una rapidesa inicial de 20 m/s. Considerant el valor absolut de l'acceleració de la gravetat  $10 \text{ m/s}^2$ , es demana:

- L'altura màxima que abastarà sobre el sòl.
- La rapidesa amb què xocarà contra el sòl.
- Elaboreu les taules de la rapidesa i de la posició en funció del temps a intervals d'1 segon, des que es llança fins que arriba a terra.
- Construïu les gràfiques corresponents a les taules anteriors i analitzeu-les.

Igual que a l'activitat anterior, començarem per realitzar un esquema on figure clarament el sistema de referència espai-temps que millor ens parega.

## 2. Cinemàtica



Una vegada llançat el cos, comença a pujar i avança cada vegada més lentament fins que, en un determinat instant, es deté (ha abastat l'altura màxima). A partir d'aquest instant comença a descendir i avança cada vegada més ràpid fins que, en un determinat instant, xoca contra el sòl.

Com es pot veure a la figura anterior, hem situat l'origen d'espai a la base de la torre i triat com posicions positives la part de dalt del terra. Hem posat en marxa el cronòmetre (origen de temps) l' instant en què es llança el cos cap amunt. Ens convindrà considerar  $t_0 = 0$  ja que sabem que, en eixe instant  $v_0 = 20 \text{ m/s}$  i  $e_0 = 160 \text{ m}$  (aquests dos valors positius, d'acord amb el criteri de signes triat). A més, sabem que el cos durant el seu moviment (pujada i baixada) estarà sotmès a la mateixa acceleració tangencial (l'acceleració de la gravetat,  $g$ ), per la qual cosa el seu moviment serà uniformement accelerat. En el nostre cas, atès el criteri de signes determinat, l'acceleració serà negativa, ja que el canvi de rapidesa sempre és negatiu (tant quan puja com quan baixa)<sup>1</sup> i aproximadament valdrà  $-10 \text{ m/s}^2$ .

Convé tindre en compte que sols hi ha un moviment (mateixa acceleració sobre la trajectòria tant al pujar com al baixar), que s'inicia quan el cos abandona la mà que el llança i acaba quan el cos arriba al sòl.

Les equacions d'aquest moviment es poden expressar com:

$$a_t = \text{constant} = g; \quad v = v_0 + g(t-t_0); \quad e = e_0 + v_0(t-t_0) + \frac{1}{2}g(t-t_0)^2$$

Substituint a les equacions anteriors les dades de què disposem, obtindrem les equacions que ens proporcionen la rapidesa i la posició en funció del temps per al moviment concret que estem estudiant (des que comença fins que acaba):

<sup>1</sup> Paga la pena adonar-se que, si en la situació plantejada haguérem escollit com part negativa de la trajectòria dalt del punt O, tindríem que  $v_0 = -20 \text{ m/s}$ ;  $e_0 = -160 \text{ m}$  i  $g = 10 \text{ m/s}^2$

- (1)  $g \approx -10 \text{ m/s}^2$   
 (2)  $v = 20-10t$   
 (3)  $e = 160+20t-5t^2$

Conegudes les equacions del moviment, podem ara respondre les preguntes que es plantegen:

**a)** Trobar l'altura màxima (mesurada des del sòl) que abasta el cos equival, en aquest cas, a calcular la posició del cos en l'instant en què  $v = 0$ . Podem conèixer l'instant en què açò succeeix imposant eixa condició en l'expressió (2), que ens proporciona  $v$  en funció del temps:

$$0 = 20-10t \rightarrow t = 2 \text{ s}$$

Ara sols hem de substituir aquest valor de  $t$  en l'equació (3):  $e = 160+20 \cdot 2-5 \cdot 2^2 = 180 \text{ m}$

Per tant:  $h_{\text{màx}} = 180 \text{ m}$  (des del sòl).

**b)** Determinar la rapidesa del cos a l'instant en què xoca contra el sòl equival a preguntar-se quina és la rapidesa amb què s'està movent en l'instant en què  $e = 0$ . Podem conèixer eixe instant fent  $e = 0$  en l'equació (3), que ens proporciona  $e$  en funció del temps.

Convé adonar-se que estem trobant la rapidesa just quan xoca amb el sòl i no una vegada que ja ho ha fet (després del xoc ja no hi ha moviment).

$$0 = 160+20t-5t^2 \quad 5t^2-20t-160 = 0 \quad t_2-4t-32 = 0 \quad t = \frac{4 \pm \sqrt{16+128}}{2} = \frac{4 \pm 12}{2} \quad t = 8 \text{ s}$$

Substituint aquest instant en l'equació de  $v$ , obtenim:  $v = 20-10 \cdot 8 = 20-80 = -60 \text{ m/s}$

Observeu que la rapidesa és negativa perquè l'objecte s'està movent de manera que, segons transcorre el temps, la posició "e" va disminuint.

**c)** Per construir les taules que ens demanen a l'enunciat, bastarà utilitzar les equacions de la rapidesa i de la posició del cos en qualsevol instant i anar donant valors a "t". Així obtenim les taules següents:

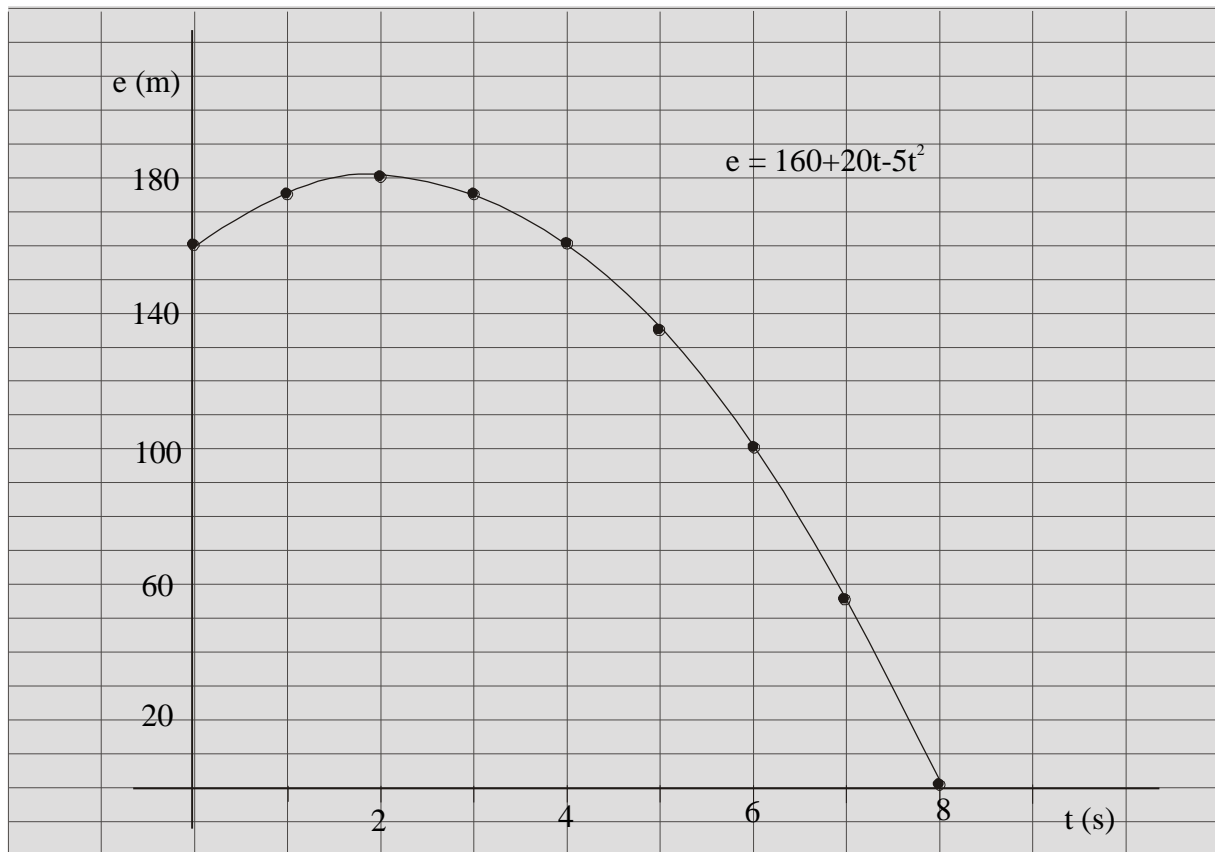
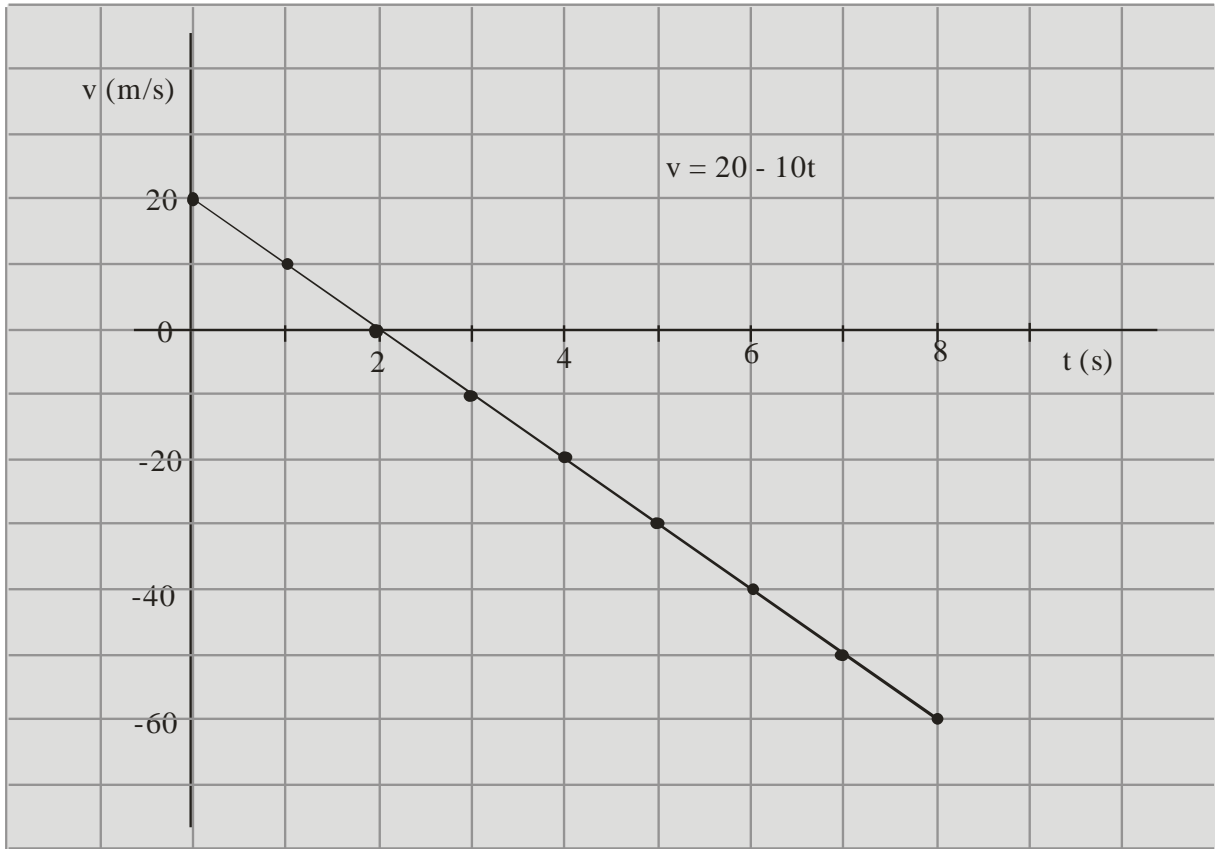
t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
v (m/s)	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60

t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
e (m)	160	175	180	175	160	135	100	55	0

A partir de les taules anteriors és fàcil adonar-se què va ocorrent amb la rapidesa i amb la posició des que es llança el cos fins que arriba al sòl en la base de la torre. Aquesta evolució es percep millor encara quan s'analitzen les gràfiques corresponents.

**d)** per construir les gràfiques corresponents a les taules anteriors bastarà representar els valors de  $v$  front a  $t$  i els valors d' $e$  front a  $t$ , seguint les normes que es detallen a l'annex 2 al final del tema. Si es fa així, s'obtindran unes gràfiques com les següents:

## 2. Cinemàtica





En la primera de les gràfiques ( $v$  front a  $t$ ) és fàcil adonar-se que la rapidesa, inicialment positiva, (20 m/s) va disminuint linealment en 10 m/s cada segon, fins que a l' instant 2 s es fa 0 (instant en què el cos abasta l'altura màxima). A continuació, la rapidesa continua variant de la mateixa manera (recordem que  $a_t$  és la mateixa durant tot el moviment), ja que ara pren valors cada vegada més negatius (-10 m/s, -20 m/s, -30 m/s, etc.).

En la segona de les gràfiques podem veure com va canviant la posició del cos amb el temps. A l'inici (pujada), la posició va augmentant cada vegada més lentament fins que, al cap de 2 s abasta el valor màxim (correspon a l'altura màxima sobre el sòl, 180 m). Tot seguit, la posició va disminuint cada vegada més, en el mateix temps (pel fet que el cos cau cada vegada més a pressa), fins que es fa 0 a l' instant  $t = 8$  s (en què el cos arriba al sòl). En la gràfica es pot veure, per exemple, que en l'interval entre 2 s i 4 s, la posició disminueix en 20 m, mentre que entre els 6 s i els 8 s, la posició disminueix en 100 m.

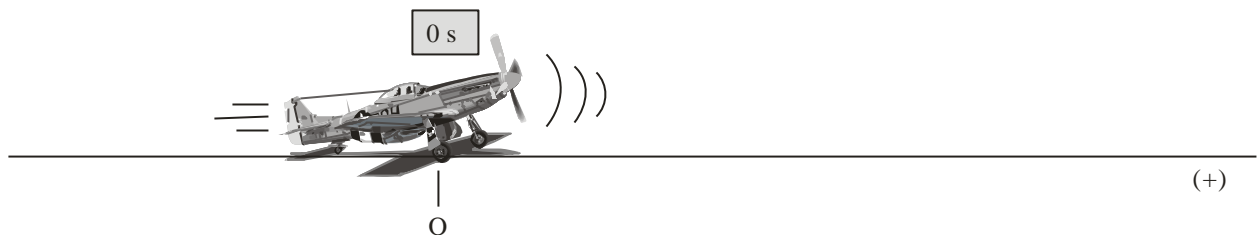
**A.33.** Un avió pren terra de manera que s'atura després de rodar per la pista 924'5 m durant 21'5 s. Si el moviment s'ha produït amb acceleració tangencial constant, determineu la rapidesa amb què ha aterrat, així com el valor de l'acceleració tangencial del moviment.

Començarem per realitzar un esquema del problema prenent com origen d'espais i temps el lloc i l' instant en què l'avió pren terra.

Si prenem  $t_0 = 0$ , la  $v_0$  serà desconeguda i  $e_0 = 0$ . En substituir aquesta informació en les equacions del M.U.A tindrem:

$$(1) v = v_0 + a_t \cdot t; \quad (2) e = v_0 t + \frac{1}{2} a_t t^2$$

Com podem veure, en aquest cas no coneguem les equacions, perquè no sabem el valor de  $v_0$  i de  $a_t$ . Així doncs, haurem de buscar a l'enunciat dades que ens permeten conèixer aquests valors.



Sabem que, en aterrar, l'avió frena amb acceleració sobre la trajectòria constant, de manera que la rapidesa anirà disminuint regularment fins que, al final, queda parat. A més, sabem que, per a  $t = 21'5$  s,  $v = 0$  i  $e = 924'5$  m. Substituint aquestes dades a les equacions anteriors:

$$(1) 0 = v_0 + a_t \cdot 21'5; \quad (2) 924'5 = v_0 \cdot 21'5 + \frac{1}{2} a_t \cdot 21'5^2$$

De l'equació (1) obtenim que  $v_0 = -a_t \cdot 21'5$  i substituint en l'equació (2):

$$924'5 = (-a_t \cdot 21'5) \cdot 21'5 + \frac{1}{2} a_t \cdot 21'5^2 \quad \text{d'on} \quad 924'5 = -a_t \cdot 21'5^2 + \frac{1}{2} a_t \cdot 21'5^2$$

Operant, obtenim que  $924'5 = -\frac{1}{2} a_t \cdot 21'5^2$  i aïllant l'acceleració:  $a_t = -4 \text{ m/s}^2$

## 2. Cinemàtica

Per trobar la rapidesa de l'avió en l'instant en què pren terra basta substituir ara en l'equació  $v_0 = -a_t \cdot 21'5$  amb el que obtenim  $v_0 = -(-4 \cdot 21'5) = 86 \text{ m/s}$ .

Podem plantejar-nos ara alguna pregunta nova com, per exemple:

*Quina distància necessitarà l'avió per parar-se si pren terra amb una rapidesa doble que l'anterior i frena amb la mateixa acceleració?*

R. No necessita el doble de distància sinó ... 4 vegades més! (és a dir: 3698 m). Es tracta d'una conclusió important, que mostra la necessitat, en general, de guardar una distància de seguretat adequada entre vehicles en circulació.

## 5. IMPACTE DELS VEHICLES A MOTOR SOBRE EL MEDI AMBIENT

L'any 2011, el nombre d'automòbils a tot el món era de més de 1000 milions. La immensa majoria funcionen a partir de combustibles derivats del petroli. S'estima que, per cada litre de carburant que es crema, s'emeten a l'atmosfera al voltant de 2'5 kg de CO<sub>2</sub> (el gas que més influeix en l'augment de l'efecte hivernacle). El trànsit urbà produeix aproximadament el 40% d'eixes emissions.

Si les coses no canvies, està previst que, per al 2040 el parc automobilístic mundial s'haurà duplicat respecte al 2011, cosa que suposarà una enorme demanda de combustibles i un impacte brutal sobre el medi ambient, no sols pel CO<sub>2</sub> emès (que ja és molt), sinó també per l'emissió d'altres contaminants (com fums, òxids de nitrogen i de sofre), la construcció de moltes més carreteres i autopistes, ciutats amb més soroll a causa del trànsit, més embussaments i accidents, etc.

Sols a Espanya, el consum total anual de gasolines i gasoil supera (amb dades referides a 2011) els 25 milions de tones a l'any. El transport per carretera representa al nostre país el 34% del consum total d'energia. La major part del transport de mercaderies es realitza per carretera. El 44% dels vehicles que circulen per carretera són particulars, mentre que la resta correspon a transport col·lectiu (autobusos) i de mercaderies (camions).

Pel que fa a la Unió Europea, el transport aeri i per carretera suposa un 70% del consum anual de petroli. L'aviació consumeix més carburant per km que qualsevol altre mitjà de transport.

*A.34. Les dades anteriors dibuixen un panorama prou preocupant respecte de l'impacte dels vehicles a motor sobre el medi ambient. Al mateix temps, no sembla possible actualment una societat no motoritzada. Quines mesures es podria prendre per intentar reduir aquest impacte?*

Les mesures que es podrien portar endavant són moltes i, entre elles, esmentem algunes a continuació, a mena d'exemple:

- ✓ Augmentar la investigació en motors més eficients (menor consum) i menys contaminants, per substituir als existents.
- ✓ Impulsar l'ús del transport col·lectiu, com els autobusos, tramvies i metro, en les ciutats i el ferrocarril en recorreguts interurbans.
- ✓ Afavorir l'ús de la bicicleta
- ✓ Penalitzar l'ús de vehicles de gran cilindrada (amb més impostos) i, particularment, dels tot-terreny, que s'utilitzen com vehicles privats a les ciutats.

Naturalment, la implantació de les mesures anteriors i altres que es puga pensar (com disminuir el límit màxim de velocitat), no és una tasca senzilla. Per començar, cal tindre en compte l'existència d'interessos en contra, com els de les grans companyies petrolieres o les multinacionals de l'automòbil. D'altra banda, existeix una enorme pressió mediàtica que ens incita contínuament a l'hiperconsum i, en conseqüència a canviar el cotxe per altre més potent, a tindre més d'un, a usar-los sense necessitat,...

## RECAPITULACIÓ

En aquest capítol ens hem plantejat com conèixer el moviment d'un cos respecte d'un sistema de referència donat. Per determinar-ho, una vegada establert el caràcter relatiu del moviment, hem començat per definir una sèrie de magnituds útils per descriure qualsevol moviment que es realitze seguint una trajectòria coneguda, com la posició, el desplaçament sobre la trajectòria, la rapidesa i l'acceleració sobre la trajectòria. A continuació, hem passat a estudiar dos tipus de moviment especialment importants: l'uniforme i l'uniformement accelerat; una vegada establertes les equacions d'aquests moviments, hem vist com podien aplicar-se per resoldre problemes i explicar un cas pràctic especialment important, com és el de la caiguda de greus.

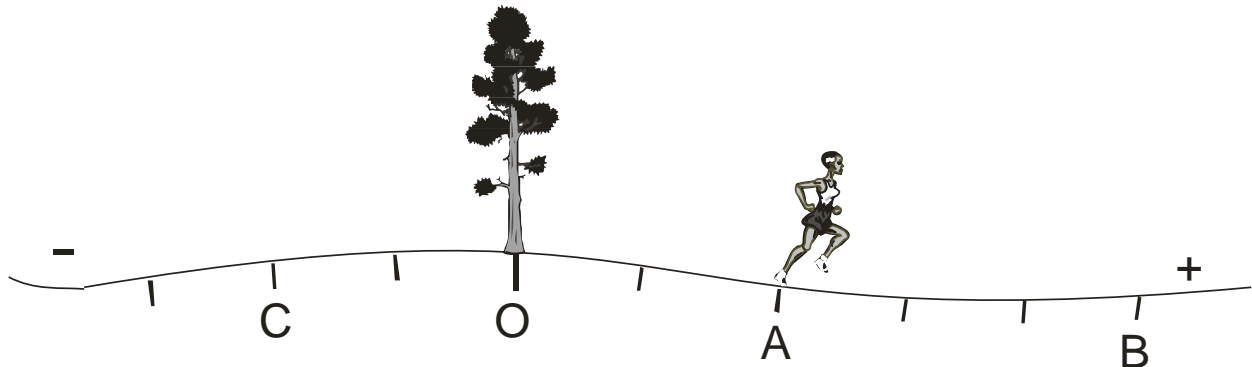
*A.35. L'estudi de la caiguda de greus ens ha permès qüestionar una idea intuïtiva molt estesa, consistent en pensar que existeix una proporcionalitat inversa entre el pes dels cossos i el temps que dura la caiguda (quan s'amollen des d'una mateixa altura), de forma que, si un cos pesa el doble que altre, la durada de la caiguda del primer hauria d'ésser just la meitat que la del segon. Esperem que haja quedat clar i que sigueu capaços de criticar adequadament des del punt de vista de la física el que s'afirma en les següents vinyetes d'un còmic:*



## 2. Cinemàtica

### 1. CINEMÀTICA. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES

1. L'esquema següent representa una trajectòria fixa dividida en trossos de 5 m cadascun. Una persona s'està movent per eixa trajectòria. Es demana:



- Valor de la posició "e" quan passe per A, B i C (recordeu que cada divisió són 5 m)
- Canvi de posició " $\Delta e$ " quan vaja: Des d'A fins B. Des de B fins C. Des d'A fins A, passant abans per B.
- Distància total recorreguda en cadascun dels tres casos anteriors

2. La taula següent mostra els canvis de posició de tres mòbils, així com els temps emprats per aconseguir-los, en distintes unitats. Ordeneu justificadament A, B, i C, de menor a major rapidesa mitjana.

	A	B	C
$\Delta e$	126 km	100 m	900 m
$\Delta t$	0'5 h	9 s	3 minuts

3. Un corredor d'atletisme realitzà els 100 m en 9'8 s. Un ciclista va d'un poble a un altre (distsants 9 km) en 12 minuts. Trobeu la rapidesa mitjana de cadascun d'ells en km/h.

4. Què significa que la rapidesa mitjana d'un mòbil és de 30 m/s? I de -30 m/s?

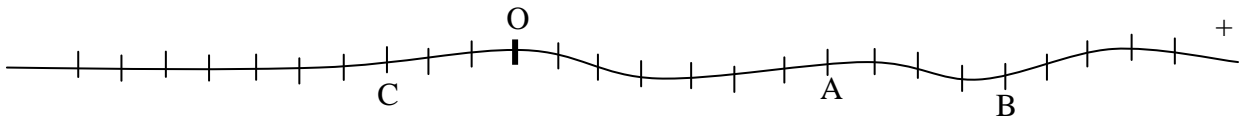
5. A la figura adjunta s'ha representat una trajectòria i quatre cossos que s'estan movent al llarg de la mateixa. Sabent que cada divisió és 1 m, que la rapidesa de tots ells, en valor absolut, és la mateixa (3 m/s) i que la fletxa indica el sentit del moviment, per a cadascun es demana: posició i rapidesa amb el signe corresponent, a l'instant representat.



R.  $e_P = -9\text{m}$ ,  $v_P = 3 \text{ m/s}$ ;  $e_Q = -3\text{m}$ ;  $v_Q = -3 \text{ m/s}$ ;  $e_R = 7\text{m}$ ;  $v_R = -3 \text{ m/s}$ ;  $e_S = 13\text{m}$ ;  $v_S = 3 \text{ m/s}$

6. És possible que un mòbil recorregui una certa distància i que la rapidesa mitjana amb què ho haja fet siga 0? Raoneu la resposta.

7. Un mòbil es desplaça des del punt A fins al B i, des d'aquest, fins al C. Sabent que passa per cadascun d'eixos punts als instants 0 s, 5 s, i 12 s respectivament, es demana:



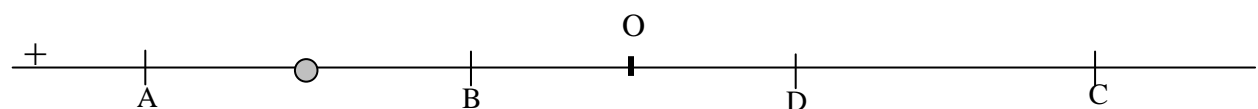
- Rapidesa mitjana entre A i B; entre B i C; entre A i C (cada divisió val 1 m)
- Distància recorreguda i canvi de posició en l'interval de temps comprès entre 0 i 12 s.

8. Assigneu el signe que corresponga a la rapidesa i a l'acceleració sobre la trajectòria en cadascun dels casos següents (tots ells referits al mòbil representat a la figura per un cercle).



- Es mou cap a la dreta cada vegada més a pressa.
- Es mou cap a la dreta cada vegada més lent.
- Es mou cap a l'esquerra cada vegada més ràpid.
- Es mou cap a l'esquerra cada vegada més lent.

9. S'ha mesurat la rapidesa del mòbil de la figura a intervals de temps de 2 segons i, amb les dades arreplegades, s'ha elaborat la taula adjunta.



	A	B	C	D
t (s)	0	2	4	6
v (m/s)	-8	-6	0	3

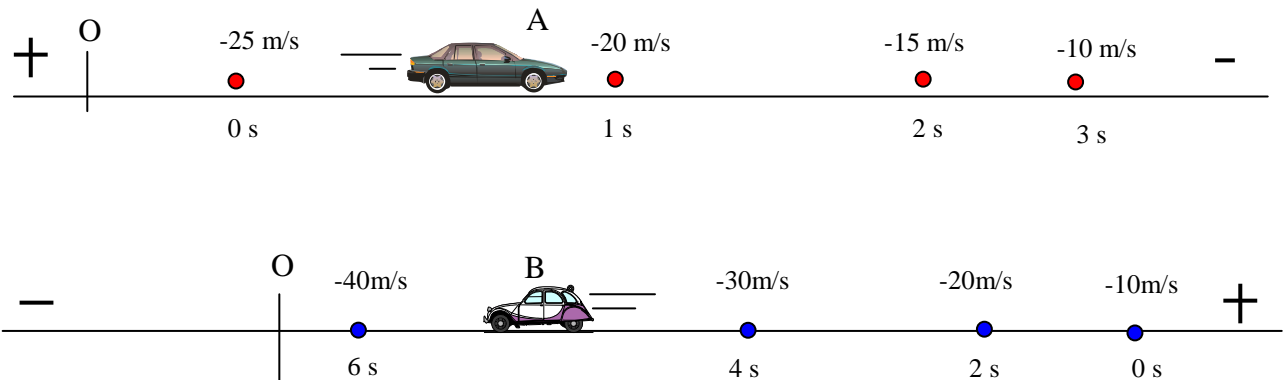
Calculeu l'acceleració tangencial mitjana entre A i C i entre C i D, interpretant els signes obtinguts.

R. Entre A i C la  $a_t = 2 \text{ m/s}^2$ ; entre C i D la  $a_t = 1,5 \text{ m/s}^2$

10. Expliqueu amb detall què li ocorre a un cos que es mou a 40 m/s per una trajectòria rectilínia quan el sotmetem a una acceleració tangencial constant de  $-5 \text{ m/s}^2$ .

## 2. Cinemàtica

11. Als esquemes següents s'ha representat el moviment de dos vehicles sotmesos a una acceleració constant sobre la trajectòria. Obteniu el valor (amb el signe corresponent) de l'acceleració sobre la trajectòria en cada cas.



R. a)  $a_t = 5 \text{ m/s}^2$ ; b)  $a_t = -5 \text{ m/s}^2$

12. Tres mòbils A, B, i C, han experimentat els següents canvis de rapidesa:

- A ha passat de 20 km/h a 100 km/h, en 8 s
- B ha passat de 20 m/s a 50 m/s, en 2 minuts
- C ha passat de 0 a 35 m/s, en 5 s.

Ordeneu-los raonadament de menor a major valor mitjà de l'acceleració tangencial.

R. B ( $a_t = 0,25 \text{ m/s}^2$ ); A ( $a_t = 2,8 \text{ m/s}^2$ ); C ( $a_t = 7 \text{ m/s}^2$ )

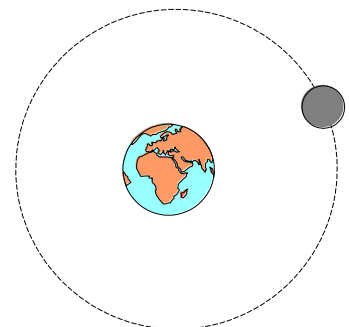
13. Una persona que no ha estudiat física afirma que, dir que l'acceleració d'un cotxe és de  $5 \text{ m/s}^2$  significa que, si la manté constant, recorrerà sempre 5 m per cada segon que passe. Expliqueu en què s'equivoca i doneu el significat físic correcte d'aquest enunciat.

14. Una moto entra en una corba a 108 km/h i, per no eixir-se'n, frena, reduint la rapidesa fins a 72 km/h en 2 s. Determineu el valor de l'acceleració mitjana sobre la trajectòria " $a_{tm}$ " en  $\text{m/s}^2$ .

R.  $a_t = -5 \text{ m/s}^2$

15. Una persona afirma que, si una bicicleta va sempre a 15 km/h, significa que porta una velocitat constant. Expliqueu en què s'equivoca des del punt de vista científic i poseu un exemple en què açò no ocorre.

16. El moviment de la Lluna al voltant de la Terra pot considerar-se com un moviment uniforme, de trajectòria circular amb centre en la Terra. Realitzeu un esquema gràfic, dibuixant vectors representatius de la velocitat i l'acceleració per a tres posicions distintes de la Lluna.



**17.** L'acceleració és una magnitud vectorial que mesura la rapidesa amb què canvia la velocitat (altra magnitud vectorial). Assenyaleu vertader o fals per a cadascuna de les següents proposicions, explicant el motiu.

- El vector acceleració sempre té la mateixa direcció i sentit que el vector velocitat.
- Com major és la velocitat d'un cos, major és la seua acceleració.
- El vector acceleració mitjana sempre té la mateixa direcció i sentit que el vector  $\Delta \vec{v}$
- El vector acceleració pot tindre distinta direcció que el vector velocitat.
- És possible que  $a_t = 0$  però que  $\vec{a} \neq 0$

**18.** Expliqueu, amb el major detall possible, què li ocorre a un cos que es troba inicialment en la posició 80 m, si es mou amb una rapidesa constant de  $-20$  m/s. On es trobarà a l' instant  $t = 7$  s? Quina distància total haurà recorregut en eixe temps?

R.  $e_7 = -60$  m;  $D = 140$  m

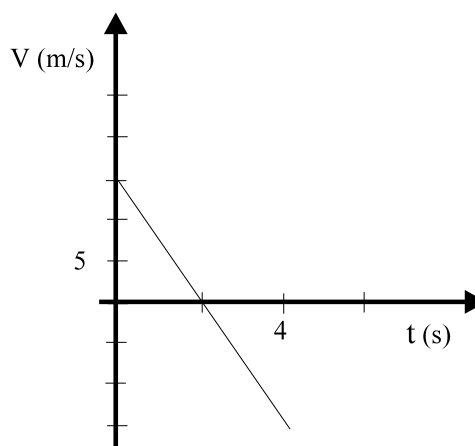
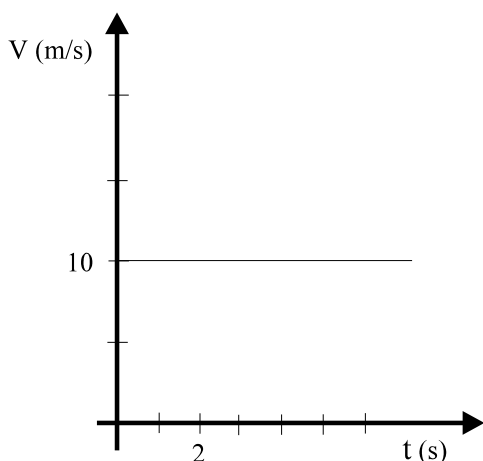
**19.** Un cos es mou amb moviment uniformement accelerat, amb les següents característiques: La trajectòria és recta,  $t_0 = 0$ ;  $v_0 = 10$  m/s;  $e_0 = 20$  m;  $a_t = -2$  m/s<sup>2</sup>.

- Expliqueu qualitativament el moviment.
- Escriviu les equacions  $v = v(t)$  i  $e = e(t)$ .
- Construiu i interpreteu les gràfiques  $e-t$  i  $v-t$ .
- Dibuixeu una possible trajectòria i assenyaleu sobre ella (de forma qualitativa) la posició del mòbil als instants: 0, 1, 2, 3, 4, 5 i 6 s. Interpreteu l'esquema obtingut.

**20.** Doneu el camp de validesa de les següents expressions d'ús freqüent:

- a)  $e = v \cdot t$ ; b)  $a_t = v/t$ ; c)  $e = a_t \cdot t^2/2$

**21.** En les dues gràfiques següents es representa el moviment de dos cossos que, a l' instant inicial, es trobaven a l'origen. Interpreteu cadascun dels moviments representats i, a continuació, procediu a construir la gràfica  $e-t$  de cadascun d'ells.



## 2. Cinemàtica

**22.** Un objecte es mou de forma que la seua posició sobre la trajectòria ve determinada per l'expressió:  $e = 5 + 2 t^2$  m. Es demana:

- a) Extraieu tota la informació possible sobre el moviment que porta: tipus de moviment, valors de la rapidesa i posició inicial, l'acceleració  $a_t$ , el sentit en què es mou i l'equació de la rapidesa en funció del temps  $v = f(t)$ .  
b) Calculeu quina serà la seua rapidesa a l'instant  $t = 4$  s.

R. a)  $t_0 = 0$ ;  $v_0 = 0$ ;  $e_0 = 5$  m;  $a_t = 4$  m/s<sup>2</sup>; b)  $v = 16$  m/s

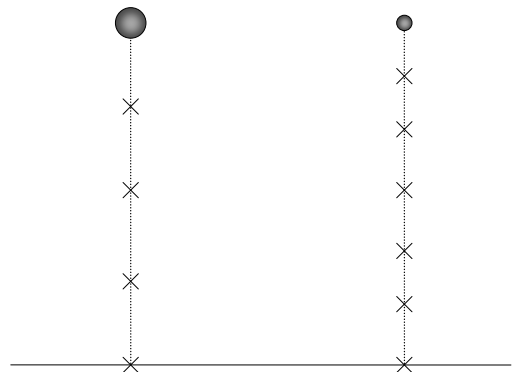
**23.** Un mòbil es desplaça segons l'equació  $v = 50 - 10 t$  m/s (si  $t$  en s) per una trajectòria recta. Expliqueu amb el major detall possible de quin tipus de moviment es tracta i què li ocorre al mòbil segons va passant el temps. Sabent que comença a l'origen d'espais quan  $t = 0$  s, calculeu la posició al cap de 7 s. Dibuixeu la trajectòria i assenyalau sobre la mateixa les successives posicions del mòbil a intervals d'un segon. Representeu gràficament  $v-t$  i  $e-t$ . R.  $e_7 = 105$  m

**24.** Una moto va a 108 Km/h per la ciutat quan el conductor frena (amb acceleració sobre la trajectòria constant) per no atropellar a una persona que es trobava a 29'5 m de distància, aconseguint parar en sols 2 s. Va parar a temps d'evitar l'accident? R. No

**25.** Un cotxe, inicialment en repòs, va augmentant la rapidesa amb una acceleració de 3 m/s<sup>2</sup>, fins que aconsegueix una rapidesa de 108 Km/h. Segueix amb la mateixa rapidesa durant 2 segons i, després, frena, quedant parat en 5 s més. Calculeu la distancia total, en metres, recorreguda pel cotxe des que va començar el moviment. Representeu les gràfiques  $e-t$  i  $v-t$ .  
R.  $D = 285$  m

**26.** Un cert tipus d'avió necessita abastar una velocitat mínima de 288 Km/h per començar a elevar-se. Aquest avió té uns motors capaços de proporcionar-li una acceleració màxima de 5 m/s<sup>2</sup>. Quina longitud mínima haurà de tindre la pista? R. 640 m

**27.** Li han demanat a un alumne que marque amb creus, a intervals regulars de temps, la posició de dues masses d'1 kg i 2 kg, respectivament, que es deixen caure al mateix temps i des de la mateixa altura (considerant el fregament menyspreable). En fer-ho així, ha presentat el dibuix adjunt. Expliqueu els dos errors que ha comès.



**28.** Des del punt més alt d'una torre de 80 m es llança verticalment i cap amunt un cos, amb una rapidesa inicial de 20 m/s. Es demana:

- a) Un dibuix esquemàtic del problema, indicant el punt que es pren com origen de la trajectòria i el criteri de signes escollit.  
b) Altura màxima (mesurada des de terra), que abastarà.  
c) Rapidesa que portarà quan passe per una finestra situada a la meitat de la torre.  
d) Rapidesa en el precís instant que arriba a terra (en la base de la torre).

R. b)  $h = 100$  m; c)  $v = -34'6$  m/s; d)  $v = -44'7$  m/s



**29.** Es llança verticalment cap amunt un projectil, des de terra, amb una certa rapidesa, comprovant-se que tarda 4 s a aconseguir l'altura màxima. Es demana:

- Rapidesa amb què s'ha llançat i altura màxima que aconseguix.
- Quina altura màxima hauria abastat i quant de temps hauria tardat, si s'haguera llançat amb el doble de rapidesa?

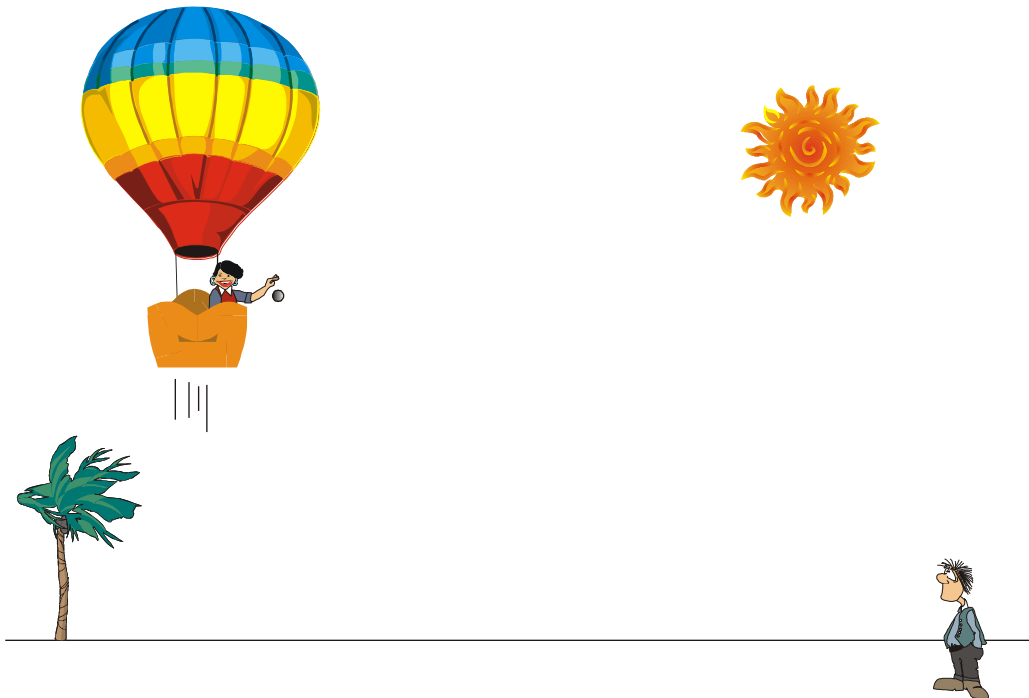
R. a)  $v_0 = 40 \text{ m/s}$ ;  $h = 80 \text{ m}$ ; b)  $h = 320 \text{ m}$ ;  $t = 8 \text{ s}$ .

**30.** Des del punt més alt d'una torre de 50 m, es deixa caure una pedra (considereu  $g = 10 \text{ m/s}^2$  i el fregament menyspreable). Es demana:

- Amb quina rapidesa xocarà contra terra? Analitzeu el resultat.
- Quina serà la rapidesa de la pedra en el moment que passa just per la meitat de la torre?
- Construïu la gràfica  $v = v(t)$  i  $e = e(t)$  per al moviment complet de caiguda de la pedra.

R. a)  $v = -31,6 \text{ m/s}$ ; b)  $v = -22,4 \text{ m/s}$

**31.** Des d'un globus que està pujant amb una rapidesa de 5 m/s es deixa caure una pedra d'1 kg en el moment en què es troba a 100 m d'altura sobre terra. Considerant  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (en valor absolut) i suposant que no influeix el fregament amb l'aire, es demana:



- Rapidesa en el moment del xoc contra terra.
- Si la pedra haguera tingut 2 kg de massa, quant hauria tardat a arribar a terra?

R. a)  $v = -45 \text{ m/s}$ ; b)  $t = 5 \text{ s}$ .

NOTA: En alguns dels exercicis proposats, el signe dels resultats pot variar del que s'ofereix, en funció del criteri de signes utilitzat en la resolució. En general, per a la caiguda de greus, hem considerat cap amunt positiu.

## 2. CINEMÀTICA. ANNEX 1. INTRODUCCIÓ AL CàLCUL VECTORIAL

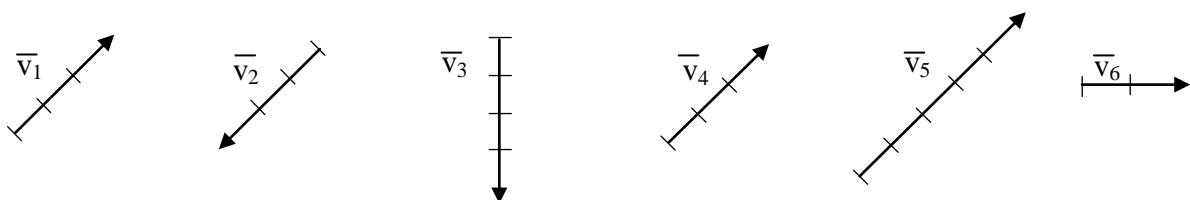
### 1. MAGNITUDS ESCALARES I VECTORIALS

En física hi ha magnituds com el temps, la temperatura, la massa, el volum, l'energia, la càrrega elèctrica, etc., que queden perfectament definides mitjançant un valor numèric acompanyat de la unitat de mesura utilitzada. Així, per exemple, podem parlar d'un temps de 3 s, una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$ , una massa de 60 kg, un volum de 5 l, una energia de 15000 J, una càrrega de  $-1'6 \cdot 10^{-19}$  C, etc. Aquest tipus de magnituds s'anomenen **escalars**. En canvi, per tindre una idea precisa d'altres magnituds no és prou amb conèixer el seu valor numèric, sinó que cal especificar també la seua direcció i el seu sentit. Aquest és el cas, per exemple, de la força. Es comprèn que, en aplicar una força de 400 N a un cos, el seu efecte pot ser ben distint depenent de la direcció i sentit en què actua. En efecte, si volem agafar un llibre de terra i posar-lo en un estant elevat, sabem que hem de fer una certa força sobre ell, però no se'ns ocorre fer-la de costat o cap avall. Anàlogament, tampoc és prou dir que un automòbil es mou a 100 km/h, ja que si, per exemple, s'allunya de nosaltres, no serà el mateix que si es dirigeix directament cap al punt on ens trobem. Aquest altre tipus de magnituds es denominen magnituds **vectorials**.

Com podeu imaginar, les operacions habituals de sumar, restar, etc., no poden fer-se de la mateixa forma amb magnituds escalars que amb vectorials. La suma d'una massa de 6 kg amb una altra massa de 4 kg sempre donarà una massa total de 10 kg. En canvi, la suma d'una força de 15 N amb una altra de 10 N, dependrà de la direcció i sentit de cadascuna d'elles. Ja que les magnituds vectorials són molt importants en la Física –i seran molt utilitzades en aquest curs– calgué inventar formes de representar-les, de sumar-les i restar-les, etc., que tingueren en compte no sols el valor numèric, sinó també la seua direcció i sentit.

La forma què es va inventar (fa segles) per expressar magnituds vectorials de manera que fóra possible operar tenint en compte la seua direcció i sentit, consistí en utilitzar segments rectilinis orientats, als que s'anomenà **vectors**, la longitud dels quals indica el valor numèric (positiu) de la magnitud o **mòdul**, la recta que conté al segment (i totes les seues paral·leles) la **direcció**, i la punta de la fletxa que es col·loca en un dels extrems del segment, el **sentit** (l'altre extrem s'anomena "origen"). Per conveni, una magnitud vectorial, o un vector, se simbolitza amb una lletra que porta una fletxa al damunt (per exemple  $\vec{F}$ ) o amb negreta (per exemple **F**) i el mòdul d'un vector, amb el mateix símbol entre dues barres verticals (per exemple  $|\vec{F}|$ ), o simplement mitjançant una lletra sense fletxa dalt (per exemple F).

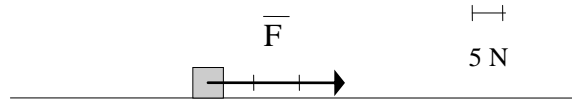
*A.1. Analitzeu els vectors velocitat representats, comparant mòdul, direcció i sentit.*



Considerant que les magnituds físiques vectorials, com la força o la velocitat, es coneixen realment quan sabem el seu valor numèric, la direcció i el sentit, podem utilitzar els vectors per a representar-les de forma que:

- El mòdul del vector represente el valor numèric (absolut) de la magnitud.
- La direcció del vector i el seu sentit coincidiscuen amb les de la magnitud representada.

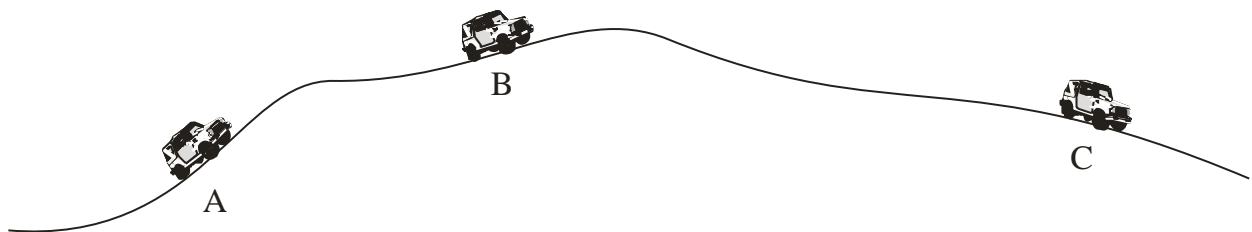
Així, per exemple, si volem representar una força de 15 N actuant sobre un cos que es troba sobre un pla horitzontal i que s'exerceix paral·lelament al mateix i cap a la dreta, podem fer-ho mitjançant el vector  $\vec{F}$  que es mostra a la figura següent:



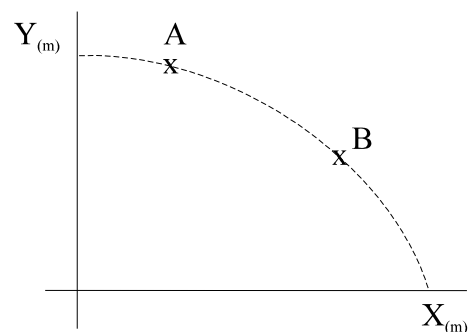
En resum, tot vector presenta tres característiques: mòdul o longitud, direcció i sentit.

Perquè dos vectors siguin diferents és suficient amb què es diferenciïn en una sola d'aquestes característiques.

**A.2.** Un vehicle circula per la trajectòria representada en la figura. En passar pels punts A, B i C, el conductor mira el velocímetre i anota 60 km/h, 100 km/h i 120 km/h respectivament. Representeu, mitjançant els vectors apropiats, la velocitat del vehicle en cada posició.



**A.3.** Es dispara un projectil horitzontalment des d'una certa altura. La figura adjunta representa la trajectòria seguida pel projectil, prenent com sistema de referència els eixos de coordenades especificats. Sabent que, en el punt A, es movia a 30 m/s i en el punt B a 90 m/s, dibuixeu un vector representatiu de la velocitat del projectil i un altre del seu pes en cadascun dels esmentats punts.



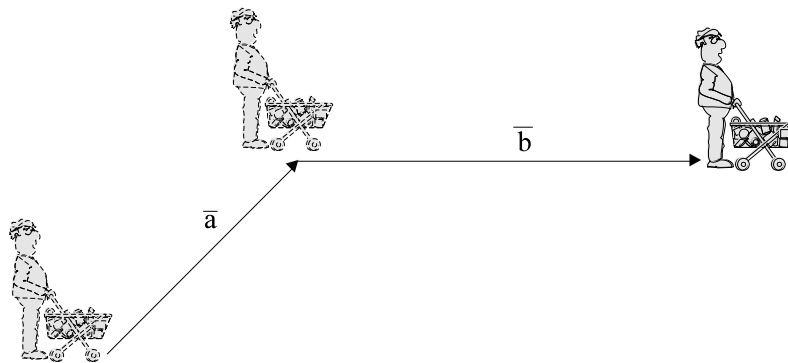
**A.4.** Una persona afirma que dues forces de 50 N cadascuna són, per força, iguals. Expliqueu en què s'equivoca.

Si, per exemple, pensem en dues forces de 50 N cadascuna actuant sobre un mateix cos (considerat puntual), no s'obté el mateix resultat si ambdós forces tenen el mateix sentit que si van en sentit contrari. En el primer cas la força resultant és de 100 N, mentre en el segon val 0. No és prou, doncs, que dues forces o dues magnituds vectorials qualsevol tinguin el mateix mòdul, perquè es puga afirmar que són iguals, és necessari, a més, que tinguin la mateixa direcció i sentit.

## 2. ÀLGEBRA ELEMENTAL DE VECTORS

## 2.1. Obtenció del vector suma d'altres dos

A.5. Una persona realitza un desplaçament donat pel vector  $\vec{a}$ . Després efectua altre desplaçament donat pel vector  $\vec{b}$ . Dibuixeu un vector que represente el desplaçament resultant o suma dels desplaçaments anteriors:  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$ . A continuació, feu una proposta general per sumar gràficament dos vectors qualssevol, detallant els passos a seguir.

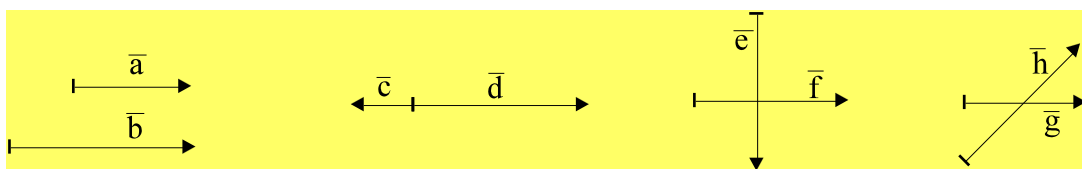


De la realització de l'activitat anterior ha de quedar clar que, un procediment general per dibuixar el vector suma d'altres dos vectors qualsevol pot ser:

**1r)** Posar un vector a continuació de l'altre, sense canviar **en res** cap dels dos. (Això suposa que l'extrem d'un, el primer, estiga en contacte amb l'origen de l'altre, el segon).

**2n)** Dibuixar el vector que va des de l'origen del primer fins a l'extrem del segon. Aquest serà el vector suma.

A.6. Apliqueu el que heu après a l'activitat anterior per sumar gràficament els vectors que es donen a continuació. Finalment obteniu l'expressió apropiada per calcular el mòdul del vector suma en els tres primers casos.



Analitzant els dos últims casos proposats en l'activitat anterior és fàcil adonar-se que un altre mètode per dibuixar el vector suma d'altres dos que tinguen distinta direcció, consisteix a disposar primer aquests dos vectors amb un origen comú (sempre sense canviar cap de les seues característiques) i, després, traçar la diagonal del paral·lelogram que formen. D'altra banda, en tots els exemples utilitzats podem veure que s'acompleix la propietat commutativa i que dona igual l'ordre en què es realitza la suma.

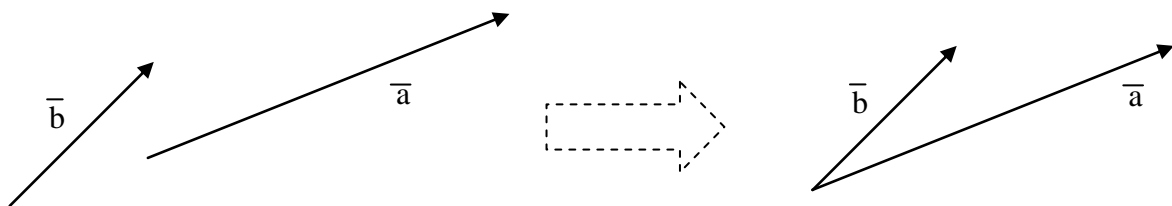
## 2.2. Obtenció del vector diferència d'altres dos

En moltes situacions d'interès ens cal restar dos vectors. Per exemple, quan volem determinar el canvi experimentat en la velocitat amb què es mou un cos.

Podem pensar que el vector diferència d'altres dos  $\vec{a} - \vec{b}$  és el vector  $\vec{d}$  que li falta a  $\vec{b}$  per ser igual que  $\vec{a}$ . És a dir, el vector  $\vec{d}$  serà aquell que, sumat amb el subtrahend (en aquest cas  $\vec{b}$ ), ens done el minuend (en aquest cas  $\vec{a}$ ), ja que de  $\vec{a} - \vec{b} = \vec{d}$  es dedueix que  $\vec{a} = \vec{d} + \vec{b}$ .

Açò fa que, si sabem sumar vectors, sapiguem també restar-los, perquè sols cal col·locar els dos vectors  $\vec{a}$  i  $\vec{b}$  (tenint cura de no canviar les característiques), de forma que siga fàcil obtenir el vector que, sumat al subtrahend ens done el minuend, com veurem a continuació.

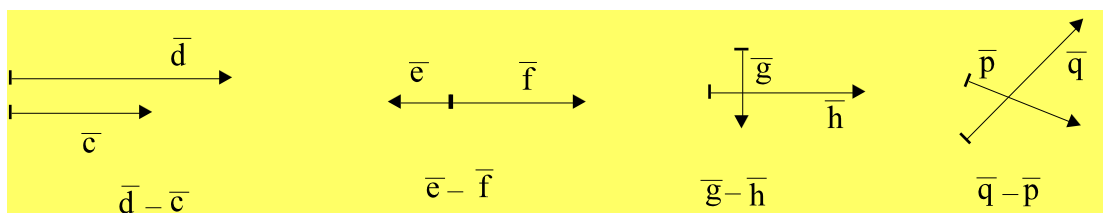
**A.7.** Donats els dos vectors de la figura adjunta, dibuixeu el vector diferència  $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$ . A continuació, feu una proposta general per restar gràficament dos vectors qualssevol detallant els passos a seguir.



L'activitat anterior permet comprendre que, per a dibuixar el vector resta o diferència d'altres dos, es poden seguir els passos següents:

- 1r)** Posar els dos vectors amb origen comú sense canviar cap de les seues característiques.
- 2n)** Dibuixar el vector resta mitjançant una fletxa que vaja des de l'extrem del subtrahend fins a l'extrem del minuend. (La punta de la fletxa ha de coincidir així amb l'extrem del minuend).
- 3r)** Comprovar que, efectivament, si se suma el vector  $\vec{d}$  al subtrahend s'obté el minuend.

**A.8.** Apliqueu el que heu après a l'activitat anterior per restar gràficament els vectors que es donen a continuació, dibuixant en cada cas el vector resta que es demana. Finalment, obteniu l'expressió apropiada per calcular el mòdul del vector resta en els tres primers casos.



Fins ací hem vist operacions amb vectors. Tot seguit veurem què ocorre quan un vector es multiplica (o divideix) per un nombre.

## 2. Cinemàtica

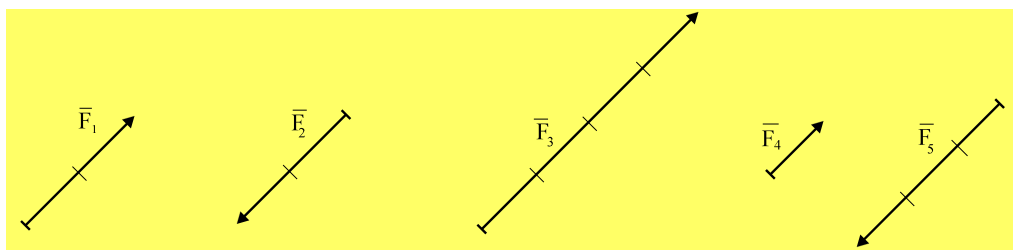
### 2.3. Producte d'un vector per un nombre.

**A.9.** El cuiner que porta la safata de l'esquerra fa una força cap amunt de 10 N. En canvi, per a transportar el pastís de la dreta ha de triplicar la força. Dibuixeu en aquest últim cas un vector representatiu de la força i, tot seguit, raoneu què ocorre quan un vector es multiplica per un nombre positiu. I si aquest fóra negatiu?



Mitjançant l'activitat anterior podem adonar-nos que, sempre que un vector es multiplica per un nombre, s'obté altre vector, el mòdul del qual és igual al del primer, multiplicat pel valor absolut del nombre, i el sentit del qual és el mateix que el del primer, si el nombre és positiu, però oposat al del primer, quan el nombre és negatiu. Anàlogament ocorre quan un vector es divideix per un nombre (donat que dividir per un nombre  $n$  equival a multiplicar per  $1/n$ ).

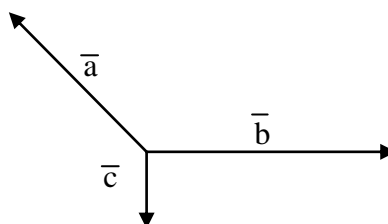
**A.10.** Apliqueu les conclusions anteriors per raonar quina relació guarden els vectors força representats en els quatre últims casos de la figura, amb el vector força del primer.



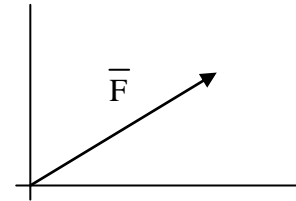
Comparant el mòdul, la direcció i sentit del primer vector amb les dels posteriors, podem veure que, per exemple, la relació amb l'últim pot expressar-se com:  $\vec{F}_5 = -1'5 \cdot \vec{F}_1$ . Procediu de manera anàloga en els altres tres casos.

Per acabar aquest apartat, proposem un parell d'activitats en les que s'utilitzen algunes de les operacions introduïdes.

**A.11.** Dibuixeu el vector suma dels tres vectors representats a la figura següent.

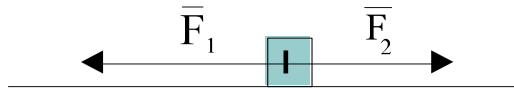


**A.12.** Donat el vector força  $\vec{F}$  de la figura adjunta, trobeu altres dos vectors perpendiculars entre ells (i que estiguen sobre els eixos indicats), la suma dels quals ens done el vector  $\vec{F}$ . A continuació, suposant  $F = 5$  i que el mòdul d'un dels components val 4, determineu quant valdrà el mòdul de l'altre vector component.



**A.13.** Es va proposar a uns estudiants que sumaren les forces representades a la figura adjunta, els mòduls de les quals són:

$$|\vec{F}_1| = 4 \text{ N} \text{ i } |\vec{F}_2| = 3 \text{ N}.$$



A continuació s'han seleccionat algunes respostes errònies. Analitzeu cadascuna d'elles, explicant en què consisteix l'equivocació.

a)  $\vec{F}_{res} = 4+3 = 7 \text{ N}$ ;      b)  $\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = 4-3 = 1 \text{ N}$ ;      c)  $|\vec{F}_{res}| = |\vec{F}_2| - |\vec{F}_1| = 1-4 = -3 \text{ N}$

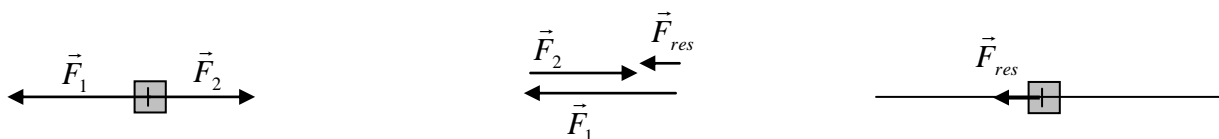
En els dos primers casos es comet la mateixa equivocació, que es dona amb certa freqüència: S'expressa un vector com un sol nombre. En el cas b) a més, es comet l'equivocació d'expressar el vector força resultant com la resta de dos vectors.

Hem de tindre en compte que el vector força resultant **sempre** és la suma de les forces, independentment de la direcció i sentit que puguen tindre les esmentades forces entre elles. En el cas representat en l'activitat, encara que les forces tenen sentit contrari hem d'escriure que:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Ara be, en aquest cas les dues forces tenen la mateixa direcció, però sentit contrari, per tant, el mòdul de la força resultant (suma de les dues forces) s'haurà d'obtenir restant al mòdul major el menor, la qual cosa condueix a  $|\vec{F}_{res}| = |\vec{F}_1| - |\vec{F}_2| = 4-3 = 1 \text{ N}$ .

El vector  $\vec{F}_{res}$  estarà dirigit cap a l'esquerra.



Atès que el mòdul d'un vector està directament relacionat amb la grandària (longitud) del mateix, el seu valor mai pot ser un nombre negatiu, com es proposa a la tercera resposta.

## 1. CINEMÀTICA. ANNEX 2. NORMES PER A LES REPRESENTACIONS GRÀFIQUES

Quan es tracta de fer representacions gràfiques, per interpretar la possible relació existent entre dues magnituds físiques, hi ha una sèrie de normes que convé tindre en compte. A continuació veurem algunes d'elles:

- ✓ Utilitzar paper mil·límetrat (o, en el seu defecte, quadriculat).
- ✓ La gràfica ha de portar un títol prou clar a la part superior i, sobre ambdós eixos, als extrems dels mateixos, s'ha d'indicar la magnitud representada, acompanyada de la unitat utilitzada per mesurar-la.
- ✓ La variable independent es col·loca a l'eix d'abscisses i la dependent al d'ordenades.
- ✓ Les escales sobre els dos eixos han d'ésser fàcilment subdivisibles, per permetre així una ràpida i senzilla lectura. Per exemple, posar una unitat cada 7 quadrats, faria realment difícil la ubicació de molts valors. És millor que el nombre de quadrats o mil·límetres per a cada unitat de l'escala, siguin 1, 2, 5, 10, 20, 50, etc., segons convinga.
- ✓ Per descomptat, una vegada fixada l'escala, les unitats en un eix han de ser iguals entre elles (no val que en el mateix eix una unitat valga 5 mil·límetres i la següent, 10).
- ✓ Les escales utilitzades en cada eix no han de ser necessàriament iguals, però cal tindre cura i evitar utilitzar escales inadequades que facen que la gràfica ens ixca descentrada, per exemple, massa "pegada" a un dels eixos. Així, si els valors d'una de les magnituds són molt xicotets, podem prendre l'escala de l'eix en què es representen de manera que, per exemple, cada 20 quadrats equivalguen a una unitat. Per contra, si hem de representar valors molt grans, podem fer que, per exemple, cada 10 quadrats equivalguen a 1000 unitats.
- ✓ Els valors experimentals no s'escriuen sobre els eixos, excepte els que casualment coincideixen amb les divisions de les escales.
- ✓ En cadascun dels eixos s'indiquen valors enters corresponents a cadascuna de les escales i tan sols els necessaris per facilitar una lectura còmoda i ràpida. Els esmentats valors han de quedar així uniformement espaiats i sense amuntegar-se massa (p.e. en compte d'1,2,3,4,5, ..., es pot escriure 2, 4, 6 ...).
- ✓ Les escales a utilitzar han de projectar-se tenint en compte (a més que puguin subdividir-se fàcilment), l'interval de valors de què es disposa, al qual han d'abastar totalment (encara que, per aconseguir-ho, de vegades no es pose el zero de l'escala a l'origen de coordenades). D'altra banda, l'escala ha de ser la major possible en relació a la grandària que ha de tindre la gràfica, de forma que no se'ns quede massa tros d'eixos "sobrants".
- ✓ És millor realitzar primer la gràfica amb llapis i sense fer pressió. Les línies han de ser "fines" i "contínues", mai trencades, fent un promig pels punts experimentals obtinguts, sense que necessàriament hagen de passar per tots ells i sense que queden els traços dibuixats per situar els punts.
- ✓ Coneguda la relació entre les dues magnituds, s'enunciarà en forma d'equació a la part superior de la gràfica.



### 3. LES CAUSES DEL CANVI DE MOVIMENT (DINÀMICA)

Fins ací hem introduït algunes magnituds, necessàries per poder **descriure** el moviment dels cossos (posició, velocitat, acceleració, etc.). També hem estudiat alguns tipus de moviments senzills (l'uniforme i l'uniformement accelerat) per a trajectòries conegudes, detenint-nos a analitzar un exemple concret especialment important (la caiguda de greus). Estem, doncs, en condicions de continuar avançant en la comprensió de les transformacions més simples de la matèria (únicament canvis de posició i de velocitat, sense alteració de l'estructura "intima"), l'estudi de la qual forma part d'un important cos de coneixements de física anomenat "Mecànica".

És evident que, respecte del moviment d'un cos, no sols ens interessa poder descriure'l, sinó també poder explicar-lo i saber com podem influir en ell per a canviar-lo, segons ens interesse.

*A.1. Citeu exemples concrets on siga necessari o convenient controlar el moviment d'un cos, de manera que puguem **canviar** la rapidesa amb què es desplaça, la trajectòria que segueix o bé, conèixer amb antelació com es va a comportar.*

Vivim en un Univers en què tot, des d'objectes tan menuts com els àtoms, fins altres tan grans com les galàxies, es troba en continu moviment relatiu i el moviment d'uns objectes es veu influït per la presència d'altres, produint-se **interaccions** que provoquen **canvis en la velocitat** (cotxe que s'atura en xocar contra un arbre, pedra que cau atreta per la Terra, corrents d'aigua que arrossegueu diversos materials, planetes que giren al voltant del Sol que els atrau, baló de futbol durant un partit, etc.). La part de la Mecànica que s'ocupa d'estudiar les causes del **canvi** de moviment (**forces**), s'anomena **Dinàmica**.

En estudiar el tema de la dinàmica ens plantejarem algunes preguntes com les següents:

- a) Què són les forces?
- b) Per què un cos es mou en uns casos seguint una trajectòria rectilínia, en altres una circular, etc.?
- c) Com podem modificar el moviment d'un cos?
- d) Són de naturalesa diferent el moviment dels objectes sobre la superfície de la Terra i el moviment d'astres, com la nostra Lluna, o els planetes del sistema solar?

Per respondre a les preguntes anteriors, haurem de parlar de les forces, el paper de les quals és fonamental en multitud de casos. Pensem, per exemple, en la força de fregament que ens permet caminar, en la força pes, en les forces que s'exerceixen amb ajuda de cables i en altres forces, com les que poden exercir el vent, l'aigua o els terratrèmols, etc. També analitzarem un tipus de força especialment important: la força de la gravetat, mostrant algunes de les implicacions més rellevants que tingué el seu estudi, pel que fa a la pròpia concepció de l'Univers i del lloc que ocupem en ell. Finalment ens detindrem a estudiar les forces que els fluids (líquids i gasos) poden realitzar sobre els objectes que es troben al seu si.

### 3. Dinàmica

## 1. A QUÈ ES DEU QUE ELS COSSOS ES MOGUEN D'UNA FORMA O UNA ALTRA? LA RESPOSTA D'ARISTÒTIL

Segons la física d'Aristòtil (filòsof de l'antiga Grècia, que visqué fa més de 2300 anys), l'Univers estava dividit en dues parts clarament distintes: el món sublunar o terrestre (imperfecte i perible, que coneixem per mitjà dels nostres sentits) i el món supralunar o celeste (perfecte, incorruptible i etern).

### 1.1. El món sublunar i els quatre elements

A la Grècia clàssica, es considerava que tota la matèria terrestre estava formada per la mescla de quatre elements: terra, aigua, aire i foc. D'ells, terra i aigua posseïen **gravetat**, és a dir, tenien tendència a moure's cap al centre de l'univers. Per aquesta raó, el seu *lloc natural*, era baix i, en conseqüència, tenien tendència a caure. Pel contrari, l'aire i el foc posseïen **lleugeresa**, raó per la qual, tenien tendència natural a ascendir. De tots ells, el foc era considerat l'element més noble, raó per la qual se li assignava el lloc més alt a l'atmosfera superior. A més, segons aquesta teoria, quan un objecte es movia cap amunt o cap avall, era a causa del "desig" que tenia l'element majoritari en la seua composició, d'abastar el seu "lloc natural".

Aquestes idees es recolzaven en una gran quantitat "d'evidències de sentit comú". Per exemple, segons el model, l'aigua d'un brollador estaria formada majoritàriament per l'element aigua, apreciable a simple vista. També posseïria l'element aire, que s'apreciaria en forma de vapor, en posar-la a bullir i, finalment, l'element terra, apreciable en el residu que queda en el recipient després que l'aigua passe de líquid a vapor.



Segons aquest esquema, a més, un objecte en què predominara l'element terra hauria de **caure tant més a pressa com major fóra el seu pes** (donat que, a major proporció de terra, més tendència a moure's cap al seu lloc natural). Així, de dues pedres abandonades a la mateixa altura, suposaven que la més pesada tardaria menys temps a abastar el seu lloc natural. En paraules d'Aristòtil:

"Un pes donat recorre una certa distància en un temps donat; un pes major recorre la mateixa distància en un temps menor, estant la proporció dels temps en proporció inversa als pesos. Així, si un pes és doble que un altre, invertirà la meitat de temps a caure des d'una certa altura".

Segons les idees aristotèliques, doncs, tots els objectes tendeixen a estar en repòs al seu lloc natural (moviment natural), necessitant-se una acció exterior (**una força**) per a treure'ls **d'aquest estat** (moviment forçat o violent). Per exemple, si llancem una pedra cap amunt, es mourà durant un cert temps amb un moviment violent (forçat) i, quan aquest cessa, resta únicament el moviment natural i la pedra cau de nou cap a la terra. Sorgeix així la idea del **repòs** com estat natural de la matèria i de **força** com causa del moviment.

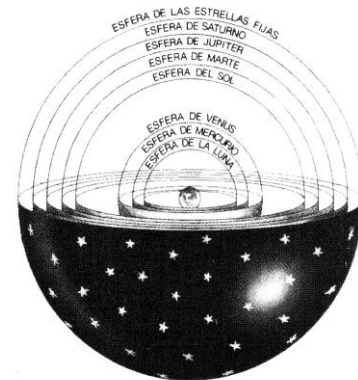
Durant l'edat mitjana, per explicar el moviment cap amunt d'un objecte pesat (com una pedra), els seguidors d'Aristòtil pensaven que, en llançar-la, se li comunicava una força major que el seu pes, que la feia ascendir. A més, suposaven que l'esmentada força es "consumia" segons la pedra anava ascendint, ja que s'utilitzava en fer-la moure en sentit contrari al què ho faria de forma natural. Finalment, arribava un moment en què la pedra, falta d'impuls, queia de nou al sòl, on quedava, finalment, en repòs.

## 1.2. El món supralunar i el quint element

La física d'Aristòtil era completament diferent per a la matèria celeste, que es comportava d'una manera molt més simple. En primer lloc, aquesta matèria estava formada únicament per un quint element especial, anomenat la **quinta essència**, que no tenia pes i era incorruptible i etern. L'estat natural d'aquest element no era el repòs, sinó el moviment circular i uniforme (que era considerat com el moviment perfecte i continu, a diferència del moviment rectilini natural de la matèria terrestre, que sempre té un principi i un fi).

La matèria de què estaven fets tots els cossos celests era sempre més noble que la matèria del món sublunar, i augmentava en perfecció segons ens allunyàvem del centre de l'Univers (ocupat per la Terra). Conseqüentment, la Lluna (més pròxima a nosaltres), era el cos menys perfecte, com podia apreciar-se per l'aparença tacada que mostrava.

Aristòtil considerava que la Terra romanía immòbil, ocupant el centre de l'Univers i, al seu voltant, giraven el Sol, la Lluna i els cinc planetes coneguts en aquell moment. Suposava que cadascun d'ells estava situat a la superfície d'una esfera transparent de distint diàmetre, unes dins d'altres. Al seu torn, aquestes set esferes concèntriques es trobarien dins d'una esfera celeste formada per totes les estrelles fixes, girant totes elles uniformement al voltant d'un eix Nord-Sud i d'Est a Oest.



El moviment es produïa perquè l'esfera externa, que contenia a les estrelles fixes, girava diàriament sobre el seu eix. Aquesta rotació provocava el gir de les esferes internes i els planetes situats en elles. Finalment, suposaven que l'esfera externa era moguda pel que denominaven *Primum Mobile*, o motor de l'Univers. L'Univers era geocèntric (és a dir, la Terra estava situada en el centre), i havia de ser finit, ja que si fóra infinitament gran no podria girar, com ho fa tot l'Univers, al voltant de la Terra. Finalment, estava escalonat en distints graus de perfecció, amb una neta separació entre el món terrestre (sublunar) i el celeste (supralunar).

**A.2.** Comenteu quina explicació es donaria en la física d'Aristòtil (física preclàssica) als moviments següents:

- Ascensió d'un globus ple de gas.
- Pujada d'una pedra verticalment cap amunt.
- Un cos es llança per una superfície horitzontal, observant-se que cada vegada va més lentament, fins que, finalment, acaba per parar-se.
- El moviment circular i uniforme de la Lluna al voltant de la Terra.
- El moviment uniformement accelerat d'una pedra que s'amolla des del punt més alt d'una torre.

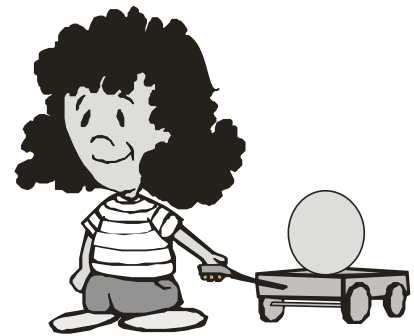
### 3. Dinàmica

Les idees d'Aristòtil i els seus seguidors per explicar per què els cossos es mouen com ho fan, estigueren vigents durant molts segles. La raó pot ser que les idees respecte a què els cossos pesats tendeixen a estar en repòs i que, per moure un cos pesat cal una força que l'empente, pareixen de sentit comú per a la majoria de les persones. Però, aquestes idees intuïtives no són les idees científiques que s'accepten actualment.

Les coses començaren a canviar cap al segle XVI, amb la teoria heliocèntrica de Copèrnic (segons la qual la Terra no era el centre de l'Univers, sinó que eren aquesta i els altres planetes els que giraven al voltant del Sol). Els canvis continuaren desenvolupant-se amb els treballs d'altres científics com Galileu i Kepler, fins que finalment, entre els segles XVII i XVIII, Newton elaborà un nou concepte de força que, junt amb la llei de la Gravitació Universal acabaren d'enderrocar la barrera que, fins aquell moment, havia separat la Terra del Cel.

## 2. A QUÈ ÉS DEGUT QUE ELS COSSOS ES MOGUEN D'UNA FORMA O D'UNA ALTRA? LA RESPOSTA DE NEWTON

El concepte intuïtiu de força porta a considerar-la la causa del moviment (velocitat) dels cossos. És a dir, en principi, és fàcil pensar que, perquè qualsevol cos romanga en moviment amb una certa velocitat, cal que sobre ell actue una força i, si aquesta deixa d'actuar, el cos va cada vegada més a poc a poc, fins que, finalment, es para.



A continuació, intentarem canviar aquesta idea intuïtiva per altra més elaborada i coherent amb el concepte científic de força.

### 2.1. Com aconseguir que un cos es moga amb moviment rectilini i uniforme? I que estiga en repòs? Primer principi de la dinàmica o principi de la inèrcia

Tota la pràctica habitual ens condueix al concepte de força com causa del moviment. Aquest concepte de força comporta, però, greus dificultats, que impedeixen l'adequat estudi dels canvis mecànics. A través de la lectura d'alguns fragments dels **Diàlegs** de Galileu, és possible percebre algunes de les esmentades dificultats:

**Salviati** (dirigint-se a Simplicí): -Digues, si tingueres una superfície d'una substància tan dura com l'acer i tan llisa i polida com un espill, que no fóra horitzontal, sinó un poc inclinada, i col·locares sobre ella una bola de bronze perfectament esfèrica, què penses que passaria quan l'amollares? No creus tu, com jo, que es quedaria allí?

**Simplicí**: - Si la superfície estiguera inclinada?

**Salviati**: -Sí, ja t'ho he dit.

**Simplicí**: -No pense que es quedara allí. Crec que tindria una gran propensió a moure's segons el declivi.

**Salviati**: -Tingues bé en compte el que dius, Simplicí, perquè jo crec que es quedaria allí on la posares.

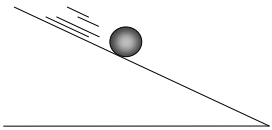
**Simplicí**: -Si fas eixes suposicions, no m'admiraré que arribes a les més absurdes conclusions.

**Salviati**: -Estàs, doncs, segur, que es mouria lliurement segons el declivi?

**Simplicí**: -Qui ho dubta?

**Salviati**: -I açò ho creuries, no perquè jo t'ho dic (perquè he intentat persuadir-te de què penses el contrari), sinó per tu mateix, pel teu propi judici natural?

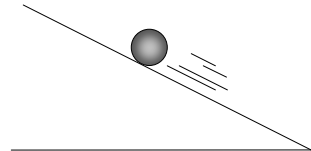
**Simplici:** -Ara veig el teu joc; deies que creies açò per posar-me a prova i intentar fer-me pronunciar les paraules amb les quals condemnar-me.



**Salviati:** -Tens raó. I, quina longitud i amb quina velocitat es mouria l'esfera? Però tingues en compte que he posat l'exemple d'una esfera perfectament rodona, i un pla completament polit, de tal forma que cal descartar tots els impediments accidentals i externs. També caldria llevar els impediments originats per la resistència de l'aire o de qualsevol altre obstacle casual, cas que hi haguera.

**Simplici:** -Comprenc el que vols dir i he de contestar-te que, l'esfera continuaria movent-se indefinidament, si el pla fóra prou llarg, i accelerant-se contínuament. Tal és la naturalesa dels cossos pesats, que adquireixen força amb la marxa i, com major siga la inclinació, serà major la velocitat...

(De manera semblant Salviati obliga a Simplici a reconèixer que, si es llança l'esfera pel pla inclinat cap amunt, anirà perdent velocitat, fins aturar-se. Finalment, Salviati planteja el cas intermedi, és a dir, el llançament de l'esfera per un pla horitzontal i totalment polit...).



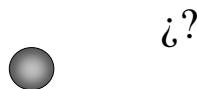
**Salviati:** -Sembla, llavors, que fins ací m'has explicat bé el què ocorre a un cos en dos plans diferents. Ara, digues, què li succeiria al mateix cos sobre una superfície que no tinguera inclinació, ni cap amunt ni cap avall?

**Simplici:** -Ara has de donar-me un poc de temps per pensar la meua contestació. No havent-hi inclinació cap avall, no podria tindre tendència natural al moviment; i no havent-hi inclinació cap amunt, no podria haver-hi resistència al seu moviment. D'on es dedueix la seua indiferència, tant per a la propulsió com per a la resistència; per tant, pense que es quedaria naturalment allí...

**Salviati:** -Jo pense el mateix, sempre que s'haguera deixat amb cura, però ¿què succeiria si li haguérem donat un impuls cap a algun costat?

**Simplici:** - Que es mouria cap a eixe costat.

**Salviati:** - Però, amb quina classe de moviment? ¿contínuament accelerat, com en un pla inclinat cap avall o contínuament retardat, com en un pla inclinat cap amunt?



**Simplici:** - No puc descobrir cap causa d'acceleració ni de retard, si no hi ha inclinació cap avall, ni pendent cap amunt.

**Salviati:** - Bé, si no hi ha causa de retard, menys hi haurà per detindre'l, per tant, quina distància recorrerà el cos en moviment?

**Simplici:** - Doncs, tanta com la superfície ni inclinada ni ascendent.

**Salviati:** - De forma que, si eixe espai fóra indefinit, el moviment sobre ell no tindria fi, seria perpetu.

**Simplici:** - Jo crec que sí, si el cos era de matèria durable.

**A.3.** A partir de l'anàlisi del diàleg anterior, assenyalen si poden considerar-se segures o no les proposicions següents:

a) Els cossos tendeixen al repòs.

b) Perquè un cos romanga en moviment ha d'estar actuant una força sobre ell.

Després de la discussió anterior, és possible dubtar que els objectes tendeixen al repòs de forma espontània o natural. Una esfera que s'ha llançat per un pla horitzontal, en realitat, no es para

### 3. Dinàmica

perquè no hi haja ningú que l'empente, sinó que, molt al contrari: es deté perquè actua una força resultant en sentit oposat a la velocitat (en aquest cas, una força deguda al fregament), que la va frenant. Si no hi haguera fregament, l'esfera no es pararia mai.

Pel que fa a la segona proposició, algunes persones pensen que l'esfera roman en moviment, perquè li hem "comunicat" una força en llançar-la i, com no hi ha fregament, eixa força roman en l'esfera sense "gastar-se", mantenint-la en moviment rectilini i uniforme. Si açò fóra així, hauríem d'admetre que hi ha dues classes diferents de forces:

- Unes, com el pes, que en actuar sobre un cos fan que canvie de velocitat (pensem en un objecte deixat caure des de certa altura, o en un altre, llançat cap amunt).
- Altres, com la que "es dóna a un objecte en llançar-lo" que no canviarien la velocitat, sinó que tan sols la "mantindrien".

Aquesta suposició és incoherent i, d'altra banda, resulta molt més simple suposar que, quan es llança un objecte, s'exerceix sobre ell una força que únicament existeix durant el llançament, és a dir, no queda "impresa en l'objecte". L'efecte que produeix eixa força "de llançament" és canviar la velocitat de l'objecte (per exemple, del repòs a la velocitat amb què ix), de manera que, si no hi ha fricció ni actua cap força resultant, no hi ha cap motiu que faça variar la velocitat comunicada. En conseqüència, l'objecte mantindria indefinidament eixa velocitat, no perquè hi haja una força que l'empenta, sinó al contrari: perquè no hi ha cap força resultant que li la canvie.

Així doncs: Perquè un objecte es mantinga amb moviment rectilini i uniforme o perquè estiga en repòs, és necessari que la força resultant sobre ell siga nul·la.

El fet que visquem en un món en què el fregament està quasi sempre present ens confon i ens fa pensar que es necessita una força resultant empentant en el mateix sentit que la velocitat per aconseguir que un moviment es mantinga, quan l'afirmació correcta seria la que fa el **principi de la inèrcia** (o primer principi de la dinàmica), que diu:

**1. Tot cos continua amb la velocitat que porta (respecte a un cert sistema de referència), a no ser que sobre ell actue una força resultant distinta de zero, o en altres paraules:**

**Si sobre un cos no actua cap força, o si la resultant de totes les que actuen és nul·la, la velocitat no pot canviar: si està en repòs continuarà estant-ho i, si està en moviment, seguirà amb velocitat constant, és a dir, amb moviment rectilini i uniforme.**

En definitiva, podem afirmar que: **el moviment rectilini i uniforme és tan natural com el repòs**. Així per exemple, una nau espacial que estiguera situada a l'espai intergalàctic, molt lluny de qualsevol astre, sense cap pertorbació apreciable, no necessitaria cap motor per continuar movent-se amb la velocitat que haja aconseguit.

*A.4. Segons la física aristotèlica: "les forces són les causes del moviment, de la velocitat que té un cos". Aquesta expressió pot considerar-se com la definició qualitativa de força. Proposeu una definició alternativa millor, a partir d'allò que s'ha discutit fins ací.*

D'acord amb tot el que hem vist, caldria canviar eixa definició i relacionar la força, no amb la velocitat que porta un cos, sinó amb el canvi de velocitat que aquest puga experimentar, ja que, segons sabem, si la velocitat amb què es mou un objecte sofreix algun canvi, necessàriament ha d'haver-hi una força resultant actuant sobre ell. Per tant: **la força no és la causa de la velocitat, sinó la responsable del canvi de velocitat.**

Mitjançant les activitats anteriors hem pogut fer una primera aproximació qualitativa al concepte científic de força. A continuació ens plantejarem el problema de com quantificar-la: com calcular el valor de les forces, la unitat de mesura, etc.

## 2.2. Com aconseguir que un cos tinga acceleració? Segon principi de la dinàmica o equació fonamental de la dinàmica

El concepte intuïtiu de força (com causa del moviment), suggereix una proporcionalitat directa entre la força  $\vec{F}$ , que actua sobre un objecte i la velocitat amb què aquest es mou. És a dir, en llenguatge actual:  $\vec{F} = k \cdot \vec{v}$ , on  $k$  seria una constant. Aquesta expressió és coherent amb algunes idees **equivocades**, com, per exemple: pensar que els objectes en moviment porten força i que aquesta és major com major és la velocitat; que perquè hi haja velocitat (moviment) cal una força resultant que el mantinga; que la força i la velocitat sempre tenen la mateixa direcció i sentit; que si la velocitat d'un cos en un instant donat és 0, la força resultant sobre ell en el mateix instant també ho ha de ser, etc. (*Expliqueu les raons per les quals són equivocades les idees anteriors, esmentant casos on es veja que no funcionen*).

**A.5.** Considerant la idea actual de força, proposeu una equació, que siga coherent amb ella, per a la força resultant que actua sobre un objecte.

En principi, atès que la força és la causa del canvi de velocitat, podríem pensar en una expressió del tipus  $\vec{F} = k \cdot \Delta\vec{v}$  en què, com s'observa, com major siga el canvi de velocitat experimentat per un cos, major haurà segut la força aplicada ( $k$  és la constant de proporcionalitat).

Però l'expressió proposada anteriorment no contempla el fet que també podem aconseguir grans canvis de velocitat amb una força resultant molt xicoteta, a condició que actue durant molt de temps.

Per tant, per conèixer si una força resultant és gran o xicoteta, no és suficient mesurar el canvi de velocitat que experimenta el cos sobre el qual actua. També cal tindre en compte el temps utilitzat per aconseguir l'esmentat canvi.

Com major siga el canvi de velocitat i en menys temps es produïska, major haurà segut la força resultant aplicada. Així doncs, una força resultant molt gran, aplicada sobre un cos, pot fer que la velocitat d'aquest canvie molt **en molt poc temps**, és a dir, que experimente una gran acceleració (major de la que tindria amb una força resultant xicoteta).

Podem establir, doncs, que tota força resultant aplicada sobre un cos suposa que aquest accelere, de tal forma que, com major siga la força resultant aplicada, major serà l'acceleració amb què es mou el cos (i viceversa). Els raonaments anteriors (tenint en compte el caràcter vectorial de la força i de l'acceleració) condueixen a l'expressió:  $\vec{F} = k \cdot \vec{a}$  en la que  $\vec{F}$  és la força resultant que actua sobre el cos i  $\vec{a}$  l'acceleració.

### 3. Dinàmica

L'expressió anterior també es pot escriure utilitzant la relació entre els mòduls d'ambdós vectors com:

$|\vec{F}| = k \cdot |\vec{a}|$  (o simplement com  $F = k \cdot a$ ) i indicant que la força resultant i l'acceleració tenen sempre la mateixa direcció i sentit.

**A.6.** *Tracteu de donar un significat físic a la constant  $k$  de la definició operativa de força que acabem d'introduir. Feu l'estimació del què ocorrerà amb cossos en què el valor de  $k$  siga molt gran o molt xicotet.*

L'expressió anterior pot escriure's com:  $k = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{a}|}$

És fàcil adonar-se que, en actuar una força sobre un cos, com major siga el valor de la constant  $k$ , menor serà l'acceleració que experimenta. Aquesta constant s'ha designat com massa inert; se simbolitza amb la lletra “ $m$ ” i la unitat que s'utilitza per mesurar-la en el sistema internacional (elegida arbitràriament) és el quilogram (kg).

D'acord amb tot això, l'expressió anterior quedarà en la forma:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

L'última equació es coneix com “equació fonamental de la dinàmica”. En ella es contempla el fet que la força resultant que actua sobre un cos i l'acceleració (no la velocitat) d'aquest, sempre han de tindre la mateixa direcció i sentit, sent ambdós directament proporcionals, de manera que, com major siga la força resultant sobre un cos, major serà l'acceleració que produeix sobre ell.

Per molt xicoteta que siga la força **resultant** que actue sobre un cos de massa  $m$ , si és major que 0, li causarà alguna acceleració  $i$ , conseqüentment, farà variar la velocitat, encara que siga molt lentament. En canvi, si la força resultant sobre un cos és nul·la no hi haurà cap acceleració, amb la qual cosa, la velocitat serà constant i el moviment rectilini i uniforme (o estarà en repòs), segons s'afirma en el primer principi.

L'equació fonamental de la dinàmica  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  pot considerar-se com l'enunciat del segon principi de la dinàmica, segons el qual:

**2. Tota força resultant actuant sobre un cos que es mou respecte d'un cert sistema de referència implica una acceleració (i viceversa), de forma que, en tot moment, ambdues magnituds tenen la mateixa direcció i sentit i els mòduls son directament proporcionals. La constant de proporcionalitat és una característica pròpia del cos i s'anomena massa inert.**

**A.7.** *Què significa que la massa inert d'un cos A és el doble que la d'altre cos B?*

D'acord amb el que hem vist fins ací, significarà que, per aconseguir que el cos A es moga amb la mateixa acceleració que el B, caldrà una força resultant dues vegades més gran.



Sabem que, al sistema internacional d'unitats, la massa es mesura en kg i l'acceleració en  $\text{m/s}^2$ , però desconexim, de moment, en quina unitat es mesura la força.

**A.8.** Utilitzeu l'equació fonamental de la dinàmica per obtenir una unitat de mesura de la força.

Si en l'equació  $F = m \cdot a$ , fem que  $m = 1 \text{ kg}$  i que  $a = 1 \text{ m/s}^2$ , obtenim que la força resultant  $F$  val  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ . La quantitat  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$  s'anomena "newton" i se simbolitza per N. Açò pot interpretar-se dient que 1 N és la força resultant que s'ha d'exercir sobre un cos d'1 kg de massa perquè es moga amb una acceleració d'1  $\text{m/s}^2$ . Això significa que si, per exemple, una força resultant constant d'1 N empenya un cos d'1 kg de massa, en la mateixa direcció i sentit que el moviment, la velocitat augmentarà regularment en 1  $\text{m/s}$  cada segon.

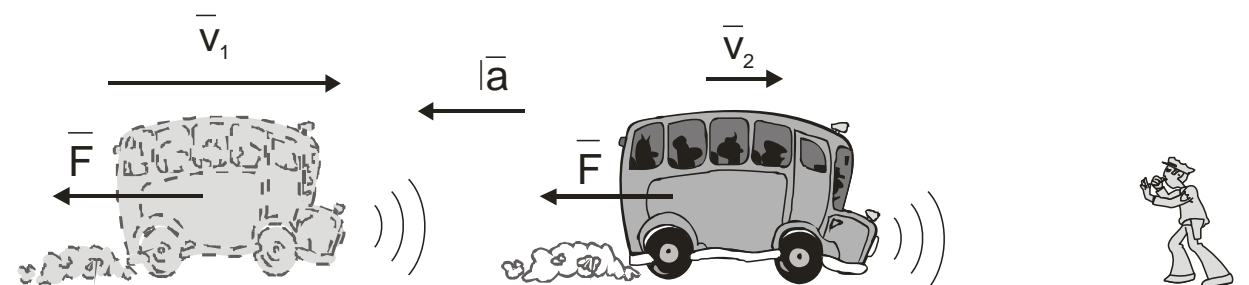
Per tindre una idea més intuïtiva del que significa 1 N, podem pensar, per exemple que, en aguantar a la mà una botella de plàstic amb un litre d'aigua dins, podem estar fent una força de l'orde de 10 N i que una persona de 100 kg és atreta per la Terra (pes) amb una força aproximada d'uns 1000 N.

**A.9.** Analitzeu si sobre cadascun dels següents cossos en moviment actuarà, o no, una força resultant i feu un esquema dibuixant, si procedeix, un vector que la represente per a dues posicions distintes del cos:

- Un objecte amb moviment rectilini i uniforme.
- Un objecte amb moviment rectilini i uniformement accelerat, que va parant-se.
- Un objecte amb moviment circular i uniforme.
- Un projectil que es va disparar en un tir oblic des de terra i que es troba a l'aire (considereu menyspreable el fregament).

Al primer cas, com la velocitat és constant, el vector acceleració serà 0 i, per tant, o no hi ha cap força actuant sobre el cos o, les que puguen estar actuant, s'anul·len entre elles.

En el segon cas, cal dibuixar un esquema amb el mòbil en dues posicions distintes de forma que es veja com el vector velocitat en la segona és de la mateixa direcció i sentit que en la primera, però menor (va frenant). Això justifica que el vector acceleració i, per tant, la força resultant, en aquest cas tindrà sentit contrari al moviment i també justifica que la velocitat no canvie de direcció, però sí de mòdul (que anirà disminuint)<sup>1</sup>.



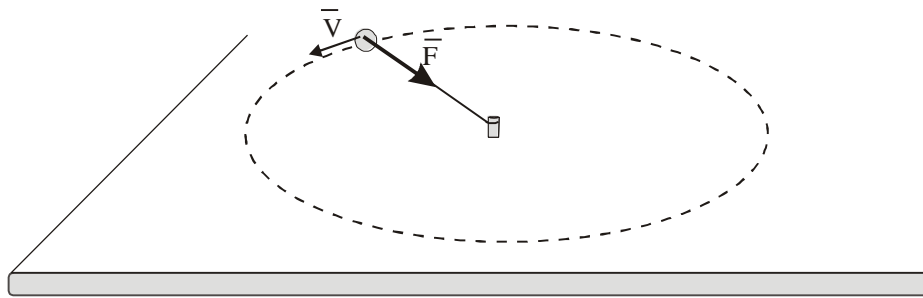
A la figura anterior hem dibuixat un autobús que es mou amb una certa velocitat inicial  $\vec{v}_1$  quan sobre ell comença a actuar una força resultant  $\vec{F}$  constant i en sentit contrari al seu moviment.

<sup>1</sup> Per comoditat, hem representat els vectors velocitat, força i acceleració separats, encara que, en realitat, els tres s'apliquen sobre l'autobús (considerat com una massa puntual).

### 3. Dinàmica

Aquesta força provoca que la velocitat vaja disminuint uniformement i, per això, en un instant posterior, el vector velocitat  $\vec{v}_2$  és apreciablement menor que al principi i el sentit del vector acceleració és, en tot moment, contrari a la velocitat.

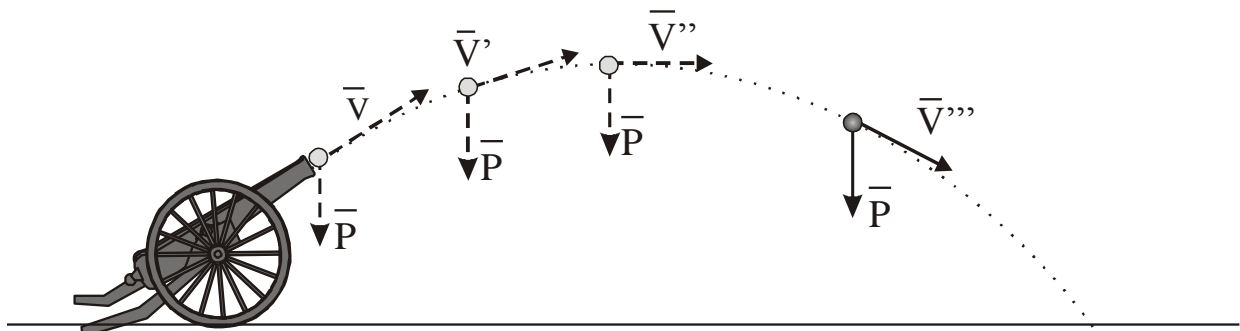
Al tercer cas, sabem que, en el moviment circular uniforme, l'acceleració sobre la trajectòria és 0, perquè la rapidesa (o el mòdul de la velocitat) és constant. Ara bé, la velocitat està canviant contínuament de direcció, el que indica que hi ha un vector acceleració, que ha de ser en tot moment perpendicular a la velocitat. Per tant, haurà d'haver-hi una força resultant actuant sobre el cos en la mateixa direcció i sentit que el vector acceleració, és a dir, cap al centre de la circumferència.



En cada instant la força resultant actua sobre el cos en moviment impedit que es vaja per la tangent amb la velocitat que porta en eixe moment (segons indicava el principi de la inèrcia). És a dir, la força resultant amarra el cos al centre de la corba, fent que la velocitat canvie contínuament de direcció. Com la força és perpendicular en tot moment a la velocitat, no pot utilitzar-se per empentar ni frenar al cos, raó per la qual, la rapidesa roman constant.

A la figura de dalt s'ha representat el moviment circular i uniforme d'una bola sobre un pla horitzontal i sense fregament. Podem interpretar el moviment pensant que la deixem sobre el pla i li comuniquem una certa velocitat. Si no estiguera subjecta a res, la bola s'allunyaria de la posició inicial amb moviment rectilini i uniforme. En canvi, si es troba subjecta a un fil (com s'indica en la figura), aquest es tensa, proporcionant la força resultant necessària perquè la velocitat de la bola canvie contínuament de direcció.

En el quart i últim cas, cal tindre en compte que, si no existira la força de la gravetat, el projectil disparat seguiria indefinidament amb moviment rectilini i uniforme amb la mateixa velocitat amb què va eixir de l'arma. Si no ho fa i la seua trajectòria es va corbant, fins que cau de nou a terra, és perquè hi ha una força resultant que obliga a la velocitat a canviar contínuament de direcció.



La força resultant sobre el projectil mentre està a l'aire no pot ser altra que la força gravitatòria, és a dir, el pes  $P$  del projectil o força amb què la Terra l'atrau (recordem que no hi ha fregament i que la força que actua en el moment del llançament ja no existeix quan el projectil es troba a l'aire, per la qual cosa el projectil únicament interacciona amb la Terra).

L'activitat anterior ha d'haver deixat clar que la velocitat d'un cos no ha de coincidir necessàriament amb la direcció i sentit de la força resultant. Únicament coincidiran si el cos estava en repòs quan començà a actuar la força o bé si, estant en moviment, la força actua en la mateixa direcció i sentit que la velocitat.

Finalment, cal tindre en compte que la força resultant és la suma de totes les forces que actuen sobre un cos (al qual nosaltres, per simplificar, tractarem sempre com si fóra una massa puntual) i que, per tant, per calcular-la caldrà tindre en compte tot el que vam aprendre al tema anterior respecte a la forma d'operar amb magnituds vectorials.

### 2.3. ¿Un cos pot accelerar-se a ell mateix sense interaccionar amb altres? Tercer principi de la dinàmica o principi d'acció i reacció

*A.10. Fins ací hem analitzat què li ocorre a un cos A, quan altre, B, exerceix una força sobre ell. Ara cap preguntar-se què li ocorre al B. Considereu alguns exemples senzills i exposeu les conclusions.*

Quan disparem una bala A amb un arma B, és evident que es fa una força sobre la bala, però també ho és que l'arma sofreix alhora altra força que l'empenta cap arrere. Anàlogament ocorre quan li donem un cop de peu a una pedra A amb el peu B i notem (amb dolor) que també la pedra fa una força sobre el nostre peu, o quan una bola de billar A és copejada per altra B.

Els exemples anteriors ens porten a pensar que, perquè un cos A accelere, ens cal altre cos B que exercisca sobre ell una força, és a dir: un cos donat no pot canviar de velocitat per ell mateix, cal que **interaccione** amb altre.

També podem pensar que, si un cos B fa una força sobre altre A (que designarem com  $\vec{F}_{AB}$ ), l'A exerceix simultàniament altra força sobre el B, en la mateixa direcció i sentit contrari (que designarem com  $\vec{F}_{BA}$ ), és a dir, que les forces mai vénen soles sinó per parelles.

Malgrat això, no tots els exemples són tan clars com els que acabem d'exposar, com veurem a continuació.

*A.11. Anteriorment s'ha dit que un cos no pot canviar la pròpia velocitat per ell mateix, sinó que necessita d'altre o altres que facen que sobre ell actue una força resultant. En canvi, estem habituats a veure com un cotxe (A) canvia de velocitat. Qui fa en aquest cas el paper de B? En altres paraules, a qui cal atribuir la força resultant que produeix que un cotxe augmente, disminuisca o canvie la direcció de la velocitat amb què s'està movent en un instant donat? No és el propi cotxe?*

Si reflexionem sobre el que ocorre quan un vehicle entra en una zona amb poc fregament (per exemple un tram de carretera cobert de gel) és fàcil adonar-se que, en una situació sense

### 3. Dinàmica

fregament, no serviria de res accelerar, xafar el fre, o girar el volant. El cotxe seguiria movent-se amb la mateixa velocitat amb què entrà en eixa zona. Per tant, hem de considerar que és l'asfalt el que proporciona la força necessària perquè el cotxe varie de velocitat. Les rodes del cotxe (A), en girar, fan una força sobre la carretera (B) cap arrere i, al seu torn, la carretera exerceix una força cap avant sobre el cotxe.

Anàlogament ocorre quan caminem i quan botem; nosaltres fem una força sobre el terra cap arrere o cap avall i és el sòl el que ens empenta cap avant o cap amunt respectivament. Si no poguérem fer força sobre el pis, tampoc podríem caminar ni botar (penseu, per exemple, en la dificultat de caminar sobre un terreny gelat, o en la impossibilitat de donar un bot cap amunt dins d'un ascensor al què s'ha trencat el cable i està caient).

*A.12. Si és cert que quan algú llança un objecte exercint una força sobre ell, l'objecte fa altra força sobre el llançador, per què veiem accelerar a l'objecte i no a la persona que el llança?*

Si el llançador (A) segueix en el mateix lloc sense modificar la seua velocitat a conseqüència del llançament de l'objecte (B), no és perquè l'objecte no haja fet una força sobre ell, sinó perquè la força **resultant** que actua sobre la persona és nul·la. En efecte, no oblidem que, entre el llançador i el terra hi ha fregament, que s'oposa al lliscament. Si no hi haguera fregament, la força que l'objecte exerceix sobre el llançador ( $\vec{F}_{AB}$ ) no podria anul·lar-se amb altra i el veuríem retrocedir lliscant sobre la superfície, encara que amb una velocitat prou menor que la que portava l'objecte quan va eixir, com es posa de manifest en la figura següent, on hem suposat que el fregament amb terra és nul:

D'altra banda, està clar que la massa del bumerang de la figura ( $m_B$ ) és molt menor que la del llançador ( $m_A$ ), però també és evident que l'acceleració que sofreix el bumerang en ésser llançat és molt major que la que experimenta la persona en sentit contrari. Com la força resultant sobre qualsevol cos ve donada per  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , es pot pensar que ambdós forces tenen sentits contraris i el mateix mòdul, ja que la menor acceleració que experimenta la persona podria compensar-se amb la major massa i viceversa, és a dir:

$$m_B \cdot |\vec{a}_B| = m_A \cdot |\vec{a}_A|$$

De fet, totes les experiències mecàniques que s'han realitzat mesurant les forces implicades en la interacció de dos cossos confirmen la hipòtesi anterior. De manera que, sempre que dos objectes A i B interaccionen, podem escriure que:

$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$  sent  $\vec{F}_{AB}$  la força que sobre A exerceix B i  $\vec{F}_{BA}$  la força que sobre B exerceix A.

Els raonaments anteriors queden plasmats en el tercer principi fonamental de la dinàmica o principi d'acció i reacció, que pot enunciar-se com:

**3. Mentre dura la interacció entre dos objectes, cadascun d'ells exerceix simultàniament una força sobre l'altre. Ambdues forces tenen el mateix mòdul i direcció, però sentits oposats.**

Convé insistir que les forces d'acció i reacció són sempre simultànies (i no una a conseqüència de l'altra). A més sempre s'exerceixen sobre objectes distints.

D'acord amb el **principi d'acció i reacció**, el valor d'una força seria un índex de la intensitat de la interacció que té lloc entre dos objectes determinats. Una qüestió fonamental per poder resoldre correctament els problemes de dinàmica és identificar, en primer lloc, les interaccions més importants a tindre en compte en el sistema triat i, a continuació, saber dibuixar les forces corresponents. En la següent activitat s'aborda aquesta qüestió.

*A.13 Dibuixeu les forces que actuen sobre cada cos o part del sistema en els casos següents, identificant els parells acció-reacció:*

*a) Un llibre sobre la mà.*

*b) Dues esferes, -una de doble massa que l'altra-, abans, durant i després d'una col·lisió frontal sobre un pla sense fricció.*

Al primer cas, el llibre està interaccionant bàsicament amb la Terra i amb la mà que l'aguanta. La Terra atrau al llibre gravitatòriament cap al seu centre, amb una força que anomenem pes. Al seu torn, el llibre estarà atraient a la Terra cap a ell amb altra força igual i de sentit contrari (denominarem aquesta interacció com interacció llibre-Terra). D'altra banda, no hi ha dubte que la mà exerceix una força sobre el llibre cap amunt i que el llibre al seu torn està fent altra força igual sobre la mà i cap avall (denominarem aquesta interacció com interacció mà-llibre).

Interacció llibre-mà

Interacció llibre-Terra

Forces sols sobre el llibre

### 3. Dinàmica

A la figura anterior es poden veure les forces que hi intervenen en les dues interaccions. Aplicant el principi d'acció i reacció podem escriure que:

Interacció llibre-Terra:  $\vec{F}_{LT} = -\vec{F}_{TL}$  i, per tant, que  $F_{LT} = F_{TL}$  (en mòduls)

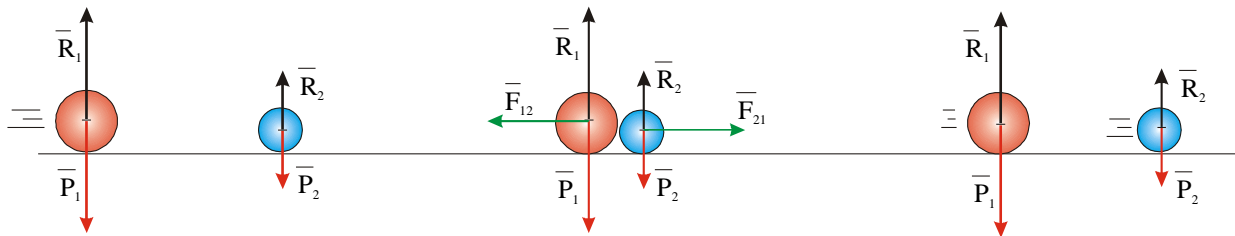
Interacció llibre-mà:  $\vec{F}_{Lm} = -\vec{F}_{mL}$  i, per tant, que  $F_{Lm} = F_{mL}$  (en mòduls)

Convé adonar-se que la força que el llibre fa sobre la mà **NO ÉS** el pes del llibre, ja que el pes del llibre és una força exercida per la Terra i actua sobre el llibre.

La força resultant que actua sobre el llibre serà  $\vec{F} = \vec{F}_{Lm} + \vec{F}_{LT}$  i, si la velocitat del llibre no canvia, (o el llibre es troba sempre en repòs), aquesta força valdrà 0. En aquest cas, la força que fem sobre el llibre amb la mà i la força pes seran iguals i de sentit contrari. Si es tractara d'un objecte que descansa sobre una taula, d'una persona de peu sobre el sòl, etc., les consideracions serien les mateixes, únicament caldria substituir la força que la mà fa sobre el llibre cap amunt per la força que la taula fa sobre l'objecte o el sòl sobre la persona.

El segon cas planteja la col·lisió frontal entre dues esferes (podrien ser dues boles de billar), amb la particularitat que no hi ha cap fregament i que una té doble massa que l'altra.

Naturalment, abans, durant i després del xoc, estan la parella d'acció-reacció corresponent a la interacció bola-superfície d'una banda i la parella d'acció-reacció corresponent a la interacció bola-Terra per altra.



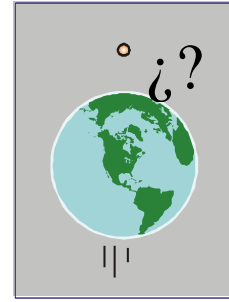
A la figura de dalt sols hem dibuixat les forces que actuen sobre les boles abans, durant i després del xoc. Hem designat per  $\vec{R}$  la força que la superfície exerceix sobre la bola i per  $\vec{P}$  la força amb què la Terra atrau a la bola (o força pes). Es pot observar que aquestes forces no són un parell d'acció i reacció, ja que provenen d'interaccions distintes i s'exerceixen sobre el mateix cos.

A causa de la interacció entre les dues boles, a les forces anteriors cal afegir la parella d'acció i reacció que actua durant el xoc. Les hem designat com  $\vec{F}_{12}$  (força que sobre la bola 1 fa la bola 2) i com  $\vec{F}_{21}$  (força que sobre la bola 2 exerceix la bola 1). Com pot comprovar-se, hem dibuixat ambdós forces mitjançant dos vectors del mateix color i grandària ja que, el fet que una bola tinga doble massa que l'altra no altera el que (segons s'afirma al tercer principi de la dinàmica) hagen de ser d'igual mòdul i direcció i sentit contrari.

També hem d'adonar-nos que, ni abans ni després del xoc, hi ha altres forces a més de les que s'han dibuixat (recordem que les forces no queden "impreses" en els cossos sinó que sols existeixen mentre dura la interacció).

**A.14.** Comenteu les següents proposicions en què, aparentment, es contradiu el principi d'acció i reacció.

a) És evident que la Terra atrau als cossos, però no s'observa que els cossos atraguen a la Terra. Així, per exemple, veiem com una pedra cau cap a terra atreta gravitatòriament per ella, però no pareix que la Terra es moga per a res cap a la pedra.



b) Si el principi d'acció i reacció és correcte no s'explica, per exemple, com ens podem moure amb el carro de la compra, ja que la força que fem sobre ell en desplaçar-lo, ha de ser igual i de sentit contrari a la que ell exerceix sobre nosaltres.



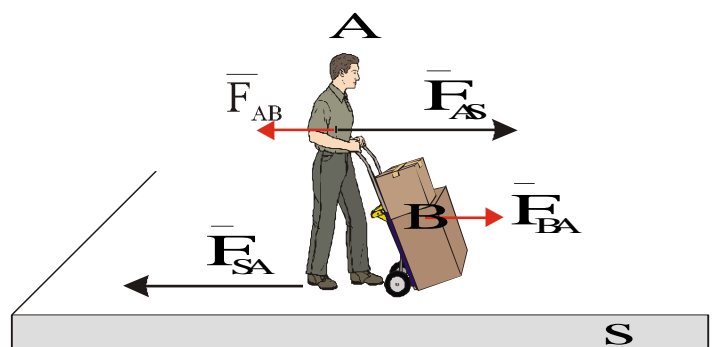
Respecte de la primera qüestió, cal tindre en compte que, malgrat no resultar evident, un cos situat sobre la Terra o en les seues proximitats, atrau gravitatòriament al planeta, amb una força igual i de sentit contrari a la força amb què el planeta l'atrau a ell. El fet que no ho percebem i vegem accelerar el cos cap a la Terra i no la Terra cap al cos es deu simplement al fet què, perquè aquestes forces tinguen el mateix valor, les acceleracions han de guardar la mateixa proporció que les masses.

El raonament anterior s'aprecia bé a la següent igualtat, on hem designat com P al valor de la força pes o força amb què la Terra atrau a un cos de massa m, que està caient cap a ella i com P' al valor de la força amb què la Terra (de massa M) és atreta per l'esmentat cos.

$$P = P' \rightarrow m \cdot g = M \cdot a$$

En l'equació anterior es veu com, per aconseguir que les forces tinguen el mateix valor, l'acceleració del cos (acceleració de la gravetat) ha de ser tan gran respecte a l'acceleració de la Terra com la massa de la Terra ho és respecte a la del cos. Per això no és possible percebre cap acceleració de la Terra i sí que la percebem del cos.

Pel que fa a la segona qüestió, cal tindre en compte que el parell de forces d'acció-reacció no es poden anul·lar entre elles, perquè, encara que tinguen el mateix mòdul, la mateixa direcció i sentits contraris, no estan actuant sobre el mateix cos. A més d'aquestes forces, hem de tindre en compte la força que la persona, en caminar, exerceix sobre el sòl cap arrere i conseqüentment, la força que el sòl fa sobre la persona cap avant, segons s'aprecia a la figura adjunta.



### 3. Dinàmica

A la figura anterior sols s'han dibuixat les forces que s'exerceixen, segons l'horitzontal. Tant l'home com el carro rebran l'efecte de totes les forces que actuen sobre ells.

Acabem d'estudiar els tres principis fonamentals de la dinàmica. En ells es poden trobar ja algunes explicacions (distintes a les que donava Aristòtil) respecte de la raó per la qual els cossos es mouen en la forma en què ho fan. Ara ens falta veure si aquestes explicacions també es poden estendre als cossos celests, com la Lluna o els planetes. Però, abans, convé que ens detinguem a manejar els esmentats principis i comprovem la seua capacitat per resoldre molts problemes.

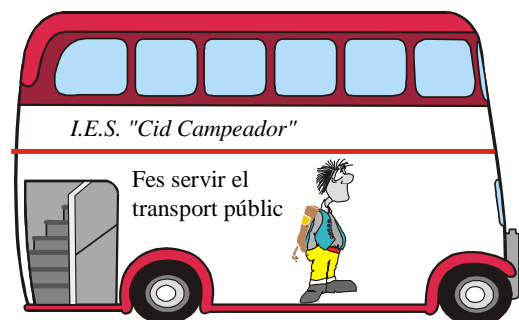
### 3. UTILITZACIÓ DELS PRINCIPIS DE LA DINÀMICA

A continuació utilitzarem els principis fonamentals de la dinàmica per estudiar alguns problemes d'interès, com és el cas del que ocorre amb els cossos que hi ha a l'interior d'un vehicle quan aquest canvia de velocitat, el càlcul del valor de la força resultant com suma de totes les forces que actuen sobre un cos i, finalment, el càlcul de l'acceleració sobre la trajectòria (acceleració tangencial) en problemes de mòbils que continuen una trajectòria coneguda.

#### 3.1. Què li ocorre a un passatger quan el vehicle en què viatja canvia bruscament de velocitat? Sistemes de referència inercials i no inercials

En alguns casos la velocitat d'un cos canvia i no veiem que sobre ell estiga actuant cap força resultant. A continuació tractarem un d'aquests casos.

**A.15.** *Una persona es troba dins d'un autobús (sense subjectar-se a res) que es mou amb moviment rectilini i uniforme. De sobte, el conductor percep un obstacle i frena bruscament. Feu un esquema de la situació i considereu si sobre la persona actua, o no, alguna força resultant i cap a on, mentre l'autobús frena.*



Suposem que l'autobús s'està allunyant amb velocitat constant d'un vianant que es troba parat sobre la vorera. Eixe vianant no tindrà inconvenient a admetre que el passatger també s'està allunyant d'ell amb la mateixa velocitat.

Perquè l'autobús frene és necessari que sobre ell actue una força resultant en sentit contrari a la velocitat. Ara be, eixa força s'exerceix sobre l'autobús, però **no sobre la persona** que va al seu interior (ningú l'empenta ni la reté), de manera que, si no hi haguera fregament amb el pis de l'autobús i el passatger no es subjectara a res, com que la força resultant sobre ell seria nul·la (el pes s'anul·la amb la força normal que fa el sòl cap amunt), seguiria amb la mateixa velocitat que portava (respecte del vianant) fins xocar amb la part davantera de l'autobús. Diem, doncs, que la vorera és un **sistema de referència inercial** i el vianant un observador inercial, que aprecia les interaccions reals que sofreix el passatger (en aquest cas, cap). En canvi, un observador que viatjara a l'autobús subjecte al seient amb el cinturó de seguretat, veuria que el passatger, de sobte, comença a moure's amb rapidesa creixent cap a la part davantera. Per aquest observador, el passatger sofreix una acceleració, per la qual cosa interpretarà que s'exerceix sobre ell una



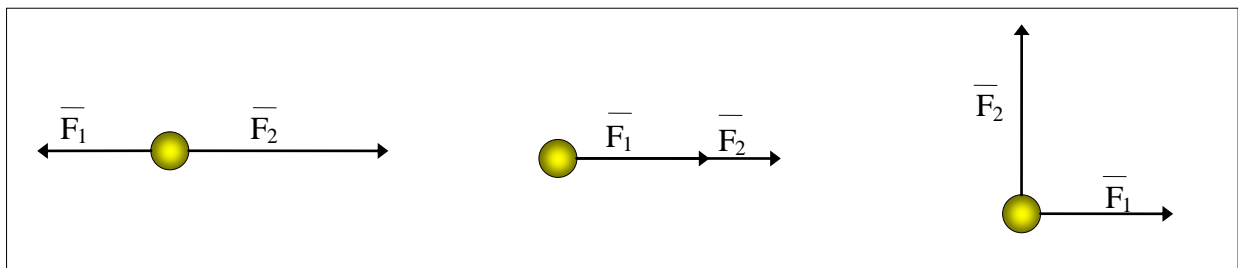
força cap avant, encara que no pot trobar qui l'exerceix. L'autobús és un exemple de sistema de referència **no inercial**. En aquest tipus de sistemes no s'acompleix el principi de la inèrcia, perquè poden apreciar-se canvis de velocitat (respecte d'eixe sistema) sense que actue cap força. **Qualsevol sistema que es moga amb una certa acceleració és un sistema de referència no inercial.**

Podem reflexionar ara, anàlogament, sobre el què li ocurriria al passatger en cas que la velocitat de l'autobús augmentara (sense canviar de direcció) i en cas que l'autobús prenguera una corba. (Des del punt de vista d'una persona situada en repòs sobre la vorera i des del punt de vista d'un altre passatger fermament subjecte al seu seient).

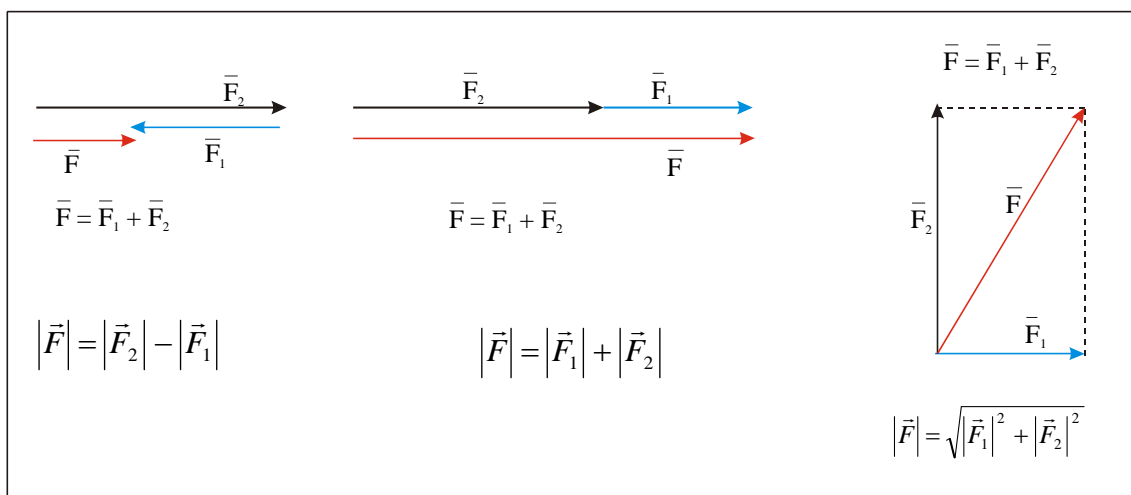
### 3.2. Determinació de la força resultant sobre un cos. Estat d'equilibri

La determinació de la força resultant que s'exerceix sobre un cos en un instant donat suposa sumar totes les forces que estiguen actuant sobre ell en eixe mateix instant. Ara be, cal tindre en compte que, com les forces són magnituds vectorials, no es poden sumar igual que fem amb les escalars. En aquest nivell ens limitarem a dibuixar la força resultant (ja que sí que sabem dibuixar el vector suma de diversos vectors) i a calcular el seu mòdul en alguns casos senzills.

**A.16.** Sobre un cos actuen únicament dues forces. Calculeu el mòdul del vector acceleració en cadascuna de les tres situacions representades a continuació ( $|\vec{F}_1| = 30 \text{ N}$ ;  $|\vec{F}_2| = 50 \text{ N}$ ;  $m = 2 \text{ kg}$ ).



En els tres casos plantejats, el vector força resultant vindrà donat per:  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ . Però, el mòdul de la força resultant es calcularà de forma distinta en cada cas. Aplicant el que ja sabem respecte de la suma de vectors:



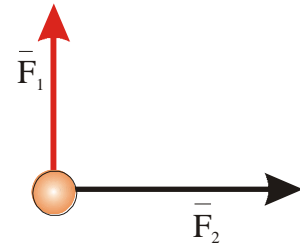
### 3. Dinàmica

Substituint en les expressions anteriors s'obté fàcilment que, en el primer cas, la força resultant és de 20 N, en el segon de 80 N i en el tercer de 58'3 N. Per calcular el mòdul de l'acceleració bastarà en aplicar ara l'equació fonamental de la dinàmica en la forma:

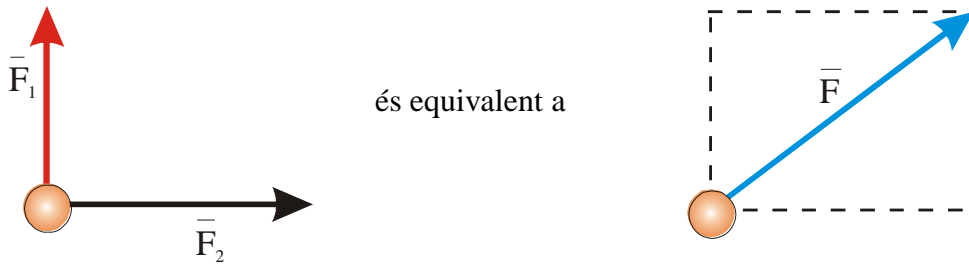
$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{F}|}{m} \quad \text{el que condueix als valors de } 10 \text{ m/s}^2, 40 \text{ m/s}^2 \text{ i } 29'15 \text{ m/s}^2, \text{ respectivament.}$$

Quan la força resultant que actua sobre un cos (considerat com una massa puntual) és nul·la, diem que el cos està en equilibri. Si es trobava en repòs (respecte d'un cert sistema de referència inercial), seguirà estant-ho (equilibri estàtic) i, si estava en moviment, seguirà amb la mateixa velocitat que portava, és a dir, amb moviment rectilini i uniforme (equilibri cinètic).

**A.17.** El cos de la figura té una massa de 50 kg i es troba en repòs. Sobre ell comencen a actuar les dues forces de la figura (de mòduls 30 N i 40 N) Quina força hauríem de fer per aconseguir que continue en repòs? (Dibuixeu-la i calculeu-ne el valor).

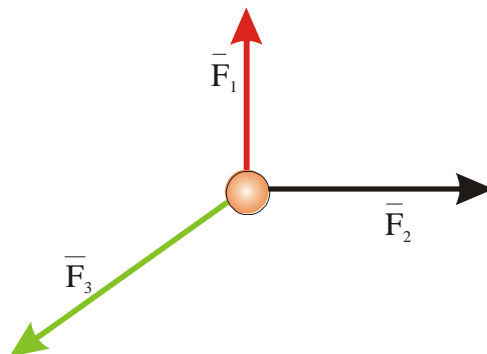


Perquè el cos continue en repòs (equilibri estàtic) la força resultant sobre ell haurà de valdre 0, per a la qual cosa caldrà afegir una tercera força que equilibri l'acció de les altres dues, és a dir, de la mateixa direcció i sentit contrari que la suma de les dues forces primeres. Per tant, per resoldre el problema, haurem de començar per dibuixar la força corresponent a  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$



En la figura anterior  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$  i el seu mòdul val  $|\vec{F}| = \sqrt{|\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ N}$

Per tant, perquè el cos no es moga d'on està, caldria afegir una tercera força de mòdul 50 N i oposada a la força  $\vec{F}$ . És a dir:



### 3.3. Obtenció de l'acceleració sobre la trajectòria

A l'apartat anterior hem vist com podem obtenir el mòdul del vector acceleració en alguns casos senzills. El càlcul del vector acceleració quan es coneixen els vectors forces el deixarem per a cursos superiors.

En aquest curs ens limitarem a resoldre problemes dinàmics en els que la trajectòria és coneguda i totes les forces són constants. En aquestes condicions, l'acceleració sobre la trajectòria (o acceleració tangencial) es pot obtenir considerant únicament els valors de les forces que actuen al llarg d'aquesta, és a dir, únicament ens preocuparem de les forces que s'exerceixen paral·lelament a la trajectòria (en el sentit del moviment o en el sentit contrari al moviment). En eixes condicions, és possible treballar escalarment i assignar als valors de les forces tangencials que es coneixen, signe positiu o negatiu, segons el criteri de signes que s'haja triat, de manera que:

**Aquelles forces paral·leles a la trajectòria, el sentit de les quals coincideix amb el que hem considerat positiu, prendran valors positius (coincidents amb el seu mòdul).**

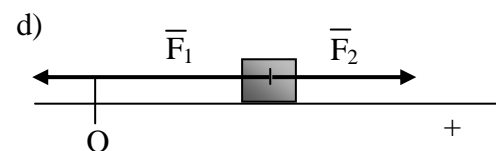
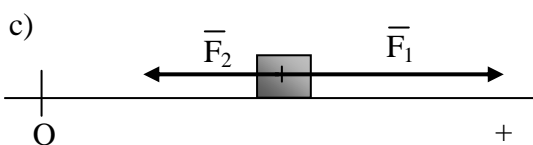
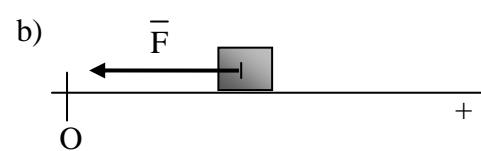
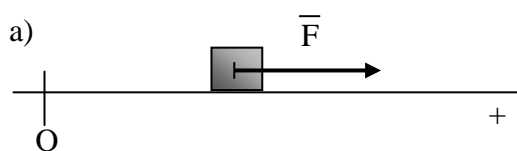
**Aquelles forces paral·leles a la trajectòria, amb sentit oposat al que hem considerat positiu, prendran valors negatius (coincidents amb el seu mòdul, però amb signe negatiu).**

D'acord amb el que acabem de dir, l'equació fonamental de la dinàmica es podrà expressar mitjançant l'equació:

$$F_t = m \cdot a_t$$

En l'anterior equació,  $F$  serà la suma de totes les forces que actuen sobre el cos paral·lelament a la trajectòria, cadascuna amb el signe que li corresponga (segons el criteri de signes adoptat).

**A.18.** Calculeu el valor de l'acceleració sobre la trajectòria (acceleració tangencial) en els següents casos (en tots ells el cos es mou cap a la dreta i la massa de l'objecte és de 2 kg). Mòduls de les forces:  $F = 6\text{ N}$ ;  $F_1 = 8\text{ N}$ ;  $F_2 = 5\text{ N}$ .



Aplicant l'equació fonamental de la dinàmica en la forma  $a_t = F_t/m$  obtenim que:

a)  $a_t = \frac{F_t}{m} = \frac{F}{m} = \frac{6}{2} = 3\text{ m/s}^2$ ;

b)  $a_t = \frac{F_t}{m} = \frac{-F}{m} = \frac{-6}{2} = -3\text{ m/s}^2$

c)  $a_t = \frac{F_t}{m} = \frac{F_1 + (-F_2)}{m} = \frac{8 + (-5)}{2} = 1,5\text{ m/s}^2$

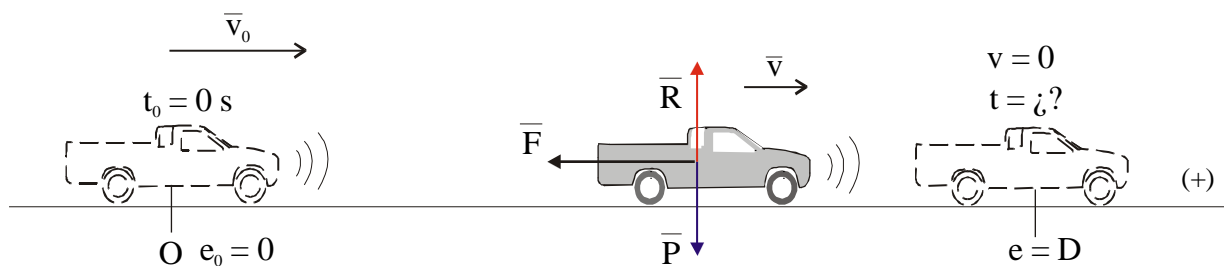
d)  $a_t = \frac{F_t}{m} = \frac{-F_1 + F_2}{m} = \frac{-8 + 5}{2} = -1,5\text{ m/s}^2$

### 3. Dinàmica

**A.19.** Sobre un mòbil de 1000 kg de massa, que es desplaça amb una rapidesa de 108 km/h, actua una força de frenada de 7500 N. Quina distància recorrerà fins aturar-se?

El càlcul de la distància que recorre un mòbil fins aturar-se té un indubtable interès, per exemple, en l'aterratge dels avions o en el trànsit de vehicles en general (per carretera i ciutat), on interessa assegurar una distància mínima de frenada per evitar xocs, factor que porta a limitar la velocitat màxima, guardar una certa distància de seguretat entre vehicles, perfeccionar els sistemes de frenada, etc.

En aquest problema, un mòbil porta una certa velocitat inicial i frena fins que es para, demanant-nos la distància que recorre durant el procés. Les forces que actuen sobre el mòbil són tres: el pes  $\vec{P}$ , la força normal  $\vec{R}$  exercida per la carretera i la força  $\vec{F}$  de frenada. Les dues primeres són perpendiculars a la trajectòria i s'anul·len entre elles, mentre  $\vec{F}$  és tangent i constant, de manera que el moviment serà rectilini i uniformement accelerat. Com la força de frenada té sentit contrari al moviment, la rapidesa inicial del mòbil anirà disminuint de manera regular, des de  $v_0$  fins a 0.



La figura anterior representa un esquema de la situació, on podem veure el punt que es pren com origen d'espais, al temps que, les forces que s'exerceixen sobre el mòbil i com la velocitat d'aquest va disminuint des de  $v_0 = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$  fins que queda parat ( $v = 0$ ).

Hem de calcular la distància  $D$  que recorre el mòbil des que comença a frenar fins que es para. Si prenem com origen d'espais el punt  $O$  de la figura i com sentit positiu el del moviment, aquesta distància, equival a determinar el valor de "e" en l'instant en què la rapidesa valga 0.

Com la trajectòria és fixa i coneguda, podem realitzar un tractament escalar per resoldre el problema. Si considerem com origen d'espais el punt on comença a frenar, origen de temps l'instant en què ho fa i sentit positiu el del moviment, tindrem:

$$\text{Acceleració tangencial del mòbil (constant): } a_t = F_t/m = -F/m \rightarrow a_t = -7500/1000 = -7.5 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

El vehicle es mou amb MUA i sabem que  $a_t = -7'5 \text{ m/s}^2$  i que en  $t_0 = 0$ ,  $v_0 = 30 \text{ m/s}$  i  $e_0 = 0$ .

Rapidesa en qualsevol instant  $t$  del moviment:  $v = v_0 + a_t \cdot t \rightarrow v = 30 - 7'5 \cdot t$  (2)

Posició en qualsevol instant  $t$  del moviment:  $e = e_0 + v_0 t + \frac{a_t t^2}{2} \rightarrow e = 30t - 3'75 \cdot t^2$  (3)

Podríem efectuar la determinació de la distància  $D$  mitjançant l'equació (3), si sabérem l'instant  $t$  en què el mòbil es para. Aquest últim el podem trobar fàcilment fent  $v = 0$  en l'equació (2) i aïllant  $t$ .

$0 = 30 - 7'5 \cdot t$  d'on  $t = 30/7'5 = 4 \text{ s}$  (temps que tarda en parar-se)

Substituint en l'equació (3) obtenim finalment que  $D = 30 \cdot 4 - 3'75 \cdot 16 = 60 \text{ m}$

*Una qüestió de gran interès és calcular quina distància hauria necessitat per parar-se (frenant amb la mateixa acceleració) si, en compte d'anar a 108 km/h, haguera anat a doble velocitat (206 km/h).*

Si realitzem els càlculs de nou, comprovarem que hauria necessitat 240 m per a parar. És a dir, si va a doble velocitat no precisa el doble de distància per a parar, sinó 4 vegades més. Insistim en la importància de reflexionar sobre les implicacions que aquest fet té en la conducció necessitat de respectar una distància de seguretat adequada en la conducció de vehicles.

**A.20.** *Suposant que, en posar en marxa un trineu de 400 kg, cadascun dels 6 gossos que l'arrossegueu exerceix una força constant de 300 N i que la força de fregament amb la neu (que suposarem també constant), val 600 N, calculeu amb quina rapidesa es mourà el trineu en l'instant en què haja recorregut 24 m. (Expresseu el resultat en km/h). R.. 43'2 km/h*

**A.21.** *Sobre un bloc de 5 Kg de massa, que es troba en repòs sobre una superfície sense fregaments, comencen a actuar al mateix temps dues forces en sentit contrari  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$ , de mòduls 40 N i 20 N respectivament, com s'observa en la figura adjunta. Es demana:*



a) *On es trobarà el bloc als 10 s de començar a actuar aquestes forces?*

b) *Expliqueu que li ocurriria al bloc si, en el mateix instant, cessa la força  $\vec{F}_1$ .*

c) *Determineu la posició i la velocitat del bloc, 10 s després de cessar la força  $\vec{F}_1$ .*

d) *Una vegada resolt els tres apartats anteriors el professor subministrarà una gràfica de la rapidesa davant del temps i altra de la posició respecte del temps, corresponents al moviment del bloc. Expliqueu, el més detalladament possible, aquestes gràfiques i utilitzeu-les per confirmar (o, si és procedent, rectificar) tot el que s'ha fet anteriorment.*

R.. a) A 200 m del punt en què es trobava en repòs; c) A 400 m del punt en què es trobava en repòs i amb rapidesa nul·la.

#### 4. FI D'UNA BARRERA HISTÒRICA: LA SÍNTESE GRAVITATÒRIA DE NEWTON

A l'època de Newton (part dels segles XVII i XVIII) el sistema heliocèntric de Copèrnic, segons el qual la Terra i els altres planetes coneguts giraven al voltant del Sol, era ja ensenyat en moltes universitats. Però el determinant que culminà l'enfonsament de la barrera que existia entre la Terra i el Cel, fou la llei de Newton de la Gravitació Universal, com veurem a continuació.

Newton, Halley, Hooke i d'altres, abordaren el problema del moviment dels cossos celests partint dels principis de la dinàmica que hem estudiat als apartats anteriors. Amb la nova concepció de força, el problema quedava formulat en termes molt distints a com s'havia fet amb anterioritat.

Efectivament, segons la idea newtoniana de força, expressada en el primer principi de la dinàmica, "si sobre un cos no actua cap força es trobarà en repòs o moviment rectilini i uniforme", el que equival a afirmar que, qualsevol cos que no tinga un moviment rectilini i uniforme, estarà sotmès a una força resultant. Així, doncs, si la Lluna descriu, aproximadament, un moviment circular uniforme al voltant de La Terra, és lògic, segons Newton, plantejar-se quina força ha d'estar actuant sobre ella, perquè descriu aquesta trajectòria.

*A.22. Indiqueu la direcció i sentit de la força que ha d'actuar sobre la Lluna, perquè descriu òrbites circulars amb rapidesa constant al voltant de La Terra, identificant el parell acció i reacció. Ídem per un projectil que es deixa caure des d'un avió en vol.*

Sobre la Lluna, ha d'actuar una força constant, perpendicular a la trajectòria i dirigida en tot moment cap al centre de la Terra. Açò explica que, en compte d'anar-se'n, seguint la direcció de la tangent, quede lligada a la Terra amb un moviment circular i uniforme (recordem que l'explicació aristotèlica consistia en admetre que el moviment circular era l'estat natural dels objectes celests).

Pel que fa al projectil que abandona l'avió, té la mateixa velocitat que aquest i seguiria en línia recta amb l'esmentada velocitat (MRU) si no fóra perquè el seu pes fa que vaja caient cada vegada més a pressa (al mateix temps que es mou horitzontalment), amb l'acceleració de la gravetat. Això fa que descriu una trajectòria parabòlica en l'aire fins a arribar a terra.

**A.23.** Enuncieu hipòtesi respecte dels factors de què dependrà la força gravitatòria entre dos cossos.

Sembla lògic pensar que, com majors siguen les masses i menor la distància que les separa, més gran haurà de ser la força d'atracció gravitatòria existent entre ambdós. Newton va obtenir que el mòdul d'aquesta força ve donat per l'expressió:

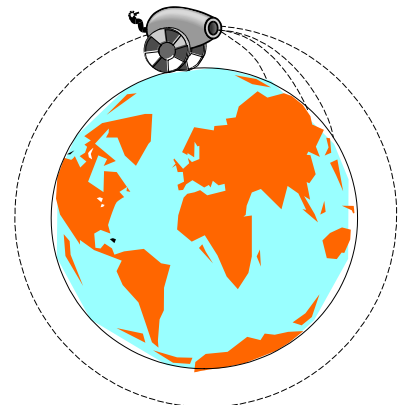
$$|\vec{F}| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

En l'equació anterior  $G = 6'67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$  i rep el nom de constant de gravitació universal (el seu valor és sempre el mateix, independentment del medi en què es troben els dos cossos, de masses  $m_1$  i  $m_2$ ) i  $r$  és la distància que els separa (considerats com masses puntuals). Donat el xicotet valor de  $G$  es comprèn que la força gravitatòria amb què s'atrauen dos cossos siga en molts casos imperceptible llevat que, almenys un d'ells, tinga una gran massa (com ocorre, per exemple, amb una pedra i la pròpia Terra).

La gran intuïció de Newton, facilitada per tots els passos donats pels seus predecessors, va ser atrevir-se a pensar que la força que fa caure un objecte en deixar-lo caure, o que fa descriure una paràbola a un projectil, és del mateix tipus que la que fa girar a la Lluna al voltant de la Terra, o als planetes al voltant del Sol. En suma, es va atrevir a pensar, que existia una força *universal*, per la qual *tots* els objectes, *terrestres o celests*, s'atraurien entre ells.

En establir la mateixa naturalesa o tipus de força, per a la Terra (pes d'un objecte) i per al Cel (atracció entre la Lluna i la Terra), Newton posava fi a una barrera històrica que s'havia mantingut durant centenars d'anys, separant el món terrestre i el celeste. D'acord amb la llei de Newton de la gravitació, la força que actua sobre un objecte que es deixa caure des d'un avió (sense considerar el fregament amb l'aire) és de la mateixa naturalesa que la que manté a la Lluna en òrbita al voltant de la Terra, evitant que se'ns escape, i als planetes girant al voltant del Sol. El propi Newton, explicava així el fet que un planeta es poguera mantindre en la seua òrbita:

«Que un planeta pugui ser retingut en la seua òrbita és quelcom que podem comprendre fàcilment si considerem els moviments dels projectils. En efecte, una pedra que ha estat llançada, a causa del pes es veu forçada a abandonar la trajectòria rectilínia... veient-se obligada a descriure una línia corba en l'aire i, a causa d'aquest camí corbat es veu, finalment, arrossegada al sòl. I quan major siga la velocitat amb què es projecta, més lluny arribarà abans de caure a terra. Podem suposar, per tant, que la velocitat es pot incrementar de tal manera que descriga un arc de (moltes) milles abans d'arribar al sòl, fins que finalment, excedint dels límits de la Terra, passarà totalment sense tocar-la»



Aquesta analogia entre el moviment d'un projectil i el d'un cos celest com la Lluna, representa el pas que, fins llavors ningú, ni tan sols el propi Galileu, havia donat: no hi ha cap diferència essencial entre el moviment dels dos, es tracta de la combinació entre el moviment rectilini i uniforme que tindrien si no actuara la força gravitatòria i el moviment rectilini accelerat de caiguda a causa de l'atracció gravitatòria, el pes. La diferència ve determinada únicament per la velocitat horitzontal dels dos moviments.

### 3. Dinàmica

**A.24.** *A partir de la llei de la Gravitació Universal i de l'equació fonamental de la dinàmica, mostreu que l'acceleració de caiguda lliure és la mateixa per a tots els cossos, independentment de la seua massa (com ja vam veure en cinemàtica).*

En deixar caure el cos, l'única força que actuarà sobre ell serà la gravitatòria, exercida per la Terra, és a dir, el pes. Aquesta força provocarà un moviment rectilini, l'acceleració del qual (en valor absolut), serà:  $a_t = F_t/m$

Substituint  $F_t$  per  $G \frac{M \cdot m}{r^2}$  on  $M$  és la massa de la Terra,  $m$  la del cos i  $r$  la distància entre el cos i el centre de la Terra, obtenim que:

$$a_t = G \frac{M \cdot m}{m \cdot r^2} = G \frac{M}{r^2}$$

on, com veiem, no apareix per a res la massa del cos, la qual cosa significa que, si els deixem caure des del mateix punt, tots els cossos realitzaran el mateix moviment. D'altra banda, també veiem que  $a_t$  no és constant, sinó que va augmentant, segons el cos s'aproxima a la Terra. *Com podem justificar llavors que, en el tema anterior, s'haja estudiat el moviment de caiguda en línia recta dels cossos com un MUA?*

Convé tindre en compte que, en tots els exercicis que férem al capítol anterior, s'acomplia que l'altura  $h$  era molt menor que el radi de la Terra  $R$  (el valor mitjà del qual és d'uns 6400 km). En eixes condicions la  $a_t$  val pràcticament el mateix en tots els punts de la trajectòria i el moviment es pot considerar com MUA. En efecte, si fem  $r = R+h$  en l'expressió anterior, s'obté:

$$a_t = G \frac{M}{r^2} = G \frac{M}{(R+h)^2} \text{ i si considerem } h \text{ menyspreable front a } R: a_t \approx G \frac{M}{R^2} = cte = 9,8 \text{ m/s}^2$$

El valor de la força amb què un planeta atrau a 1kg de massa situat en un punt donat (en la seua superfície o a una certa altura sobre aquesta) és una característica pròpia de cada planeta. La magnitud corresponent s'anomena **intensitat gravitatòria** i es representa per "g". Es mesura en N/kg. Numèricament coincideix amb el que hem denominat acceleració de la gravetat (en cursos superiors s'analitzarà el perquè d'eixa coincidència). En la superfície de la Terra el seu valor és de 9,8 N/kg, en la Lluna de 1,6 N/kg, en Mart de 3,7 N/kg i a Júpiter d'uns 23 N/kg.

**A.25.** *Què significa que la intensitat gravitatòria al nivell del mar en la Terra valga 9,8 N/kg?*

Significa que, cada kg de massa situat al nivell del mar, és atret per la Terra amb una força (pes) de 9,8 N, per tant 2 kg en eixe mateix punt pesaran (2·9,8) N, 3 kg pesaran (3·9,8) N i així successivament. El mateix raonament podríem fer per altre punt situat a una certa altura (en la Terra o en qualsevol altre astre) només que, llavors, g tindria altre valor. Tot això ens condueix a l'equació general:

$$P = m \cdot g$$

en la que  $P$  és el mòdul de la força pes d'un cos de massa  $m$  situat en un punt en què la intensitat gravitatòria és  $g$  (en valor absolut).



**A.26.** Calculeu el pes d'una massa de 70 kg a la superfície de la Terra, la Lluna, Mart i Júpiter.  
R.. 686 N, 112 N, 259 N i 1610 N, respectivament

La intensitat gravitatòria no és la mateixa en tots els punts sinó que depèn de la distància a què ens trobem del centre del planeta o astre en qüestió (va disminuint amb la distància).

**A.27.** Utilitzeu la llei de Newton de la Gravitació per obtenir l'expressió de la intensitat de la gravetat terrestre sobre la superfície de la Terra ( $g_0$ ) i a una certa altura  $h$  del sòl ( $g$ ). Analitzeu l'expressió obtinguda raonant en quin punt valdria 0 la intensitat gravitatòria terrestre.

Un cos de  $m$  quilograms de massa situat sobre la superfície de la Terra serà atret per una força gravitatòria (dirigida cap al centre del planeta) de valor:

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2} \quad \text{on } M \text{ és la massa de la Terra i } R \text{ el seu radi mitjà.}$$

Si volem saber la força que actuaria sobre 1 kg, farem: 
$$\frac{F}{m} = G \frac{M \cdot m}{m \cdot R^2} = G \frac{M}{R^2}$$

Aquest serà precisament el valor de la intensitat gravitatòria en la superfície de la Terra (que podem designar com  $g_0$ ). És a dir:

$$g_0 = G \frac{M}{R^2} \quad (1)$$

Si situem el cos de massa  $m$ , a una altura  $h$  sobre el sòl, la força gravitatòria amb què serà atret per la Terra serà:

$$F = G \frac{M \cdot m}{(R+h)^2}. \quad \text{Per tant, la força sobre 1 kg de massa valdrà: } \frac{F}{m} = G \frac{M \cdot m}{m \cdot (R+h)^2} = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Aquest serà precisament el valor de la intensitat gravitatòria a una altura  $h$  sobre el sòl. És a dir:

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (2)$$

Convé adonar-se que, si en l'expressió (2) fem  $h = 0$ , s'obté la (1) i que la intensitat gravitatòria va disminuint segons augmenta  $h$ , açò és, conforme ens anem allunyant de la Terra, però que mai arriba a valdre 0 (es diu que  $g$  "tendeix" a 0 quan  $h$  "tendeix" a infinit).

Per tant, **la idea que al buit no hi ha gravetat és totalment falsa.**

D'altra banda, podem expressar la força amb què la Terra atrau a un cos de massa  $m$ , com

$$F = G \frac{M \cdot m}{(R+h)^2} \quad \text{Tenint ara en compte que } G \frac{M}{(R+h)^2} = g \quad \text{obtenim } F = m \cdot g$$

Aquesta força es coneix com pes del cos i se simbolitza per "P", de forma que l'última expressió sol escriure's habitualment com  $P = m \cdot g$

### 3. Dinàmica

**A.28.** Trobeu quin serà el valor de la intensitat gravitatòria terrestre a una altura  $h$  igual al radi de la Terra  $i$ , a continuació, calculeu el que pesaria allí una persona de 80 kg de massa.

Com volem conèixer el valor de  $g$  per a  $h = R$ , farem:

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2} = G \frac{M}{(R+R)^2} = G \frac{M}{(2R)^2} = G \frac{M}{4R^2} = \frac{g_0}{4} = \frac{9'8}{4} = 2'45 \text{ N/kg}$$

El pes d'una persona a eixa distància serà:  $P = m \cdot g = 80 \cdot 2'45 = 196 \text{ N}$  (la quarta part del que pesaria en terra).

**A.29.** Una estació orbital es troba a una altura aproximada de 400 km sobre la superfície del planeta. Sabent que  $g_0 = 9'8 \text{ N/kg}$  i que el radi mitjà terrestre val 6370 km:

a) Calculeu el pes d'un astronauta de 90 kg situat a l'interior de l'estació (el dibuix no està fet a escala).

b) A quina distància de la Terra hauria de col·locar-se una estació orbital perquè un astronauta fóra atret per la Terra amb la meitat de força amb què és atret quan està sobre la superfície terrestre?

R. a) 780'9 N; b) 2611'7 km

**A.30.** Sabent que  $g_0 = 9'8 \text{ N/kg}$  i que el radi mitjà de la Terra és de 6370 km, calculeu la massa aproximada de la Terra. R..  $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

La llei de la gravitació Universal junt amb els principis fonamentals de la dinàmica, permeten també interpretar fenòmens per als que, fins llavors, no es disposava d'explicació (com les marees), conèixer dades com la massa dels planetes, predir l'existència d'astres no detectats fins aleshores (casos de Neptú i Plutó), etc. També va deixar obertes algunes preguntes (que el propi Newton no va poder resoldre) com: ¿de quina manera s'exerceix l'atracció gravitatòria entre dos cossos? Tot això ho estudiarem en cursos posteriors. Enguany ens limitarem a estudiar les forces que els fluids (líquids i gasos) com l'aigua o l'aire exerceixen sobre els cossos que es troben submergits en ells.

## 5. FORCES EXERCIDES PER FLUIDS

Anteriorment hem vist que cap cos pot accelerar-se per ell mateix, que sempre necessita l'acció d'un altre i que tots els cossos són atrets gravitatòriament per la Terra. No obstant sabem que un globus ple d'hidrogen s'eleva en l'aire; una pilota que s'amolla al fons d'una piscina també puja ràpidament; també sabem que hi ha cossos que suren sobre l'aigua (un vaixell, un iceberg, nosaltres mateixos) i altres que s'enfonsen. Com explicar tots aquests fets?, continuen sent vàlides també ací les lleis de Newton?

**A.31.** Analitzeu quin interès pot tindre l'estudi de les forces que els fluids exerceixen sobre els cossos que es troben submergits en ells.

Són moltes les situacions en què hi ha cossos sotmesos a forces exercides per fluids (líquids i gasos). Nosaltres mateixos vivim en el fons d'un mar d'aire que, per exemple, exerceix una força de més de 100.000 N sobre el vidre d'una finestra d'aproximadament  $1 \text{ m}^2$  de superfície<sup>2</sup>. En el disseny de vehicles (trens, avions, cotxes) s'estudia molt detingudament la forma que se'ls va a donar per tal que l'aire faça sobre ells la menor força possible de resistència a l'avanç (forma aerodinàmica) i obtindre així el major rendiment. Anàlogament podem pensar en la força que exerceix l'aigua d'un pantà sobre les parets de la presa, o en la que exerceix l'aigua del mar sobre els vaixells i els submarins que naveguen per ella. En aquest curs ens limitarem a estudiar les forces entre fluids i cossos en repòs.

La força que exerceix un fluid sobre un objecte que es troba al seu si, està relacionada amb una magnitud molt important denominada pressió. Per això, el primer que farem serà detenir-nos a introduir i aclarir el significat d'aquesta nova magnitud.

### 5.1. Concepte general de pressió

*A.32. Els següents exemples mostren situacions on es realitzen forces semblants, però produeixen efectes diferents. Per què succeeix açò?*

- a) *Una sabata de tacó deteriora un sòl de fusta, però unes sabatilles no.*
- b) *un clau de punta fina s'enfonsa més que altre de punt amés grossa, en pegar-li un cop.*
- c) *Un ganivet esmolat talla més que un que no ho estiga.*

És evident que a ningú se li ocorre copejar un clau per la punta amb el martell, quan el que es desitja és introduir-lo en una paret, ni tampoc posar-se unes xanques per caminar sobre la neu. El que sembla més lògic és que els claus tinguen una punta fina i que els ganivets tinguen un tall molt prim, de forma que es claven i tallen més fàcilment. En canvi, si volem produir l'efecte contrari, hem d'augmentar la superfície, com per exemple, quan volem caminar per la neu sense enfonsar-nos, ens posem unes raquetes en els peus.

Per quantificar l'efecte anterior no és prou en conèixer la força. Per exemple: una persona amb uns esquís als peus quasi no s'enfonsa en la neu, però si eixa mateixa persona (per tant amb el mateix pes) utilitza els esquís a mena de xanques s'enfonsarà molt (d'ací que les sabates de tacó no siguin aconsellables per caminar sobre un sòl de parquet). En el primer cas diem que la pressió sobre la neu és poca, mentre que en el segon és molta. Un altre exemple: una persona copeja uns claus amb un martell (posat correctament) sobre una fusta, fent sempre la mateixa força; si utilitza claus de punta més fina veurà que s'introdueixen més en la fusta. Encara que la força amb què copeja el martell siga la mateixa, l'efecte aconseguit és major com més fina siga la punta del clau, és a dir, com menor siga la superfície sobre la qual s'exerceix la força.

Així doncs, necessitem una nova magnitud, a la que denominarem pressió  $P$ , que serveix per a quantificar l'efecte que fa una força sobre un cos, segons siga la superfície sobre la qual es reparteix. Per tant, haurà d'acomplir les següents condicions :

- a) Per a una mateixa superfície, la pressió augmentarà com major siga la força exercida.
- b) Per a una mateixa força, la pressió augmentarà com menor siga la superfície sobre la qual actua.

<sup>2</sup> No es trenca perquè les dues cares del cristall estan sotmeses a la mateixa força.

### 3. Dinàmica

**A.33.** *Proposeu, a títol d'hipòtesi, una expressió per a la pressió, que depenga dels valors de la força exercida sobre un objecte i de la superfície sobre la qual s'exerceix, en la forma expressada per les condicions anteriors.*

Les consideracions anteriors ens porten a proposar l'expressió:

$$P = \frac{F}{S}$$

En l'expressió proposada, F és la força i S la superfície sobre la qual aquella actua. D'acord amb ella, la unitat internacional de mesura de pressions (P) és el  $\text{N/m}^2$ , també anomenat Pascal (Pa).

Així doncs:  $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$

Concretament: 1 Pa és la pressió que s'exerceix sobre els punts d'una superfície plana d'1  $\text{m}^2$  en aplicar una força perpendicular d'1 N que es reparteix uniformement per tota la superfície.

També hi ha altres unitats per a mesurar la pressió. Entre elles: l'atmosfera (atm), el bar (bar), el mil·libar (mb) i el mil·límetre de mercuri (mm de Hg). Les equivalències són les següents:

$$1 \text{ atm} = 1'013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2; \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm de Hg}; \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ PA}; \quad 1 \text{ bar} = 1000 \text{ mb}$$

**A.34.** *Ordeneu de menor a major: a) 901'7 mb, b) 1'5 atm, c) 2'2 bars, d) 684 mm de Hg*

Convé recordar que la pressió no és una força. Es tracta de dues magnituds distintes i, per tant, no es poden comparar. Altra cosa distinta és que la pressió ens ajude a conèixer les forces que els fluids puguen exercir sobre les parets dels recipients que els contenen o sobre els cossos que es troben submergits en ells, com veurem a continuació. En la resolució de problemes, poseu atenció en el context per no confondre-la amb el mòdul de la força pes, que també es designa per P.

### 5.2. Pressió a l'interior d'un líquid

**A.35.** *Què cal esperar que ocorregi amb la pressió que exerceix un líquid sobre una paret, segons augmenta la profunditat? Dissenyeu una experiència fàcil de realitzar, que permeti comprovar de forma qualitativa la hipòtesi enunciada.*

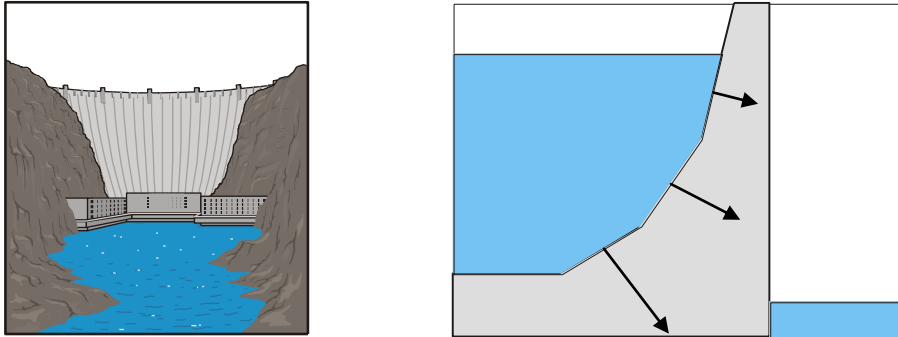
Cal esperar que, segons augmenta la profunditat, també ho faci la pressió sobre la paret del recipient que conté al líquid.

Una forma molt senzilla de comprovar la hipòtesi anterior és mitjançant la utilització de botelles grans de plàstic a les que, prèviament, es practica forats a diferents altures sobre el fons. En omplir una d'aixes botelles amb aigua veurem com, a major profunditat, el doll d'aigua ix amb més velocitat. El mateix ocorre si fem la botella buida dins d'un recipient amb aigua (en aquest cas els dolls d'aigua s'introdueixen a l'interior de la botella).

És important adonar-se que el doll sempre ix perpendicular a la superfície (encara que la inclinem) i, en el sentit que va des del líquid cap a la superfície. Per tant, el líquid fa una força sobre la superfície. Aquesta força es "reparteix" per tota la superfície de contacte, però no amb la mateixa intensitat en tots els punts. En efecte, que una mateixa porció de líquid isca amb més velocitat per un forat de la botella significarà que ha experimentat una major acceleració en passar del repòs a la velocitat d'eixida, és a dir, que ha seguit empentada per una força major. Així doncs, com la velocitat d'eixida és major segons augmenta la profunditat, també ho serà la força i, per tant, la pressió (ja que  $P = F/S$ ).

L'experiència anterior explica que, quan es construeix una presa per emmagatzemar aigua, el fons de les parets tinga una grossor molt major que la part de dalt. Les figures següents mostren una presa (l'aigua embassada no es veu perquè està darrere de la gran paret) i el tall transversal de la mateixa.

A la figura de la dreta s'aprecia la diferència de grossor de les parets, segons la profunditat. Els vectors representen la força que fa l'aigua sobre distints punts de la paret (major com més gran és la profunditat).

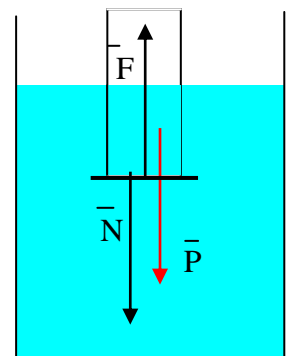


**A.36.** Preneu un tub de vidre obert pels dos costats i col·loqueu-li un disc metàl·lic molt prim i de poc pes, subjecte amb un fil pel centre. A continuació, estirant el fil cap amunt, perquè el disc tanque bé el tub, submergiu part del mateix en un recipient amb aigua i amolleu el fil. Per què no cau el disc? Per què no cau encara que inclinem el tub? Si es va omplint el tub d'aigua, què passa en el moment en què aquesta abasta el nivell de l'exterior?

L'activitat anterior ens ha d'haver permès arribar a les conclusions següents:

- ✓ La pressió a l'interior d'un líquid s'exerceix en totes direccions (cap amunt, cap avall, cap als costats, etc.)
- ✓ La força que fa un líquid sobre la superfície d'un objecte submergit en ell és igual al pes de la columna de líquid situada al damunt d'eixa superfície

**A.37.** La força  $\vec{F}$  que exerceix el líquid sobre la superfície inferior del disc té el mateix mòdul que la força  $\vec{N}$  que fa el líquid sobre la cara superior del disc i, aquesta val el mateix que el pes  $\vec{P}$  del líquid contingut dins del cilindre. Utilitzeu aquestes igualtats i el concepte de pressió, per deduir el valor de la pressió que exercirà un líquid a una profunditat "h" del mateix.



A la figura anterior, les tres forces haurien d'estar en una mateixa recta, però s'han separat per facilitar la comprensió. Igualant els mòduls tindrem:

$F = N = \text{Pes}$ . Tenint en compte que  $F = P \cdot S$  i que  $\text{Pes} = mg$ , ens queda que  $P \cdot S = mg$

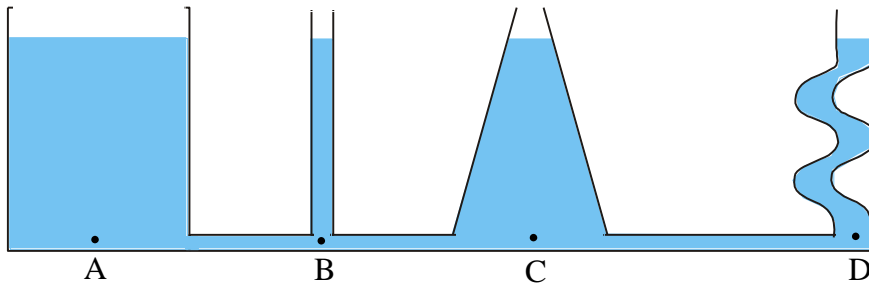
### 3. Dinàmica

D'altra banda, es pot relacionar la massa de líquid situada damunt de la superfície amb la densitat del líquid i el volum:  $m = \rho \cdot V$  amb la qual cosa  $P \cdot S = \rho \cdot V \cdot g$

Si tenim en compte ara que el volum d'un cilindre ve donat pel producte de la superfície  $S$  de la base per l'altura  $h$ , l'equació anterior queda com:  $P \cdot S = \rho \cdot S \cdot h \cdot g$

Simplificant obtenim finalment que:  $P = \rho \cdot g \cdot h$

Malgrat que, per simplificar, en l'obtenció de l'expressió anterior, hem considerat un tub cilíndric, el resultat obtingut és totalment general. En efecte, si disposem d'un conjunt de recipients comunicats com els de la figura següent o semblants, experimentalment es pot observar que, en introduir aigua per un qualsevol d'ells, aquesta es distribueix de manera que, el nivell que abasta és el mateix en tots els recipients, independentment de la forma que tinguen.



Perquè existisca la situació d'equilibri anterior és necessari que en els punts A, B, C, D la pressió valga el mateix ja que, si no fóra així, l'aigua circularia d'on hi haguera més pressió cap a on hi haguera menys, i això no ocorre.

Així doncs, la pressió en un punt d'una massa fluida en equilibri és independent de la forma del recipient i l'expressió obtinguda  $P = \rho \cdot g \cdot h$  és absolutament general. En conseqüència: en una massa fluida en equilibri la pressió en un punt depèn de la profunditat a què es trobe (en tots els punts que es troben en la mateixa línia horitzontal valdrà el mateix), de la densitat del fluid i de la intensitat de la gravetat.

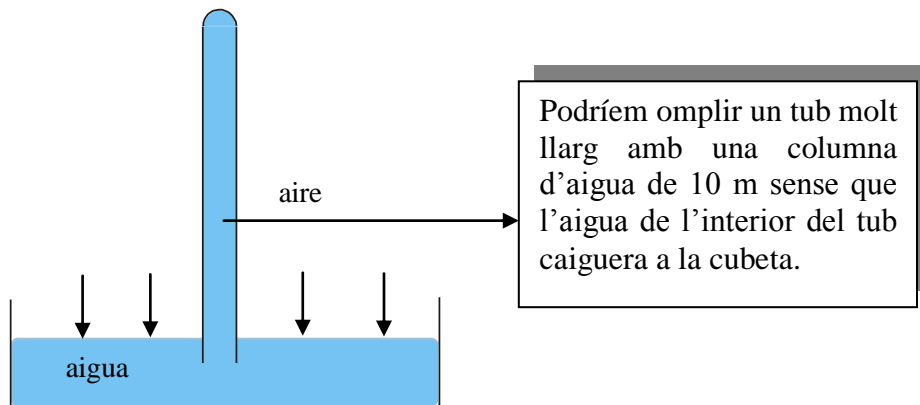
**A.38.** En agost de 2002 l'esportista nord-americana Tanya Streeter fou capaç de descendir a pulmó lliure a una profunditat de 160 m en el mar. Quina pressió total suportà el seu cos quan estava a eixa profunditat? Dades: densitat de l'aigua de mar  $1025 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9,8 \text{ N/kg}$ ,  $P_{atm} = 101300 \text{ Pa}$ . R.  $1.708.500 \text{ Pa} = 16,9 \text{ atm}$

**A.39.** Calculeu la força exercida pel líquid sobre el fons pla d'un tub de vidre de 2 m d'altura quan: a) Estiga ple d'aigua. b) Estiga ple de mercuri. Dades: densitat de l'aigua  $1 \text{ g/cm}^3$ ; densitat del mercuri  $13,6 \text{ g/cm}^3$ ; secció del fons del tub  $1 \text{ cm}^2$ ;  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ . R. a) 2 N; b) 27,2 N

### 5.3. Forces que exerceix l'aire sobre parets i objectes. Pressió atmosfèrica

És fàcil veure les forces que fan els líquids sobre les parets dels recipients que els contenen i sobre els objectes que hi ha en ells, però no és tan senzill admetre que el mateix ocorre quan, en compte d'un líquid es tracta d'un gas o d'una mescla de gasos (com és l'aire). De fet, molta gent pensa que l'aire només fa força sobre els objectes quan fa vent, malgrat que, òbviament, això no és així.

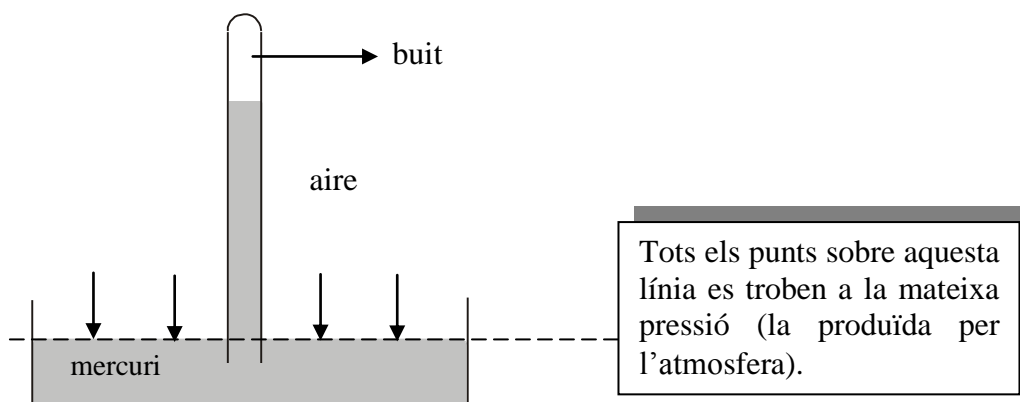
**A.40.** *Quan omplim totalment un tub amb aigua i l'invertim introduint l'extrem obert en una cubeta amb aigua, veiem que l'aigua que hem posat dins del tub no cau. En canvi, si foradem l'extrem superior del tub, veiem que es buida ràpidament. Per què ocorre açò?*



La interpretació que els científics donen a aquest fenomen es basa en admetre que vivim al fons d'un mar d'aire, del qual podem pensar que es comporta de forma anàloga a com ho fan els líquids, de forma que exerceix una certa pressió sobre els objectes que hi ha en ell (tant menor com major siga l'altura a què es trobe l'objecte sobre el sòl). L'aire, doncs, fa pressió sobre l'aigua de la cubeta, impedit que es vesse en ella l'aigua del tub. No obstant, en obrir el tub per dalt, l'aire també fa pressió per aquest punt, pràcticament amb la mateixa força, raó per la qual, l'aigua de dins del tub caurà a causa del seu pes.

Experimentalment es comprova que, si utilitzem un tub molt llarg (per exemple d'11 m) ple d'aigua, aquesta cau a la cubeta fins que, dins del tub, queda una columna d'aigua de quasi 10 m d'altura (la pressió deguda a una columna d'aigua de 10 m, és aproximadament igual a 1 atm).

Si en compte d'aigua utilitzàrem un tub d'1 m completament ple de mercuri i realitzàrem l'experiència anterior, veuríem que, el nivell de mercuri dins del tub descendiria, fins que l'altura del mercuri a l'interior del tub (respecte de la línia de punts marcada) fóra d'uns 76 cm.



El resultat de l'experiment amb mercuri pot entendre's si tenim en compte que aquest és molt més dens que l'aigua (aproximadament unes 13'5 vegades més). Per això, a igualtat d'altura, una columna de mercuri exerceix una pressió sobre la base, unes 13'5 vegades major que altra d'aigua.

### 3. Dinàmica

Els 76 cm de mercuri fan sobre la línia puntejada la mateixa pressió que la que exerceix l'atmosfera. Per això precisament es diu que  $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm de Hg}$ .

**A.41.** *Què ocurrirà amb l'altura de la columna de mercuri si la pressió atmosfèrica disminueix? I si augmenta?*

Si la pressió atmosfèrica disminueix, l'altura de la columna baixa i, si augmenta, el nivell de mercuri en el tub ascendirà. Per això, si pujàrem a una muntanya amb una cubeta com la de la figura anterior, veuríem que, segons anàrem ascendint, l'altura de la columna de mercuri aniria sent cada vegada menor.

**A.42.** *Sabent que la densitat del mercuri és  $13600 \text{ kg/m}^3$  i prenent  $g = 9,8 \text{ N/kg}$ , obteniu la pressió exercida per la columna de 760 mm de Hg (1 atm) en pascals. R.  $101292,8 \text{ Pa}$*

**A.43.** *A continuació es proposen una sèrie de situacions i experiències en què intervé la pressió atmosfèrica. Tracteu de realitzar-les i d'interpretar-les utilitzant el que heu après fins aquí.*

a) *Les gàbies dels ocells porten uns recipients (abeuradors). Agarreu un d'ells, ompliu-lo d'aigua i expliqueu per què l'aigua no se n'ix.*

b) *Pegueu una ventosa a una paret llisa i tracteu d'arrancar-la estirant d'ella. Per què no podeu?*

c) *El professor agafarà una llauna de refresc buida, col·locarà un poc d'aigua dins i la posarà a bullir, fins que isca abundant vapor. Immediatament, subjectant-la amb ajuda d'unes estenalles de mànec llarg, introduirà la boca de la llauna en un recipient amb aigua (de forma que l'aigua tape totalment el forat de la llauna). Es veu com aquesta es deforma espectacularment. A què es deu?*

Un problema important és comprendre la major o menor flotabilitat d'un cos en un líquid. Tots hem experimentat que surem més en l'aigua de mar que en l'aigua dolça i que, quan tirem l'aire dels nostres pulmons, ens enfonsem. També sabem que, els vaixells, malgrat estar fets de ferro i acer suren, que un submarí pot navegar a major o menor profunditat o que el gel flota en l'aigua, encara que té una gran part submergida. Anàlogament podríem referir-nos als cossos submergits en el fons del mar d'aire que constitueix l'atmosfera i preguntar-nos per la raó que un globus ple d'hidrogen o d'aire calent s'enlaire, però no ho faça si està ple d'aire fred. Com s'expliquen tots aquests fets?

### 5.4. Força que exerceix un fluid en repòs sobre un cos que se submergeix o que sura en ell

Com acabem d'assenyalar, l'estudi de la força que fa un fluid sobre els cossos que es troben dins d'ell té un indubtable interès pràctic (navegació de vaixells, avions, globus aerostàtics, etc.). Nosaltres mateixos, notem com si "pesàrem menys" quan ens banyem en l'aigua i ens resulta molt més fàcil alçar una mateixa pedra dins d'un riu, que fora.

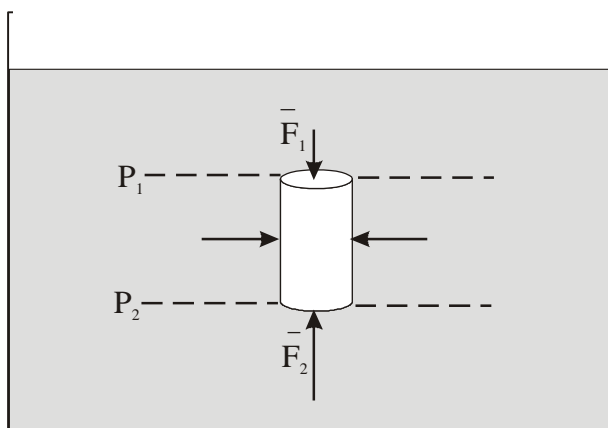
**A.44.** *Trobeu el mòdul, direcció i sentit de la força que fa un líquid sobre un cos que sura en ell.*



L'activitat anterior ha de portar a la conclusió que, perquè el cos es trobe en repòs, surant en el líquid, aquest ha de fer sobre el cos una força vertical, cap amunt, i igual al pes del cos. A eixa força se li anomena "empenta" i la representarem com "E". A continuació tractarem de trobar el valor de l'empenta utilitzant el concepte de pressió.

**A.45.** Expliqueu a què es deu la força d'empenta que fa un líquid sobre un objecte submergit totalment dins d'aquest. El valor de la força d'empenta depèn de la naturalesa del cos submergit?

En la figura adjunta podem veure com les forces que s'exerceixen sobre les parets laterals del cos s'anul·len entre elles, ja que la profunditat és la mateixa sobre la paret lateral dreta que sobre l'esquerra, per la qual cosa la pressió serà també la mateixa i la força ve donada per  $F = P \cdot S$ .



En canvi, la força que empenta cap amunt la superfície inferior del cilindre ha de ser major que la força que empenta cap avall la superfície de dalt, ja que la superfície inferior es troba a major profunditat i per tant sotmesa a major pressió.

Com totes les forces mencionades es deuen a la pressió del líquid, el valor de les mateixes no dependrà per a res del material que estiga fet el cos en qüestió.

**A.46.** Un objecte sòlid se submergeix totalment en un líquid. Trobeu l'empenta que exercirà el líquid sobre el mateix.

L'empenta exercida pel líquid sobre el cos vindrà donada per la diferència entre la força que el líquid exerceix cap amunt i la força que exerceix cap avall. Tornant a la figura anterior:

$$E = F_2 - F_1 = P_2 \cdot S - P_1 \cdot S = \rho_L \cdot g \cdot h_2 \cdot S - \rho_L \cdot g \cdot h_1 \cdot S \text{ per tant: } E = \rho_L \cdot S \cdot (h_2 - h_1)$$

tenint ara en compte que  $S \cdot (h_2 - h_1) = V_c = \text{volum del cos submergit}$ , obtenim:

$$E = \rho_L \cdot g \cdot V_c$$

Considerant que, el volum del cos submergit coincideix amb el volum del líquid desallotjat, que  $\rho \cdot V = m$  i que pes =  $m \cdot g$  és fàcil adonar-se que:

$$E = \rho_L \cdot g \cdot V_c = m_L \cdot g = \text{pes del líquid desallotjat pel cos.}$$

### 3. Dinàmica

Encara que l'expressió anterior ha segut deduïda per a un cos submergit en un líquid, és vàlida també per al cas d'un cos "submergit" en l'aire o en qualsevol gas, i es pot generalitzar dient que:

**Tot cos submergit en un fluid experimenta una força d'empenta vertical i cap amunt igual al pes del fluid desallotjat.**

Operativament serà:  $E = \rho_F \cdot g \cdot V_C$  on  $\rho_F$  és la densitat del fluid en qüestió.

L'enunciat anterior constitueix l'anomenat Principi d'Arquimedes. D'acord amb ell, com major siga la densitat del fluid, major serà l'empenta, per tant, l'aigua exercirà una empenta molt major que l'aire sobre un cos donat i, per la mateixa raó, en aigua salada se sura més que a l'aigua dolça (menys densa). El principi d'Arquimedes té una gran importància en el disseny d'embarcacions, per estar directament relacionat amb la flotabilitat.

*A.47. Dissenyeu una experiència senzilla per comprovar el principi d'Arquimedes.*

Per mesurar l'empenta que experimenta un cos quan el submergim en un fluid, podem utilitzar un cilindre metàl·lic, que penjarem d'un dinamòmetre en l'aire. Si menyspreem l'empenta de l'aire sobre el xicotet cilindre (cosa perfectament lògica per al que ens proposem), podem acceptar que el pes del cilindre vindrà indicat pel que marque el dinamòmetre, que anotarem com  $F_1$ . Després submergim totalment el cilindre en aigua (continua penjat del dinamòmetre) i anotarem el que marque ara el dinamòmetre com  $F_2$ . Com és lògic,  $F_2$  serà menor que  $F_1$ , amb la qual cosa la diferència  $F_1 - F_2$  serà, justament, l'empenta que l'aigua exerceix sobre el cos.

$$E = F_1 - F_2$$

Per comprovar que el valor d'E coincideix amb el pes de líquid desallotjat, sols caldrà trobar el volum del cilindre (recordar que  $V_C = S \cdot h = \pi \cdot R^2 \cdot h$ ), que coincidirà amb el volum de líquid desallotjat, és a dir:  $V_C = V_L$  i, a continuació, aplicar l'expressió:

Pes líquid desallotjat =  $m_L \cdot g = \rho_L \cdot V_L \cdot g$  i constatar que el valor obtingut coincideix amb el de l'empenta E.

En aquesta experiència cal prestar atenció a les unitats, ja que E ve donat en newtons, per la qual cosa el pes del líquid desallotjat també caldrà obtindre'l en newtons (per això la densitat del líquid, el volum i g, han de donar-se en unitats internacionals).

Ara ja estem en condicions de comprendre per què hi ha cossos que, en submergir-se en aigua, s'enfonsen, altres ascendeixen i altres es poden quedar en el lloc on els deixem (entre el fons i la superfície). També podem comprendre que un globus ple d'un gas com l'heli o l'hidrogen (o simplement aire calent) s'enlaire i que un submarí puga ascendir o descendir omplint o buidant els seus tancs amb aigua.

*A.48. Utilitzeu el principi d'Arquimedes per explicar tots els exemples mencionats al paràgraf anterior.*

Quan un cos se submergeix en un fluid podem considerar que sobre ell actuen dues forces en la mateixa direcció (vertical) i de sentits contraris: L'empenta (cap amunt) que exerceix el fluid sobre el cos i el pes (cap avall) que exerceix sobre ell la Terra.

Que el cos ascendisca, es quede on està o descendisca, dependrà que l'empenta que experimente siga respectivament major, igual o menor que el pes del cos.

Si considerem les expressions de l'empenta i del pes del cos:  $E = \rho_F \cdot g \cdot V_c$  i  $m_c \cdot g = \rho_c \cdot V_c \cdot g$   
Podem adonar-nos què:

- a) El cos ascendirà si la seua densitat és menor que la del fluid que el rodeja
- b) El cos es quedarà on està si la seua densitat és igual a la del fluid que el rodeja
- c) El cos s'enfonçarà si la seua densitat és major que la del fluid que el rodeja.

**És important adonar-se que, en hidrostàtica, quan parlem de volum del cos, en general ens referim al volum total.** Així, el volum d'una esfera buida i d'una esfera massissa del mateix radi seria el mateix i, encara que ambdós estigueren fetes del mateix material, la densitat del cos esfera buida seria menor que la densitat del cos esfera massissa.

Una fusta submergida en aigua o un globus ple d'aire calent o gas heli ascendeixen perquè la densitat de la fusta és menor que la densitat de l'aigua i perquè la densitat de l'aire calent o de l'heli és menor que la densitat de l'aire pròxim a la superfície de la Terra.

Un submarí pot descendir omplint els seus tancs d'aigua, perquè d'eixa forma aconseguix augmentar la densitat (el cos té més massa ocupant el mateix volum). Per pujar o quedar-se a una profunditat determinada, expulsa l'aigua necessària a l'exterior.

Els grans transatlàntics suren (malgrat estar fets de ferro i acer) perquè, tenint en compte tot el volum que ocupen, tenen una densitat menor que la de l'aigua.

*A.49. Utilitzeu allò que heu après fins ací per justificar que els icebergs (grans trossos de gel) suren en l'aigua del mar. Tot seguit, justifiqueu que la part submergida d'un iceberg siga 9 vegades més gran que la part que queda fora de l'aigua.*

*Dades: densitat del gel  $920 \text{ kg/m}^3$ , densitat de l'aigua de mar  $1025 \text{ kg/m}^3$*

Naturalment un iceberg sura perquè la densitat del gel és menor que la de l'aigua de mar, amb la qual cosa l'empenta serà major que el pes.

Quan l'iceberg està en repòs sobre l'aigua, la força resultant sobre ell ha de ser 0, la qual cosa exigeix que la força d'empenta i el pes siguen iguals i de sentit contrari.

L'empenta correspondrà només a la part submergida, per la qual cosa:  $E = \rho_L \cdot V_s \cdot g$  on  $\rho_L$  és la densitat de l'aigua de mar i  $V_s$  el volum d'iceberg submergit

### 3. Dinàmica

El pes correspondrà a tot l'iceberg i serà:  $\text{Pes} = m_h \cdot g \rightarrow \text{Pes} = \rho_h \cdot V_h \cdot g$

on  $\rho_h$  és la densitat del gel i  $V_h$  és el volum total de l'iceberg.

Igalant el mòdul de l'empenta al mòdul de la força pes:  $\rho_L \cdot V_s \cdot g = \rho_h \cdot V_h \cdot g$

Amb el que  $\frac{V_s}{V_h} = \frac{\rho_h}{\rho_L} = \frac{920}{1025} \approx 0,9$  El resultat obtingut es pot expressar com:  $V_s = \frac{9}{10} \cdot V_h$

És a dir, si descomponem l'iceberg en 10 parts iguals sols una d'elles està fora de l'aigua i les altres 9 estan submergides.

## RECAPITULACIÓ

Com vérem a l'inici del capítol, algunes persones pensen espontàniament que, perquè un cos romanga en moviment, és necessari que estiga actuant constantment una força resultant sobre ell en la mateixa direcció i sentit del moviment. Conseqüentment també pensen que els objectes en moviment “porten” una força tant més gran com major és la velocitat amb què es mouen. Són idees intuïtives que, al llarg del tema, hem intentat qüestionar i canviar per altres, més acords amb les idees científiques.

Altra idea intuïtiva és pensar que els moviments dels objectes celestos són essencialment diferents dels moviments dels objectes que hi ha sobre la Terra o en les proximitats del sol (per exemple, el llançament d'un projectil des d'una torre).

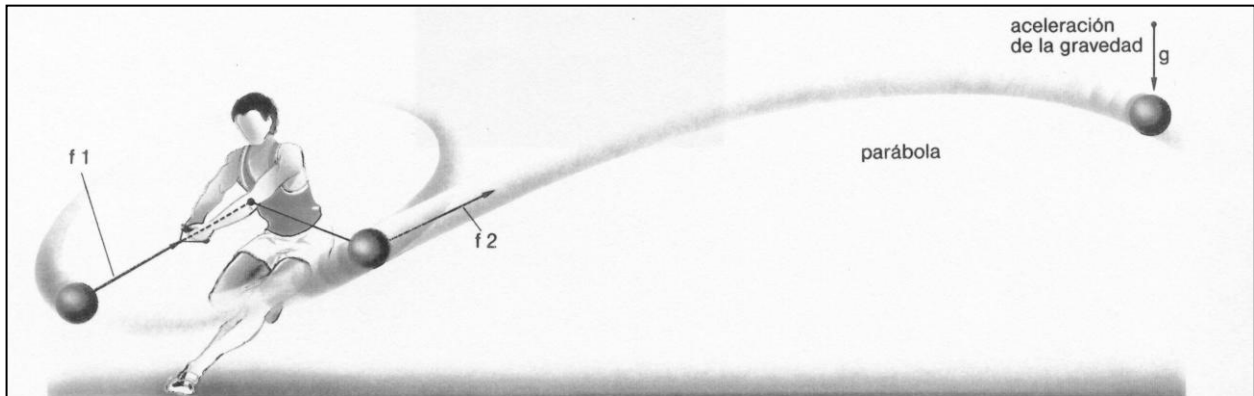
No obstant, nosaltres hem criticat aquests raonaments que pareixen evidents i hem introduït la idea de força com causa de l'acceleració, és a dir, del canvi de velocitat (en contra de la idea de força com causa de la velocitat), hem vist que els cossos no poden accelerar-se (canviar la seua velocitat) a ells mateixa, que sempre ha d'haver-hi un altre que interaccione amb ells. Això ens ha obligat, per explicar l'acceleració amb què cauen els cossos sense tindre un “contacte directe” amb la Terra, a introduir el concepte de força gravitatòria i a estudiar la llei de Newton de la gravitació universal, responsable del tipus de moviment d'objectes “celestos” com satèl·lits, cometes, planetes... i també d'objectes terrestres com una pedra que cau o un projectil que es llança.

Per últim, hem introduït el concepte de pressió, hem estudiat les forces que exerceixen els fluids sobre els objectes que es troben dins d'ells i hem manejat l'equació fonamental de la dinàmica per interpretar tot un seguit de problemes com l'ascensió de globus en l'aire, la flotabilitat, etc.

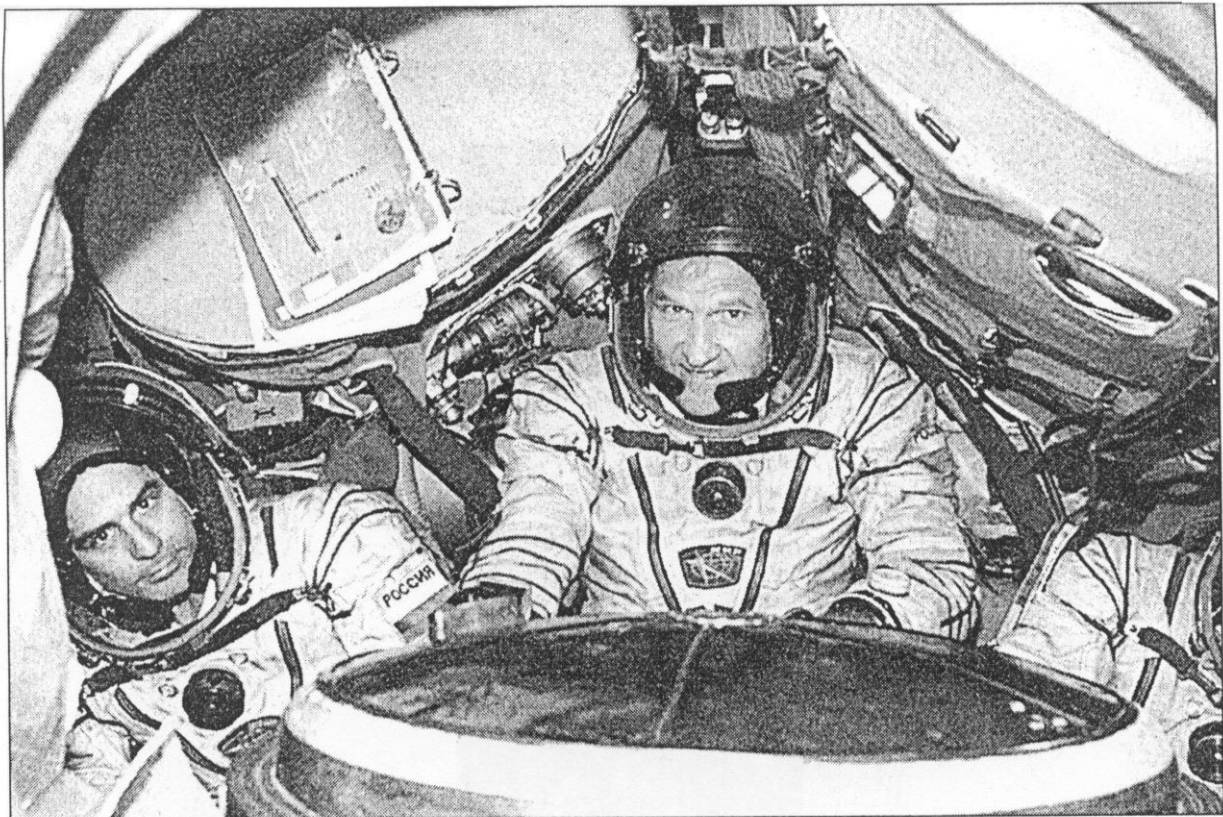
Tot l'anterior ens ha permès explicar el moviment de qualsevol cos basant-nos en els mateixos conceptes i lleis.

*A.50. Per finalitzar aquesta recapitulació, us convidem a què feu una anàlisi crítica, des del punt de vista de la física, als quatre retalls de premsa que es reproduïxen a continuació. En tots ells es poden detectar errors conceptuals que ja hem tractat al llarg del tema. Esperem que els hi pugueu descobrir i fer els comentaris oportuns.*

1. Tir oblic. Diari Levante. Col·leccionable sobre Ciència. Any 1998.



2. Cosmonautes. Diari El País. Maig 2000.

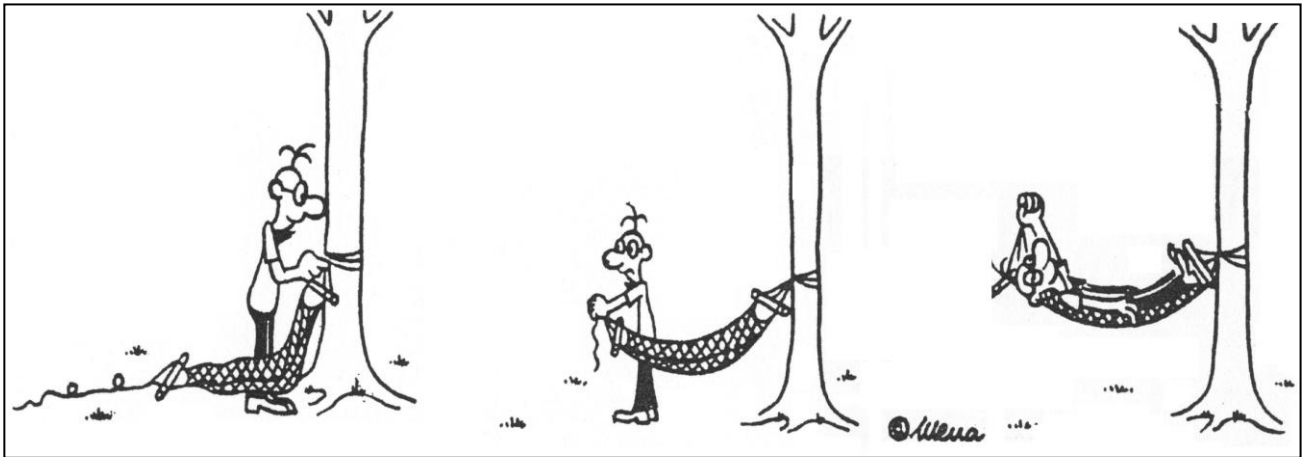


Los cosmonautas, en una cápsula de entrenamiento para viajar a la estación *Mir* en febrero de 1999. / REUTERS

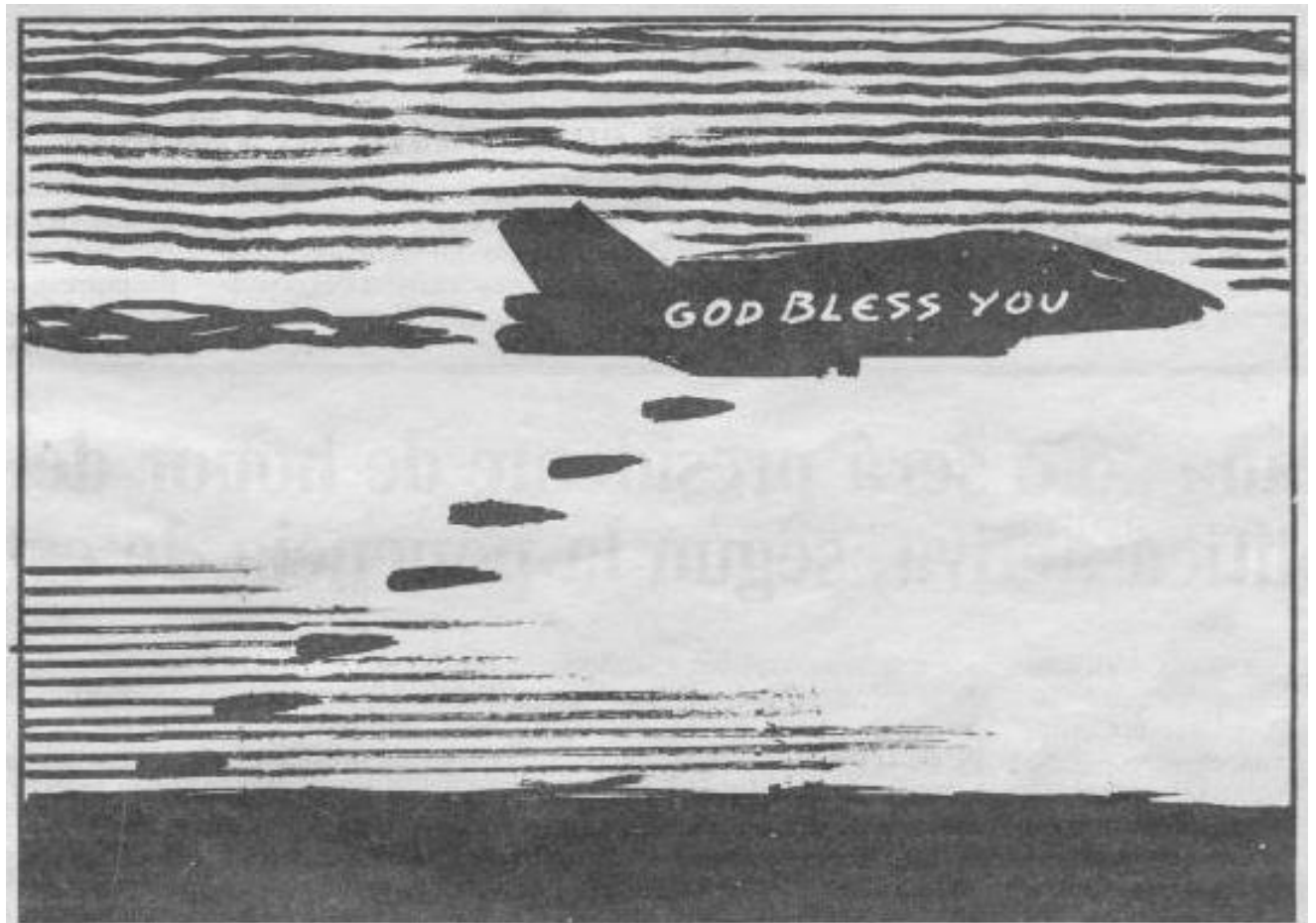
Los cosmonautas pierden masa ósea por la ausencia de gravedad

3. Dinàmica

3. La hamaca. Diari ABC. 1998



4. Deu vos beneïska. El Roto. Diari El País. Novembre de 2004



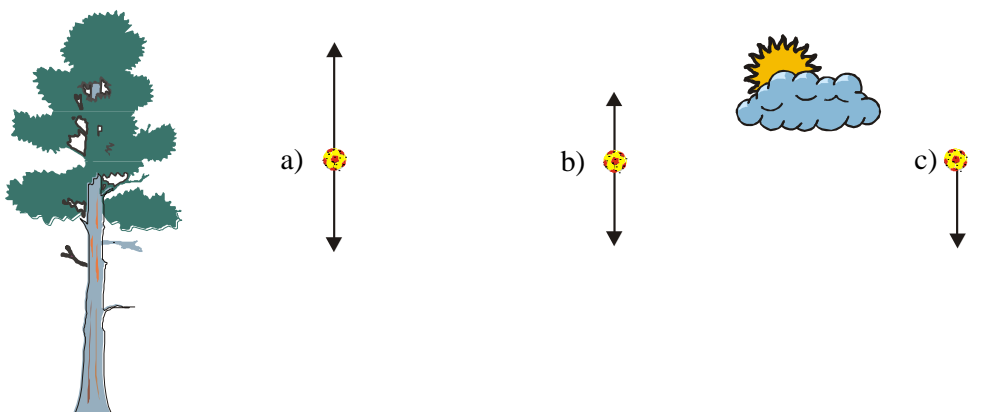
## 2. DINÀMICA. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES

1. Simplici és un alumne amb molt de sentit comú, però diu les coses sense pensar-les massa i no està acostumat a fer una anàlisi crítica. Entre altres coses afirma que:

- Quan es llança un cos per una superfície horitzontal i plana, sobre ell actuen dues forces: la que li donarem en llançar-lo i la del fregament, de manera que aquest cos es mourà mentre la primera siga major que la segona.
- Quan va amb els seus pares a fer la compra i empenya el carro, afirma que la força que ell fa sobre el carro és major que la força que fa el carro sobre ell, i considera que, qui diga el contrari, no està molt bé del cap.
- Quan deixa un llibre sobre la taula, té clar que el llibre fa una força sobre ella, perquè el llibre pesa, però la taula no fa cap força sobre el llibre. Com podria fer-la si la taula està quieta? L'única cosa que fa és aguantar-lo, impedit que caiga.
- La Lluna gira al voltant de la Terra i és atreta per ella per mitjà de la força gravitatòria, però no cau sobre nosaltres, perquè hi ha una força centrífuga dirigida cap a fora, que equilibra eixa força d'atracció de forma que la força resultant és nul·la.
- Si en un instant donat la velocitat d'un cos és zero, la força que actuarà sobre ell en eixe mateix instant també haurà de valdre zero.

Utilitzeu tota la física que sapigüeu per intentar convèncer a Simplici que està equivocacat en totes i cada una d'eixes afirmacions. Acompanyeu les explicacions dels exemples i dibuixos necessaris.

2. Es llança un objecte des de terra verticalment cap amunt. Considerant nul el fregament amb l'aire, assenyalau amb una creu quin dels següents esquemes vos sembla que representa correctament les forces que actuen sobre l'objecte que puja, poc abans que abaste la màxima altura.



3. Suposem que tota l'atmosfera que rodeja a la Terra desapareguera totalment, quedant el planeta rodejat pel buit. En aquestes condicions, pot afirmar-se que el pes dels cossos: (Assenyalau i expliqueu la resposta que vos parega correcta).

- Disminuiria
- es faria zero
- augmentaria
- no canviaria

### 3. Dinàmica

4. En el sistema format per la Terra i la Lluna es pot considerar que la Lluna gira al voltant de la Terra amb un moviment circular i uniforme. Feu un esquema i dibuixeu les forces que en eixe sistema puguen estar actuant sobre la Lluna.

5. Per poder moure l'arxiu de la figura adjunta (que està en repòs sobre el sòl), és necessari empenyar-lo amb una força mínima de 400 N. L'alumna de la figura es posa a empenyar-lo amb una força constant de 500 N, aconseguint així moure'l cap a la dreta. Podem afirmar, que en aquestes condicions, la força que farà l'arxiu sobre l'alumna serà :



a) menor de 500 N

b) igual a 500 N

c) major de 500 N

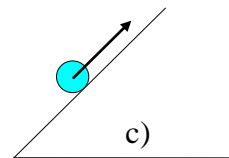
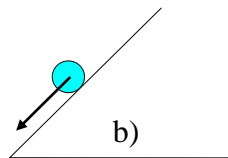
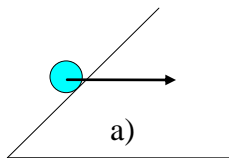
6. Assenyalau vertader (V) o fals (F), en cadascuna de les proposicions següents:

a) Si en un instant donat la velocitat d'un cos és nul·la, la força resultant sobre ell en eixe mateix instant, també ho serà.

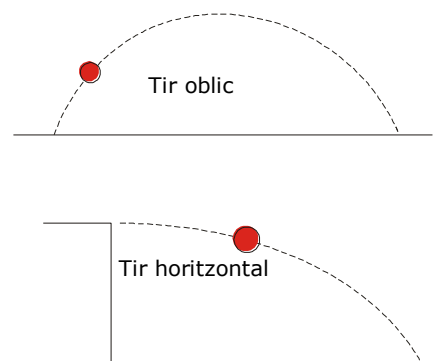
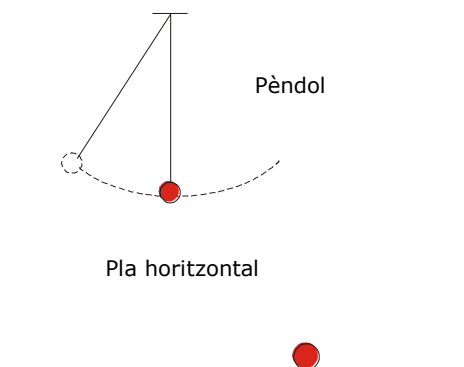
b) El moviment d'un cos sempre té lloc en la direcció de la força resultant.

c) Si sobre un cos no actua cap força, o si la força resultant és nul·la, l'esmentat cos haurà d'estar en repòs.

7. Es llança un cos cap amunt per un pla inclinat i sense fregament. Raoneu quina de les figures següents representa correctament la força resultant que actua sobre ell mentre està pujant:



8. Dibueixu totes les forces que actuen sobre la bola en cadascuna de les situacions representades. En el pèndol i el pla horitzontal la boleta s'està movent cap a la dreta. En el tir oblic i el tir horitzontal, el projectil fa poc que va ser disparat. En tots els casos es considera que no hi ha fregament.





9. En copejar una pilota de 60 g de massa inicialment en repòs, un jugador de tennis va aconseguir llançar-la a 216 km/h. Suposant que el cop amb la raqueta durà 0'1 s, calculeu el valor mitjà del mòdul de la força que es va exercir sobre la pilota. R.. 36 N

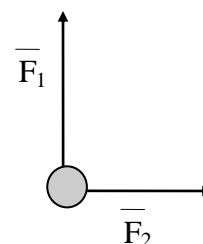
10. Sobre un objecte de 2 kg, que es desplaça amb una velocitat de 100 m/s, per una trajectòria recta, comença a actuar una força de 80 N. Determineu la rapidesa amb què es mourà l'objecte als 5 segons d'actuar l'esmentada força, en els casos següents: a) La força té la mateixa direcció i sentit que el moviment. b) La força té sentit contrari al moviment. R.: a) 300 m/s ; b) -100 m/s.

11. Un automòbil, la massa total del qual (incloent les dels ocupants), era de 1800 kg circulava per un túnel a París amb una rapidesa de 180 km/h quan va xocar frontalment contra una columna. Suposant que el xoc tinguera una duració de 0'1 s, es demana:

- a) El mòdul de la força que la columna realitzà sobre l'automòbil (suposada constant).  
 b) ¿Quantes tones caldria haver-hi posat damunt de l'automòbil perquè, a causa del seu pes, exercira una força d'igual valor que la que va fer la columna?  
 c) Que força (suposada constant) va realitzar el cinturó de seguretat sobre un ocupant de 70 kg?

R.. a)  $F = 9 \cdot 10^5$  N; b) 90 tones; c) 35000 N (en valor absolut)

12. Sabent que el cos de la figura té una massa de 2 kg, que  $F_1 = 4$  N i que es mou amb una acceleració de  $2'5$  m/s<sup>2</sup>, calculeu el valor de  $F_2$ . Quina força caldria aplicar al cos per aconseguir que es moguera amb velocitat constant? Dibuixeu-la i calculeu el seu valor.



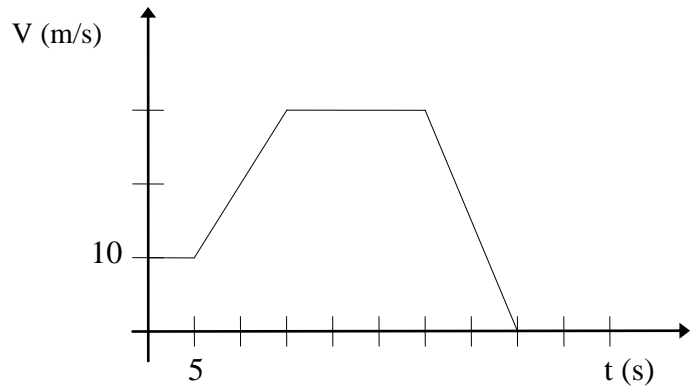
R.  $F_2 = 3$  N. Caldria aplicar una força de 5 N en sentit contrari a la força resultant de les altres dues.

13. En una prova automobilística, un cotxe de 1000 kg, incrementà la rapidesa de 0 a 72 km/h en 5 s. Sabent que la força exercida pel motor va ser de 6000 N, calculeu el valor de la força de fricció que actuà sobre el cotxe (feu l'aproximació de suposar ambdós forces constants). R. La força de fricció és de 2000 N (en valor absolut).

14. Un cert model de cotxe, de 1200 kg de massa, va ser sotmès a una força total de frenada de 1800 N, quan es desplaçava amb una rapidesa de 108 km/h. Calculeu la distància que va recórrer des que va començar a frenar fins que s'aturà. R. 300 m

### 3. Dinàmica

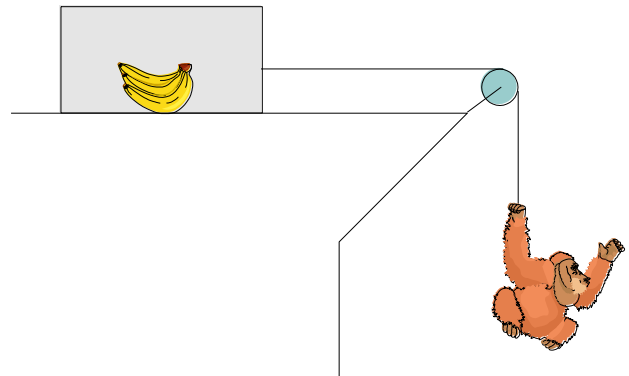
**15.** Sabent que la gràfica adjunta representa la rapidesa amb què es mou un cos de 2 kg de massa en funció del temps, dibuixeu la gràfica corresponent a la força resultant sobre la trajectòria que actua sobre l'esmentat cos en funció del temps.



**16.** Un trineu de 150 kg de massa avança per un terreny nevat pla i horitzontal. Durant uns segons la força que tira d'ell té un valor de 225 N i la mateixa direcció i sentit que el moviment. En eixes condicions, el trineu es mou amb una acceleració constant d' $1 \text{ m/s}^2$ . Quant val la força total de fregament que s'oposa a l'avanç d'aquest? R. 75 N (en valor absolut).

**17.** Per aconseguir que un cert model d'avió, de 1000 kg de massa total, pugui enlairar-se, ha de portar una rapidesa mínima de 252 km/h. Sabent que la pista té una longitud de 500 m, es demana la força mínima resultant (suposada constant) que ha d'empentar a l'avió. Una vegada calculat el seu valor, raoneu si la força total exercida pels motors haurà de ser major, igual o menor que el valor calculat. R. 4900 N.

**18.** Una caixa de 40 kg es troba en repòs sobre una superfície horitzontal i sense fregament, com s'indica en la figura adjunta, quan una mona bota i queda penjada de l'extrem lliure de la corda. Suposant que la massa de la corda siga menyspreable, expliqueu quina de les següents proposicions és correcta:



- a) Perquè la caixa comence a moure's la massa de la mona ha de ser igual a 40 kg.
- b) Perquè la caixa comence a moure's la massa de la mona ha de superar els 40 kg.
- c) Altra resposta (especifiqueu en aquest cas).

19. El bloc de la figura té una massa de 5 kg i es mou cap a la dreta amb una rapidesa de 8 m/s, sobre una superfície sense fregaments.



- a) Dibuixeu totes les forces que actuen sobre ell.  
 b) Als tres segons s'exerceix sobre ell una força de 10 N en sentit contrari al moviment, que continua actuant durant 5 segons més. Construïu i interpreteu les gràfiques: força en funció del temps, rapidesa en funció del temps i posició en funció del temps, durant els 10 primers segons.

20. Sobre un objecte de 4 kg situat inicialment en repòs sobre la superfície terrestre, s'exerceix una força exterior de 60 N que tira d'ell verticalment cap amunt. Calculeu a quina altura es trobarà i amb quina rapidesa es mourà, als 5 s de començar a actuar aquesta força.

R..  $h = 65 \text{ m}$  i  $v = 26 \text{ m/s}$ .

21. Una persona de 80 kg ha de baixar al carrer, des d'un tercer pis a 18 m d'altura, perquè hi ha un incendi, però només disposa d'una corda que, com a màxim, pot suportar una força de 700 N. Calculeu l'acceleració mínima amb què podrà baixar per la corda i amb quina rapidesa arribaria al sòl. Compareu eixa rapidesa amb la que portaria en cas d'haver-se deixat caure lliurement.

R.  $1'05 \text{ m/s}^2$  i  $6'1 \text{ m/s}$ ;  $18'8 \text{ m/s}$  és a dir, més de tres vegades major que la primera (valors absoluts)

22. Als jocs olímpics de Seül 1988, l'atleta Florence Griffith, de 60 kg de massa, obtingué medalla d'or en 100 m (10'62 s). Al principi de la carrera, aconseguí un canvi de rapidesa de 0 a 36 km/h en sols 4 s. Quina força resultant va actuar sobre ella? Qui o quins la produïren? R. 150 N

23. Una barca es mou per un canal, arrossegada per dos cavalls, situats un en cada vora. Sabent que les forces que estiren la barca són perpendiculars, tenen el mateix mòdul (1500 N cadascuna) i arrosseguen la barca de forma que avança a contracorrent amb velocitat constant, calculeu la força que el corrent fa sobre la barca i dibuixeu-la. R.. 2121'3 N

24. La il·lustració adjunta pot trobar-se en una coneguda novel·la que narra les *extraordinàries aventures del Baró de Münchhausen*. En el text es pot llegir el següent:

“Allí hauria acabat irremissiblement si la fortalesa del meu braç no m'haguera tret, tirant dels meus cabells, juntament amb el meu cavall, al qual vaig subjectar amb fermesa entre les cames”

Quins comentaris et suggereix el text anterior? Fes una anàlisi crítica del mateix des del punt de vista de la física.

### 3. Dinàmica

**25.** Quan pugem en un ascensor i arranca cap amunt, notem que la força que fem sobre el sòl del mateix augmenta. Utilitzant el que heu après en el tema i la vostra capacitat per a raonar, tracteu d'explicar aquest fet el millor que pugueu .

**26.** Trobeu la força d'atracció gravitatòria amb què una alumna de 55 kg atrau a un alumne de 65 kg que es troba a 50 cm de distància. A continuació, compareu aquesta força amb la que exerceix la Terra sobre l'alumne, que està situat a la superfície. Dades:  $g_0 = 9,8 \text{ N/kg}$ ;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ UI}$

R.  $9,5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ ; 637 N. La força amb què la Terra atrau l'alumne és més de 660 milions de vegades major que l'altra.

**27.** Calculeu la força amb què un globus ple d'aire (massa total  $m = 100 \text{ g}$ ), situat en la superfície terrestre al nivell del mar atraurà a la Terra. Dades:  $g_0 = 9,8 \text{ N/kg}$ . R. 0,98 N.

**28.** Calculeu el pes d'una persona de 80 kg als següents punts:

- a) Sobre la superfície terrestre al nivell del mar.
- b) En un avió que vola a 10 km d'altura.
- c) En una estació espacial a 1000 km sobre la superfície terrestre.

A quina altura aproximada sobre el sòl haurà de pujar si vol reduir el seu pes a la meitat del seu valor en la superfície terrestre?

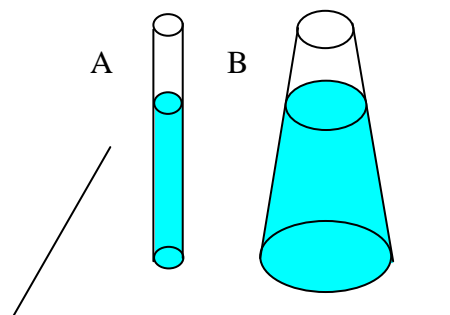
R.. a) 784 N; b) 781,6 N; c) 585,7 N; 2638,5 km. (Prenent  $g_0 = 9,8 \text{ N/kg}$  i  $R = 6370 \text{ km}$ )

**29.** Calculeu el pes d'una persona de 100 kg en la superfície de la Lluna sabent que la massa del nostre satèl·lit és 81 vegades menor que la de la Terra, el radi 3,6 vegades menor i la intensitat de la gravetat a la superfície terrestre de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

R. 156,8 N, que equival al que pesaria un xiquet de 16 kg en la Terra.

**30.** Calculeu sobre quina superfície  $S$  (en  $\text{cm}^2$ ) haurà d'aplicar-se una força  $F$  d'1 N per aconseguir una pressió  $P$  de 2 mil·libars. R..  $S = 50 \text{ cm}^2$ .

**31.** Sabent que els recipients de la figura contenen el mateix líquid i que l'altura d'ambdues columnes és la mateixa, assenyalau si cadascuna de les següents proposicions és vertadera o falsa, justificant la resposta.



- La pressió al fons del recipient A és la mateixa que al fons de B
- La pressió al fons del recipient A és menor que al fons del B.
- La força sobre el fons de cada recipient és la mateixa.

**32.** Un submarí navega a 50 m de profunditat. L'escotilla superior té una superfície de  $0,5 \text{ m}^2$ . Sabent que la densitat de l'aigua de mar és de  $1025 \text{ kg/m}^3$  i que  $g = 10 \text{ N/kg}$ , es demana:

- Quina pressió exerceix l'aigua sobre l'escotilla?
- Què força hauria de fer un mariner que volguera obrir-la?

R.. a)  $P = 512500 \text{ Pa}$ ; b)  $F = 256250 \text{ N}$ .

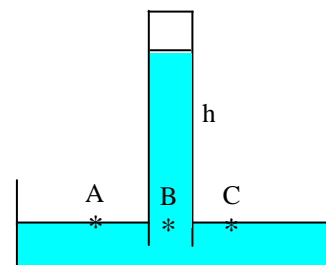
(Per resoldre el segon apartat, es considera que la pressió dins del submarí és la mateixa que la pressió atmosfèrica sobre la superfície del mar).

**33.** Es penja una pedra d'un dinamòmetre i s'observa que marca 1 N. Si es repeteix l'experiment amb la mateixa pedra, però submergida totalment en aigua, el dinamòmetre marca aleshores 0,8 N. Calculeu el volum i la densitat de la pedra (densitat aigua  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

R..  $V = 20,4 \text{ cm}^3$ ;  $\rho = 5002 \text{ kg/m}^3$

**34.** Un bloc de gel de volum total  $V = 1 \text{ m}^3$  es troba a la deriva en un mar tranquil (sense onades). Quin serà el volum submergit? I el que es troba fora de l'aigua? (densitat del gel  $d_g = 920 \text{ kg/m}^3$ ; densitat de l'aigua de mar  $d_a = 1025 \text{ kg/m}^3$ ). R.  $V_s = 0,9 \text{ m}^3$ ;  $V_e = 0,1 \text{ m}^3$

**35.** En A, B i C la pressió val  $P = 1 \text{ atm}$ . Sabent que  $1 \text{ atm} = 101.300 \text{ N/m}^2$  i que la densitat de l'aigua és de  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Calculeu l'altura  $h$  (en metres) de la columna d'aigua dins del tub ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ). R.  $10,34 \text{ m}$



**36.** Expliqueu, amb el major detall possible:

- Per què es pot beure orxata amb una palleta tan fàcilment?
- Com funciona una ventosa?
- Per què en foradar una botella amb dos orificis a distinta altura l'aigua que ix pel forat de baix arriba més lluny que l'aigua que ix pel de dalt?
- Per què se sura millor en l'aigua salada que en l'aigua dolça?
- Per què un globus ple de gas hidrogen s'enlaira, si tots els cossos estan sotmesos a l'acció de la gravetat?

### 3. Dinàmica

**37.** Un glaçó de gel es troba surant dins d'un got que està completament ple d'aigua fins a la mateixa vora. Es deixa al Sol, de forma que el glaçó es fon ràpidament. Podem observar que no es vessa ni una sola gota d'aigua fora del got.

a) Expliqueu aquest fenomen amb el major detall possible.

b) Una persona creu que, si tots els icebergs que hi ha a la deriva en el mar es fonen a causa del canvi climàtic, el nivell de l'aigua del mar pujarà. Segons hem vist a l'apartat anterior, açò és impossible. Ara bé, sí que és cert que, si la temperatura mitjana del globus continua augmentant, això provocarà un augment del nivell de l'aigua del mar. Què és, doncs, el que provocarà aquest augment?

**38.** Un alumne pensa que si agarra una mànega buida, s'introdueix un dels seus extrems en la boca i se submergeix en una piscina subjectant-se al fons, podrà respirar sense problemes. Pel que sembla, el mateix pensa el dibuixant del còmic que es reproduïx a continuació. Esperem que, amb tot el que sabeu, vosaltres no penseu igual i sigueu capaços d'explicar que no seria possible respirar així (es pot comprovar experimentalment). Com respiren llavors els bussos?



**39.** Una bussejadora que es troba a 20 m de profunditat ompli un globus bufant dins del mateix, el lliga i l'amolla, com s'observa a la figura. Què li ocurrerà al globus? Per què un bus, que respira aire comprimit, mai ha d'ascendir retenint l'aire dins dels seus pulmons?

## 4. TREBALL I ENERGIA

Recordem que estem estudiant les transformacions més simples de la matèria, açò és, aquelles en les quals els canvis afecten únicament al moviment dels cossos, sense alterar la naturalesa íntima dels mateixos (transformacions mecàniques). Al tema anterior vérem que, per modificar la velocitat amb què es mou un objecte respecte d'altres, cal exercir una força resultant sobre aquest (per exemple, si volem augmentar la rapidesa amb què es mou un cotxe) i aprenguérem a manejar les forces i calcular el seu valor. Però encara ens queda pendent el problema d'aconseguir forces que actuen durant el temps que vulguem. En principi, sabem que mantindre una força actuant, com per exemple, per fer circular un tren, requereix en molts casos l'aportació d'una cosa que anomenem **energia**. Les màquines, igual que les persones, per **treballar**, utilitzen energia.

Tot i que encara no hem definit el que és l'energia ni el **treball**, no hi ha dubte que es tracta de dos dels conceptes físics més usats actualment tant al llenguatge quotidià com a la premsa, així com a la resta de mitjans de comunicació. Açò és degut a la gran importància que tots dos tenen a la nostra societat, perquè la forma en què vivim està cada vegada més lligada a un **consum creixent d'energia, necessari per produir els canvis desitjats** (il·luminació, calefacció i refrigeració, transports, construcció, etc.).

*A.I. Citeu alguns dels problemes actuals que guarden relació amb el treball i l'energia, indicant les possibles preguntes que podríem plantejar-nos per abastar un millor coneixement del tema.*

Necessitem utilitzar energia per a que les màquines (i nosaltres mateixos) puguen treballar (cultius, transportes, indústries, etc.), per comunicar-nos (telèfon, fax, premsa, etc.), per conservar aliments (indústria frigorífica), calefacció, il·luminació, construcció, etc., i tot això planteja qüestions de gran interès sobre les quals convindria reflexionar.

Possiblement l'obtenció d'energia útil, el seu aprofitament racional per a tota la població, els avantatges i inconvenients de la utilització de determinades fonts d'energia, el fer front a l'esgotament dels recursos energètics i als greus problemes derivats d'una demanda creixent d'energia, etc., siguen alguns dels problemes més greus que actualment té plantejats la humanitat. Per poder opinar sobre aquestes qüestions, ens detindrem primer a aclarir què entenem per energia, així com el concepte de treball (relacionat amb ella), analitzant l'important paper que tots dos tenen en la descripció i estudi de les transformacions de la matèria.

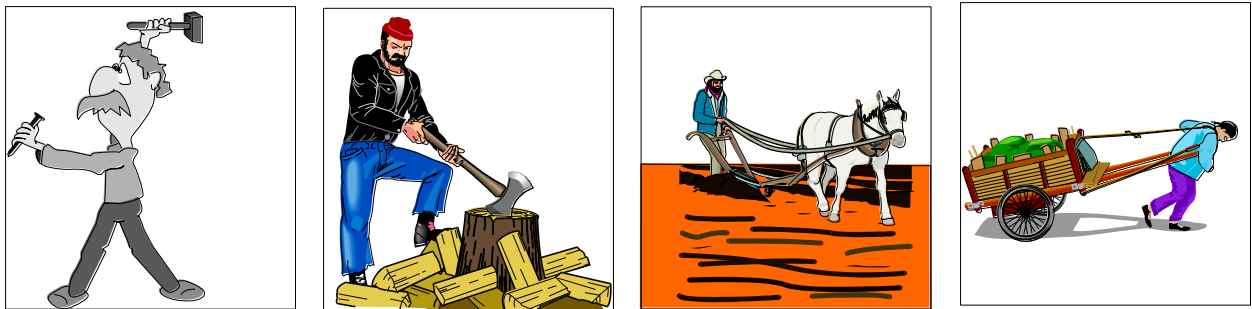
Com hem dit, actualment els conceptes de treball i energia s'utilitzen molt sovint al llenguatge quotidià, però l'història completa del seu desenvolupament, és llarga i sinuosa. De fet van haver de passar més de 150 anys des que començaren a utilitzar-se per part d'alguns científics del segle XVII, com l'holandès Christian Huygens, fins que es van establir com els coneixem avui. En efecte, al principi hi havia una confusió de termes, denominant-se per exemple "força viva" a l'energia relacionada amb el moviment. Actualment, en canvi, la força i l'energia es conceben com dos conceptes diferents. Malgrat açò, justament va ser l'intent de cercar relacions simples entre forces, desplaçaments i canvis de velocitat, el que va conduir finalment a la introducció de noves magnituds físiques com el treball i l'energia, així com a l'establiment d'importantes relacions entre ambdós, molt útils per explicar i predir moltes transformacions i per resoldre nombrosos problemes de forma més ràpida i senzilla, mostrant així la seua validesa.

#### 4. Treball i energia

En aquest tema abordarem, en primer lloc, els conceptes de treball i energia, així com la relació entre ambdós. Ens detindrem, particularment, en la consideració d'alguns problemes lligats al desenvolupament científic en aquest camp, com l'obtenció d'energia a partir de diverses fonts, problemes que planteja, estudi de les transformacions mecàniques des del punt de vista energètic, etc. També veurem el famós principi de conservació de l'energia (un dels principis fonamentals de la física), i analitzarem el problema de la “degradació” de l'energia.

### 1. CONCEPTES QUALITATIUS DE TREBALL I ENERGIA

*A.2. Analitzeu què tenen en comú els exemples següents per poder dir que s'està realitzant un treball i, a continuació, proposeu una definició general de treball.*



A la figura anterior es presenten quatre situacions. En la primera s'està introduint un clau en una paret, exercint una força amb ajuda del martell; en la segona s'està tallant llenya a partir de la força exercida per la destal sobre els troncs; en la tercera s'està transformant la terra dura i atapeïda en terra blana i esponjosa amb ajuda d'un aladre (que funciona gràcies a la força exercida pel cavall); la transformació de la quarta consisteix en el canvi de lloc (de posició) d'unes mercaderies mitjançant la força exercida per la persona que arrossega el carro desplaçant-lo de lloc. En tots els casos l'energia de qui realitza el treball, disminueix en realitzar-lo.

Podem donar, doncs, una primera definició (encara qualitativa i aproximada) de treball com un **procés de transformació de la matèria, que té lloc mitjançant l'actuació de forces**. És a dir, el treball (en física) no és una cosa que es té, sinó una cosa que es realitza.

Lògicament les transformacions on es realitza treball poden variar, des de les més senzilles, com les mecàniques (*que són les que estudiarem ací*), en les que sols canvien magnituds com la posició d'un objecte, a altres molt més complexes, com per exemple, les reaccions químiques o el desplaçament de càrregues elèctriques.

Una comprensió acceptable del concepte general de treball, segons l'entén avui la ciència, no és possible sense recórrer al concepte associat d'energia. La vida de les persones està lligada a un consum continu i creixent d'energia: els cotxes, els ascensors, els electrodomèstics, els ordinadors, totes les màquines, etc., necessiten energia per a funcionar, i també tots els animals la necessiten per créixer, desplaçar-se i mantindre's amb vida.

La demanda creixent d'energia per part de la humanitat planteja problemes importants com: l'esgotament dels recursos energètics, la contaminació del medi ambient (originada per la utilització de determinades fonts d'energia com el carbó, gas i petroli), què fer amb els



residus radioactius procedents de les centrals nuclears, possibles accidents en el transport de petroli o materials radioactius, etc., així com la necessitat d'investigar la manera de fer rendibles altres fonts alternatives d'energia menys contaminants o perilloses i prendre mesures efectives per tal de reduir el consum.

*A.3. Poseu distints exemples de sistemes o d'objectes que tinguen energia, explicant a què es deu que la tinguen.*

Podem pensar en el combustible contingut al dipòsit d'un vehicle, en una pila elèctrica, un torrent d'aigua, el vent, el Sol, un arc tens, etc., i podem també imaginar com aquests sistemes poden ocasionar canvis en altres sistemes com, per exemple, moure un vehicle, moure un joguet, fer funcionar una sènia, moure les aspes d'un molí, fondre un gelat, llançar una fletxa a gran velocitat, etc.

D'acord amb els exemples anteriors, podem adonar-nos que **un sistema té energia quan comprovem que és capaç de produir canvis en altres sistemes.**

## 2. L'ENERGIA I LES SEUES FONTS. DISTINTES FORMES D'ENERGIA

*A.4. Feu un llistat amb els distints tipus d'energia que conegueu i citeu exemples de sistemes que tinguen cadascun dels tipus d'energia enumerats.*

En un principi podem pensar que hi ha moltes formes d'energia i esmentar la hidràulica (la que posseeix l'aigua d'un embassament), l'eòlica (la que posseeix el vent), l'elèctrica (la que posseeix una pila), la solar (que prové del Sol), la calorífica (la que es pot obtenir, per exemple, d'un tros de ferro molt calent), l'elàstica (la que posseeix una molla comprimida, un arc tens, etc.), l'energia química (la que es pot extraure, per exemple, del petroli), etc.

Respecte dels tipus o formes d'energia que poden haver-se enumerat a l'activitat anterior, convé tindre en compte que la calor (com veurem al següent capítol) no és una forma d'energia i que les restants, com veurem ara, sols poden englobar-se en tres formes diferents d'energia.

*A.5. Indiqueu en què es basa la capacitat de realitzar treball per a cadascuna de les formes d'energia enunciades anteriorment.*

L'energia de molts sistemes es deu al fet que es troben en moviment respecte d'altres, així diem que l'aigua d'un riu, el vent, el corrent elèctric, una fletxa llançada, un ventilador en marxa, un vehicle circulant, etc., tenen energia a causa del moviment i poden usar eixa energia fins quedar parats. Per exemple, un cotxe a 200 km/h pot usar l'energia associada al seu moviment trencant una paret de rajoles contra la qual s'estavella. També el vent que xoca contra les aspes del molí pot fer que aquestes giren, una fletxa llançada pot trencar una poma per la meitat, un martell caient clavar un clau, etc. Diem que tot sistema en moviment respecte d'altres, té energia (és capaç de produir canvis en ells), a la que anomenarem **energia cinètica**.

**L'energia cinètica d'un cos és l'energia associada al moviment que pugui tindre aquest cos respecte d'un altre, que es pren com sistema de referència.**

D'altra banda, hi ha sistemes que, sense estar en moviment, també tenen energia emmagatzemada o energia en potència que, en determinades condicions, pot alliberar-se i

#### 4. Treball i energia

produir canvis en altres sistemes. Així, diem que l'aigua d'un embassament, la neu situada al cim d'una muntanya, un arc tens, etc., tenen energia perquè, si obrim la comporta de l'embassament l'aigua ix i podem moure amb ella una turbina amb què generar electricitat; davant d'un estrèpit la neu inestable del cim d'una muntanya pot caure en forma d'allau, capaç d'enderrocar arbres i cases; un arc en tensió i carregat quan s'allibera fa que la fletxa siga disparada, etc.

Convé adonar-se que, en els casos analitzats, sempre hi ha present una força. Així, en el cas de l'aigua de l'embassament o de la neu, de res serviria obrir les comportes o produir un gran estrèpit si no existira la força de la gravetat (l'aigua no eixiria i la neu no cauria) i, si no existira la força elàstica, l'arc tampoc dispararia la fletxa. També cal tindre en compte que, com més alta estiga l'aigua de l'embassament o la neu i com més tensa estiga la corda de l'arc, major energia s'emmagatzema en el sistema.

Així doncs, els sistemes formats per la Terra i l'aigua de l'embassament o per la Terra i la neu o per l'arc tens i la fletxa, són sistemes que emmagatzemen energia, que tenen energia en potència, energia que (en determinades condicions) es pot alliberar i transformar-se en energia cinètica. Aquest tipus d'energia s'anomena **energia potencial**.

**L'energia potencial d'un sistema és l'energia que aquest emmagatzema pel fet que, dins d'ell hi ha una força (gravitatòria, elàstica, etc.), de manera que, a distintes separacions entre les parts del sistema correspon diferent capacitat per a realitzar canvis.**

Hi ha distints tipus d'energia potencial: gravitatòria, elàstica, elèctrica, etc. En aquest curs, sols estudiarem l'energia potencial gravitatòria.

Finalment, també sol parlar-se de l'energia associada a la radiació electromagnètica com, per exemple: la llum solar, les microones, els raigs infrarojos, els raigs X, etc., a la que anomenem **energia radiant**.

En conclusió: els exemples anteriors i l'anàlisi de cada cas, condueixen a establir que, pràcticament tots els tipus d'energia es poden reduir a tres: l'energia cinètica (associada al moviment); l'energia potencial (associada a la configuració del sistema) en les diverses manifestacions (elàstica, gravitatòria, elèctrica, etc.) i l'energia radiant (associada a les radiacions).

Normalment s'anomenen fonts d'energia a aquells sistemes (Sol, petroli, vent, carbó, urani, etc.) dels quals podem extreure energia (cinètica, potencial o radiant) útil en la producció i control de determinades transformacions (indústries, transports, construccions, aliments, comunicacions, etc.). Les fonts d'energia com el petroli o la fusta no són inesgotables. Per últim, hem de recordar que no hem de confondre fonts d'energia amb tipus d'energia.

L'energia cinètica  **$E_c$** , és la que tenen els cossos o sistemes en virtut del seu moviment respecte d'altres, i per tant el seu valor és relatiu, depèn del sistema de referència que triem, com podem raonar a partir de nombrosos exemples: L'energia cinètica d'una maleta que es desprèn del portaequipatge d'un vagó de tren que circula a gran velocitat, no és la mateixa respecte d'un passatger, que respecte d'una persona parada prop de la via (si li cau damunt a un o l'altre produirà distints canvis en ells). Com major és la velocitat, major és l'energia cinètica.

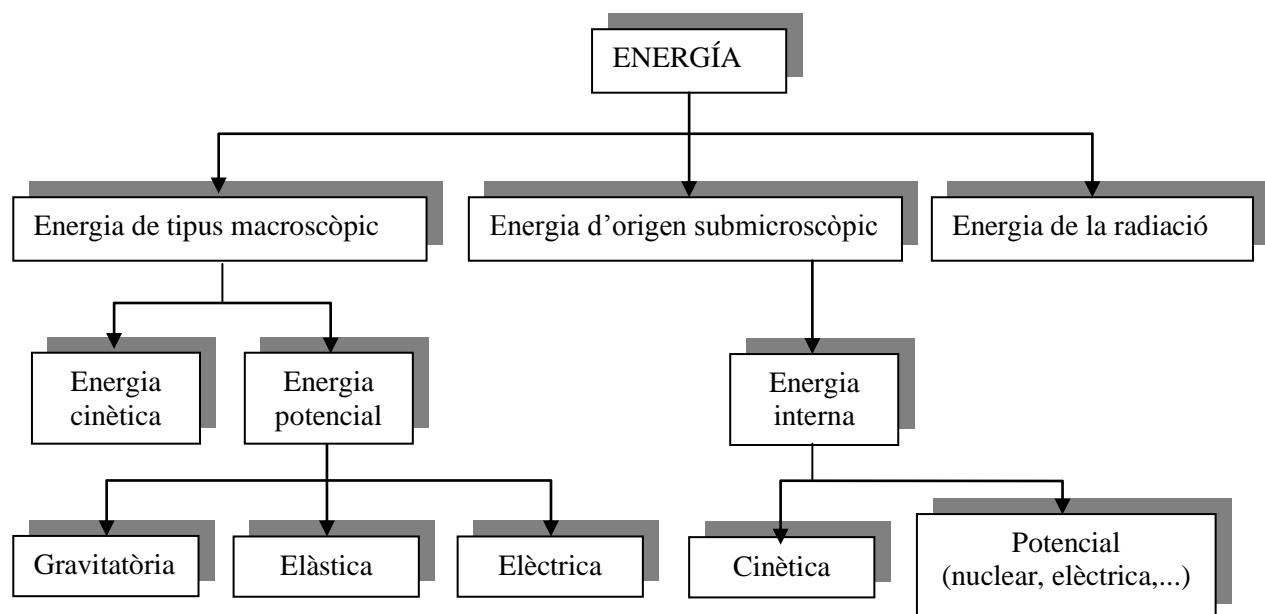
L'energia potencial  **$E_p$** , està relacionada amb la disposició relativa de totes les parts d'un sistema, és a dir, amb la configuració, de forma que, no pot existir energia potencial si no hi ha cap força entre aquestes parts. Així doncs, associada a l'energia potencial sempre hi ha una força, anomenada força **conservativa** (perquè gràcies a ella es pot "emmagatzemar" o

“conservar” energia). La força gravitatòria i la força elàstica són dos exemples de forces conservatives (les forces de fricció, en canvi, són **no conservatives**). A cada configuració particular del sistema li correspon un valor de l’energia potencial. Així, l’energia potencial gravitatòria corresponent al sistema format per la Terra i una pedra, prendrà diferents valors depenent de l’altura a què es trobe la pedra, de forma que, a major altura, major serà l’energia potencial (tindrà més capacitat per realitzar canvis).

Hi ha sistemes com la gasolina i l’oxigen necessari per a cremar-la, un tros de ferro a una temperatura més alta que la del medi ambient que el rodeja, un tros d’urani, etc., que tenen energia, l’origen de la qual podem entendre si recordem que tots els sistemes materials estan formats per partícules (àtoms, molècules, ...) que no estan completament fixes, sinó que es troben en moviment (vibratori com en els sòlids, o caòtic com en els gasos) i que poden estar unides unes a altres per forces de tipus elèctric (sòlids i líquids). El nucli dels àtoms està format també per partícules (protons i neutrons) que es mantenen unides gràcies a l’acció de l’anomenada força nuclear (molt més intensa que la força de repulsió elèctrica entre els protons).

Així doncs, les partícules que formen qualsevol sistema material poden tindre energia cinètica deguda al seu moviment i energia potencial a causa de les diferents forces d’interacció que es donen entre elles. A la suma de les energies cinètiques de totes les partícules i les energies potencials de tots els parells de partícules que formen un cos o sistema, l’anomenem **energia interna**. Es tracta d’una energia d’origen “submicroscòpic”, associada al moviment i la posició de les partícules materials que formen el sistema.

Les idees anteriors es troben resumides a l’esquema següent:



En general un sistema pot tindre diferents tipus d’energia. Des del punt de vista macroscòpic (és a dir, sense comptar l’energia interna), s’anomena **energia mecànica** d’un sistema a la suma de l’energia cinètica i l’energia potencial (elàstica i/o gravitatòria). Així, per exemple, el sistema format per una pedra que cau des d’una certa altura i la Terra, és un sistema que té energia mecànica (suma de l’energia cinètica i de la potencial gravitatòria).

Ens plantejarem a continuació com podem variar l’energia mecànica d’un sistema.

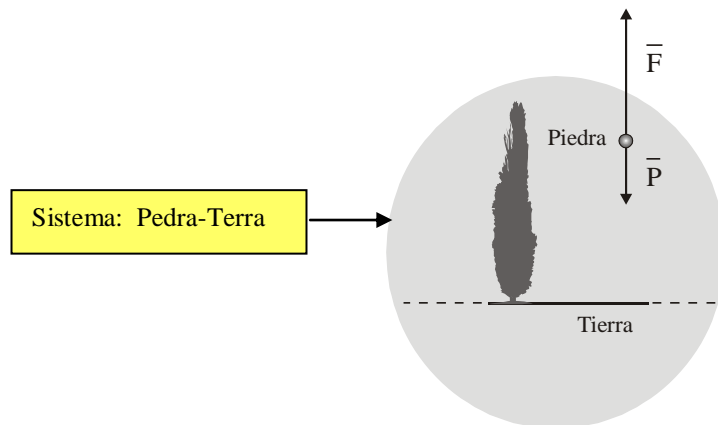
#### 4. Treball i energia

### 3. UNA FORMA DE CANVIAR L'ENERGIA MECÀNICA D'UN SISTEMA: CONCEPTE DE TREBALL

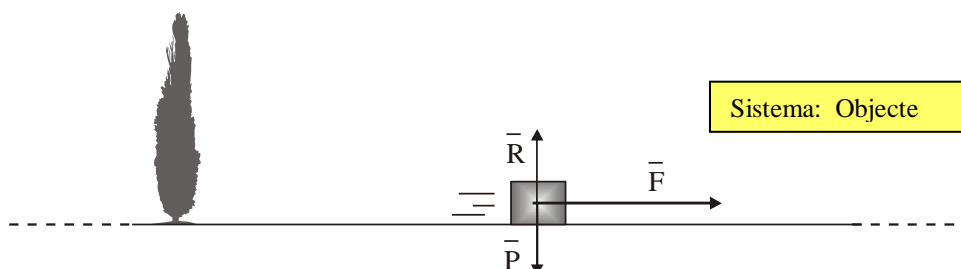
**A.6.** Feu un esquema corresponent a cadascuna de les situacions que es plantegen a continuació i raoneu de quina forma podríem aconseguir el canvi d'energia que es proposa en cada cas.

- Augmentar l'energia potencial gravitatòria del sistema format per una pedra situada a una certa altura i la Terra.
- Augmentar l'energia mecànica d'un objecte que es troba inicialment en repòs sobre una superfície horitzontal sense fregament.
- Disminuir l'energia cinètica d'un cos que es mou amb velocitat constant per una superfície horitzontal sense fregament.

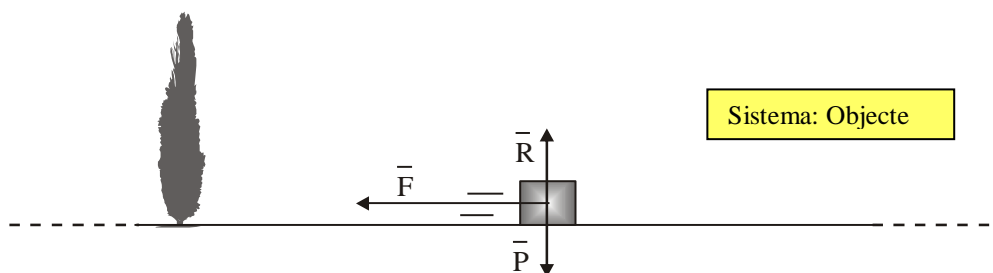
En el primer cas, per augmentar l'energia potencial gravitatòria, podem exercir sobre la pedra una força exterior vertical i cap amunt, major que el pes. Així, la pedra es va allunyant de la superfície de la Terra cada vegada més apressa, amb la qual cosa també anirà augmentant l'energia cinètica. L'augment d'energia mecànica aconseguït serà tant major com major siga la força exterior i més llarg siga el trajecte.



Per augmentar l'energia mecànica d'un objecte que es troba en repòs sobre una superfície horitzontal sense fregament, podem fer el mateix que hem fet al cas anterior o també, empenjar-lo amb una força exterior paral·lela a la superfície. Aquest últim cas (representat a la figura de baix) sols canviaria l'energia cinètica, que aniria augmentant mentre continuara actuant la força exterior



En el tercer cas, una forma senzilla de disminuir l'energia cinètica és fer una força exterior paral·lela a la superfície i de sentit contrari al moviment del cos. Així, el cos anirà disminuint de velocitat i conseqüentment, l'energia cinètica també disminuirà (al contrari que en el cas anterior).



Així doncs, als tres exemples analitzats hem vist que, quan actua una força exterior<sup>1</sup> al sistema (o una part d'ell) al llarg d'un desplaçament, es modifica l'energia mecànica del sistema. Quan la força és paral·lela al desplaçament diem que està realitzant un **treball** sobre el sistema. Per puntualitzar, podem dir que l'energia és una cosa que es té, mentre que el treball és quelcom que es fa (un procés) i que sempre té com efecte modificar l'energia d'un sistema.

Com major siga el treball realitzat, major serà el canvi d'energia associat al mateix. Per aquesta raó, si volem quantificar les variacions d'energia mecànica que es produeixen en un sistema, ens convindrà plantejar-nos en primer lloc com quantificar el treball.

#### A.7. De què dependrà que el treball mecànic realitzat per una força siga major o menor?

Si pensem en exemples senzills, com elevar verticalment una pedra sobre el sòl o empentar un objecte paral·lelament a la superfície sobre la qual es troba, sembla lògic pensar que, com major siga la força constant "F" que fem i major siga el desplaçament sobre la trajectòria "Δe" al llarg de la qual estiga actuant la força, major serà el canvi d'energia aconseguit i, per tant, major el treball realitzat.

Podem, doncs, establir (a mena d'hipòtesi) una primera definició operativa de treball com:

$$W = F \cdot \Delta e$$

D'acord amb la definició anterior, la unitat de treball correspondrà al treball realitzat per una força d'1 N que s'exerceix sobre un cos al llarg d'una trajectòria d'1 m i en la mateixa direcció que el desplaçament. Aquesta unitat rep el nom de Joule i se simbolitza per J.

Sempre que en l'expressió anterior s'expressi la força en N i el desplaçament en m, el treball vindrà donat en joules.

#### A.8. Analitzeu les següents expressions i raoneu per què no poden ser considerades com definicions operatives de la magnitud treball en les transformacions mecàniques:

- a)  $W = F/\Delta e$ ;   b)  $W = F + \Delta e$ ;   c)  $W = F \cdot t$ ;   d)  $W = F \cdot \Delta e^2$

Si ens fixem en cadascuna de les expressions proposades podem veure que:

- ✓ La primera és absurda, perquè si fóra certa, com menor fora el desplaçament de la força, més treball realitzaria aquesta.

<sup>1</sup> Una força exterior a un sistema és una força que s'exerceix per quelcom que no pertany al sistema.

#### 4. Treball i energia

- ✓ La segona no pot ser, perquè no és possible sumar magnituds diferents. A més, suposaria que una força que no efectue desplaçament o un desplaçament sense força, suposaria un treball.
- ✓ La tercera tampoc és acceptable, perquè suposa que, quan una força actua durant un cert temps sobre un objecte, necessàriament realitza treball. Però, nosaltres sabem que hi ha casos en què es pot estar molt de temps exercint una força sobre un objecte i no produir cap desplaçament (per exemple, en empenyar sobre un pilar), amb la qual cosa, eixa força no fa cap treball mecànic (encara que ens fatiguem en fer-la).
- ✓ La quarta sí que contempla el fet que, com major siga  $F$  i més gran siga  $\Delta e$ , major siga el treball realitzat. Però acceptar-la suposaria (com és fàcil comprovar), que la mateixa força desplaçant-se el doble de distància no fa el doble de treball, sinó el quàdruple.

**A.9.** Calculeu el treball realitzat per la força exterior que s'exerceix sobre un objecte en les següents situacions (considereu sempre com sistema l'objecte i la Terra):

- a) Elevar verticalment 2 m un bloc de 4 kg de massa, amb velocitat constant
- b) Arrossegat 5 m un bloc de 50 kg de massa situat sobre el sòl horitzontal, fent sobre ell una força de 400 N paral·lela al sòl.
- c) Empentar una paret amb una força de 300 N durant 5 s (sense aconseguir moure-la).

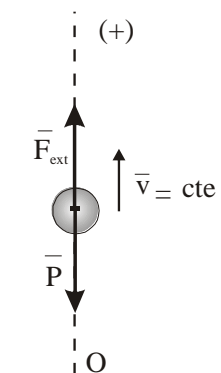
a) Per aconseguir elevar el cos de 4 kg amb velocitat constant caldrà exercir sobre ell, des de l'exterior, una força vertical i cap amunt del mateix valor que el pes, segons s'indica a la figura adjunta (en la que ja hem especificat un origen d'espais i un criteri de signes).

$$F_{\text{ext}} = P = mg = 4 \cdot 10 = 40 \text{ N}$$

$$W_{\text{ext}} = F_{\text{ext}} \cdot \Delta e = 40 \cdot 2 = 80 \text{ J}$$

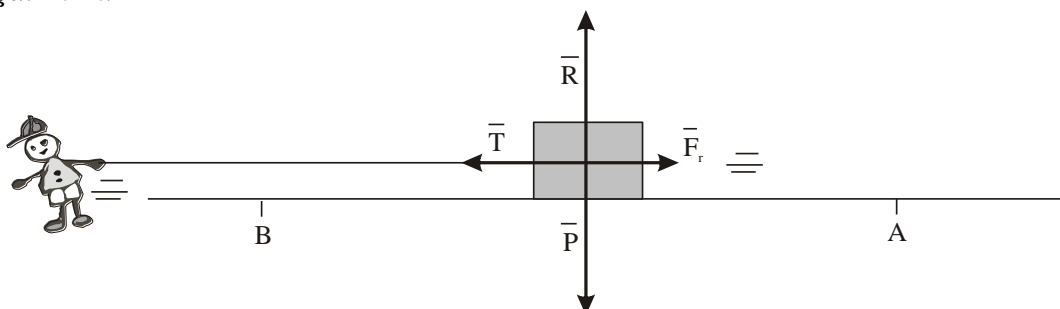
b)  $W_{\text{ext}} = F_{\text{ext}} \cdot \Delta e = 400 \cdot 5 = 2000 \text{ J}$

c) El treball és nul perquè no hi ha desplaçament del punt d'aplicació de la força que actua sobre la paret.



Fins ara l'expressió de treball que hem vingut manejant ens ha segut útil per calcular el treball en casos en què la força tenia la mateixa direcció i sentit que el desplaçament (és a dir, afavoria el desplaçament). Però açò no és sempre així, de forma que estem obligats a modificar eixa primera expressió, per tal que es puga aplicar a més casos, segons es proposa a la següent activitat.

**A.10.** Una persona arrossega un bloc de 20 kg amb ajuda d'una corda que tira d'ell amb una força de 80 N, com es mostra a la figura adjunta. Suposant que la força de fregament és de 60 N, calculeu el treball realitzat per cadascuna de les forces representades quan el bloc s'haja desplaçat 10 m.



Com es pot veure fàcilment, si prenem com sistema el bloc i considerem el seu moviment respecte de la superfície, sobre aquest sistema actuen quatre forces (la que fa la corda, la de fregament, la força pes i la força normal que exerceix el pis cap amunt). Les forces  $T$  i  $F_r$  realitzen treball, perquè l'acció de cadascuna d'elles per separat al llarg de la trajectòria, produiria un canvi en l'energia cinètica del bloc (augmentant-la i disminuint-la, respectivament). En canvi, ni  $R$  ni  $P$  realitzen treball, perquè, en ser perpendiculars a la trajectòria, no produeixen cap canvi de rapidesa en el bloc i, conseqüentment, tampoc en l'energia cinètica.

Així doncs, les forces perpendiculars a la trajectòria no realitzen treball. De fet, sols realitza treball la força (o la part d'ella) que actua paral·lelament a la trajectòria, de forma que, si la força afavoreix el desplaçament, l'efecte del seu treball és augmentar l'energia (treball positiu) i si s'oposa al desplaçament, l'efecte del seu treball és disminuir l'energia (treball negatiu).

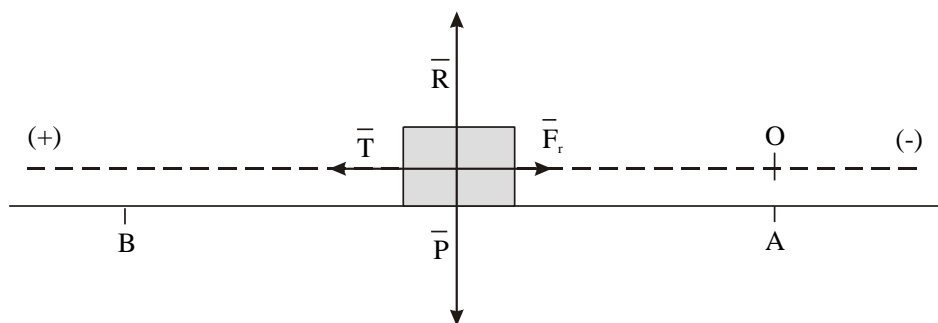
Una expressió que recull les consideracions anteriors és:

$$W = F_t \cdot \Delta e$$

En l'expressió anterior  $F_t$  és el valor de la força constant que s'exerceix contínuament en la mateixa direcció en què es mou el cos, açò és: tangent a la trajectòria en tot moment. Aquest valor serà positiu o negatiu (igual que  $\Delta e$ ) depenent del criteri de signes escollit per representar el moviment (per tant, igual que en cinemàtica i dinàmica, ací també serà necessari triar un origen d'espais i especificar un criteri de signes).

**En resum: una força que actua sobre un cos que es desplaça, realitza treball sempre que la component tangencial del vector força no siga nul·la.**

Per resoldre el problema n'hi ha prou amb determinar un origen d'espais i un criteri de signes i, tot seguit, aplicar l'expressió anterior a cadascuna de les forces actuant:



Analitzant la figura anterior i tenint en compte les dades de l'enunciat:

$e_A = 0$ ,  $e_B = 10$  m,  $T_t = 80$  N,  $F_{r_t} = -60$  N,  $P_t = 0$ ,  $R_t = 0$ , amb la qual cosa:

$$W_{\vec{T}} = T_t \cdot \Delta e = 80 \cdot 10 = 800 \text{ J}; \quad W_{\vec{F}_r} = F_{r_t} \cdot \Delta e = -60 \cdot 10 = -600 \text{ J}; \quad W_{\vec{P}} = W_{\vec{R}} = 0$$

Convé comprovar que, canviant l'origen d'espais (per exemple al punt B) i/o el criteri de signes, els resultats són els mateixos. El proper curs aprendrem a calcular el valor de  $F_t$  quan la força no tinga la direcció del moviment mentre que en aquest, ens limitarem a situacions en què les forces siguen sempre paral·leles o perpendiculars a la trajectòria.

**A.II.** Un cotxe de 1000 kg frena amb una força de 9000 N, aturant-se en 50 m. Calculeu: a) El treball que realitza la força de frenada. b) El treball realitzat per la força pes del cotxe.

R. a) -450000 J; b) 0

#### 4. Treball i energia

**A.12.** En llançar un cos de 2 kg verticalment cap amunt, puja 20 m i cau tornant al punt de partida. Calculeu el treball realitzat per la força pes: a) Durant la pujada. b) Durant la baixada. c) Al llarg del trajecte total. R. a) -400 J; b) 400 J; c) 0 (prenent g com 10 N/kg).

**A.13.** Un cos es desplaça sobre un pla horitzontal des d'un punt A fins altre B (separats 3 m), sotmès a una força de fricció de 14 N i torna després al punt de partida (sotmès a la mateixa fricció). Feu un esquema representatiu i calculeu el treball realitzat per la força de fricció:

a) En el trajecte d'A a B; b) En el trajecte de tornada; c) En el trajecte total.

R. a) -42 J; b) -42 J; c) -84 J

A partir de les dues últimes activitats podem adonar-nos que el treball realitzat per una força conservativa (com el pes) al llarg d'un trajecte d'anada i tornada (cicle) és nul, mentre que açò no ocorre amb una força no conservativa (com la de fregament).

**En realitat el càlcul del treball realitzat per la força de fregament és prou complex. Per simplificar, suposarem sempre que l'objecte sobre el qual actua l'esmentada força és totalment rígid i que únicament es trasllada lliscant sobre una superfície. A més, escollirem sempre el sistema de forma que la força de fregament siga una força exterior, que únicament frena a l'objecte que relisca.**

**A.14.** Una persona empena un bloc rígid sobre un sòl horitzontal amb una força de 500 N (paral·lela a la trajectòria) al llarg de 5 m. Suposant que la força de fregament que actua sobre el bloc en eixes condicions siga de 200 N, es demana:

Feu un esquema apropiat (especificant un origen d'espais i un criteri de signes) en el que figuren les forces que actuen sobre el bloc i, tot seguit, calculeu el treball total realitzat sobre el bloc mitjançant dos procediments diferents. R. 1500 J

#### 4. EFICÀCIA EN LA REALITZACIÓ DE TREBALL: CONCEPTE DE POTÈNCIA

En ocasions, més que la quantitat de treball realitzada, ens preocupa la rapidesa amb la qual aquest es realitza. Si desitgem comparar dos motors que serveixen per elevar una plataforma, no ens interessa únicament la quantitat de treball que poden realitzar sobre ella, sinó la rapidesa amb què poden realitzar-lo. Si cal omplir un camió amb caixes, no és el mateix fer-ho en dues hores que en quatre, encara que la transformació produïda sobre les caixes siga la mateixa. Per tant, ens interessa inventar una magnitud que ens quantifiqui la rapidesa amb què es realitza un treball.

**A.15.** Proposeu una definició operativa d'una magnitud que ens pugui servir per mesurar la major o menor rapidesa amb què s'ha realitzat un determinat treball.

Una magnitud com la que busquem ha de tindre en compte tant la quantitat de treball realitzat com el temps tardat a realitzar-lo, de manera que el seu valor siga major com major siga el treball realitzat i menor el temps emprat en fer-lo. És a dir, una magnitud que ens indica amb quina rapidesa es realitza un treball seria  $W/\Delta t$ . Aquesta magnitud rep el nom de potència, i el seu símbol és P.

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$



*La potència és una magnitud que ens indica la rapidesa amb què es realitza un treball, és a dir, el treball realitzat per unitat de temps. En realitat, l'expressió anterior ens dona el valor mitjà de la potència en l'interval de temps  $\Delta t$ .*

Quina quantitat hauríem de prendre com unitat de potència, al SI?

Com la unitat de treball és el Joule i la unitat de temps el segon, direm que, quan es realitza el treball d'1 J en el temps d'1 s, la potència amb què s'ha realitzat eixe treball (sol utilitzar-se l'expressió “la **potència desenvolupada**”) és la unitat de potència. Aquesta unitat rep el nom de watt i el seu símbol és W. Així, si en la definició operativa substituïm el valor del treball en J i el del temps en s, obtindrem el valor de la potència en watt.

Hem de tindre en compte que el valor de la potència ens informa de la quantitat de treball que, per exemple, és capaç de realitzar una maquina en la unitat de temps, però no ens indica res sobre la “qualitat” d'eixe treball. A més, en aquest curs, ens limitarem a considerar situacions en què la potència es mantinga constant, és a dir, en les que la rapidesa amb què s'estiga realitzant un treball no canvie al llarg del procés. En eixe cas la potència mitjana i la potència en qualsevol instant coincidiran.

**A.16.** *Una grua eleva 500 kg de grava a una altura de 40 m en 32 s. Calculeu la potència del motor. R. 6250 W.*

**A.17.** *El joule és una unitat de treball (i d'energia) molt xicoteta. Sovint solen utilitzar-se altres més grans. Entre elles és molt coneguda el kWh. Obteniu a quants joules equival un kWh. R. 1 kWh = 3.600.000 J*

En els aparells elèctrics (motors, escalfadors, peretes, etc.) sol indicar-se la potència que consumeixen, açò és, la quantitat d'energia d'origen elèctric que utilitzen per unitat de temps. Així, podem definir la **potència consumida** com:

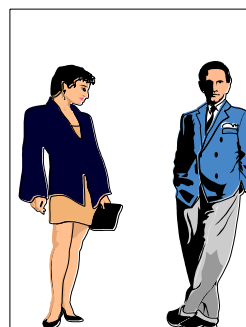
$$P = \Delta E / \Delta t$$

La potència consumida per un aparell i la potència desenvolupada (el treball que realitza per unitat de temps) no són iguals, pel fet que, part de l'energia que rep l'aparell es “perd” a causa de l'inevitable escalfament que es produeix quan funciona, raó per la qual, la potència desenvolupada sempre és menor que la consumida. Únicament en el cas d'una màquina ideal, sense fricció entre les peces, que no s'escalfara i en la que, gens de l'energia que rep per unitat de temps es “perdera”, podrien ser iguals ambdues potències.

**A.18.** *Una planxa que porta una inscripció en què posa 1100 W, es connecta durant 45 minuts. Quanta energia consumirà en kWh? R. 0'825 kWh*

**A.19.** *En un ascensor de 500 kg de massa, hi ha dues persones de 80 kg cadascuna i puja amb una rapidesa constant de 3 m/s.*

- Calculeu la potència que ha de desenvolupar el motor*
- Suposant que la potència màxima fóra de 25 kW, doneu alguna raó per la qual no haurien de pujar més de 4 persones*
- Finalment, obteniu l'energia mínima que s'utilitza cada vegada que una persona de 70 kg puja en l'ascensor des de la planta baixa al setè pis (25 m).*



R. 19800 W; 142500 J

#### 4. Treball i energia

### 5. RELACIÓ ENTRE TREBALL EXTERIOR I CANVI D'ENERGIA MECÀNICA

Com hem fet fins ací, per simplificar el problema, ens ocuparem de processos en què sols canvien propietats mecàniques (posició, velocitat) i deixarem fora, en principi, processos en què tinguen lloc canvis de temperatura, canvis químics, absorció o emissió de radiació, etc.

*A.20. Formuleu hipòtesis sobre la relació quantitativa que existirà entre l'energia d'un sistema i el treball exterior que es realitza sobre ell.*

Segons les idees qualitatives que hem desenvolupat al llarg del tema, si des de l'exterior es realitza un treball<sup>2</sup> sobre el sistema, variarà l'energia del mateix. Si aquest treball és positiu produirà un augment de l'energia del sistema i, si és negatiu, una disminució. A més hem observat que, com major és el treball realitzat sobre un sistema, major és la variació d'energia que es produeix sobre ell i açò ens permet, a títol d'hipòtesi, suposar que el valor de la variació d'energia coincidirà amb el valor del treball que es realitza sobre el sistema, és a dir:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E$$

La importància d'aquesta hipòtesi és enorme per quantificar els canvis, perquè no es tracta d'una simple igualtat matemàtica: no sols ens diu que si hem realitzat un treball de 1000 J sobre un sistema, la seua energia augmentarà en 1000 J. **El que fa fonamental aquesta hipòtesi és que relaciona quantitativament “quelcom” que l'exterior fa sobre el sistema i que podem calcular (treball exterior), amb el canvi “d'alguna cosa” que té el sistema (energia) i que sols depèn de propietats del sistema en qüestió i no de l'exterior.**

La relació anterior ens servirà per obtindre les expressions de l'energia cinètica i de l'energia potencial gravitatòria.

### 6. ENERGIA CINÈTICA

Hem dit que l'energia cinètica és la capacitat que té un objecte o sistema per produir canvis en virtut del seu moviment. Amb aquesta idea qualitativa podem plantejar-nos de quins factors dependrà que un objecte tinga major o menor energia cinètica.

*A.21. Indiqueu, a títol d'hipòtesi, de quins factors dependrà l'energia cinètica d'un objecte que es troba en moviment respecte d'altres amb els quals pot xocar.*

Segons la nostra concepció qualitativa, l'energia cinètica,  $E_c$ , d'un sistema dependrà de la massa i de la velocitat que porte, augmentant amb ambdós. Anem a veure en quina mesura es veuen recolzades aquestes idees per la utilització quantitativa de la relació entre treball exterior i energia.

Per trobar l'expressió de l'energia cinètica, farem el següent:

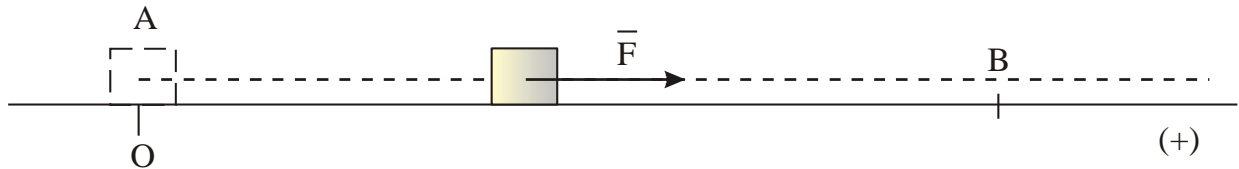
1. Imaginar un procés, segons el qual un sistema varie únicament l'energia cinètica a causa de la realització de treball per forces exteriors.

---

<sup>2</sup> El treball realitzat sobre el sistema o treball exterior, és el treball realitzat per totes les forces que l'exterior exerceix sobre alguna part del sistema.

2. Intentar expressar el treball realitzat sobre ell en funció de propietats del sistema (segons la nostra concepció qualitativa, en funció de la massa i la rapidesa).
3. Utilitzar l'expressió  $W_{\text{ext}} = \Delta E$  per obtindre la relació entre l' $E_c$  i les propietats del sistema.

Aquest és el cas d'un objecte, inicialment en repòs, que és arrossegat sobre una superfície horitzontal (sense fregament, perquè no es produïska escalfament) per mitjà d'una força exterior constant, segons indica la figura adjunta.



Considerarem la transformació des de l'estat A, on el cos es troba en repòs, fins a la situació B, en què el cos porta una rapidesa  $v_B$ . En la figura anterior sols hem dibuixat la força exterior (el pes i la força normal que exerceix el pla s'anul·len) i l'objecte en una posició intermèdia entre A i B, prenent com sentit positiu el del moviment.

Haurà d'acomplir-se que:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E \rightarrow W_{\text{ext}} = \Delta E_c \rightarrow W_{\text{ext}} = E_{cB} - E_{cA} \quad (1)$$

D'altra banda sabem que:  $W_{\text{ext}} = F_t \cdot \Delta e$ .

El moviment representat a la figura anterior serà un MUA en el que  $t_0 = 0$ ,  $v_0 = 0$  i  $e_0 = 0$ , amb la qual cosa, substituint en les equacions del MUA, obtenim que:

$$v_B = a_t \cdot t_B \quad \text{i} \quad e_B = \frac{1}{2} a_t \cdot t_B^2$$

Per tant, el  $W_{\text{ext}}$  realitzat expressat en funció de les propietats del sistema serà:

$$W_{\text{ext}} = F_t \cdot \Delta e = m \cdot a_t \cdot e_B = \left( m \cdot \frac{v_B}{t_B} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{v_B}{t_B} \right) \cdot t_B^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 \rightarrow W_{\text{ext}} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 \quad (2)$$

Igualant les expressions (1) i (2) obtenim finalment que:  $E_{cB} - E_{cA} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$

Si definim que l' $E_c$  d'un objecte és zero quan està en repòs, podem escriure:

$$E_{cB} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 \quad \text{per a l'energia cinètica a l'estat B}$$

En general, l'energia cinètica d'un objecte en moviment ve donada per

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

#### 4. Treball i energia

**A.22.** Una persona de 60 kg viatja en un autobús que es desplaça a 72 km/h. Determineu l'energia cinètica del passatger: a) respecte del conductor; b) respecte d'una persona que està asseguda esperant en la parada.

L'expressió  $E_c = \frac{1}{2}m \cdot v^2$  ens pot fer pensar que podem determinar, d'una manera absoluta, l'energia cinètica d'un sistema. La situació plantejada a l'activitat anterior permet constatar que açò no és així i que, mentre per a la persona asseguda a la vorera, l'energia cinètica seria de 12000 J, per al conductor seria 0. Veiem, doncs, que el valor de l'energia cinètica d'un sistema depèn de l'observador que la determine.

El que hem avançat, ja ens permet realitzar prediccions sobre situacions d'interès que hem abordat en cinemàtica perquè, si podem calcular el treball realitzat per les forces que actuen sobre un cos quan únicament canvia la seua energia cinètica, podem relacionar el desplaçament amb la rapidesa de l'objecte al final del mateix.

**A.23.** Un test cau a terra des d'una finestra situada a 50 m d'altura. Prenent com sistema únicament el test, obteniu a partir de consideracions de treball i energia, la rapidesa que portarà en el moment en què impacte contra el sòl. Resoleu també per cinemàtica i dinàmica, i compareu els resultats.

Si prenem com sistema sols el test, s'acomplirà que la força pes serà una força exterior i l'única que actua sobre el sistema.

La figura de la dreta representa el moviment del test des que s'amolla en A fins que arriba a terra en B. En ella, hem triat el sòl com origen d'espais i sentit positiu cap amunt.

Per resoldre el problema per mitjà de consideracions de treball i energia utilitzarem l'expressió  $W_{\text{ext}} = \Delta E$ , aplicant-la entre els estats A i B i tenint en compte que:

a) en restringir el sistema sols al test no podem parlar d'energia potencial gravitatòria del sistema i, per tant, l'única energia que es modifica serà la cinètica (que anirà augmentant al llarg de la caiguda).

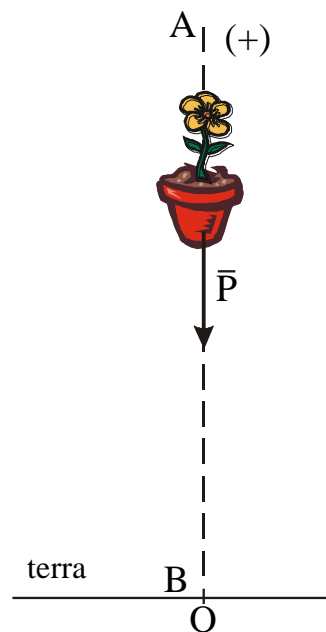
b) El test, en la transformació considerada, està sotmès a l'acció de la força pes, que és l'única força exterior que hi actua.

$$\text{Així doncs: } W_{\text{ext}} = \Delta E \rightarrow W_P = \Delta E_c$$

i si avaluem per separat cadascun dels membres de l'última igualtat:

$$W_P = P_t \cdot \Delta e = -mg \cdot (0-50) = m \cdot 10 \cdot 50 = 500 \cdot m \quad (\text{atès que no sabem el que val la massa})$$

$$\Delta E_c = E_{c_B} - E_{c_A} = E_{c_B} - 0 = \frac{1}{2}mv_B^2$$



i substituint en la igualtat:  $500 \cdot m = \frac{1}{2} m v_B^2$  d'on s'obté fàcilment:  $v_B = 31'62 \text{ m/s}$

Si resollem el problema per cinemàtica i dinàmica, com és lògic, obtindrem el mateix resultat. En efecte:

Es tracta d'un MUA on  $a_t = -g = -10 \text{ m/s}^2$  i  $t_0 = 0$ ,  $v_0 = 0$ ,  $e_0 = 50 \text{ m}$ , amb la qual cosa:

$$v = -10t \quad (1) \quad \text{i} \quad e = 50 - 5t^2 \quad (2)$$

La rapidesa quan arriba al sòl equival a obtenir  $v$  en l'instant en què  $e = 0$ , de manera que:

$$\text{Fent } e = 0 \text{ a l'equació (2) obtenim: } 0 = 50 - 5t^2 \quad \text{i d'ací: } t = 3'16 \text{ s}$$

Substituint el valor de  $t$  trobat a l'equació (1):  $v_B = -10 \cdot 3'16 = -31'6 \text{ m/s}$

Com veiem, el resultat coincideix. El signe negatiu sols significa que el cos s'està desplaçant en el sentit contrari al considerat per nosaltres com positiu.

## 7. ENERGIA POTENCIAL GRAVITATÒRIA.

Ara, anem a tractar de trobar una expressió que ens permeti conèixer l'energia potencial gravitatòria per al sistema format per un cos de massa  $m$  i la Terra.

Seguirem la mateixa estratègia que en el cas de l' $E_c$ , és a dir:

1. Imaginar un procés en el qual varii únicament l'energia potencial gravitatòria a causa de la realització d'un treball exterior.
2. Intentar expressar el treball realitzat en funció de propietats del sistema.
3. Utilitzar l'expressió  $W_{\text{ext}} = \Delta E$  per relacionar l' $E_p$  amb les propietats del sistema.

Igual que hem fet amb l' $E_c$ , pensarem primer en determinar de quines propietats del sistema pot dependre la seua  $E_p$  gravitatòria.

**A.24.** *Dibuixeu un sistema format per un objecte i la Terra<sup>3</sup> i distints estats del mateix que tinguin distinta  $E_p$ . Formuleu hipòtesis sobre les propietats de les que dependrà l'energia potencial.*

L'activitat anterior ens ha d'haver conduït a establir que l'energia potencial del sistema dependrà de la força amb què l'objecte i la Terra s'atraguen (pes de l'objecte) i de la distància que els separe, de forma que, a major pes i major altura major serà l'energia potencial gravitatòria. (Advertiu que, tant el pes com l'altura, són propietats del sistema).

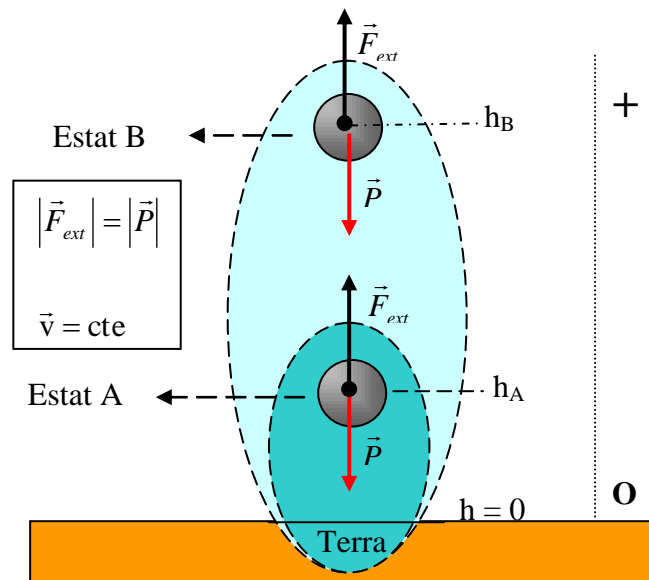
Per trobar una expressió quantitativa de l' $E_p$  elegirem una transformació en què sols canvie l'energia potencial gravitatòria a causa de la realització de treball per l'exterior (per una persona o una màquina, ...), aplicarem la relació entre treball i canvi d'energia, i tractarem d'expressar el treball en funció de propietats del sistema.

---

<sup>3</sup> Si el sistema estiguera constituït únicament per l'objecte no experimentaria  $\Delta E_p$

#### 4. Treball i energia

Això és el que ocorre quan elevem un cos verticalment **amb velocitat constant**, segons s'indica a l'esquema següent:



Per passar de l'estat A a l'estat B amb velocitat constant cal exercir sobre l'objecte una força exterior vertical i cap amunt del mateix valor que el pes (si fóra major que el pes la velocitat augmentaria, i viceversa)<sup>4</sup>.

Aplicant a la transformació l'expressió  $W_{\text{ext}} = \Delta E$  i tenint en compte que sols canvia l'energia potencial gravitatòria:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta E_p = E_{p_B} - E_{p_A} \quad (1)$$

D'altra banda, el treball exterior serà:  $W_{\text{ext}} = F_{\text{ext}} \cdot \Delta e$  i, tenint en compte que  $F_{\text{ext}} = mg$  i que  $\Delta e = h_B - h_A$ , ens queda que:  $W_{\text{ext}} = mg(h_B - h_A)$  (2).

Si ara igualem les expressions (1) i (2), obtenim que:  $E_{p_B} - E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_B - m \cdot g \cdot h_A$

Per poder assignar una expressió quantitativa a l' $E_p$  és necessari prendre un acord sobre quin seria el seu valor en un determinat estat del sistema<sup>5</sup>. Tots els càlculs es faciliten molt si adoptem el conveni que, quan l'altura sobre el sòl siga 0, l' $E_p$  valga zero. Amb aquest conveni, quan  $h_A$  siga 0,  $E_{p_A}$  serà 0. Introduint aquests valors a l'equació anterior obtindríem per a l'energia potencial a l'estat B:  $E_{p_B} = mgh_B$  i, en general, per a l'energia potencial gravitatòria del sistema objecte-Terra:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

<sup>4</sup> Si l'objecte està en repòs, perquè comence a pujar, la força cap amunt hauria d'ésser, al menys, un poc major que el pes, però, si quan iniciem l'ascens, es redueix la força fins que tinga un valor exactament igual que el pes, la força resultant sobre l'objecte serà nul·la i aquest pujarà amb velocitat constant. L'objecte de la figura, en el punt A ja porta una velocitat.

<sup>5</sup> ¡7-2 = 8-3, però d'aquesta expressió no podem concloure que 7=8 i que 2=3!

Aquesta expressió ens confirma la validesa de les hipòtesis anteriors, ja que, com veiem, l'Ep gravitatòria depèn del pes i de l'altura, de forma que, a major pes i major altura, major és l'energia (més capacitat té el sistema per a produir canvis).

**A.25.** *Què significa que l'energia potencial gravitatòria d'un embassament és de 10000 MJ ( $10^{10}$  J)? I que la potència que pot desenvolupar és d'1 MW?*

**A.26.** *Calculeu la variació d'energia potencial quan un objecte de 5 kg que es troba damunt d'una taula de 70 cm d'altura, situada en una casa que està a 30 m d'altura sobre el carrer, cau a terra. Supposeu que aquesta variació és mesurada per: a) Un observador situat dins de la casa. b) Un observador situat al carrer.*

R. Prenent  $g = 9,8$  N/kg, s'obté  $\Delta E_p = -34,3$  J per als dos observadors

Igual que ocorre amb l'energia cinètica, no és possible determinar d'una manera absoluta l'energia potencial d'un sistema, perquè el seu valor depèn del nivell d'altura zero que prenguem. En conseqüència, diferents observadors obtindran, si prenen diferents orígens per a mesurar l'altura, diferents valors per a l'energia potencial d'un mateix estat d'un sistema. Açò no representa un inconvenient, perquè el que ens interessa de les transformacions és la relació entre el canvi d'energia i el treball realitzat, i aquesta relació és la mateixa per a qualsevol sistema de referència inercial.

Convé tindre present que l'expressió per a l'energia potencial gravitatòria només és vàlida per a objectes que es troben a xicotetes altures sobre el sòl, de forma que "g" pugui suposar-se constant. D'altra banda, convé assenyalar que el valor de g en l'expressió  $m \cdot g \cdot h$  mai es posa amb signe menys, perquè mg representa ací el mòdul de la força pes.

## 8. EL PRINCIPI DE CONSERVACIÓ DE L'ENERGIA

Tota la Física es basa en uns pocs "principis", que podrien definir-se com unes lleis que pareixen acomplir-se en multitud de situacions. El fet que tinguen una validesa tan àmplia fa que es puguin aplicar a l'estudi de moltíssimes transformacions, la qual cosa els fa especialment útils.

Un dels principis més importants és el principi general de conservació de l'energia, que pot enunciar-se com:

*"Sempre que un sistema o conjunt de cossos estiga perfectament aïllat de l'exterior, l'energia total del mateix roman constant, malgrat totes les transformacions que puguin ocórrer dins de l'esmentat sistema".*

Fins ara ningú ha trobat cap fenomen o procés que ocórrega en sistemes que puguin considerar-se aïllats, on no s'acomplisca aquest principi de conservació. En tots ells ocorre que, malgrat que l'energia d'algunes de les parts o cossos que formen el sistema pugui canviar, hi ha la mateixa energia total al principi que al final.

**En les transformacions mecàniques** el principi de conservació de l'energia està representat a l'expressió  $W_{\text{ext}} = \Delta E$ . En efecte: si el sistema està aïllat durant la transformació, no interaccionarà amb l'exterior i, per tant,  $W_{\text{ext}} = 0$ , i el canvi en l'energia mecànica  $\Delta E$  serà nul, és a dir, l'energia mecànica al llarg de tota la transformació romandrà constant.

#### 4. Treball i energia

És important adonar-se que, el fet que el sistema estiga aïllat i l'energia mecànica del mateix no canvie, no significa que no puga experimentar canvis interns, perquè en aquest tipus de transformacions poden variar l' $E_c$  i l' $E_p$  però sempre de manera que s'acomplisca:

$$\Delta E = \Delta E_p + \Delta E_c = 0$$

És a dir: Quan un sistema aïllat pateix una transformació mecànica, es produeix un canvi tant d' $E_c$  com d' $E_p$  però de tal manera que, si una augmenta, l'altra ha de disminuir en la mateixa mesura, de forma que  $E$  es mantinga constant.

L'expressió anterior també sol escriure's com:

$$(E_{pB} - E_{pA}) + (E_{cB} - E_{cA}) = 0 \rightarrow \mathbf{E_{pA} + E_{cA} = E_{pB} + E_{cB}}$$

que podem interpretar dient que, en una transformació mecànica, sempre que  $W_{ext} = 0$ , la suma  $E_c + E_p$  ha de romandre constant. (Principi de conservació de l'energia mecànica).

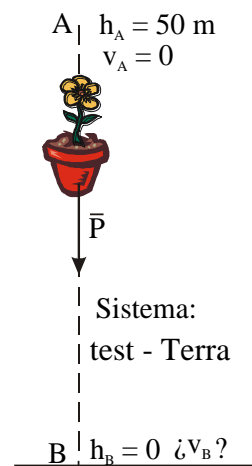
**A.27.** Es llança una pilota des de terra cap amunt. Considerant el sistema o conjunt de cossos format per la pilota i la Terra, descriu energèticament el procés des que la pilota acaba d'abandonar la mà fins que passa pel mateix punt, però ja de volta.

Quan la pilota és llançada disposa d'una energia cinètica i, segons ascendeix, l'energia cinètica va disminuint (perquè cada vegada va més lenta), però l'energia potencial va augmentant (perquè cada vegada està a major altura). En el punt més alt, tota l'energia cinètica inicial s'haurà transformat en energia potencial gravitatòria i, segons el principi de conservació de l'energia, ocorrerà que, l'energia cinètica inicial valdrà el mateix que la suma de l'energia cinètica i potencial en qualsevol posició de l'ascens i que l'energia potencial en el punt més alt. Les mateixes consideracions es fan respecte al descens, de forma que l'energia cinètica amb que arriba la pilota a la mà serà exactament la mateixa que l'energia cinètica amb que va eixir (sempre que la fricció amb l'aire, clar està, puga considerar-se menyspreable).

**A.28.** Un test cau a terra des d'una finestra situada a 50 m d'altura. Prenent com sistema el test i la Terra, obteniu a partir de consideracions de treball i energia, la rapidesa que portarà en el moment en què impacte contra el sòl. (Suposeu menyspreable el fregament amb l'aire i que  $g = 10 \text{ N/kg}$ ).

Si prenem com sistema el test i la Terra, s'acomplirà que la força pes serà una força interior al sistema i, com tampoc hi ha fregament, hem de concloure que, en la transformació, no participen forces exteriors, amb la qual cosa  $W_{ext} = 0$  i, per tant, l'energia mecànica del sistema es conserva.

La figura representa esquemàticament el moviment del test des que s'amolla en A fins que arriba al sòl en B.





En la transformació es produeixen variacions tant en l' $E_c$  (va augmentant des d'A fins a B) com en l' $E_p$  (va disminuint des d'A fins a B), però la suma d'ambdós ha de tindre **en tot moment** de la transformació, el mateix valor. Per tant, podem aplicar:

$$E_{pA} + E_{cA} = E_{pB} + E_{cB}$$

i com l' $E_{cA} = 0$  (està en repòs) i l' $E_{pB} = 0$  (arriba al sòl on  $h = 0$ ), ens queda que:

$$E_{pA} = E_{cB} \rightarrow mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 \rightarrow g \cdot h_A = \frac{1}{2}v_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{2gh_A} \text{ i substituint: } v_B = 31'6 \text{ m/s}$$

Si volguérem trobar, per exemple, la rapidesa del test en altre punt qualsevol de la seua trajectòria, bastaria aplicar de nou la conservació de l'energia mecànica entre eixe punt i el punt A o el B anteriors. Per exemple, *comproveu que 10 m abans d'arribar a terra es mou a 28'3 m/s.*

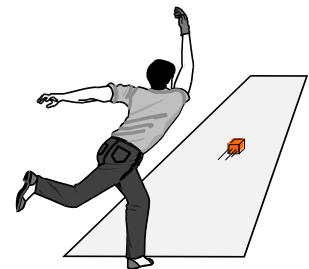
**A.29.** *Es llança des del sòl cap amunt un objecte, amb una rapidesa inicial de 20 m/s. Considerant la fricció amb l'aire menyspreable, es demana:*

- Altura màxima que aconseguirà.*
- Quina rapidesa portarà quan estiga pujant i es trobe a la meitat de l'altura màxima? I quan passe pel mateix punt, però descendint?*
- Amb quina rapidesa tornarà al punt de partida?*

R. a) 20 m; b) 14'14 m/s i -14'14 m/s; c) -20 m/s (prenent  $g = 10 \text{ N/kg}$ , origen d'espais el sòl i sentit positiu cap amunt).

Hi ha algunes situacions en què, malgrat tractar-se d'un sistema aïllat, **pareix** no acomplir-se el principi de conservació de l'energia. A continuació analitzarem una d'elles:

**A.30.** *Si sobre una superfície horitzontal es llança un bloc de ferro segons s'indica en la figura, s'observa que es mou cada vegada més lentament, fins que acaba per parar-se. Constitueix açò una excepció al principi de conservació de l'energia en el sistema format pel bloc, la superfície i la Terra? On ha anat a parar l'energia cinètica inicial del bloc?*



En aquest cas, i segons el que hem dit fins ací, aparentment no s'acompleix el principi, ja que l'energia cinètica amb què ix el bloc va disminuint fins que, finalment, es fa zero, sense que el sistema (al que considerem aïllat) interaccione amb l'exterior. On ha anat a parar tota l'energia inicial? Per comprendre el que ha succeït cal tindre en compte una **simplificació** que hem estat utilitzant fins ara: suposar que els cossos són objectes rígids, o bé masses puntuals, que només es traslladen, i no tindre en compte el fregament, o tractar-lo simplement com una força exterior al cos que **únicament** el frena.

La consideració de la natura corpuscular de la matèria, segons la qual tot objecte està format per partícules (molècules i àtoms) enllaçades unes a altres mitjançant forces elèctriques i que no estan fixes, sinó vibrant entorn de posicions d'equilibri, condueix a la idea que, dins dels cossos o sistemes, com el bloc de ferro i la superfície de l'activitat, també hi ha energia

#### 4. Treball i energia

(per exemple l'energia cinètica de les seues partícules). A tota aquesta energia que hi ha a l'interior dels objectes l'anomenem **energia interna**, de manera que:

L'energia cinètica inicial del bloc, a causa del treball realitzat per la força de fregament, ha passat a ser energia interna del bloc, de la superfície i de l'aire que els envolta, de forma que, per exemple, les partícules d'ambdós vibraran ara més àmpliament i amb major rapidesa. El treball de fregament ha produït, doncs, un augment de l'energia interna del bloc, la superfície i l'aire.

En conseqüència, l'energia cinètica inicial del bloc no s'ha perdut. Ara està repartida entre les partícules del bloc i de la superfície. A causa del fregament, s'ha produït un augment d'energia interna igual a la disminució de l'energia cinètica del bloc i **pareix com si** l'energia mecànica inicial haguera desaparegut (aquest és l'origen del qualificatiu de força “dissipativa” o “no conservativa” per aquest tipus de forces, com el fregament). En general, doncs, si un sistema es troba aïllat, podem afirmar que la suma  $E_c + E_p + E_{int}$  ha de romandre constant.

Quelcom semblant ocorre en les activitats anteriors on s'ha menyspreat el fregament amb l'aire. Si considerarem aquest efecte, l'energia cinètica (i per tant, també la rapidesa) amb què un objecte llançat cap amunt torna a la mà, seria sempre (com ocorre en realitat) quelcom menor que la que li comunicarem en llançar-lo, pel fet que, part d'ella es trobaria al final en les partícules que formen l'objecte i l'aire, les energies internes de les quals haurien augmentat.

D'acord amb l'anterior, quan vulguem aplicar el principi de conservació general de l'energia, haurem de considerar com sistema no sols al cos en qüestió, sinó també a la superfície, l'aire i tot allò que s'escalfa a causa del fregament.

En l'exemple que hem analitzat a l'última activitat, hem pogut veure com l'energia total del sistema es conserva, no obstant és senzill d'entendre que l'energia cinètica inicial del bloc, és fàcilment aprofitable (pot utilitzar-se, per exemple, per clavar un clau, per trencar quelcom, etc), mentre que l'energia de les partícules a les quals s'ha transferit, està repartida entre els trilions de partícules que hi intervenen (del bloc, de l'aire i de la superfície) i no és tan fàcilment aprofitable per produir canvis que ens interessin. Diem llavors que:

#### **L'energia s'ha degradat**

Aquest és un problema greu, ja que en la gran majoria dels processos que ocorren al nostre voltant està present el fregament. El treball realitzat per les forces de fricció en general, fa que una gran part de l'energia “útil” es convertisca en energia interna, no tan aprofitable per a nosaltres. Així, per exemple, no tota l'energia cinètica de les càrregues elèctriques que es mouen per un fil conductor es pot convertir en energia cinètica de les aspes d'un ventilador. Part d'ella es troba en forma d'energia interna de les partícules que formen el cable i la resta de l'aparell. Igualment, no tota l'energia present en la gasolina del dipòsit d'un cotxe s'empra a moure les rodes del mateix. Part d'ella, a causa de la fricció existent entre les peces, es queda en forma d'energia interna de les mateixes (augmentant la temperatura), etc. En definitiva, doncs, l'energia no es crea ni es destrueix, però sí que es transforma, es reparteix més i es degrada, sent cada vegada menys aprofitable. Quan es parla de “consum” d'energia, o de “pèrdues d'energia”, realment no es vol dir que l'energia desaparega, sinó que deixa de ser tan aprofitable com ho era abans, en transformar-se energia útil i concentrada en energia menys útil i més repartida (és per això que podem parlar de principi de conservació i **transformació** de l'energia).

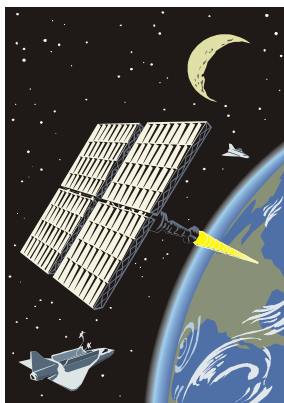
Els raonaments anteriors permeten explicar que, en molts casos es parli de potència útil, o potència desenvolupada per una màquina, front a la potència consumida, pel fet que cap màquina treballarà amb un rendiment del 100% donat que part de l'energia utilitzada es “perdrà” en forma

d'energia interna a causa de la fricció, raó per la qual, la potència consumida sempre serà major que la potència desenvolupada. També expliquen la importància d'utilitzar bons lubricants en les màquines, a fi que no es facen malbé i de disminuir l'energia útil que es dispersa i es degrada a causa de la fricció entre les parts mòbils.

**A.31.** Una màquina puja una càrrega de 200 Kg a una altura de 30 m i, per aconseguir-ho, consumeix una energia de 65.000 J. Calculeu la quantitat d'energia "perduda" a causa de la fricció. R. 5000 J (si  $g = 10 \text{ N/kg}$ ).

**A.32.** Es llança un objecte de 200 g cap amunt amb una rapidesa de 20 m/s. Sabent que, a causa del fregament "es perd" una energia de 2 joules, calculeu la rapidesa amb què tornarà al punt de partida. R. 19'5 m/s (en valor absolut)

Malgrat que el principi de conservació de l'energia ens diu que l'energia no desapareix, hem vist que sí que es degrada i, per aquest motiu, hem de tindre cura i no malgastar les fonts primàries d'energia no renovables com el petroli, gas natural, etc. Açò ens fa veure també per què és cada vegada més necessari impulsar la investigació per aprofitar més les fonts d'energies renovables (com el vent, l'aigua, les radiacions solars, etc.).



**A.33.** Suggeriu mesures que es puguem aconsellar per estalviar energia a les cases i edificis.

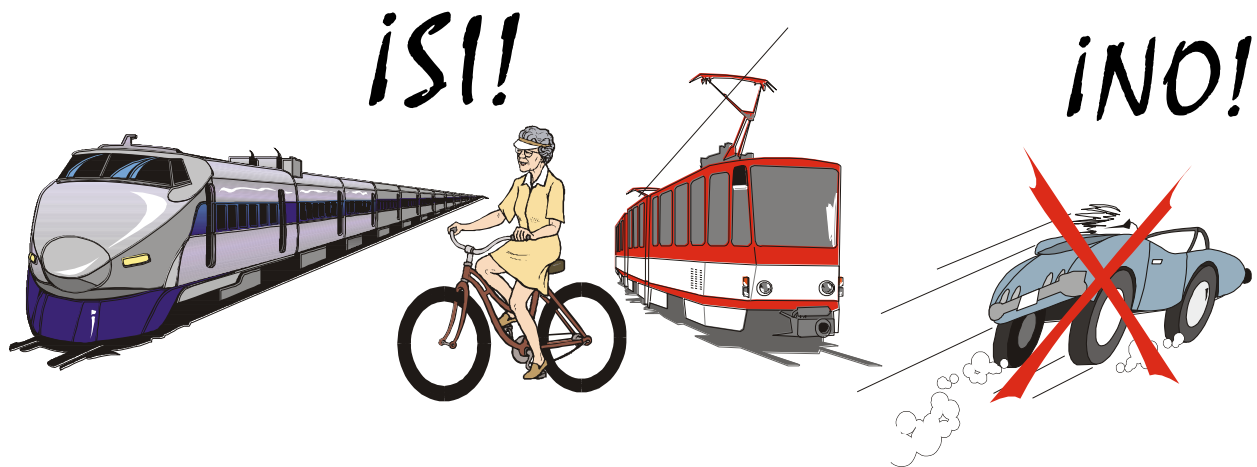
Entre d'altres coses: l'aïllament tèrmic de les cases, l'obtenció d'aigua calenta a partir d'instal·lacions de panells solars en teulades i terrasses, utilització de llums de baix consum, que s'encenguin sols quan siga necessari, instal·lació de dutxes en compte de banyeres i dispositius per estalviar aigua en descarregar la cisterna dels inodors, etc. Convé que es debaten a classe i s'aclarisquen totes aquestes mesures i altres que es puguem proposar.

**A.34.** Suggeriu algunes accions individuals que puguem portar a terme per estalviar energia.

Els governs dels països han de ser sensibles al problema que suposa el mal ús de les fonts d'energia i prendre mesures urgents com: afavorir l'ús de la bicicleta i dels transports públics front als vehicles privats, limitar de forma efectiva la velocitat màxima dels vehicles particulars, fomentar les investigacions sobre com obtindre energia de fonts renovables, impedir la il·luminació nocturna excessiva de moltes ciutats, subvencionar iniciatives destinades a l'estalvi energètic, etc.

#### 4. Treball i energia

Nosaltres també podem fer molt si tots col·laborem i realitzem accions individuals senzilles, com: utilitzar piles recarregables així com làmpades i electrodomèstics de baix consum, no tindre a casa més llums enceses de les que ens calguen, dutxar-nos en compte de banyar-nos, caminar o anar amb bicicleta en compte de circular en moto o amb cotxe, utilitzar preferentment els mitjans de transport col·lectius, evitar la conducció esportiva quan circulem amb el nostre cotxe, votar als partits que proposen mesures efectives d'estalvi energètic, etc.



Per finalitzar, convé realitzar una xicoteta reflexió: L'ús de l'energia està repartit en el món de forma molt desigual. Hi ha molts milions de famílies que no disposen d'energia elèctrica a les seues cases i també és just que aspiren a la millor qualitat de vida que puguen aconseguir. Podem preguntar-nos què ocurriria si demà tots els éssers humans disposaren de la mateixa energia que un nord-americà mitjà, mantenint les mateixes formes d'obtindre energia i amb la mateixa taxa de creixement de la població. Amb tota seguretat, l'esgotament de recursos i l'impacte ambiental produït ocasionarien un desastre de proporcions incalculables en pocs mesos. La diferència de la realitat amb aquest supòsit radica **únicament** en el temps: si no prenem mesures ja i continuem creixent i consumint al mateix ritme i forma que ho estem fent, en compte de pocs mesos seran anys però finalment els desastres arribaran.

#### RECAPITULACIÓ

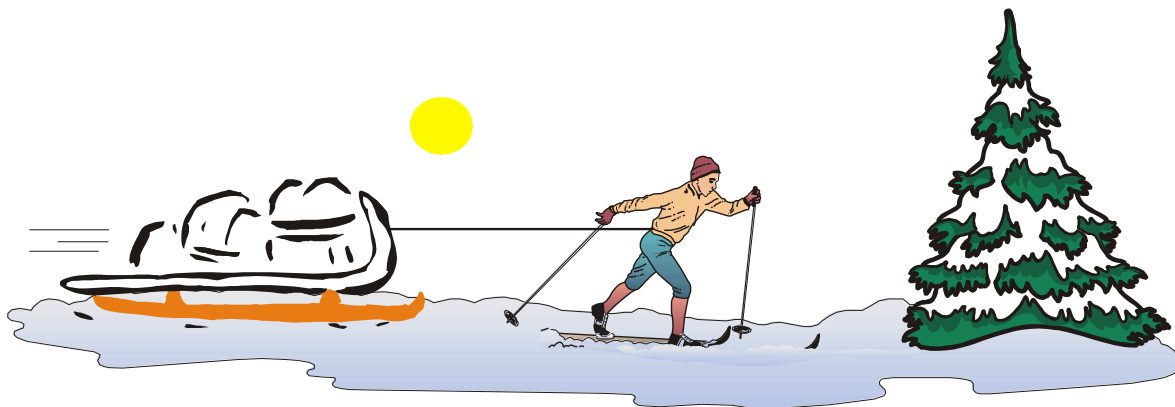
Els conceptes de treball i energia han resultat de molta utilitat per explicar els canvis mecànics. Hem pogut comprovar, a més, com alguns problemes que resolguérem utilitzant equacions de cinemàtica i dinàmica es poden resoldre també a partir de consideracions de treball i energia. Aquest fet confirma la validesa dels nous conceptes i principis introduïts i permet adonar-se de com va elaborant-se un cos de coneixements científics cada vegada més ampli (en aquest cas, la mecànica).

Hem tingut ocasió d'aclarir algunes coses com la confusió existent entre fonts d'energia i formes d'energia, introduint els conceptes d'energia cinètica i energia potencial. Finalment, hem estudiat el principi de conservació de l'energia mecànica i el problema que suposa la degradació de l'energia i l'esgotament d'algunes fonts d'energia. Tot això ens ha portat a suggerir distintes mesures d'estalvi i ús racional de l'energia. En el capítol següent, ampliarem l'estudi dels canvis als fenòmens calorífics.

#### 4. TREBALL I ENERGIA. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES

1. Una persona arrossega pel sòl un trineu de 160 kg amb ajuda d'una corda que forma un angle de  $0^\circ$  amb l'horitzontal, recorrent una distància de 5 m. La tensió de la corda és de 300 N i la força de fregament val 140 N. Dibuixeu un esquema on figuren totes les forces que actuen sobre el trineu i calculeu el treball realitzat per cadascuna d'elles, així com el treball total.

R.  $W_T = 1500 \text{ J}$ ;  $W_{Fr} = -700 \text{ J}$ ;  $W_P = 0$ ;  $W_R = 0$ ;  $W_{\text{total}} = 800 \text{ J}$



2. Com podem explicar que la Lluna gire permanentment al voltant de la Terra, sense necessitat de combustible?

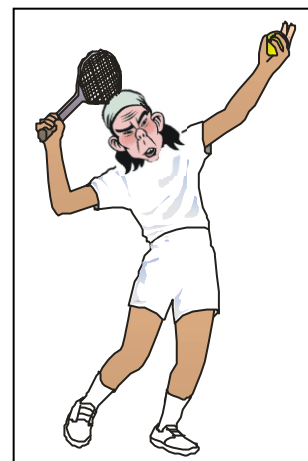
3. La potència màxima que pot desenvolupar un cert model de cotxe és de 80.000 W. Quan circula en primera per carretera horitzontal, pot aconseguir una velocitat màxima de 36 km/h, mentre que quan ho fa utilitzant la quinta marxa, la velocitat és de 180 km/h. Calculeu la força que fa el motor en cadascun dels casos límit assenyalats. Enumereu diferents raons per les quals un vehicle particular no hauria de poder circular a 180 km/h.

R. 8000 N i 1600 N respectivament.

4. Un ascensor de 500 kg transporta quatre persones de 80 kg cada una. Sabent que pot pujar 7 pisos en 20 s i que cada pis té una altura de 3'5 m, determineu el valor de la potència mitjana (en kW), desenvolupada pel motor per elevar l'ascensor. R. 10'045 kW.

5. Esbrineu la despesa econòmica que suposa tindre encesa una estufa elèctrica de 2500 W de potència durant 5 hores, si cada kWh costa 0'1 euro. S'ha consumit realment tota eixa energia? On s'hi troba? Es pot aprofitar igual que abans per produir canvis? R. 1'25 €

6. En copejar una pilota de tennis de 60 g de massa inicialment en repòs, un jugador d'elit aconseguí llançar-la a una velocitat de 216 km/h.. Calculeu l'energia cinètica amb que va eixir la pilota. R. 108 J.



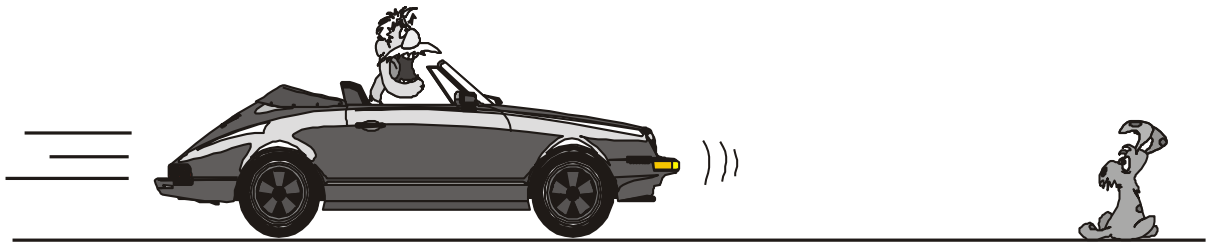
#### 4. Treball i energia

7. Quines conseqüències pot tindre en un xoc el fet que la velocitat d'un vehicle es duplique?

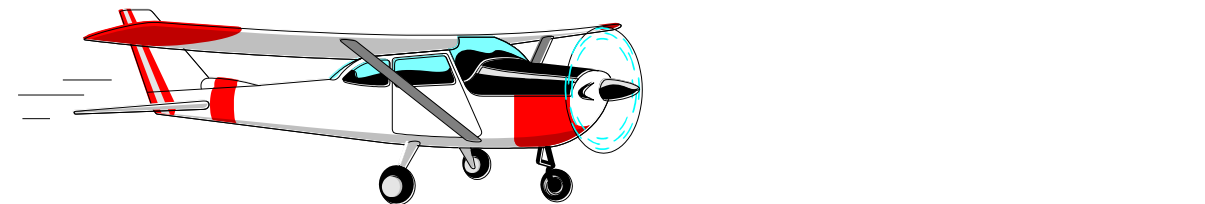
8. Sobre un objecte de 2 kg que es desplaça amb una velocitat de 100 m/s per una trajectòria recta, comença a actuar una força resultant de 80 N. Per consideracions de treball i energia, determineu la rapidesa amb què es mourà l'objecte al cap de 5 segons d'actuar l'esmentada força, en els següents casos: **a)** La força té la mateixa direcció i sentit que el moviment. **b)** La força té sentit contrari al moviment. R. 300 m/s i -100 m/s respectivament.

9. En una prova automobilística, un cotxe de 1000 Kg va augmentar la rapidesa de 0 a 72 Km/h després de recórrer 50 m en 5 s. Sabent que la força exercida pel motor fou de 6000 N calculeu, per mitjà de consideracions de treball i energia, el valor de la força de fricció (suposada constant) que va actuar sobre el cotxe. R. 2000 N

10. Un cert model de cotxe de 1200 Kg de massa, és sotmès a una força total de frenada de 1800 N quan es desplaça amb una rapidesa de 108 km/h. Calculeu, per consideracions de treball i energia, la distància que recorrerà des que comença a frenar fins que s'atura. Expliqueu, el més detalladament possible, què ha ocorregut amb l'energia cinètica inicial del cotxe. R. 300 m



11. Un cert model d'avió de 1000 kg de massa total, ha d'aconseguir una rapidesa mínima de 252 km/h per poder enlairar-se. Sabent que la pista té una longitud de 500 m, determineu, per consideracions de treball i energia, el valor de la força mínima resultant que ha d'empentar a l'avió. R. 4900 N



12. Sobre un objecte de 4 Kg, inicialment en repòs, situat sobre la superfície terrestre, s'exerceix una força exterior de 60 N que tira d'ell verticalment cap amunt. Calculeu, per consideracions de treball i energia, amb quina rapidesa es mourà quan es trobe a 62'5 m del sòl. R. 25 m/s

13. Un alumne esportista puja caminant les escales de sa casa, que es troba en un setè pis. Inventa possibles valors de la massa de l'alumne i l'altura del seu domicili i, a continuació, calcula quants joules d'energia consumirà, com a mínim, cada vegada que pugue les escales. Si tarda 30 s, determina també el valor de la potència mitjana desenvolupada.



**14.** Des d'un globus, que es troba a una altura de 100 m, pujant amb una rapidesa de 5 m/s, s'amolla un llast. Per consideracions de treball i energia, es demana:



- Rapidesa en el precís instant de l'impacte contra el sòl.
- Altura màxima sobre el sòl que aconseguirà el llast.
- Rapidesa que portarà en l'instant en què es trobe a 50 m del sòl.

R. 45 m/s; 101'25 m; 32 m/s

**15.** Torneu a resoldre el problema anterior per cinemàtica i dinàmica.

**16.** Una persona de 70 kg circula amb moto a 108 km/h per un lloc on estava prohibit anar a més de 60 km/h i xoca frontalment contra una palmera. Des de quin pis d'un gratacel hauria d'haver caigut, perquè el xoc contra el sòl fóra equivalent al xoc patit contra la palmera? (Suposeu que cada pis del gratacels té una altura de 3 m). R. Des del pis núm. 15.



**17.** Un objecte que ha sigut llançat cap amunt, en un instant donat es troba a 8 m del sòl, pujant amb una velocitat de 12 m/s. Calculeu quina rapidesa portarà a la baixada en el moment en què li falten 2 m per a arribar al sòl. R: 16'2 m/s.

**18.** Es llança un objecte de 2 kg verticalment cap amunt des del sòl, observant-se que aconseguix una altura màxima de 31'25 m. Considerant nul el fregament i  $g = 10 \text{ N/kg}$ , es demana: a) Amb quina rapidesa es llança? b) Amb quina rapidesa caldria llançar altre objecte de 4 kg, perquè aconseguira la mateixa altura màxima que el primer? R. Es va llançar a 25 m/s.

**19.** Des d'un punt situat a 50 m sobre el terra, es llança verticalment cap amunt un projectil de 2 kg, comprovant-se que tarda 5 s a aconseguir la màxima altura. Calculeu:

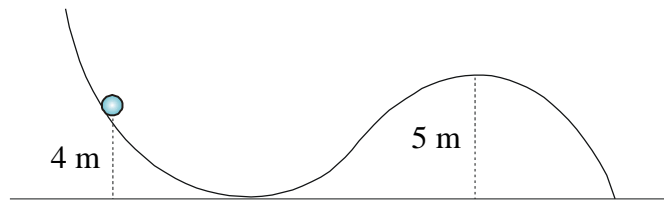
- La rapidesa amb què l'objecte xocarà contra el sòl.
- Energia potencial gravitatòria en l'instant en què el projectil es troba a la màxima altura, mesurat per la persona que el llança i mesurat per un observador situat al sòl.
- L'increment de l'energia potencial gravitatòria, entre l'instant en què es llança i el que abasta la màxima altura, segons la persona que el llança i segons l'observador situat al sòl.

R. a) 59'2 m/s (valor absolut); b) 2500 J i 3500 J respectivament. c) 2500 J

#### 4. Treball i energia

**20.** Des del punt més alt d'una torre de 50 m, es dispara horitzontalment un projectil, amb una velocitat de 200 m/s. Considerant nul el fregament amb l'aire i  $g = 10 \text{ N/kg}$ , calculeu el valor de la velocitat amb què el projectil arribarà a terra. R. 202'5 m/s.

**21.** Al dispositiu de la figura adjunta no hi ha fregament. Calculeu amb quina velocitat mínima hauríem de llançar la boleta, per assegurar-nos que és capaç d'abastar el cim del monticle.



R.  $\sqrt{20}$  m/s

**22.** Es llança verticalment cap amunt un objecte de 800 g de massa, amb una rapidesa de 90 km/h. Suposant que la força de fregament amb l'aire és constant i val 2 N, calculeu:

- La rapidesa amb què tornarà al punt des d'on es va llançar.
- La quantitat d'energia cinètica inicial que s'ha "perdut" a causa de la fricció.
- Amb quina rapidesa hauria tornat si no haguera existit fregament amb l'aire?

R. a) 19'4 m/s; b) 100 J; c) 25 m/s

**23.** Una rajola de 3 Kg cau des de 100 m d'altura. Si, a causa de la fricció amb l'aire, es "perden" 15 joules d'energia durant la baixada, es demana:

- Amb quina velocitat xocarà la rajola contra el sòl?
- Una vegada que xoca, es trenca i les restes queden escampades i en repòs. S'ha perdut realment tota l'energia potencial inicial?

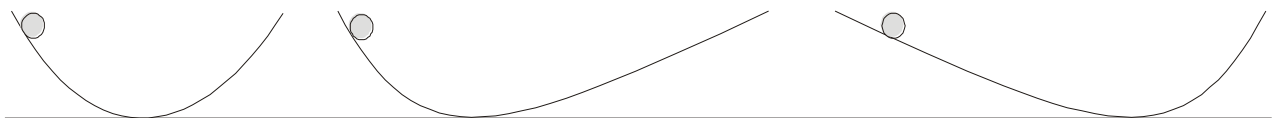
R. 44'6 m/s



**24.** Contesteu les següents qüestions:

- Doneu dues definicions qualitatives de treball.
- Expliqueu què s'entén per treball mecànic.
- Enuncieu el principi de conservació de l'energia.
- Expliqueu el significat de: degradació, transformació, transferència i dissipació d'energia.
- Per què a la força de fregament se l'anomena dissipativa?

**25.** Suposant que no hi haja cap fricció i que les tres boletes del dibuix siguin idèntiques, raoneu quina d'elles arribarà més alt quan es deixen en llibertat des de la posició inicial representada.





## 5. CALOR

Als temes anteriors començarem l'estudi dels canvis, introduint alguns conceptes molt útils per poder descriure'ls i interpretar-los, com els d'interacció, treball i energia. També vérem els distints tipus d'energia i el paper que juguen en els canvis. Però hem deixat al marge un important agent productor de canvis que, en principi, sembla que no té res a veure amb forces i moviments. Es tracta de la **calor**. L'enorme utilitat de la mateixa per produir canvis és coneguda ja des dels orígens de la humanitat, sent el descobriment del foc i la seua utilització un factor que permeté passar del simple aprofitament de la naturalesa a la seua transformació activa.

*A.1. Enumereu fenòmens, problemes, aplicacions d'interès, etc. que guarden relació amb el tema de la calor.*

Podem referir-nos, per exemple: a l'evaporació de l'aigua, la fusió del gel, la cocció dels aliments, les estufes, la dilatació, els volcans, les màquines tèrmiques, l'escalfament que experimenten les màquines quan estan funcionant (per exemple, el motor d'un cotxe), la combustió de la fusta, gasolina, etc. Tot això pot servir per mostrar la gran importància de la calor en nombrosos canvis, tant naturals com artificials.

D'altra banda, en alguns canvis en què l'energia mecànica disminueix ràpidament, es produeix un escalfament (per exemple, quan un cotxe a gran velocitat frena bruscament, augmenta la temperatura, a causa del fregament amb els frens), la qual cosa suggereix que pot haver-hi una relació entre els fenòmens mecànics i els calorífics.

Inicialment, la calor es va desenvolupar com un camp científic autònom. En estudiar aquest tema veurem que, en realitat, està relacionat amb les forces i el moviment existent entre les partícules que formen els sistemes materials, i que aquesta relació va permetre, històricament, conèixer millor el què ocorre amb l'energia quan els sistemes canvien.

### 1. NAIXEMENT DE LA IDEA DE CALOR

Les primeres observacions que ens porten a dir si un objecte està calent o fred, provenen del sentit del tacte. Però la sensació fisiològica de calor o de fred, a més de ser sols qualitativa i no poder quantificar-se, condueix, amb freqüència, a conclusions errònies.

*A.2. Inventeu algun experiment senzill per mostrar que la sensació de calent o fred que sentim en tocar alguna cosa, pot ser equivocada.*

Una experiència molt fàcil de realitzar és submergir, simultàniament i durant el mateix temps, una mà en aigua freda i l'altra en aigua calenta i, tot seguit, ficar ambdós en un recipient que continga aigua tèbia; aquesta semblarà calenta per a una mà i freda per a l'altra. Una persona malalta de grip i amb febre pot experimentar sensació de fred, encara que realment no en faça. La sensació de fred a una mateixa temperatura pot ser distinta depenent d'altres factors com la humitat, el vent, si hem realitzat o no un esforç físic, etc.

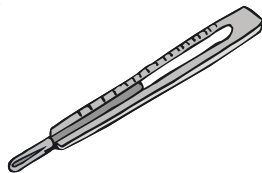
## 5. Calor

Els exemples anteriors permeten comprendre que, per avançar en l'estudi de la calor, necessitem disposar d'instruments de mesura més objectius que els nostres sentits. Aquesta necessitat constitueix un exemple més de la relació existent entre el desenvolupament científic i el tecnològic.

A partir d'ara, és convenient que ens habituem a substituir els termes “calent” i “fred” pel de temperatura, de manera que, més calent significa major temperatura i més fred significa menor temperatura.

**A.3.** *Raoneu quin fenomen, relacionat amb la calor, podem utilitzar per construir un instrument que mesure objectivament la temperatura d'un sistema material.*

Una possibilitat és aprofitar la dilatació que experimenten algunes substàncies en escalfar-se. Així, per exemple, com una vareta de ferro té més longitud com major és la seua temperatura, bastarà establir una equivalència entre longitud i temperatura, perquè pugui ser utilitzada com termòmetre (aparell que mesura la temperatura). En la pràctica, però, aquest tipus de termòmetre no seria molt útil perquè caldria una vareta molt llarga, per aconseguir que les variacions de longitud foren apreciables. En canvi, sí que resulta útil el termòmetre de mercuri, que consta d'un xicotet recipient (bulb) ple de mercuri, comunicat amb un tub molt prim (capil·lar). D'aquesta forma, qualsevol xicoteta dilatació o contracció del mercuri que ocorregui en augmentar o disminuir la temperatura, es tradueix en un canvi apreciable de la longitud de la columna de mercuri existent al tub capil·lar.



Per poder realitzar mesures quantitatives amb el termòmetre cal establir primer una escala. En l'escala centígrada (que és la que manejarem) la temperatura “t” es mesura en graus centígrades (°C) i va des de 0° C, temperatura a què fon el gel, fins 100 °C, temperatura a què bull l'aigua (tot això a 1 atm de pressió).

Altra escala de temperatura és l'absoluta o Kelvin. La temperatura en aquest cas es representa per T i el kelvin (K) és la unitat internacional de mesura de la temperatura. El 0 d'aquesta escala correspon a -273 °C, amb la qual cosa, la temperatura de fusió del gel en kelvin, serà de 273 K i la d'ebullició de l'aigua, de 373 K.

**A.4.** *Quin valor té la temperatura en kelvin quan en un termòmetre llegim 27 °C? Proposeu una expressió general que ens permeti obtenir la temperatura en kelvin a partir del seu valor en graus centígrads.*

Com a 0°C corresponen 273 K, no tenim més que sumar 27 + 273, amb la qual cosa seran 300 K.

En general:  $T \text{ (K)} = t \text{ (}^\circ\text{C)} + 273$

**A.5.** *La temperatura mínima que es va mesurar al llarg d'un dia en una zona determinada va ser de 12 °C i la màxima de 22 °C. Calculeu el canvi de temperatura produït en °C i en K.*

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 22 - 12 = 10 \text{ }^\circ\text{C}; \quad \Delta T = T_2 - T_1 = 295 - 285 = 10 \text{ K}$$

L'activitat anterior ens permet comprovar que les variacions de temperatura presenten el mateix valor numèric en ambdós escales.

És interessant, abans de continuar, observar i manejar alguns termòmetres mesurant la temperatura de la classe, la temperatura de l'aigua d'un got, etc.

*A.6. Sovint es confon la calor amb la temperatura, arribant a pensar-se, per exemple, que la calor absorbida per una substància és igual a l'augment de temperatura que experimenta la pròpia substància. Ideeu un experiment que servisca per comprovar la falsedat d'aquesta associació.*

Es poden utilitzar dos recipients iguals, que es troben a la mateixa temperatura i continguen quantitats molt diferents d'aigua. Es posen en contacte amb focus calorífics iguals, durant el mateix temps, amb la qual cosa reben la mateixa calor; tanmateix, es pot observar que els termòmetres assenyalen temperatures diferents.

Amb l'ajuda dels termòmetres es va fer possible històricament estudiar de forma quantitativa els fenòmens calorífics, establint-se tota una sèrie de lleis que encara avui són vàlides. A continuació estudiarem alguns fenòmens relacionats amb la calor, que ens permetran constatar el seu caràcter d'agent productor de canvis.

## 2. ALGUNS FENÒMENS I CANVIS RELACIONATS AMB LA CALOR

Començarem per estudiar en primer lloc un canvi molt senzill: la variació de la temperatura dels cossos a causa de la calor guanyada o perduda pels mateixos.

### 2.1. Canvis en la temperatura dels cossos. Concepte de calor específica

*A.7. Una magnitud important per la seua utilitat és la quantitat de calor necessària per elevar la temperatura d'una substància determinada fins que aquesta abaste un cert valor. Emeteu hipòtesis sobre els factors de què dependrà aquesta quantitat, precisant la forma en què cal esperar que influeixen.*

La resolució de l'activitat anterior ens ha de portar a pensar en factors com: la massa de la substància (en igualtat de la resta de condicions, no serà el mateix, per exemple, escalfar 1 kg de ferro que 0'5 kg de ferro); l'increment de temperatura que es vulga aconseguir (no serà el mateix escalfar, per exemple, 1 kg d'aigua des de 20 °C fins a 30°C, que des de 20°C fins a 90°C); la naturalesa de la substància (no serà el mateix, a igualtat de la resta de factors, escalfar ferro que aigua).

Així doncs, es pot pensar que la calor  $Q$  demanada en l'activitat, dependrà de la massa ( $m$ ), del canvi de temperatura ( $\Delta t$ ) i de la naturalesa de la substància a escalfar. Podem avançar un poc més en la nostra hipòtesi i pensar que  $Q$  ha de ser directament proporcional, tant a la massa com a la variació de temperatura. L'expressió que contempla açò és:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

En l'expressió anterior  $m$  és la massa del cos o sistema que s'escalfa,  $\Delta t$  és el canvi de temperatura que experimenta i, finalment,  $c$  és una **constant** que depèn de la naturalesa del material (relacionada amb la major o menor facilitat per elevar la temperatura en escalfar-lo).

## 5. Calor

La validesa de l'expressió anterior s'ha comprovat experimentalment en molts casos. Convé tindre en compte que la mateixa es pot aplicar tant en casos d'escalfament com de refredament, amb l'única diferència que, als primers,  $Q$  serà positiu i, als segons,  $Q$  serà negatiu, pel fet que la temperatura augmenta o disminueix, respectivament.

La constant  $c$  es denomina calor específica (perquè per a cada material pren un valor diferent, "específic" d'eixe material). Si en l'expressió anterior fem que  $m = 1$  i que  $t = 1$ , obtindrem que  $Q = c$ , la qual cosa es pot interpretar dient que, la calor específica d'un material ens indica la quantitat de calor que es necessita, perquè una mostra d'aquest material, de massa unitat, augmente la seua temperatura en una unitat.

**A.8.** *La calor específica de l'aigua líquida és, aproximadament, 9 vegades major que la del ferro sòlid. Què significa açò?*

D'acord amb el que hem vist anteriorment, això implica que, tenint masses iguals de ferro i d'aigua, per aconseguir el mateix increment de temperatura, caldrà nou vegades més calor en el cas de l'aigua, que en el del ferro. Així doncs, com més alta siga la calor específica d'un material donat, tanta més calor caldrà subministrar-li per aconseguir un cert augment de la temperatura.

**A.9.** *Busqueu en la bibliografia o en Internet, una definició de la calor com unitat de calor.*

Podem definir la calor (cal) com la calor necessària per elevar en 1 grau la temperatura d'un gram d'aigua, amb la qual cosa la calor específica de l'aigua serà, precisament, 1 cal/g·grau. Com és lògic, 1 quilocaloria (kcal) serà igual a 1000 cal i representa la calor necessària per elevar en 1 grau la temperatura d'1 kg d'aigua. Així doncs, la calor específica de l'aigua també es podrà expressar com  $c = 1$  kcal/kg·grau.

La taula següent ofereix les calors específiques aproximades d'alguns materials:

Material	alumini	coure	gel	fusta	ferro	mercuri	aigua	vapor d'aigua	aire
Calor específica (cal/g·°C)	0'22	0'09	0'50	0'40	0'11	0'03	1'00	0'46	0'24

Hem d'assenyalar que, en realitat, la calor específica depèn de la temperatura a què es mesure el seu valor. Així, les dades de la taula anterior corresponen a una temperatura de 20 °C (excepte en el cas del gel, que és -5 °C). No obstant això, en aquest nivell, suposarem que la calor específica d'una substància (en estat sòlid o líquid), té sempre el mateix valor, independentment de la temperatura, sempre que la substància no experimente un canvi d'estat.

**A.10.** *Utilitzant la taula de calors específiques, calculeu la calor necessària que, aproximadament, caldrà per preparar una tassa de cafè instantani.*

Podem suposar que utilitzem 40 g d'aigua a una temperatura inicial de 20 °C i que hem d'escalfar-la fins a ebullició (100 °C), amb la qual cosa:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 1 \cdot 40 \cdot (100 - 20) = 3200 \text{ cal}$$

**A.11.** *Calculeu la quantitat de calor perduda (cedida al medi ambient) per una paella de ferro de 0'5 kg quan es refreda des de 200 °C fins a 21 °C.*

En aquest cas, com a l'anterior, sols haurem de substituir les dades, tenint en compte que, atès que la paella es refreda, la temperatura final serà menor que la inicial.

$$Q = c \cdot m \cdot t = 0'11 \cdot 500 \cdot (21 - 200) = -9845 \text{ cal}$$

**A.12.** *Què significa que la calor específica del coure és de 0'09 kcal/kg-grau? Compareu aquest valor amb el de l'aigua.*

Significa que, per augmentar en 1 °C la temperatura d'1 kg de coure, cal subministrar-li 0'09 kcal (o, el que és equivalent, 90 cal).

En el cas de l'aigua, per augmentar en 1 °C la temperatura d'1 kg d'aigua són necessàries 1000 cal, és a dir, que cal subministrar-li 11'1 vegades més calor que al coure.

Com es pot veure a la taula anterior, les calors específiques dels metalls són molt menors que la de l'aigua. Això permet explicar molts fets experimentals com, per exemple, que l'aigua tarda més temps en escalfar-se (i refredar-se) que altres substàncies.

**A.13.** *Justifiqueu, a partir del concepte de calor específica, que el major risc de gelades en els cultius es produïska els dies freds i secs d'hivern.*

L'aigua té, com acabem de veure, una calor específica elevada, el que significa que costa molt modificar la seua temperatura. Per això, els dies (o nits) humits, no es produeixen grans canvis en la temperatura ambient. En canvi, l'aire sec té aproximadament la meitat de calor específica que el vapor d'aigua, per tant, els dies amb poca humitat ambiental les temperatures poden baixar molt, augmentant el risc de gelades.

**A.14.** *Dissenyeu els muntatges experimentals adequats per comprovar la relació:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$ . A continuació, si és possible, realitzeu les experiències dissenyades.*

Per comprovar experimentalment la relació anterior podríem fer el següent:

- Prendre una determinada massa d'aigua (per exemple 0'2 kg), escalfar-la, sempre amb la mateixa flama, i anar mesurant la temperatura cada minut (entre 0 i 7 minuts).
- Elevar la temperatura sempre en la mateixa quantitat (per exemple 10 °C) i anar canviant la massa d'aigua de 50 g en 50 g (entre 100 i 300 g d'aigua).

En el primer cas, en tractar-se de la mateixa substància i la mateixa massa, es pot analitzar com varia  $Q$  amb  $\Delta t$ . En mantindre la flama constant, el temps que estiga aplicada serà una mesura indirecta de  $Q$ , en unitats arbitràries. D'aquesta forma  $Q_0 = 0$ ,  $Q_1 = 1$ ,  $Q_2 = 2$ ,  $Q_3 = 3$  .....  $Q_7 = 7$ . D'altra banda, cal mesurar la temperatura inicial "t<sub>0</sub>" de l'aigua i després calcular el valor de cada t restant-la de la temperatura corresponent:  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ ,  $\Delta t_2 = t_2 - t_0$ ;  $\Delta t_3 = t_3 - t_0$  .....  $\Delta t_7 = t_7 - t_0$ . Finalment, es pot comprovar que  $\Delta t$  i  $Q$  són directament proporcionals, dividint en cada parella de valors l'un per l'altre i veient que ix, aproximadament, el mateix nombre. Una forma més rigorosa seria representar gràficament els valors de  $Q$  front als de  $\Delta t$  i comprovar que els punts obtinguts experimentalment s'ajusten a una línia recta.

En el segon cas, el que es manté constant és  $\Delta t$  i la substància, variant únicament la massa. Per fer-ho així, es poden disposar 6 gots iguals amb 50g, 100 g, 150 g, ... 300 g d'aigua, a la mateixa temperatura inicial i anar col·locant-los sobre la mateixa flama, escalfant fins aconseguir que la

## 5. Calor

temperatura augmente en  $10^{\circ}\text{C}$ . La calor subministrada es mesuraria igual que abans. Finalment, per constatar que  $Q$  i  $m$  són directament proporcionals, es poden seguir les mateixes pautes que anteriorment.

Per comprovar experimentalment i de forma qualitativa la influència de la naturalesa del material que s'escalfa, podem utilitzar la mateixa massa d'oli o llet que d'aigua i comprovar que, el temps que tarden a aconseguir una determinada temperatura (escalfant amb la mateixa flama i partint de la mateixa temperatura inicial), és distint.

### 2.2 . Intercanvi de calor entre dos cossos. Concepte d'equilibri tèrmic

*A.15. ¿Conegueu exemples quotidians on es posen en contacte dos cossos per aconseguir una temperatura final que ens interesse?*

Són molts els casos en la vida quotidiana en què es mesclen o posen en contacte sistemes a distinta temperatura inicial, per aconseguir una temperatura final que ens interesse. Açò ocorre, per exemple, cada vegada que tirem glaçons de gel per refredar una beguda, o quan obrim l'aixeta de l'aigua freda i la de la calenta per preparar un bany temperat, etc.

La nostra experiència ens permet afirmar que, quan dos sistemes que es troben a diferent temperatura es posen en contacte en un recinte aïllat de l'exterior, es produeix un procés en què el de major temperatura cedeix calor a l'altre, fins que, finalment, s'aconsegueix una temperatura comuna per als dos. Aquesta temperatura és sempre menor que la temperatura inicial que tenia el més calent i major que la temperatura inicial que tenia el menys calent. Es diu que els sistemes han abastat l'equilibri **tèrmic** i la temperatura final es denomina **temperatura d'equilibri**.

*A.16. Quan dos sistemes abasten l'equilibri tèrmic ¿què podem dir respecte de les quantitats de calor implicades en les variacions de temperatura que sofreix cadascun?*

Cal esperar que, si el procés té lloc de forma que els dos sistemes es troben aïllats de l'ambient exterior, la quantitat de calor que perd el que es trobava a major temperatura inicial, siga justament la que guanya el que estava a menor temperatura.

*A.17. Proposeu una expressió operativa on quede reflectida la hipòtesi anterior, que pugui servir-nos de base per a comprovar-la.*

La hipòtesi que hem enunciat anteriorment, ens porta a escriure que si  $Q_1$  és la calor guanyada pel sistema a més baixa temperatura i  $Q_2$  la calor perduda pel més calent, s'acomplirà que:

$Q_1 + Q_2 = 0$ , és a dir:  $c_1 \cdot m_1 \cdot (t_e - t_1) + c_2 \cdot m_2 \cdot (t_e - t_2) = 0$ , on el primer sumand serà positiu (la temperatura augmenta de  $t_1$  a  $t_e$ ) i el segon negatiu (la temperatura disminueix de  $t_2$  a  $t_e$ ).

*A.18. Dissenyeu un experiment senzill que ens permeta comprovar la relació que hem introduït en l'activitat anterior.*

Un possible procediment consisteix a mesclar en un calorímetre o "termo" (recipient en el que les parets proporcionen prou aïllament de l'exterior), masses conegudes d'aigua a diferents temperatures, amb la qual cosa l'expressió anterior queda reduïda a:  $m_1 \cdot (t_e - t_1) + m_2 (t_e - t_2) = 0$

Ara, sols caldrà mesurar la temperatura d'equilibri de la mescla i comprovar si s'acompleix o no l'última equació. Altra possibilitat és mesurar experimentalment la  $t_e$  i comparar-la amb la que s'obté teòricament en substituir les dades de  $t_1$  i  $t_2$  a l'equació anterior. Una elevada coincidència entre els dos valors mostraria la validesa de la hipòtesi de partida.

Una proposta més concreta és la següent:

- Introduïu en una proveta 100 cm<sup>3</sup> d'aigua (la massa de la qual serà  $m_1 = 100$  g) i mesureu la temperatura ( $t_1$ ).
- Poseu en un got de precipitats altres 100 g d'aigua de l'aixeta i, tot seguit, escalfeu-la fins que abaste una temperatura d'uns 50 °C aproximadament.
- Aboqueu l'aigua calenta en un calorímetre, al que adaptarem també un termòmetre per mesurar la temperatura. Measureu amb molta exactitud la temperatura de l'aigua a l'interior del calorímetre ( $t_2$ ) i, ràpidament, afegiu tota l'aigua freda de la proveta.
- Tapau immediatament el calorímetre i agiteu-lo suaument, constatant com la temperatura de la mescla baixa fins abastar el valor d'equilibri,  $t_e$  del qual prendrem nota.

**A.19.** *Procediu a realitzar l'experiment dissenyat i anoteu totes les dades obtingudes.*

	m (g)	t inicial (°C)
aigua freda		
aigua calenta		

Temperatura d'equilibri  $t_e$  obtinguda experimentalment:

**A.20.** *Amb les dades reflectides a la taula anterior, calculeu la temperatura  $t_e$  d'equilibri segons l'equació:  $Q_1 + Q_2 = 0$ .*

Expressant l'equació com  $m_1 \cdot (t_e - t_1) + m_2 (t_e - t_2) = 0$ , obtenim que:  $t_e = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2}$

Substituint els valors de  $t_1$  i  $t_2$  trobarem el valor de  $t_e$  buscat.

**A.21.** *Compareu el valor de  $t_e$  obtingut teòricament en l'activitat anterior amb el calculat de forma experimental i interpreteu el resultat obtingut.*

Una elevada coincidència entre els dos valors mostrarà que la hipòtesi formulada ( $Q_1 + Q_2 = 0$ ), és correcta i per tant, la calor que perd un sistema és, precisament, la que guanya l'altre.

Naturalment, sempre existirà una xicoteta diferència entre el valor teòric i l'experimental, deguda a les inevitables imprecisions en les mesures i a què el calorímetre no és un aïllant perfecte.

Els resultats experimentals mostren la validesa de l'expressió  $Q_1 + Q_2 = 0$ , que pot utilitzar-se sempre que dos sistemes a diferent temperatura es posen en contacte en un recipient aïllat.

## 5. Calor

*A.22. Quina quantitat d'aigua a 20 °C hem de mesclar amb 30 litres d'aigua a 80 °C perquè la mescla quede a la temperatura del cos humà (37 °C)? R. 75'9 kg*

*A.23. Dins d'un calorímetre que conté 500 ml d'aigua a 20 °C se submergeix un cilindre d'alumini de 50 g de massa, que es troba a 100 °C. Quina serà la temperatura d'equilibri? (Utilitzeu la taula anterior per obtenir les calors específiques). R. 21'72 °C*

*A.24. Es mesura la temperatura d'un objecte amb ajuda d'un termòmetre. A continuació, s'embolica bé amb una peça de llana que es trobava a la mateixa habitació i, després d'un temps, es mira el termòmetre. Raoneu quina temperatura marcarà.*

Si la peça de llana es troba a la mateixa temperatura que l'habitació, no podrà cedir calor al termòmetre i, si en el temps transcorregut, l'habitació es manté a la mateixa temperatura, el que marca el termòmetre no s'alterarà pel fet d'embolcar-lo en llana. Hi ha persones que pensen que hi ha materials, com la llana, que escalfen, simplement per posar-se'ls. El que ocorre en realitat, és que una peça de llana reté aire entre les fibres, de forma que ens aïlla prou de l'exterior, dificultant la pèrdua de calor del cos cap a l'exterior.

*A.25. Expliqueu què ocorrerà quan es deixi un xicotet objecte calent en una habitació molt gran o bé a la intempèrie, a una temperatura menor que la de l'objecte.*

En aquest cas també es produeix un intercanvi de calor, però si l'objecte és molt xicotet i l'habitació molt gran o més si es troba a la intempèrie, la calor guanyada pel medi es reparteix entre tanta matèria, que és impossible poder notar cap augment de temperatura, de forma que l'objecte, al final, es trobarà a la mateixa temperatura que la del medi que el rodeja.

Així doncs, tots els objectes, independentment del material de què estiguen fets, quan es troben en un medi ambient ampli, es refreden (o s'escalfen) fins a bastar pràcticament la mateixa temperatura que el medi que els rodeja. No obstant això, una millor comprensió d'aquest fet, requereix tractar també el fenomen de la diferent conductivitat de la calor que presenten els distints materials.

### 2.3. Canvis d'estat

Recordem que una mateixa substància (aigua, ferro, nitrogen, amoníac, etc.) pot trobar-se en fase o estat sòlid, líquid o gasós i canviar d'un estat a altre.

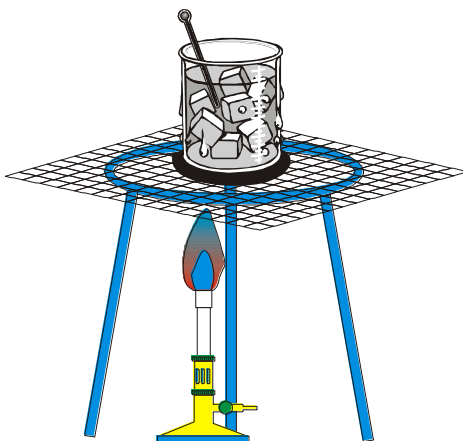
*A.26. Enumereu fenòmens naturals on tinguen lloc canvis d'estat i considereu la importància que els esmentats canvis poden tindre per a la vida en el nostre planeta.*

Podem referir-nos, entre d'altres, a la fusió de la neu als cims de les muntanyes (reserves d'aigua que alimenta rius, torrents, etc.), a l'evaporació de l'aigua de mar, a la solidificació de l'aigua de la superfície d'un llac (que permet la vida a l'interior, en formar-se una capa de gel que aïlla l'aigua líquida de l'exterior, de vegades a temperatures molt baixes), a la solidificació de la lava emesa pels volcans, la formació de pedra, la possible formació de plaques de gel en les carreteres (amb el perill consegüent per a la circulació), etc. En aquest punt hem de dedicar una atenció especial a la fusió de gel que s'està produint a les glaceres continentals, així com als pols de la Terra, a causa de l'augment de l'efecte hivernacle ocasionat per l'activitat humana.

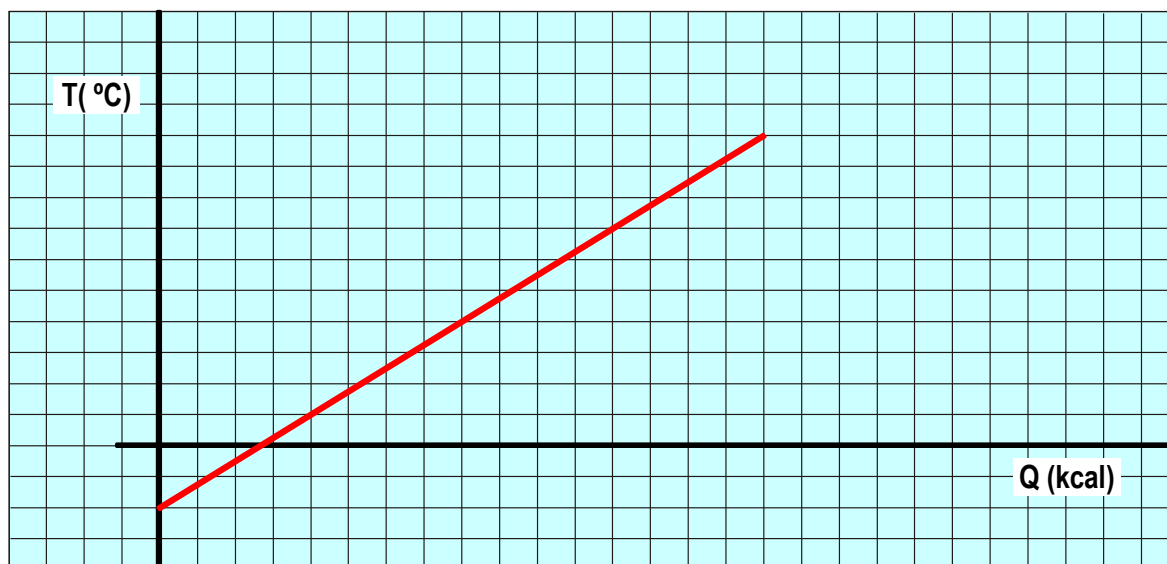


Com ja sabem, el pas de sòlid a líquid s'anomena fusió (i al contrari, solidificació), de líquid a gas vaporització (i al contrari, condensació). Una forma d'aconseguir el canvi d'estat d'una substància és escalfar-la o refredar-la el que calga en cada cas.

*A.27. Dibuixeu qualitativament, a manera d'hipòtesi, una gràfica de la temperatura en funció del temps, corresponent a un tros de gel tret del congelador d'un frigorífic, que va escalfant-se fins que es converteix totalment en vapor d'aigua.*



Si es pensa que sempre que se subministra calor la temperatura ha d'augmentar, és possible que es dibuixi una gràfica semblant a la següent:



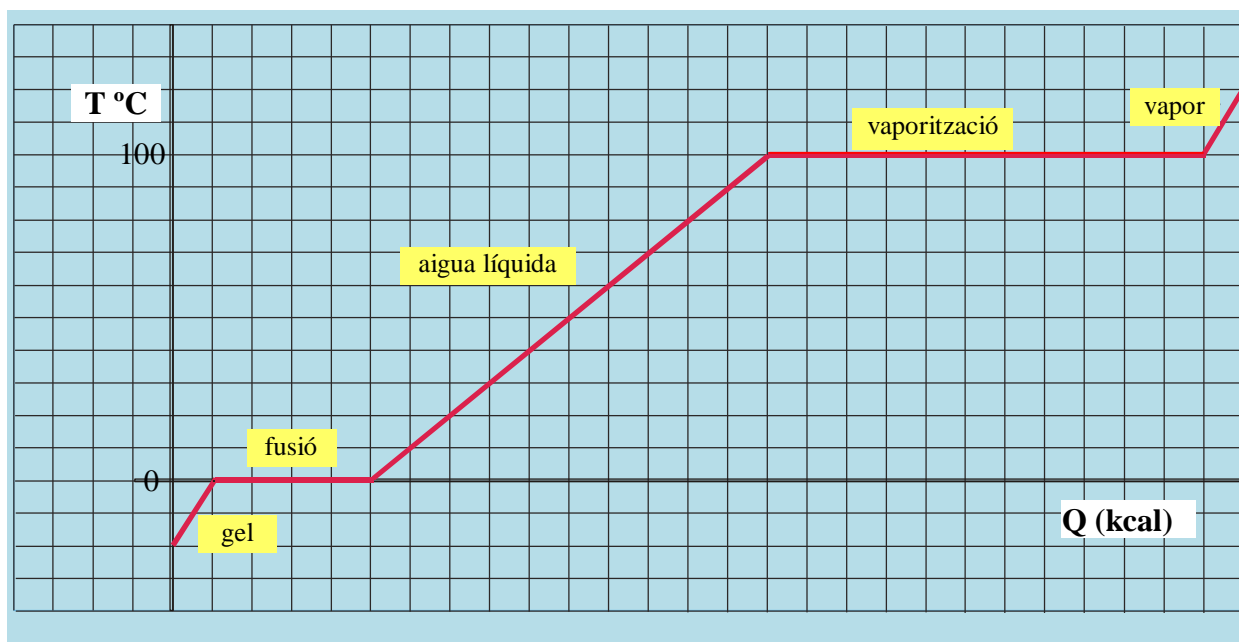
Però, si intentem realitzar l'experiència podrem comprovar que, mentre el gel està fonent, la temperatura roman constant en un valor de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una vegada acabada la fusió, si continuem escalfant, la temperatura de l'aigua líquida ascendeix fins que, als  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , comença a bullir i produir-se vapor, podent comprovar que, mentre dura aquest nou canvi d'estat, la temperatura es manté constant en  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , malgrat estar subministrant-li calor contínuament.

Així doncs, perquè es produïska la fusió o la vaporització (una vegada abastades certes temperatures, conegudes com temperatura de fusió i d'ebullició), cal estar subministrant calor contínuament. Aquesta calor produeix el canvi d'estat, però no augmenta la temperatura mentre dura el canvi. Anàlogament, quan l'aigua líquida solidifica (es congela) o el vapor condensa (es liqua), se cedeix calor al medi ambient.

## 5. Calor

En qualsevol canvi d'estat, mentre quede part de la substància per passar d'una fase a una altra, encara que s'estiga aportant o extraient calor, la temperatura de la substància romandrà invariable.

D'acord amb el què acabem de dir, la gràfica que es demana a l'activitat 27 seria com la següent:



A títol d'hipòtesi (de fàcil comprovació experimental) cal dir que la calor que un sistema absorbeix (o desprèn) quan canvia d'estat (sempre a una pressió determinada i que sol ser la pressió atmosfèrica), és directament proporcional a la massa. La constant de proporcionalitat entre la calor i la massa del sistema es denomina **calor latent** i es representa per "L". Cada substància química es caracteritza per tindre un valor determinat de L per a cadascun dels canvis d'estat que pot experimentar. Es parla així de calor latent de fusió, solidificació, vaporització, etc.

D'acord amb el que acabem de dir, la quantitat de calor absorbida quan una massa m d'una substància determinada es fon, ve donada per l'expressió:  $Q_{\text{fus}} = m \cdot L_{\text{fus}}$ , sent  $L_{\text{fus}}$  la calor latent de fusió d'eixa substància. Anàlogament, quan eixa mateixa substància solidifica, la quantitat de calor que cedirà al medi ambient vindrà donada per  $Q_{\text{sol}} = m \cdot L_{\text{sol}}$ , sent  $L_{\text{sol}}$  la calor latent de solidificació.

Si en l'expressió general  $Q = m \cdot L$  considerem una massa unitat, veiem que el valor de L ens indica la calor que una unitat de massa d'eixa substància absorbeix o desprèn quan canvia d'estat.

Si, com venim fent fins ací, considerem que la calor que un sistema absorbeix és positiva i la que cedeix és negativa, s'acomplirà que, la calor que una substància determinada absorbeix durant la fusió serà igual a la que cediria en solidificar, però canviada de signe, és a dir:  $Q_{\text{fus}} = -Q_{\text{sol}}$ . Anàlogament podem afirmar respecte a la vaporització i la condensació:  $Q_{\text{vap}} = -Q_{\text{cond}}$

A la taula següent es donen les calors latents de fusió i de vaporització aproximades d'algunes substàncies (a la pressió atmosfèrica):

Substància	t °C durant el canvi d'estat		Calor latent en kcal/kg	
	Fusió	Ebullició	Fusió	Vaporització
Gel (aigua)	0	100	80	541
Alcohol etílic	-114	78	25	202
Mercuri	-39	357	3	68
Ferro	1530	3050	70	1503
Plom	327	1750	6	210

**A.28.** Calculeu la quantitat de calor que ha d'absorbir una massa de 0,5 kg d'aigua a temperatura ambient (suposem 25 °C), per convertir-se totalment en vapor (a la pressió atmosfèrica). R. 308.000 cal.

**A.29.** Un dia molt fred la temperatura ambient descendeix fins quedar prou per baix de 0 °C. A conseqüència, es gela la superfície d'una llacuna. Si suposem que s'ha congelat una massa de  $1,5 \cdot 10^6$  kg d'aigua, calculeu quina quantitat de calor haurà cedit l'aigua a l'ambient i quin efecte haurà tingut açò en la temperatura de l'aire pròxim a la llacuna. R.  $1,20 \cdot 10^8$  Kcal.

**A.30.** Calculeu la quantitat de calor necessària per transformar 1 kg de ferro a 20°C en 1 kg de ferro en fase líquida. R. 236100 cal

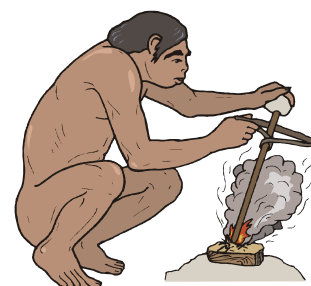
Fins ací hem estudiat alguns fenòmens calorífics de gran importància pràctica, com els canvis de temperatura produïts per l'intercanvi de calor entre dos cossos i els canvis d'estat. Hi ha altres fenòmens calorífics igualment importants que s'estudiaran en cursos posteriors, com la dilatació que experimenten els distints materials amb la calor (que pot originar deformacions o ruptures en sòlids) i la major o menor capacitat per conduir la calor (materials que s'escalfen ràpidament i altres que no transmeten bé la calor i s'utilitzen com aïllants tèrmics).

Hem vist també que la forma d'escalfar un objecte era posar-lo en contacte amb un focus calorífic a major temperatura que ell. Però, existeixen també altres procediments.

**A.31.** Enumereu totes les formes que se vos ocorreguen d'escalfar un objecte.

A més de posar l'objecte pròxim a una flama o, en general, d'un focus calorífic a major temperatura que ell, podem pensar en altres mètodes, com el forn de microones o d'altres radiacions electromagnètiques (raigs infrarojos, etc.) i també, per descomptat, la fricció.

L'escalfament per fricció va suposar un avanç fonamental en el desenvolupament dels éssers humans primitius, que aconseguiren dominar el foc gràcies a l'escalfament d'un tros de fusta per fricció. Actualment, és un fenomen molt present en les nostres vides, com per exemple: l'escalfament que es produeix (a causa de la fricció) en les peces de les màquines i que obliga, en molts casos, a utilitzar lubricants i refrigerants perquè puguin funcionar. Nosaltres mateixos, en un dia fred, ens freguem les mans per entrar en calor i, si toquem un trepant acabat d'utilitzar per perforar quelcom, ens adonarem que crema. Una estrella fugaç no és sinó una massa de partícules sòlides procedents de l'espai que, a causa de la fricció amb l'atmosfera, s'escalfen extraordinàriament deixant una estela brillant al seu pas.



## 5. Calor

L'escalfament per fricció no sols té una gran importància pràctica sinó que, a més, històricament va exercir un paper fonamental en la interpretació de la naturalesa de la calor, com veurem a continuació.

### 3. UNA PRIMERA CONCEPCIÓ SOBRE LA CALOR: LA TEORIA DEL CALÒRIC

La major part dels fenòmens que hem descrit fins ací, eren coneguts des de molt antic. Durant el segle XVIII s'explicaven suposant que la calor era una "substància" formada per un fluid calòric invisible, o bé, simplement **calòric**, com se'l va anomenar més tard. Vegem algunes de les propietats que els nostres avantpassats atribuïen a eixa "substància":

- 1) El calòric està format per partícules indestructibles que no es poden crear.
- 2) Les partícules de calòric es repel·leixen entre elles, però són atretes per les de la matèria ordinària.
- 3) A certes temperatures, les partícules de calòric es poden combinar amb les partícules de substàncies ordinàries, donant lloc a noves substàncies.

*A.32. Expliqueu, a partir de la teoria del calòric, els fenòmens estudiats a l'apartat anterior. En particular:*

- a) El pas de la calor dels cossos calents als freds.*
- b) La dilatació dels cossos en escalfar-se.*
- c) Els canvis d'estat.*
- d) L'escalfament per cops o fregament.*

Els fenòmens citats, utilitzant la teoria del calòric, s'interpretaven de la forma següent:

**a) El pas de calor dels cossos calents cap als freds.** Els primers tenen més proporció de partícules de calòric, que es repel·leixen entre elles, raó per la qual passarien als freds, on hi hauria menys. Naturalment la quantitat de calòric perdut per un cos seria exactament la mateixa que la guanyada per l'altre.

**b) La dilatació dels cossos.** En escalfar un cos, se li subministra calòric, el qual rodejaria a les partícules de matèria ordinària. La repulsió existent entre les partícules de calòric faria que el cos es dilatara. En el cas d'un gas, les partícules del qual tenen una gran llibertat de moviment, l'efecte és encara més perceptible.

**c) Els canvis d'estat.** Per exemple, la fusió del gel en escalfar-se, es concebia com una reacció química segons la qual les partícules de calòric es combinarien "químicament" amb les ordinàries de gel per donar una "nova" substància (aigua). El fet que la temperatura no s'elevi durant el procés s'explicava en base a què el calòric desapareixia en combinar-se químicament (quedava latent). Una vegada conclosa la fusió, si continuem escalfant, la temperatura tornaria a augmentar, perquè cada vegada quedaria més calòric lliure.

**d) La producció de calor per cops o fregament.** En comprimir un cos, copejar-lo o fregar-lo, pot considerar-se que les partícules de matèria ordinària són obligades a ajuntar-se, amb la qual cosa, el calòric és extret d'entre mig d'elles.

#### 4. DIFICULTATS DE LA TEORIA DEL CALÒRIC

La consideració de la calor com una substància material va plantejar el problema de determinar les variacions de massa que es produeixen en escalfar-se o refredar-se un cos.

Una activitat en què l'escalfament per fricció es produïa de forma espectacular era en el procés de fabricació de canons. A finals del segle XVIII el científic (i també empresari, polític, inventor,.. ) Benjamin Thomson (1753-1814) estava encarregat de supervisar la fabricació de canons per a l'exèrcit de Baviera. En una etapa del procés de fabricació s'havien de perforar longitudinalment cilindres massissos de bronze (per fer el buit per als projectils). Per fer-ho, s'utilitzaven màquines trepants amb barrines o broques molt esmolades, que produïen borumballa de bronze, segons anaven perforant el cilindre. Mentre es foradava, el cilindre i la borumballa s'escalfaven fins a tal punt (la borumballa arribava a posar-se "al roig") que era necessari realitzar l'operació dins de tancs d'aigua que, en ocasions, arribava a bullir.

Benjamin Thomson (que va rebre el títol de Comte de Rumford) comprovà que la calor produïda (que mesurava per l'augment de temperatura de l'aigua del tanc) era major quan la barrina estava menys afilada i produïa, per tant, menys massa de borumballa! De fet, **va mostrar que quan la broca no tallava res, és a dir, no produïa borumballa, sinó que sols "fregava" fortament el cilindre, l'aigua bullia mentre la barrina continuava girant.**

*Com podien explicar-se els resultats de B. Thomson?*

Per a Thomson açò mostrava que la calor no era una substància que passava d'uns cossos a altres, perquè donada l'enorme quantitat de calor que passava a l'aigua, hauria d'esgotar-se (en eixir del cilindre i les borumballes cap a l'aigua). **Tanmateix, no s'esgotava, sinó que podia produir-se de forma il·limitada a partir del moviment.** A més, pesà el cilindre inicial i després el cilindre foradat i les borumballes produïdes, sense obtindre cap diferència. Segons les seues idees, açò mostrava que la calor no era una substància, sinó "una forma de moviment", és a dir, que era de "naturalesa mecànica".

Malgrat les evidències, encara que en les primeres dècades del segle XIX, es realitzaren amb freqüència estudis que posaven en qüestió **la teoria del calòric, la majoria dels científics no l'abandonaren.** Una teoria científica no s'abandona perquè falle en l'explicació d'alguns fenòmens, perviu –malgrat que en camps limitats- fins que la comunitat científica disposa de clares i reiterades evidències en contra i, sobretot, d'altra teoria alternativa que explique tot el que explicava l'anterior, a més d'aclarir tot allò en què fallava.

**A.33.** *Proposeu un experiment senzill per comprovar que la calor no és una substància.*

Podem pensar en pesar el mateix objecte dues vegades: una vegada fred i altra calent, i veure que calent pesa igual que fred. Però si no tenim molta cura pot passar qualsevol cosa (balances que es trenquen, alumnes que es cremen, etc.). Una alternativa molt més còmoda és escalfar un tros de gel introduït dins d'un recipient adequat. Açò permet subministrar una gran quantitat de calor (sense augmentar molt la temperatura) amb la qual cosa cabria esperar un augment de pes apreciable, *si la calor fóra una substància*, cosa que, com es pot comprovar fàcilment, no succeeix.

## 5. APROXIMACIÓ A LES IDEES ACTUALS SOBRE LA CALOR

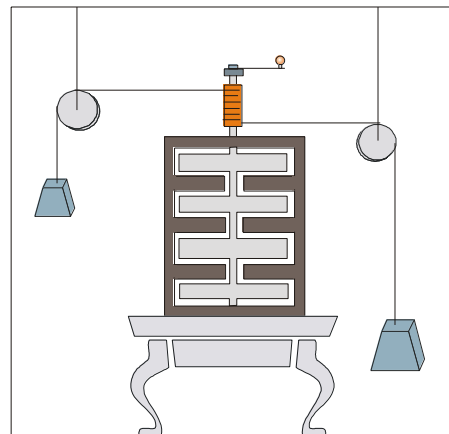
Malgrat les importants evidències en contra (que feien pensar en la calor com una substància invisible, sense pes i, a més, inesgotable), la teoria del calòric va continuar vigent durant prou de temps, ja que no existia altra teoria capaç de substituir-la amb avantatge. Així doncs, els treballs de Thomson no van revolucionar, de moment, la física de la calor de l'època, però el que sí que aconseguiren fou debilitar, semblar dubtes i preparar el camí per a la substitució de la teoria del calòric per altra, més completa i sense tantes contradiccions. A aquest respecte, els nombrosos treballs realitzats principalment per l'alemany Mayer i l'anglès Joule, a mitjan segle XIX, van tindre una importància fonamental. Ací ens limitarem a descriure alguns dels treballs de Joule.

La intervenció de la calor en tots els fenòmens i experiments en què es produïa treball per fregament, va portar a Joule a realitzar diverses experiències per estudiar la possible relació entre la calor i el treball. A continuació descriurem una d'elles:

**A.34.** *Descripció pel professor d'una de les experiències de Joule en la qual s'agita el líquid contingut en un recipient especial i tèrmicament aïllat.*

El recipient usat per Joule estava aïllat tèrmicament i, al seu interior, s'havien soldat unes làmines que presentaven uns buits rectangulars pels que just cabien unes pales soldades a l'eix central, que podia girar baix l'acció d'un sistema de pesos i politges col·locat a l'exterior, com es pot veure a l'esquema adjunt.

En omplir el recipient amb aigua i deixar caure les peses, aquestes queien lentament, al temps que la temperatura augmentava, a causa de la gran fricció que es produïa a l'interior del recipient.



Mitjançant aquesta experiència, Joule pogué comprovar que la disminució que es produïa en l'energia potencial gravitatòria en descendir les peses, era directament proporcional a la calor guanyada a l'interior del recipient, de forma que:

$$\frac{-\Delta E_p (J)}{Q(cal)} = 4,18$$

Aquest resultat posava de manifest que l'augment de temperatura d'un sistema es pot produir tant subministrant calor (un nombre determinat de calories) com realitzant un treball (el valor del qual, en joules, siga 4,18 vegades major que el nombre de calories anterior).

D'altra banda, durant el segle XIX s'estava desenvolupant la *teoria cinètico-corpúscular de la matèria*, segons la qual, tota la matèria estava formada per partícules (àtoms i grups d'àtoms anomenats molècules) molt xicotetes, comprovant-se que, en qualsevol tros de matèria en estat sòlid, com un tros de ferro, les partícules no estan fixes sinó que, encara que enllaçades unes a altres, es troben vibrant contínuament al voltant d'unes posicions d'equilibri. En els líquids ocorre quelcom semblant (sols que els enllaços són més fràgils). En el cas dels gasos, les partícules, com sabem, no estan enllaçades i es mouen desordenadament, xocant unes amb altres i amb les parets del recipient que conté al gas.

El desenvolupament de la idea actual de calor com altra forma de **transferir energia d'un sistema a un altre**, és a dir, com un **procés per mitjà del qual dos sistemes que es troben inicialment a distinta temperatura poden intercanviar energia**, està íntimament lligat al desenvolupament de la teoria cinètico-corpúscular de la matèria. D'acord amb aquesta teoria, la temperatura d'un sistema està relacionada amb el moviment intern de les partícules que el formen, més concretament: com major és el valor mig de l'energia cinètica (o energia cinètica interna del sistema) de les partícules, més alta és la temperatura del sistema.

En posar en contacte dos sistemes a distinta temperatura i aïllats tèrmicament del medi exterior a ells, les partícules d'un i l'altre xocaran, de manera que, les del sistema amb major temperatura (major energia cinètica mitjana) transferiran part de la seua energia cinètica a les del sistema amb menor temperatura (menor energia cinètica mitjana), fins que s'abaste la temperatura d'equilibri.

En els sòlids i líquids, les partícules estan enllaçades unes a altres per forces d'atracció de tipus elèctric. Podem parlar en aquest cas d'energia potencial (de tipus elèctric). Si sumem totes les energies potencials dels parells de partícules (i agregats de partícules) obtindrem l'energia potencial interna del sistema.

S'anomena **energia interna** d'un sistema a la suma de l'energia cinètica i potencial internes. Com en qualsevol xicoteta quantitat de matèria hi ha trilions i trilions de partícules vibrant o movent-se contínuament i interaccionant entre elles, no podem saber mai el valor d'aquesta energia interna encara que, com veurem més endavant, sí que podrem mesurar la seua variació.

*A.35. D'acord amb la informació subministrada en aquest apartat, a manera de síntesi, construïu un quadre on es comparen les explicacions donades per la teoria del calòric i les explicacions actuals, als fenòmens següents:*

- a) Pas de calor d'un cos calent a un altre fred*
- b) Dilatació d'un cos en escalfar-se*
- c) Fusió del gel*
- d) Conservació de la calor*
- e) Nul·la variació de la massa d'un cos en escalfar-lo*
- f) Generació contínua de calor per fricció o cops.*

La realització de l'activitat anterior exigeix una revisió de tot allò que s'ha tractat fins ací i pot portar a l'elaboració d'un quadre com el que es proposa a la pàgina següent, que convé revisar abans de prosseguir amb el desenvolupament del tema.

La integració dels fenòmens calorífics en els processos de canvi d'energia, s'aconseguí en estudiar en profunditat la naturalesa de la calor, i va suposar un important avanç en la comprensió del que és l'energia i el que ocorre amb ella durant els canvis. Aquest procés d'unificació de camps que pareixien aparentment distints, ha ocorregut en diverses ocasions al llarg de la història de la ciència, produint-se sempre, a conseqüència del mateix, una major comprensió sobre la naturalesa de la matèria i del seu comportament. No obstant això, en l'actualitat, es continuen usant la majoria de les expressions que s'utilitzaven quan es concebia la calor com una substància o com una energia (així ho hem fet també nosaltres fins ací). Això no és negatiu per ell mateix, sempre que sapiguem què és el que realment es vol dir en utilitzar-les.

## 5. Calor

### Explicació de fenòmens calorífics per la teoria del calòric i per la idea actual de la calor

Fenomen a analitzar	D'acord amb la teoria del calòric	Aproximació a la idea actual de calor
Pas de calor d'un cos calent a altre fred	Els cossos calents tenen una major proporció de partícules de calòric que els que estan més gelats. Com aquestes partícules es repel·leixen entre elles i, en canvi, són atretes per les de la matèria ordinària, en posar en contacte un cos calent amb altre més gelat, passarà calòric del calent al fred.	Com major és la temperatura d'un cos, major és l'energia cinètica amb què es mouen la majoria de les partícules que el formen. En posar en contacte un cos calent amb altre fred, les partícules xoquen entre elles i, les de major energia cinètica, cedeixen part d'aquesta a les de menor, fins que la temperatura d'ambdós s'iguali.
Dilatació d'un cos en escalfar-se	En escalfar un cos, li donem calòric. Pel fet que les partícules de matèria ordinària les atrauen, les partícules de calòric les rodejaren, però com, a més, es repel·leixen entre elles, es produirà un augment en el volum del cos.	En augmentar la temperatura d'un cos, l'energia cinètica de moltes partícules augmenta, la qual cosa fa que augmenti la distància mitjana entre elles, motiu pel qual solem observar un augment de volum.
Fusió del gel	En escalfar un tros de gel, quan la temperatura abasta un cert valor (0 °C a 1 atm de pressió), ocorre que les partícules de calòric que li estem subministrant des del focus calorífic, es combinen amb les de gel, formant una nova substància (aigua líquida). Mentre dura el procés, la temperatura no augmenta, perquè el calòric va desapareixent, segons va entrant. Quan ja no queden partícules de gel amb què unir-se (ja tot és aigua), si continuem escalfant, la temperatura continuarà augmentant.	En escalfar el gel, que es troba a una temperatura inicial inferior a 0 °C, augmenta l'energia cinètica de les partícules i, en conseqüència, s'eleva la temperatura. Si seguim escalfant, arriba un moment en què, molts dels enllaços que mantenen unides a les molècules d'aigua comencen a trencar-se. A partir d'això moment la temperatura no continua augmentant, perquè l'energia proporcionada es consumeix en la ruptura dels enllaços que mantenen unides a les molècules d'aigua que formen el gel, sense que augmenti l'energia cinètica.
Conservació de la calor	Quan interaccionen dos cossos a distinta temperatura, passen partícules de calòric del més calent al més fred, de forma que, si el sistema format pels dos cossos està aïllat, les partícules de calòric que perd un d'ells seran, justament, les que l'altre guanya.	La conservació de la calor en alguns processos planteja de nou la qüestió de la conservació, o no, de l'energia, com veurem al següent apartat d'aquesta unitat.
La massa no varia quan s'escalfa o refreda un cos	El calòric és una substància material extraordinàriament lleugera o, potser, sense pes	Quan un cos s'escalfa, no hi ha cap aportació de massa. El cos continua format per les mateixes partícules, sols que aquestes ara tenen, generalment (si no hi ha un canvi d'estat), major energia interna cinètica i, per tant, la temperatura és major.
Generació contínua de calor per fricció o cops	La quantitat de calòric que conté un cos és extraordinàriament gran o inesgotable.	Com és lògic, en copejar un objecte, per exemple una moneda, amb un martell, transferim energia cinètica (ordenada) a les partícules de la moneda, martell, etc., fent que el seu moviment siga més intens, més caòtic i per tant, que la moneda augmenti la temperatura. El procés continuarà mentre continuem copejant.



**A.36.** *A continuació s'expressen una sèrie de frases en què apareixen termes utilitzats en aquest tema. Analitzeu-les i expliqueu què es vol dir realment en elles o canvieu-les per altres que resulten més correctes:*

- Podem fondre gel donant-li calor.*
- Quan un cos es refreda perd calor.*
- En augmentar la temperatura d'un cos, augmenta la seua energia calorífica.*
- La quantitat de calor que perd un cos quan es refreda és la mateixa que la quantitat de calor que guanya el medi que el rodeja.*
- Arran de l'enorme fricció es generà tan gran quantitat de calor, que es fongueren els eixos.*

Resulta difícil deixar d'utilitzar expressions tan arrelades com intercanvi de calor, calor guanyat, cedit, etc., **hereves, sens dubte, de l'antiga teoria del calòric**. Però, el que resulta realment important, encara que les usem per comoditat, és que sapiguem realment el que es vol dir amb elles. En aquesta activitat el que s'ha d'interpretar en cada proposició és el següent:

- Per fondre gel a 0°C el posem en contacte amb quelcom (que pot ser el medi ambient, una flama, un objecte, etc.) que es trobe a una temperatura major, durant el temps suficient perquè les partícules del cos en contacte amb el gel, interaccionen amb les molècules d'aigua d'aquest, cedint-los l'energia que es necessita per trencar alguns dels enllaços que les mantenen unides formant els diminuts cristalls de gel. Seria, doncs, més correcte dir: Podem fondre gel "realitzant-li" calor o escalfant-lo.
- Quan diem que un cos es refreda, el que ocorre és que disminueix la seua temperatura, és a dir, les partícules que el formen perden generalment energia cinètica (es mouen més lentament). Seria més correcte dir que disminueix l'energia interna cinètica.
- En augmentar la temperatura d'un cos, augmenta l'energia cinètica mitjana de les partícules que el formen.
- L'energia interna que perd un cos en refredar-se és la mateixa que guanya el medi exterior.
- A causa del treball realitzat per les forces de fricció, les partícules dels eixos adquiriren tanta energia que els enllaços entre elles es van allargar, molts es van trencar, etc., produint-se el canvi d'estat de la substància o substàncies que formen els eixos.

**A.37.** *Calculeu la calor específica de l'aigua en J/kg·grau*

## 6. EL PRIMER PRINCIPI DE LA TERMODINÀMICA

Com ja comentàvem al capítol anterior, un dels principis més importants de la física és el de la conservació de l'energia, que pot enunciar-se com:

**"Sempre que un sistema estiga aïllat, l'energia total del mateix roman constant, malgrat totes les transformacions que puguin ocórrer dins de l'esmentat sistema"**

Suposem ara un sistema subjecte únicament a canvis mecànics i/o calorífics. Anomenarem  $E_m$  a l'energia mecànica "macroscòpica" del sistema, és a dir:  $E_m = (E_c + E_p)$  i  $E_{int}$  a l'energia interna o suma de les energies cinètiques de totes les partícules que el formen i de les energies potencials degudes a les forces conservatives existents entre elles.

Sempre que el sistema es trobe aïllat, s'acomplirà que:  $\Delta E_m + \Delta E_{int} = 0$

## 5. Calor

L'expressió anterior significa que, encara que l'energia mecànica no es conserve, la suma d' $E_m$  i d' $E_{int}$ , que denominarem com energia total  $E$  del sistema, sí que ho farà.

Quan sobre un sistema es realitza un treball exterior i/o s'escalfa, s'acomplirà que:

$$W_{ext} + Q = \Delta E = \Delta E_m + \Delta E_{int}$$

L'expressió anterior es coneix amb el nom de **Primer Principi de la Termodinàmica** i es pot enunciar com:

**Tant l'energia mecànica com l'energia interna d'un sistema poden canviar però, si el sistema està aïllat, els augments d'una seran compensats per les disminucions de l'altra, de tal manera que l'energia total (o suma d'ambdós) romandrà constant.**

En aquells casos en què no es realitzi cap treball exterior sobre el sistema ni tampoc varie l'energia mecànica d'aquest, l'expressió anterior queda com:

$$Q = \Delta E_{int}$$

Es tracta de situacions ordinàries, com posar en contacte un recipient amb aigua amb un focus calorífic, amb la finalitat d'augmentar la temperatura fins a un cert valor, escalfar un material per a fondre'l, posar en contacte dos sistemes a distinta temperatura, etc. Així, per exemple, si tinguérem dos trossos de gel a  $-10$  °C cadascun i volguérem fondre'ls totalment, podríem posar-los a escalfar de forma que sols es realitzara calor sobre ells. En eixe cas únicament variaria l'energia interna dels mateixos, amb la qual cosa, per al sistema format per aquests dos trossos (massa total "m"), s'acompliria que:

$$Q = \Delta E_{int} = m \cdot c \cdot \Delta t + m \cdot \Delta L_{fus}$$

Altra possibilitat és agafar els dos trossos de gel amb les mans i fregar-los un contra l'altre fins aconseguir fondre'ls. En aquest cas, la situació inicial i final és la mateixa que anteriorment, però el camí seguit ha estat diferent, ja que el canvi s'ha aconseguit per la realització d'un treball exterior i un poc de calor (a causa del contacte amb les mans i l'aire). Per tant, s'acompliria que:

$$W_{ext} + Q' = \Delta E_{int} = m \cdot c \cdot \Delta t + m \cdot \Delta L_{fus}$$

En general: En qualsevol transformació en la que el sistema canvie de temperatura y/o de fase, la variació d'energia interna del sistema es determinarà **sempre** com:

$$\Delta E_{int} = m \cdot c \cdot \Delta t + m \cdot \Delta L$$

**independentment del camí seguit** per aconseguir l'esmentada transformació i **sols** quan sobre el sistema es realitzi únicament calor i no varie l'energia mecànica, podrem determinar el canvi d'energia interna mitjançant l'expressió:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t + m \cdot \Delta L$ .

**A.38.** Calculeu l'augment d'energia interna, en kJ, que es produeix quan un tros de gel de 2 kg a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  passa a aigua líquida a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Busqueu les dades necessàries en el tema).

Convé adonar-se que, a l'enunciat, únicament es parla de la transformació que pateix el sistema format per 2 kg de gel i no de la forma com té lloc aquesta. Ara bé, la variació d'energia interna serà sempre la mateixa, independentment de com es produïska.

Per determinar  $\Delta E_{\text{int}}$  descompondrem la transformació en diverses transformacions parcials:

**1a)** Passem el gel de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  a gel a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta E_{\text{int}1} = m \cdot c_h \cdot \Delta t_1 = 2000 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-18)] = 18000 \text{ cal}$$

**2a)** Passem el gel a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a aigua líquida a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta E_{\text{int}2} = m \cdot L_2 = 2000 \cdot 80 = 160000 \text{ cal}$$

**3a)** Passem l'aigua líquida a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a aigua líquida a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta E_{\text{int}3} = m \cdot c_a \cdot \Delta t_3 = 2000 \cdot 1 \cdot (20 - 0) = 40000 \text{ cal}$$

Per tant, el canvi total d'energia interna serà:

$$\Delta E_{\text{int}} = \Delta E_{\text{int}1} + \Delta E_{\text{int}2} + \Delta E_{\text{int}3} = 18000 + 160000 + 40000 = 218000 \text{ cal} = 218 \text{ kcal}$$

Si tenim en compte que  $1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = 218 \cdot 4,18 = 911,24 \text{ kJ}$

**A.39.** Utilitzeu el principi de conservació de l'energia per trobar a quina temperatura inicial han d'estar 20 l d'aigua calenta perquè en mesclar-la amb 35 l d'aigua a  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  s'aconsegueixca una temperatura d'equilibri de  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Podem resoldre l'exercici considerant com sistema les dues masses d'aigua (que designarem com  $m_1$  i  $m_2$ ) i que l'esmentat sistema es troba aïllat del medi que l'envolta.

Anomenarem  $m_1 = 20 \text{ kg} = 20000 \text{ g}$  d'aigua a una temperatura inicial  $t_1$  (a determinar),  $m_2 = 35000 \text{ g}$  d'aigua a una temperatura inicial de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , i  $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$  a la temperatura final o d'equilibri del sistema.

En les condicions expressades a l'enunciat, no hi haurà ni treball exterior ni calor sobre el sistema, ni canvi en la seua energia mecànica, per tant, s'acomplirà que:

$$W_{\text{ext}} + Q = \Delta E = \Delta E_{\text{int}} = 0 \rightarrow \Delta E_{\text{int}1} + \Delta E_{\text{int}2} = 0 \rightarrow m_1 \cdot c \cdot \Delta t_1 + m_2 \cdot c \cdot \Delta t_2 = 0$$

$m_1 \cdot c \cdot (t - t_1) + m_2 \cdot c \cdot (t - t_2) = 0$ , amb la qual cosa, finalment, s'obté:

$$t_1 = \frac{m_1 \cdot t + m_2 \cdot (t - t_2)}{m_1} = \frac{20000 \cdot 37 + 35000 \cdot (37 - 18)}{20000} = 70,25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

## 5. Calor

Altra forma d'enfocar el problema és considerar cada mostra d'aigua com un sistema. En aquest cas, sobre cadascun d'ells es produeix un canvi d'energia interna mitjançant calor, de forma que:

$$\text{Sistema 1: } Q_1 = \Delta E_{\text{int } 1}$$

$$\text{Sistema 2: } Q_2 = \Delta E_{\text{int } 2}$$

Com la calor d'un i de l'altre ha d'ésser la mateixa, però de signe contrari ( $Q_1 = -Q_2$ ), tindrem que:

$$Q_1 + Q_2 = \Delta E_{\text{int } 1} + \Delta E_{\text{int } 2} \rightarrow 0 = \Delta E_{\text{int } 1} + \Delta E_{\text{int } 2}$$

expressió que coincideix amb la utilitzada en l'anterior procediment.

## 7. DETERMINACIÓ DE LA CALOR ESPECÍFICA D'UNA SUBSTÀNCIA

L'energia interna que guanya o perd un cos mitjançant calor depèn, com sabem, no sols de la massa i de la variació de temperatura que es produïska, sinó també, de la naturalesa del material que està fet, segons s'arplega a l'expressió:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ , on "m" és la massa de l'objecte, "Δt" la variació de temperatura i "c" una constant de proporcionalitat, anomenada calor específica, que té un valor diferent per a cada substància.

### A.40. *Quin interès pràctic pot tindre conèixer el valor de la calor específica d'una substància?*

En primer lloc, com cada substància té un valor de c característic, la seua determinació experimental, pot servir per ajudar a **identificar una substància** (mètodes d'anàlisi), la qual cosa té un indubtable interès en casos d'intoxicacions, controls de qualitat, etc.

En segon lloc, la calor específica serveix per comparar la quantitat d'energia interna que poden guanyar o perdre les distintes substàncies (en igualtat de condicions de massa i Δt), quan s'escalfen o refreden. Així per exemple, escalfar una determinada massa d'aigua per aconseguir que increment de temperatura, exigeix unes **11 vegades més calor** que per escalfar la mateixa quantitat de coure (la calor específica de l'aigua és de 4180 J/kg·grau, mentre que la del coure és de 376'2 J/kg·grau). El fet que la calor específica de l'aigua, siga major que la de moltes altres substàncies, té importants implicacions pràctiques, com per exemple:

**a)** Els climes costaners són més suaus, ja que l'enorme quantitat de calor acumulada per l'aigua del mar durant l'estiu, es va cedint a l'ambient a poc a poc durant l'hivern. D'altra banda, també és cert que els huracans extreuen l'energia de l'aigua de mar i, com està cada vegada més calent (a causa de l'augment de l'efecte hivernacle), aquests són cada vegada més catastròfics.

**b)** Utilització de l'aigua com líquid refrigerant en els automòbils perquè, donat que l'aigua admet molta calor sense que s'elevi massa la seua temperatura, absorbeix l'energia generada pel fregament de les peces del motor, evitant així que aquest s'escalfe massa i es trenque.

Atès que és important conèixer el valor de la calor específica d'una substància, en la següent activitat pràctica ens anem a plantejar el problema de calcular la calor específica d'un metall.

**A.41.** Sabent que, quan dos cossos a diferent temperatura es posen en contacte en un recipient aïllat, l'energia perduda mitjançant calor pel de major temperatura ha de ser igual a l'energia guanyada pel que es trobava a una temperatura inicial menor, suggeriu un procediment, el més senzill possible, per determinar la calor específica d'un metall.

L'objectiu d'aquesta activitat és elaborar amb cert detall un disseny experimental adequat per al càlcul que es demana. Aquest pot consistir en introduir un tros de metall calent en un recipient que conté un líquid (aigua), la calor específica del qual és conegut, realitzar les mesures necessàries, aplicar l'equació  $\Delta E_{\text{int}1} + \Delta E_{\text{int}2} = 0$  i obtindre el valor de la calor específica del metall. Després d'efectuar el plantejament general, es pot proposar de forma més concreta, com per exemple:

- Introduir en un recipient aïllat (calorímetre) uns 200 cm<sup>3</sup> d'aigua ( $m_a = 200$  g) i mesurar la temperatura inicial  $t_a$ , deixant el termòmetre dins, junt amb un agitador.
- Escalfar a 100 °C uns cilindres de metall de massa  $m_X$  coneguda, mantenint-los en aigua bullint durant un temps (coberts totalment), per assegurar-se que la temperatura de tots ells és de 100 °C.
- Introduir ràpidament (però amb cura) cada cilindre en un calorímetre, assegurant-se que queda totalment cobert per l'aigua, tancar el calorímetre i agitar suaument per homogeneïtzar la temperatura. Tot seguit, observar com va pujant la temperatura fins que s'estabilitza i prendre nota del valor corresponent (temperatura d'equilibri  $t_e$ ).

**A.42.** Procediu a realitzar l'experiment dissenyat i anoteu totes les dades obtingudes a la taula següent:

	c (J/kg·grau)	m (g)	t inicial (°C)	t equilibri (°C)	t (°C)
<b>aigua</b>	4180				
<b>metall</b>	(a determinar)				

**A.43.** A partir de les dades anteriors, procediu a obtindre la calor específica del metall, suposant que el calorímetre ha estat ben aïllat i menyspreant la calor guanyada pel mateix.

S'ha de suposar que no hi ha hagut pèrdues a l'exterior i considerar que l'energia que perd el cilindre de metall, és justament la que guanya l'aigua (menyspreant la que guanya el calorímetre), de forma que:

$$\Delta E_{\text{int}1} + \Delta E_{\text{int}2} = 0, \quad \text{o el que és el mateix:} \quad m_a \cdot c_a \cdot (t_e - t_a) + m_X \cdot c_X \cdot (t_e - t_X) = 0.$$

$$\text{aïllant } c_X: \quad c_X = \frac{-m_a \cdot c_a \cdot (t_e - t_a)}{m_X \cdot (t_e - t_X)}$$

Nota: S'obtenen bons resultats utilitzant els cilindres d'alumini que solen haver-hi als laboratoris de molts centres escolars.

## 5. Calor

*A.44. Partint del valor obtingut per a la calor específica del metall, busqueu en la bibliografia de què disposeu, per esbrinar de quin metall es tracta.*

*A.45. En quina quantitat es desvia el valor obtingut respecte a l'esmentat a la bibliografia? A quins factors es pot deure aquesta desviació?*

### RECAPITULACIÓ

En el present capítol hem començat per estudiar alguns fenòmens calorífics com l'escalfament o refredament dels cossos i els canvis d'estat. Una primera explicació d'aquests fenòmens i altres, com la dilatació que experimenten alguns cossos amb la calor o l'escalfament que es produeix per fricció, fou donada per la teoria del calòric, en la que la calor era concebuda com una substància material.

Atesa la seua importància històrica, hem dedicat part del capítol a estudiar com es podien interpretar els distints fenòmens calorífics mitjançant la teoria del calòric. Després hem vist alguns fets que qüestionaven la pròpia existència del calòric i, finalment, com s'obrí pas la idea actual de calor, segons la qual, no és una substància material ni tampoc una energia, sinó altre procés (com ho és també el treball), mitjançant el qual es pot canviar l'energia d'un sistema.

Al llarg del tema hem pogut analitzar algunes idees errònies sobre la calor, com:

- Confondre calor amb temperatura.
- Concebre la calor com una substància o com un tipus d'energia.
- Pensar que, sempre que augmenta la temperatura d'un cos és perquè s'està escalfant, posant-lo en contacte amb un focus calorífic a major temperatura que ell.

També hem recordat el principi de conservació de l'energia mecànica que estudiarem en el tema anterior, ampliant-lo al que es coneix com primer principi de la termodinàmica, aplicable a l'estudi de tots els canvis en els que es realitza un treball mecànic exterior i/o s'escalfa un sistema determinat. Amb l'establiment d'aquest principi es produí històricament la unió de dos cossos de coneixements que, fins aleshores, s'havien considerat distints, la mecànica i la calor.

Al capítol següent estudiarem uns canvis materials més complexos: aquells en els que unes substàncies es transformen en altres distintes, amb propietats que poden ser molt diferents de les que tenen les substàncies de partida.

## 5. CALOR. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES

### 1. Construcció pels alumnes d'un termòmetre d'alcohol.



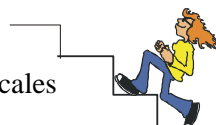
Ens caldrà un tub de vidre entre 20 i 30 cm de llarg, uns 5 mm de diàmetre exterior i, aproximadament, 1 mm de diàmetre intern. En primer lloc es tancarà el tub per un dels extrems, soldant-lo a la flama. A continuació, bufant per l'altre extrem, es formarà un xicotet bulb en l'extrem tancat, d'uns 15 mm de diàmetre exterior. Seguidament haurem d'introduir en ell l'alcohol (que prèviament haurem acolorit amb un poc de tinta). Per aconseguir-ho, es pot utilitzar una xeringa amb agulla, fins omplir completament el bulb i part del tub, procurant que no queden bombolles d'aire (sacsegeu el tub per ajudar l'alcohol a descendir fins al bulb). Finalment es tanca, soldant l'extrem obert i es procedeix a calibrar el termòmetre, col·locant-lo a distintes temperatures conegudes inferiors sempre als 60 °C per a evitar que l'alcohol pugui bullir. (Per més detalls, veure el Nou Manual de la UNESCO per Ensenyament de les Ciències).

2. Amb la finalitat de fer-vos una idea del que representa una calor, procediu a calcular les calories necessàries per portar a terme els següents processos :

- Preparar una tassa de té, per a la que haurem d'escalfar l'aigua (posem uns 200 g) des de la temperatura ambient (uns 20 °C) a quasi ebullició (uns 100 °C).
- Preparar un bany a 40 °C (uns 300 l d'aigua, inicialment a 20 °C).
- Donar-se una dutxa amb aigua a 40 °C (uns 20 l d'aigua inicialment a 20 °C).

3. Un estudiant de 65 kg, que vol controlar el seu pes, cau en la temptació i es menja una pastilla sencera de xocolata, l'envàs de la qual indica un valor energètic (per a tota la pastilla de xocolata) de 2418 kJ.

A partir de la taula adjunta (dades corresponents a un ésser humà de 65 kg), esbrineu quantes hores hauria de practicar, de forma continuada, cada activitat per poder neutralitzar el seu efecte (recordeu que 1 J = 0'24 cal).

Actividad	Energía kcal/kg-h
Caminar 	3'8
Córrer 	9'1
Pujar escales 	15'2

R. Hauria de caminar 2'3 h aproximadament, córrer 1 h o pujar escales durant 0'6 h (36 min).

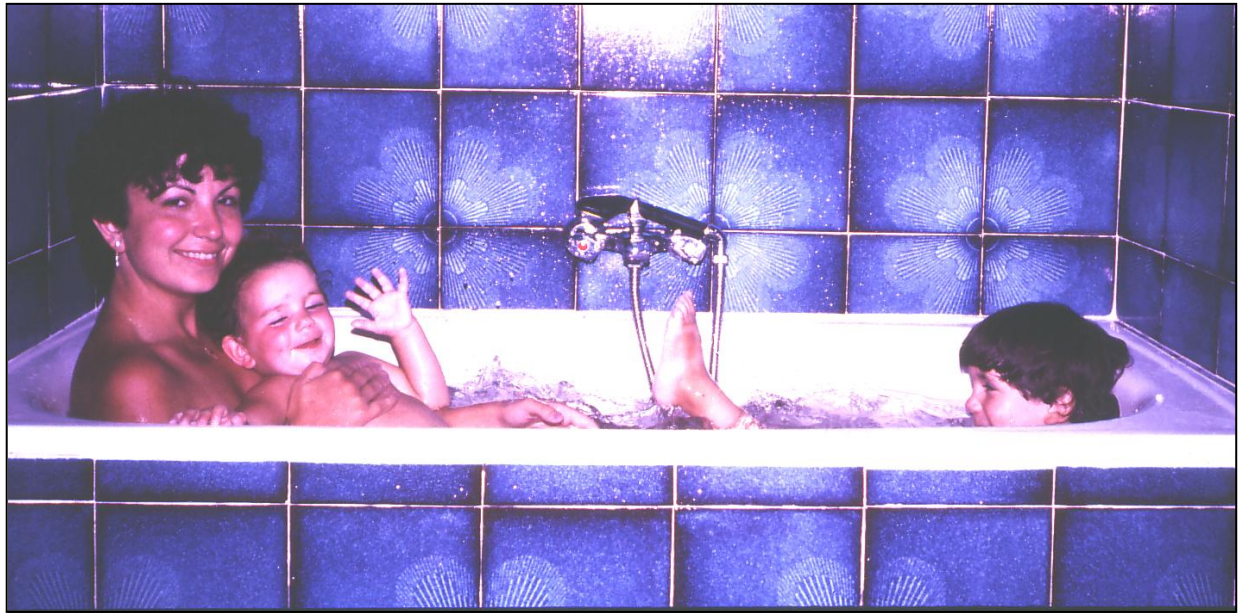
4. Dibuixeu qualitativament la gràfica que representa la temperatura en funció del temps, per a l'escalfament d'una substància sòlida fins a l'estat de vapor.

5. S'escalfa un tros de gel de 250 grams de massa que es troba a -20 °C, fins transformar-lo en vapor d'aigua a una temperatura de 110 °C. Calculeu la calor necessària per efectuar-ho. (Busqueu les dades que necessiteu al text). R. 183'9 kcal.

## 5. Calor

6. La temperatura adequada per prendre un bany temperat és d'uns  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si l'aigua de l'escalfador que utilitzes ix per l'aixeta a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  i l'aigua corrent ix a  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quina quantitat d'aigua de cada classe necessaries per preparar-te un bany temperat de 150 litres? Esmenta algunes formes d'estalviar energia quan ens rentem.

R.  $70'8\text{ kg}$  d'aigua corrent i  $79'2\text{ kg}$  d'aigua de l'escalfador.

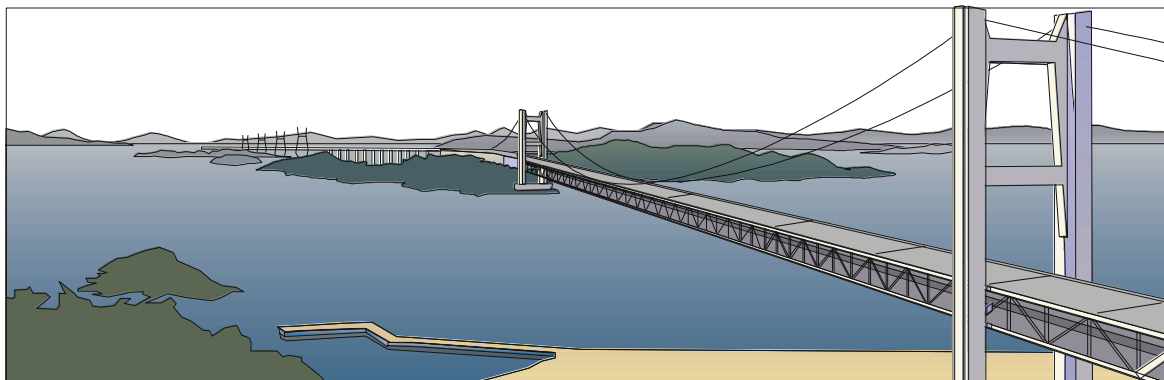


7. Amb ajuda d'una cuina elèctrica escalfem 2 litres d'aigua, inicialment a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , fins que es posa a bullir. Amb un escalfador elèctric augmentem la temperatura dels 50 l d'aigua que conté, des de  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  fins a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Calculeu quin dels dos processos ha necessitat més energia.

R. El segon (850 kcal front a 170 kcal).

8. Escalfem una bola de coure, fins comprovar que augmenta apreciablement de grandària. En aquestes condicions, podem afirmar que la bola pesarà: a) un poc menys que al principi. b) el mateix que al principi. c) un poc més que al principi.

9. Els ponts de les autopistes tenen, cada determinada longitud, una junta de dilatació (que es nota perquè el cotxe, en xafar-la fa un soroll, com si hi haguera un forat). Per quina raó s'adopta aquesta mesura en la construcció?





**10.** Una persona posa a bullir la mateixa quantitat de creïlles en dues cassoles que contenen la mateixa quantitat d'aigua bullint, però en un d'ells (A), posa el foc molt més viu que en l'altre (B), per aconseguir que es coguen abans. Explica perquè eixa persona estaria malgastant energia.

**11.** La majoria dels materials es dilaten en augmentar la temperatura. En canvi, l'aigua, a prop de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  té un comportament anòmal i el que fa és contraure's en augmentar la temperatura i dilatar-se al disminuir, de manera que, el volum de gel és sempre major que el volum de l'aigua líquida que el va originar. Quina importància té aquesta anomalia per a la vida a l'interior dels llacs? Quin efecte pot tindre sobre el relleu?

**12.** Expliqueu el fet que, a altituds elevades, l'aigua bull a menys de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**13.** Expliqueu per què es refreda la pell quan posem sobre ella alcohol i s'evapora.

**14.** Expliqueu el fet que el vapor d'aigua condense sobre les superfícies gelades.

**15.** Proveu a construir un got de paper (o utilitzeu un sobre de carta). Ompliu-lo d'aigua fins a la meitat. Que ocurriria si el col·locaem damunt d'una flama? Feu la prova i comenteu el resultat. Fins i tot, es pot coure un ou en un recipient de paper. L'experiència pot realitzar-se fàcilment. A què es deu que el paper no es creme?

**16.** Tenim dos recipients amb aigua bullint. El primer (A) conté un litre d'aigua. En el segon (B), hi ha 500 ml. Contesteu de forma raonada les següents preguntes: a) Tindrà la mateixa temperatura l'aigua d'A que la de B? b) Si deixa d'escalfar-se els dos recipients i en els dos es gela l'aigua fins a la temperatura ambient, quin dels dos transferirà més energia mitjançant calor a l'exterior?

**17.** Segons la teoria del calòric, la calor era una substància material. Açò implicava que:

- a) En un intercanvi de calor hauria de modificar-se la massa dels cossos que hi participaven.
- b) En fregar un cos s'extrau calor, amb la qual cosa arribaria un moment en què s'esgotaria i no podríem obtindre'n més.

Proposeu possibles experiències per comprovar si les anteriors afirmacions s'acompleixen o no.

**18.** Quanta calor es necessita per passar 5 kg d'aigua, des de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? R. 500 kcal

**19.** Quina quantitat d'energia es transfereix al medi ambient mitjançant calor quan es refreden 200 litres d'aigua de  $45^{\circ}\text{C}$  a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? R. 6000 kcal

**20.** Calculeu la calor necessària per elevar la temperatura de l'aire d'una aula de  $10 \times 8 \times 3\text{ m}$ , des de  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  fins a  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Preneu com "c" de l'aire  $0,22\text{ kcal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$  i com densitat mitjana de l'aire en eixe interval de temperatura  $d = 1,25\text{ kg/m}^3$ . R. 594000 kcal

**21.** Quina quantitat d'aigua a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hem de mesclar amb 30 litres d'aigua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  perquè la mescla quede a la temperatura del cos humà ( $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ )? R. 75,9 kg

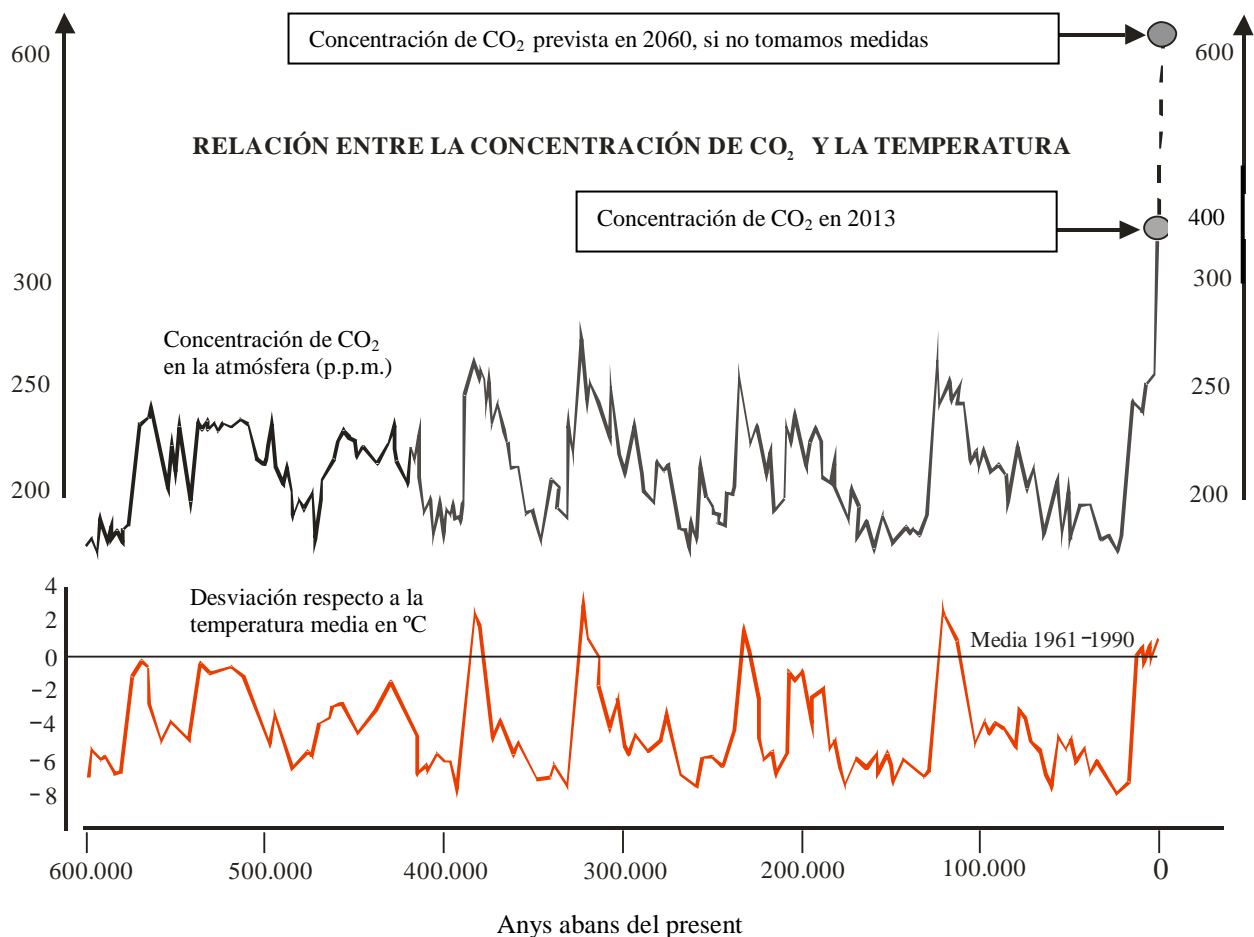
**22.** Dins d'un calorímetre hi ha 500 g d'aigua a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Introduïm en ell una bola d'un material desconegut, de 43 g de massa, escalfat prèviament a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Removem l'aigua i mesurem la temperatura final dins del calorímetre, que resulta ser de  $29^{\circ}\text{C}$ . Quant val la calor específica del material que està feta la bola? Doneu el resultat en calç/g $\cdot^{\circ}\text{C}$ . Nota: Equivalent en aigua del calorímetre 20 g. R. 0,68 calç/g $\cdot^{\circ}\text{C}$

## PER QUÈ ELS CIENTÍFICS ESTAN SEGURS DE QUE EL CO<sub>2</sub> I L'AUGMENT DE LA TEMPERATURA MITJANA GLOBAL DEL PLANETA ESTAN RELACIONATS?

A partir del gel de l'Antàrtida es pot esbrinar la concentració de CO<sub>2</sub> que hi havia a l'atmosfera i també la temperatura mitjana de cada any des de fa més de 600000 anys.

La figura següent mostra dues gràfiques. La superior representa les concentracions de CO<sub>2</sub> atmosfèric des de fa 600000 anys fins al moment actual (0). Si la recorrem cap a la dreta, vem que la concentració de CO<sub>2</sub> mai ha superat les 300 parts per milió (ppm), excepte cap al final, on clarament puja ràpidament fins abastar les 400 ppm al 2013.

La gràfica inferior mostra la desviació de la temperatura global del planeta respecte de la temperatura mitjana global corresponent al període 1961-1990. els mínims corresponen a glaciacions i els màxims a períodes d'escalfament.



*Quines conclusions es poden obtenir si comparem les dues gràfiques anteriors?*

Les dues encaixen. No sabem exactament quin canvi va primer i quin canvi va després, però el que sembla clar és que, des de fa més de mig milió d'anys, els canvis en la temperatura mitjana de la Terra i en la concentració de CO<sub>2</sub> van junts.

Durant uns 600000 anys la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera ha oscil·lat aproximadament entre les 180 ppm i les 280 ppm, però des de mitjan segle XVIII (inici de la revolució industrial) fins ara, ha experimentat un brusc i considerable augment fins arribar a les 400 ppm que hi havia al 2013 (i continua creixent), produint un augment de l'efecte hivernacle clarament superior al que correspondria als processos naturals esdevinguts durant tot aquest període.

## 6. REACCIONS QUÍMIQUES

Fins ací hem vist les transformacions de la matèria en les què els canvis eren únicament mecànics (canvi de posició, canvi de velocitat, etc.), sense que es vera alterada l'estructura "íntima" dels sistemes que experimentaven els canvis. Fins i tot, moltes vegades, en objectes com cotxes, pedres, etc., hem fet la simplificació de considerar com si tota la massa estiguera concentrada en un punt (masses puntuals).

En realitat, sabem que els objectes no són masses puntuals i que, a més dels canvis mecànics, poden donar-se altres tipus de canvis molt més complexos com, per exemple, els canvis químics. Per això, el problema fonamental que tractarem en aquest tema serà:

*Com explicar els canvis en què, a partir d'unes substàncies, es poden obtenir altres distintes, amb propietats que poden ser molt diferents de les que tenien les substàncies inicials?*

Aquest tipus de canvis es denominen canvis químics, transformacions químiques o **reaccions químiques**. Les substàncies inicials es coneixen com substàncies **reaccionants** (o reactius) i a les que s'obtenen a partir d'elles, **productes** de la reacció.

### 1. QUIN INTERÈS POT TINDRE ESTUDIAR ELS CANVIS QUÍMICS?

*A.1. Quina importància pot tindre l'estudi dels canvis químics? Per a què serveixen?*

En primer lloc, per obtenir productes que, per diverses raons, ens interessin, com:

Medicaments, explosius, combustibles, adobs per a plantes, herbicides, pesticides, plàstics, fibres sintètiques, materials per a la construcció, pintures, cosmètics, productes de neteja, etc.

En segon lloc, perquè la majoria dels canvis químics van acompanyats de canvis energètics i, en determinats casos, els podem aprofitar per obtenir energia utilitzable. Açò és el que fem, per exemple, quan cremem un combustible i d'eixa reacció química obtenim energia (per moure un vehicle, per a calefacció, per produir electricitat, etc.) o be quan utilitzem piles i bateries elèctriques, fem detonar un explosiu, etc.

Finalment, també tindrem en compte que, alguns canvis químics ocorren molt lentament i altres molt ràpidament. La velocitat a què es produeix una reacció química és un aspecte que ens interessa controlar, de vegades, per disminuir-la (per exemple quan volem evitar la corrosió del ferro o quan volem impedir que un aliment es faci malbé ràpidament) i, altres vegades, per augmentar-la (per exemple quan volem obtenir un gas en mil·lèsimes de segon, com ocorre en el funcionament de l'air-bag dels cotxes).

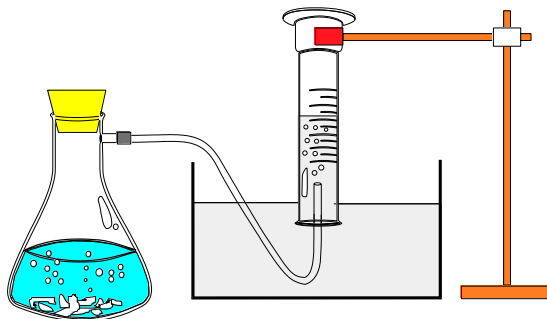
### 2. REALITZACIÓ I OBSERVACIÓ D'ALGUNES REACCIONS QUÍMIQUES

*A.2. Realitzeu les següents reaccions químiques (o algunes d'elles) al laboratori i anoteu els canvis que s'observen en cada cas.*

## 6. Reaccions químiques

**Nota important:** Moltes de les substàncies que es van a utilitzar o les que es produeixen en les experiències del tema (com el plom, iode, clorur de zinc, sulfat de coure, etc.) són perilloses per al medi ambient, per tant és important utilitzar sempre quantitats mínimes i tractar adequadament les quantitats sobrants.

**Reacció d'àcid clorhídric amb el zinc.** Si introduïm un tros de zinc (menys d'1 g) en un erlenmeyer que continga àcid clorhídric concentrat, es desprèn un gas (hidrogen), que podem arreplegar si realitzem un muntatge com el que es mostra a la figura següent:



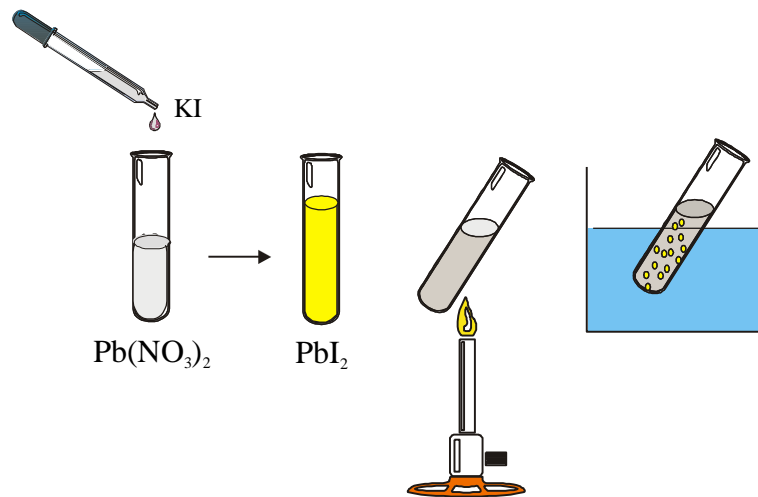
En el muntatge proposat la cubeta conté aigua i la proveta s'ha omplert **prèviament** d'aigua, abans de donar-li la volta (tapant-la, perquè no se'n isca) i col·locar-la com s'indica. Pot comprovar-se que el gas arreplegat a la proveta és hidrogen si, després d'extraure-la de la cubeta amb aigua, sense inclinar-la, li acostem una flama a la boca. S'observa com es produeix una xicoteta explosió, resultat de la ràpida reacció de l'hidrogen amb l'oxigen de l'aire. Com resultat de la reacció es produeix aigua, que es diposita sobre les parets interiors de la proveta (s'observarà que s'entelen). És important no inclinar la proveta, per evitar que l'hidrogen es mescle amb l'aire, donant lloc a una mescla explosiva. Si es fa així no hi ha cap perill. No obstant això, aquesta experiència s'ha de realitzar en presència del professor i amb les adequades mesures de precaució (entre altres, col·locar-se unes ulleres protectores).

**Combustió del magnesi.** Per portar a terme aquesta reacció únicament ens cal un tros de cinta de magnesi i unes pinces llargues de fusta amb què subjectar-la. Mantinent la cinta el més allunyada possible de nosaltres, prendre foc a l'extrem lliure de la cinta. Comprovarem que crema ràpida i violentament, produint una llum molt intensa (aquesta reacció s'ha vingut utilitzant en fotografia per obtenir la il·luminació necessària). Convé deixar caure les cendres de la combustió sobre una càpsula de porcellana i no mirar directament al magnesi durant la combustió.

**Obtenció de plom a partir d'òxid de plom i carboni.** En aquest cas hem de disposar d'òxid de plom i carbó actiu. Es tira un poc de cadascuna d'aquestes substàncies (quantitats semblants) en un tub d'assaig i es mesclen movent-lo un poc. Se subjecta el mateix amb ajuda d'uniques pinces llargues de fusta i es col·loca directament a la flama. Per a que la reacció tinga lloc, la flama ha de ser molt potent (motiu pel qual cal prendre precaucions i no acostar-se el tub calent, ni la flama, al cos). S'observarà un canvi de color que passarà del taronja al groc i, posteriorment, s'apreciarà la formació d'una boleta de plom (color gris metàl·lic), o es formarà una pel·lícula d'aquest metall sobre la paret del tub.

**Reacció entre iodur de potassi i nitrat de plom (II).** Cal preparar prèviament una dissolució aquosa de iodur de potassi (KI) i altra de nitrat de plom (II), de fórmula  $Pb(NO_3)_2$ . Per elaborar-les, podem tirar en un got de precipitats un poc de solut (hi ha prou amb menys d'1 gram) i afegir aigua destil·lada fins que es dissolga totalment. Obtenim així dues dissolucions transparents. Després, amb ajuda d'un embut podem tirar uns 5 ml d'una de les dissolucions

(per exemple la de nitrat) en un tub d'assaig. Seguidament, amb un comptagotes, prenem un poc de l'altra dissolució i afegim unes gotes al tub d'assaig.



Comprovarem que, després d'afegir les gotes de la dissolució de KI, es forma immediatament un precipitat amorf de color groc de iodur de plom (II), que desapareix en escalfar. Si posteriorment es refreda (per exemple ficant el tub en un recipient amb aigua), es produeixen uns cristalls de iodur de plom (II) de color groc (fenomen conegut com pluja d'or).

**Reacció entre iode i alumini.** Aquesta reacció és molt exotèrmica, raó per la qual ha de ser realitzada pel professor en una vitrina de gasos. Com reactius s'utilitzen iode i alumini en pols.

Es pesen 2 g de iode sec en pols (si no està en pols, es tritura en un morter) i s'afegeixen 0,3 g d'alumini en pols (amb cura, perquè és molt lleuger i es pot escampar fàcilment).

Es dispositen els dos sòlids sobre un paper de filtre sec i es mesclen bé amb una espàtula (amb cura de no picar-los, ja que en eixe cas podria iniciar-se la reacció). Es col·loca la mescla dins d'una càpsula de porcellana o sobre un vidre de rellotge i s'introdueix en una campana de gasos.

S'afegeix a la mescla unes gotes d'aigua i s'espera un moment. Al cap d'uns segons s'observa la formació de vapor d'aigua, al temps que es desprèn iode gasós (color violeta) i a continuació, la mescla s'inflama. En la reacció es forma iodur d'alumini  $AlI_3$ . Per comprovar-ho, es pot dissoldre en aigua la pols blanca formada i afegir unes gotes de nitrat de plata. La formació d'un precipitat groc indica la presència de iode.

### 3. DISTINCIÓ ENTRE CANVI FÍSIC I CANVI QUÍMIC

En els exemples anteriors, haureu tingut ocasió de comprovar alguns efectes que semblen ser característics de les reaccions químiques: despreniment d'un gas, formació d'un precipitat, canvi de color, etc. Tanmateix, eixos efectes, per ells mateixos, no sempre garanteixen que haja tingut lloc un canvi químic. Pensem per exemple, en el canvi de color (i sabor) que es produeix quan mesquem cafè i llet, en les bombolles de gas que es desprenen en obrir una botella de cava, en la substància de color blanc que es disposa a les resistències dels rentaplats i rentadores, en la substància blanca que precipita en deixar refredar la llet en un got, etc., que no són indicatius de cap reacció química.

**A.3.** Per què els canvis que acabem d'esmentar no s'associen a una reacció química?

## 6. Reaccions químiques

Per poder parlar d'una reacció química, s'han de produir noves substàncies (productes de la reacció), diferents a les substàncies inicials (reaccionants), cosa que no ocorre en cap dels exemples que acabem d'esmentar. En canvi, en les reaccions que hem vist anteriorment, sí que es produïen noves substàncies. Així, per exemple, quan reacciona l'àcid clorhídric amb zinc, es desprèn **hidrogen**, al mateix temps que desapareix el zinc. En reaccionar el nitrat de plom (II) amb el iodur de potassi s'obtenen uns cristalls grocs d'una nova substància, que no hi havia abans, anomenada **iodur de plom (II)** i, en cremar el magnesi, es produeix **òxid de magnesi**. El problema essencial per decidir si ha hagut o no una reacció química és, doncs, determinar si s'han produït, o no, noves substàncies que no existien abans.

*A.4. Classifiqueu els següents processos com químics o físics, assenyalant els criteris utilitzats per fer-ho: destil·lació del vi, dilatació d'un gas, evaporació de l'aigua, combustió del gas butà, corrosió del ferro, dissolució de sal comuna en aigua, obtenció de ferro a partir dels seus minerals.*

En la destil·lació del vi s'obté alcohol (etanol), però eixa substància no és nova sinó que ja estava present (dissolta) en el vi. (Un vi que tinga, per exemple, 12° vol dir que conté 12 ml d'alcohol per cada 100 ml de vi). El vi és una mescla de moltes substàncies i, una d'elles, és l'alcohol.

Quan un gas es dilata, té lloc un augment de volum, però açò no implica la producció de cap substància nova. Anàlogament ocorre en els canvis físics d'estat: quan, per exemple, es passa d'aigua líquida a vapor, la substància continua sent aigua (algunes persones pensen, erròniament, que el vapor d'aigua és una mescla d'hidrogen i d'oxigen).

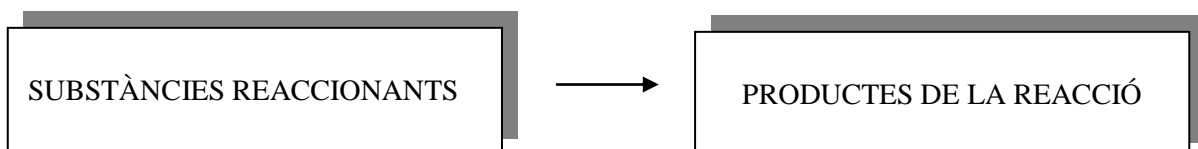
La combustió del gas butà (o de qualsevol altra substància), sí que és una reacció química en què el butà (o qualsevol substància que es creme) es combina amb l'oxigen de l'aire per formar substàncies noves (en l'exemple del butà es produeixen  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ). Anàlogament ocorre en la corrosió del ferro on es produeix una nova substància que no teníem abans (òxid de ferro).

Una dissolució de sal comuna en aigua, no es considera una reacció química perquè la sal pot recuperar-se per si evaporem l'aigua amb cura; el procés seria, doncs, un canvi físic.

L'obtenció del ferro a partir dels seus minerals és una reacció química semblant a la que hem proposat sobre l'obtenció de plom a partir d'òxid de plom i carboni actiu. És cert que els àtoms de ferro estan presents en el mineral de ferro de partida, però no estan simplement **mesclats amb altres** sinó que es troben **enllaçats amb altres** àtoms formant compostos químics (per exemple òxids de ferro). En aquest cas, es tracta d'una reacció de descomposició.

## 4. UN MODEL ELEMENTAL PER A LES REACCIONS QUÍMIQUES

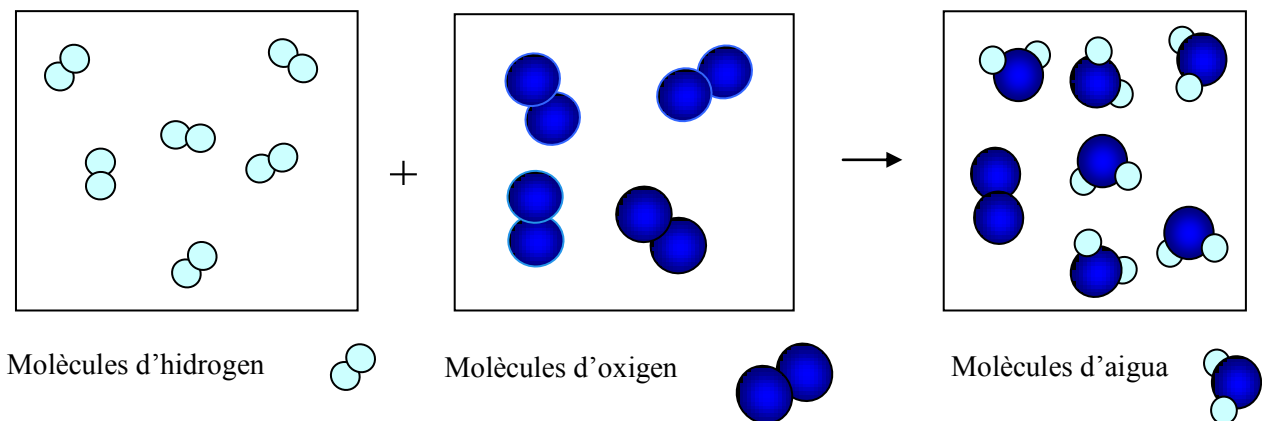
Hem vist que, el que caracteritza essencialment a una reacció química és que, a partir d'unes substàncies, anomenades reaccionants, s'obtenen altres substàncies diferents (que no estaven abans), anomenades productes de la reacció:



Ara bé, sabem que totes les substàncies químiques estan formades, en general, per agrupacions d'àtoms (com, per exemple, les molècules:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2$ , etc) i que els àtoms, en les reaccions químiques, no es creen ni es destrueixen.

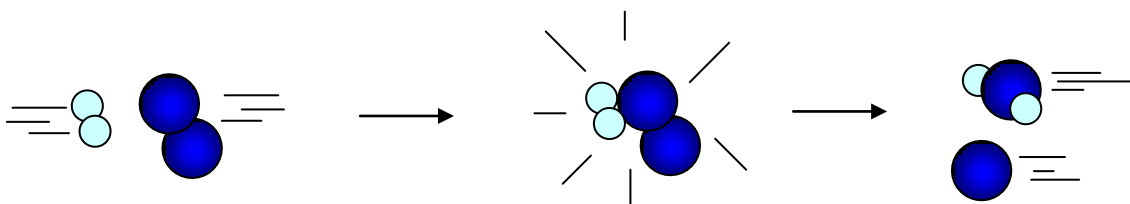
**A.5.** Si en qualsevol canvi químic que es realitzi en un recipient tancat els àtoms que hi intervenen són sempre els mateixos, com es pot explicar, llavors, que es formen noves substàncies?

Hem de pensar que, en els productes, hi ha els mateixos àtoms que en els reaccionants, sols que formant enllaços diferents als que formaven en els reaccionants. Així, per exemple, quan reacciona l'hidrogen ( $\text{H}_2$ ) amb oxigen ( $\text{O}_2$ ), es forma aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Com veiem, tant en els reaccionants com en els productes hi ha els mateixos àtoms (d'hidrogen i d'oxigen), però en els reaccionants, eixos àtoms estan units formant molècules d' $\text{H}_2$  (enllaç H-H) i d' $\text{O}_2$  (enllaç O=O), mentre en el producte de la reacció, estan units de forma diferent (dos enllaços H-O) donant lloc a l'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), una substància molt diferent a l'oxigen i a l'hidrogen.



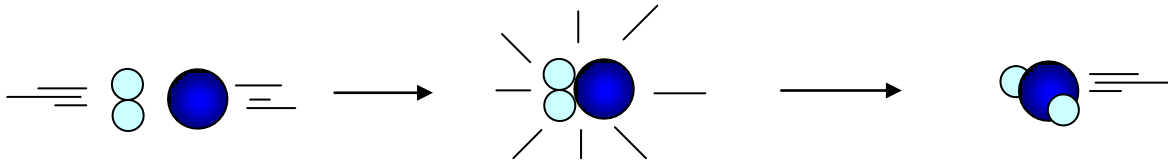
**A.6.** Expliqueu, a manera d'hipòtesi, com té lloc una reacció química. Assenyaleu les principals etapes del procés. Concretu, per exemple, per al cas de la transformació d'hidrogen i oxigen en aigua.

Perquè una reacció tinga lloc, s'han de trencar els enllaços que formen les molècules de les substàncies reaccionants permetent que, a continuació, es formen enllaços entre noves agrupacions d'àtoms, donant lloc així, a les noves substàncies (productes de la reacció). El xoc entre partícules (que ja sabem que no són boles massisses), fa possible tant la ruptura d'enllaços (si l'energia del xoc és suficient) com l'establiment de noves unions. El model que estem manejant permet pensar que açò ocorre perquè les partícules que xoquen amb una direcció favorable han de superar una energia mínima necessària perquè es puguin trencar uns enllaços i formar altres (és a dir, per a que el xoc siga "efectiu").



## 6. Reaccions químiques

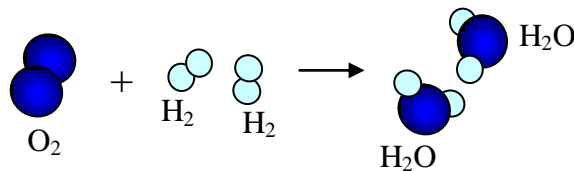
En l'exemple considerat, hi ha molècules d' $\text{H}_2$  i d' $\text{O}_2$  que, després de reaccionar, produeixen molècules de  $\text{H}_2\text{O}$ . En el nostre cas, l'àtom d'oxigen que ha quedat solt podria reaccionar amb una molècula d'hidrogen i obtenir així altra molècula d'aigua:



L'aigua és una substància, les molècules de la qual estan formades per àtoms d'hidrogen i d'oxigen, però tanmateix, les propietats de l'aigua són molt distintes a les de les substàncies simples hidrogen i oxigen. L'aigua fon a  $0^\circ\text{C}$ , bull a  $100^\circ\text{C}$  (a 1 atm de pressió), i té una densitat d' $1\text{ g/cm}^3$  (a 1 atm de pressió i una temperatura de  $4^\circ\text{C}$ ), mentre que l'hidrogen, per exemple, és una substància que fon a  $-259^\circ\text{C}$ , bull a  $-253^\circ\text{C}$  (a 1 atm de pressió), té una densitat de tan sols  $0,0009\text{ g/cm}^3$  (a 1 atm de pressió i  $0^\circ\text{C}$  de temperatura) i a més, és inflamable.

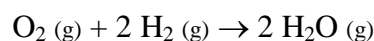
**Així doncs: En una reacció química els àtoms són els mateixos en els reaccionants i en els productes, però en estar units de forma diferent, fan que els productes de la reacció siguin substàncies de propietats distintes a les propietats de les substàncies de partida.**

Aquest model elemental de reacció química ens indica que, en una reacció, a nivell microscòpic, el que té lloc és una “reorganització” dels àtoms que constitueixen les substàncies reaccionants, per donar lloc a noves substàncies. El procés es pot esquematitzar globalment (és a dir, encara que no sapiguem els possibles passos intermedis) dient que cada molècula d'oxigen que reacciona, ho fa amb dos d'hidrogen per donar dues molècules d'aigua:



Al mateix temps, aquesta reorganització d'àtoms condiciona els productes que s'obtingran en la reacció, donat que **sols podran obtenir's substàncies formades per aquells elements, els àtoms dels quals, es troben presents en els reactius**. Aquesta aplicació pràctica de la hipòtesi de Dalton, permet rebutjar la idea de la transmutació, fenomen en què es va creure durant molts segles i error en què, encara actualment, és fàcil incórrer, si no es té en compte l'anàlisi microscòpica de la reacció.

En la pràctica, tota reacció química es representa per mitjà d'una equació anomenada “equació química” que, en el nostre cas, seria la següent:

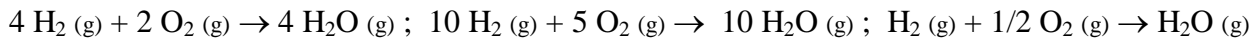


Com podem veure, en ella estan representades totes les substàncies que participen en la reacció (tant reaccionants com productes), la proporció en què es combinen i la fase de cada substància (en les condicions de pressió i temperatura a què té lloc la reacció). L'equació anterior pot llegir-se dient que:



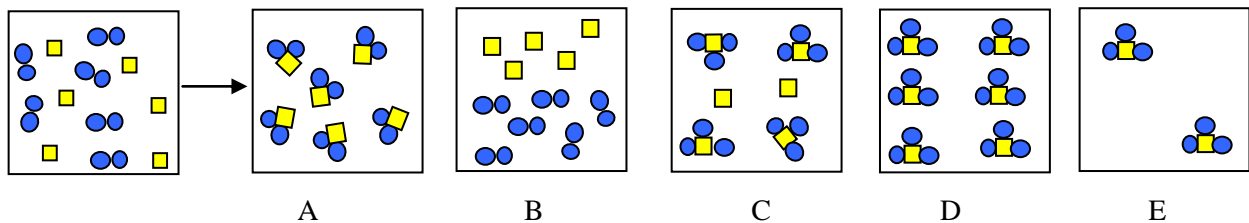
**En la síntesi de l'aigua, cada molècula d'oxigen que reacciona ho fa amb dues d'hidrogen per formar dues molècules d'aigua.**

Els nombres que hi ha **davant** de les fórmules s'anomenen coeficients. Normalment són els menors nombres enters possibles, però no hi ha inconvenient en posar nombres més grans o, fins i tot, fraccionaris, sempre que es respecte la proporció. Així, la reacció de formació de l'aigua també podria expressar-se per mitjà d'altres equacions com, per exemple:

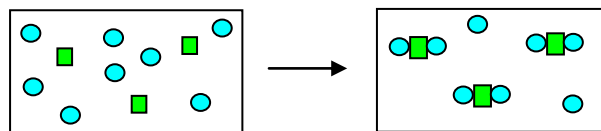


Totes les equacions anteriors signifiquen el mateix: que per cada molècula d'oxigen que reacciona, són necessàries dues d'hidrogen i es formen dues d'aigua. Els coeficients, doncs, mai han d'interpretar-se com el nombre de molècules que realment tenim, sinó com la proporció en què reaccionants i productes participen en la reacció. En realitat, en qualsevol reacció química el nombre de molècules o agregats d'àtoms en general que participen és immensament gran (molts milions de milions).

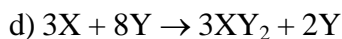
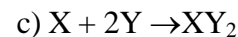
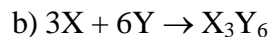
**A.7.** L'equació d'una determinada reacció ve donada per  $2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ . Si mesclen en un recipient tancat S (■) i  $\text{O}_2$  (●●), i els fem reaccionar, quin dels esquemes següents representa el resultat?



**A.8.** L'element X (■) reacciona amb l'element I (●) segons s'indica esquemàticament al gràfic adjunt.



Quina de les següents equacions representa millor la reacció que es produeix?



## 5. AJUST DE LES EQUACIONS QUÍMIQUES

D'acord amb el model anterior, en una reacció química (que es realitzi en un medi aïllat de l'exterior) els àtoms són sempre els mateixos, sols que l'agrupació dels àtoms és diferent en les substàncies reaccionants i en els productes de la reacció. Una conseqüència d'açò és que el nombre d'àtoms de cada element haurà d'ésser el mateix als dos costats de l'equació, de manera

## 6. Reaccions químiques

que, una vegada escrites les fórmules de reaccionants i productes, pot ser necessari ajustar l'equació (equilibrar-la), col·locant els coeficients adequats (sense canviar les fórmules).

*A.9. El ferro en contacte amb l'oxigen forma, en determinades condicions, òxid de ferro (III). Escriviu l'equació corresponent a aquesta reacció i proposeu un mètode general per escriure correctament una equació química.*

Per ajustar una equació química és necessari estar atent als possibles errors que es poden cometre. Aquests solen ser, principalment, de dos tipus: aplicar la conservació dels àtoms canviant les fórmules dels compostos (per exemple  $O_2 + Fe \rightarrow FeO_2$ ), o ignorar la conservació ( $Fe + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$ ). Per evitar-los, convé escriure en primer lloc les fórmules de reaccionants i productes i després, procedir a ajustar els coeficients perquè hi hagen els mateixos àtoms en els dos costats, però sense modificar en absolut les fórmules, és a dir, sense canviar els subíndexs que apareixen en elles i les caracteritzen.

Així, en aquest cas, seria:  $Fe + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$

Perquè hi haja els mateixos àtoms als dos costats:  $4 Fe + 3 O_2 \rightarrow 2 Fe_2O_3$

*A.10. Escriviu les equacions químiques ajustades, que corresponen als següents processos*

Substàncies reaccionants	Productes de la reacció
$Cl_2 + Na$	$NaCl$
$C_3H_8 + O_2$	$CO_2 + H_2O$
$CaCO_3$	$CO_2 + CaO$
$Mg + O_2$	$MgO$
$HCl + Zn$	$ZnCl_2 + H_2$
$H_2SO_4 + Al(OH)_3$	$Al_2SO_4 + H_2O$
$HCl + CaCO_3$	$CaCl_2 + CO_2 + H_2O$
$NaI + Pb(NO_3)_2$	$NaNO_3 + PbI_2$
$SO_2 + O_2$	$SO_3$
$C_5H_{12} + O_2$	$CO_2 + H_2O$

A partir del model elemental de reacció química que hem elaborat, podem derivar una sèrie de conseqüències, la contrastació experimental de les quals ens ajudarà a aprofundir en el model i, a més, contribuirà a augmentar la validesa del mateix. En els apartats següents, analitzarem algunes d'aquestes conseqüències.

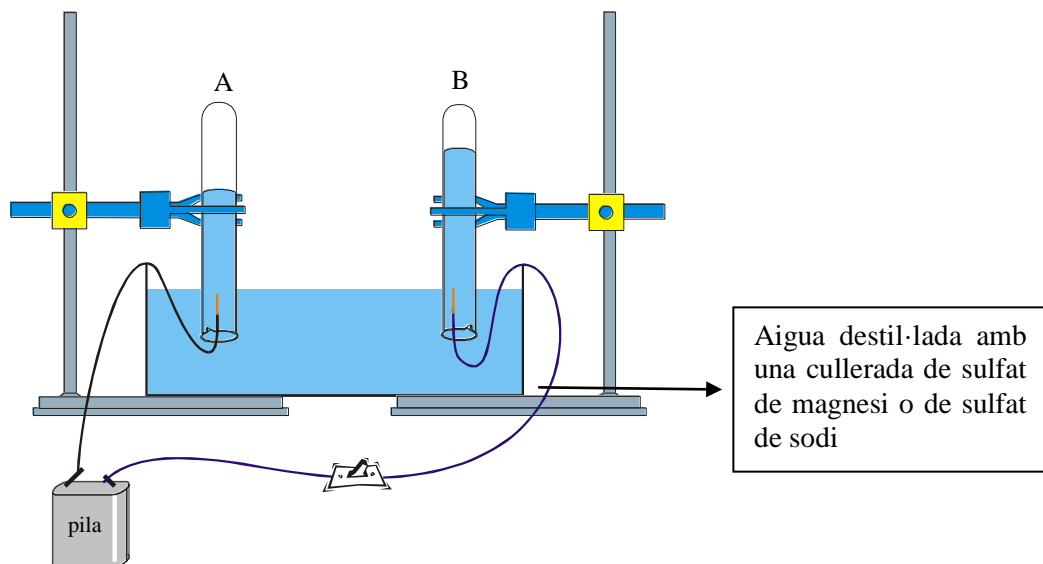
### 6. REVERSIBILITAT D'ALGUNES REACCIONS QUÍMIQUES

Hem vist que una reacció química pot interpretar-se per mitjà de xocs entre partícules, amb ruptura d'uns enllaços i formació d'altres nous. Així s'explica que unes substàncies determinades (reaccionants) es transformen en altres diferents (productes de la reacció).

**A.II.** Què podria ocórrer si, en les condicions adequades, es feren reaccionar entre elles les molècules dels productes d'una reacció?

Si pensem que les molècules dels productes estan formades pels mateixos àtoms que les dels reaccionants, seria possible obtenir de nou les substàncies de partida, és a dir, hi haurà algunes reaccions que seran **reversibles**. Aquest és el cas, per exemple, de l'aigua, com veurem a continuació.

Preparant un muntatge com el de la figura, podem utilitzar l'energia del corrent elèctric per descompondre l'aigua en hidrogen i oxigen gasosos. Quan tanquem l'interruptor observem que es produeixen unes bombolles sobre els elèctrodes. Podem arreplegar els gasos produïts si tanquem cadascun d'ells dins d'un tub d'assaig ple d'aigua (però sense aire). El gas desplaçarà l'aigua, a poc a poc, en cadascun dels tubs i a més, podrem veure que, al tub corresponent al pol negatiu del generador (tub A), s'obté un volum de gas doble que a l'altre (tub B).



La identificació dels gasos produïts és relativament senzilla. Serà suficient en acostar una estella o un paper incandescent al tub B i observar que immediatament s'encén, produint-se una flama. El tub conté oxigen, que aviva la combustió de l'estella. Si acostem una flama al tub A invertit (sense res d'aigua) observarem que el gas s'inflama produint-se una xicoteta detonació, el que és indicatiu de la presència d'hidrogen. A més, a les parets del tub d'assaig podrem observar que s'han condensat gotes d'aigua. Eixa aigua prové de la ràpida reacció de l'hidrogen que havia dins del tub, amb l'oxigen de l'aire.

Així, doncs, estem parlant d'una reacció reversible, segons la qual, l'electròlisi de l'aigua és una reacció química en què l'aigua (una substància química) es descompon en oxigen i hidrogen (dues substàncies diferents). Al propi temps, en la reacció inversa, es produeix la combustió de l'hidrogen (reacció amb l'oxigen de l'aire) en acostar-li la flama, donant lloc a la síntesi d'aigua.

## 7. COM PREDIR LES MASSES QUE S'OBTENEN EN UNA REACCIÓ?

El nombre de partícules (àtoms o molècules) que intervenen en general en una reacció química és enormement gran (encara que la massa de les substàncies que intervenen siga d'uns pocs grams). Amb ajuda de l'equació química correctament escrita i ajustada, podem saber molt fàcilment, per exemple, quantes molècules d'un determinat producte es podrien obtenir: és suficient en mirar els coeficients que apareixen en l'equació i efectuar una senzilla proporció.

## 6. Reaccions químiques

*A.12. El nitrogen gas pot reaccionar amb l'hidrogen gas per obtenir amoníac gas. Calculeu quantes molècules d'amoníac es podran formar per cada 20.000 milions de molècules de nitrogen que reaccionen. R. 40.000 milions de molècules d'amoníac.*

Ara be, més que saber quantes molècules d'un producte determinat es podrien obtenir, el que més ens interessa conèixer és la quantitat de producte en grams, quilograms, litres, etc, (segons el cas). Seria molt útil, doncs, disposar d'un mètode que ens permetera calcular ràpidament, a partir d'un nombre donat de partícules d'una substància determinada, la massa o el volum corresponent d'aquesta substància. Això pot fer-se fàcilment per mitjà d'un concepte fonamental en química: el **concepte de mol**.

### 7.1. Introducció del concepte de mol

Les activitats que segueixen a continuació estan destinades a introduir el concepte de mol.

*A.13. Comproveu que, donades dues mostres de dos elements qualssevol, sempre que les seues masses, expressades en grams, coincidisquen numèricament amb les respectives masses atòmiques relatives, el nombre d'àtoms presents de cadascun serà el mateix.*

La massa atòmica relativa de l'hidrogen és 1 i la del carboni 12. Això significa que, cada àtom de carboni, té una massa 12 vegades major que la d'un àtom d'hidrogen. Per tant, si tenim 1 g d'hidrogen necessitarem 12 g de carboni per estar segurs de tindre el mateix nombre d'àtoms de carboni que d'hidrogen.

No és difícil comprovar matemàticament la conclusió anterior. En efecte: Si  $m_C$  representa la massa en grams d'un sol àtom de C,  $m_H$  la massa en grams d'un sol àtom d'hidrogen,  $N_C$  el nombre d'àtoms de carboni existents en 12 g de carboni i  $N_H$  el nombre d'àtoms d'hidrogen existents en 1 g d'hidrogen, podem escriure que:

$$1\text{g d'hidrogen} = m_H \cdot N_H$$

$$12\text{ g de carboni} = m_C \cdot N_C$$

Però, sabem que  $m_C = 12 \cdot m_H$  amb el que, substituint en la segona equació, ens queda:

$$12\text{ g de carboni} = 12 \cdot m_H \cdot N_C$$

$$\text{Dividint ara ambdues equacions: } \frac{1}{12} = \frac{m_H \cdot N_H}{12 \cdot m_H \cdot N_C} \rightarrow 1 = \frac{N_H}{N_C} \rightarrow N_C = N_H$$

Anàlogament podríem haver fet utilitzant nitrogen (massa atòmica relativa 14), oxigen (massa atòmica relativa 16), o qualsevol altre element en lloc del carboni. En tots els casos arribaríem a la mateixa conclusió:

En 12 g de carboni, en 14 g de nitrogen, en 16 g d'oxigen, hi ha els mateixos àtoms que en 1 g d'hidrogen. És a dir: sempre que tinguem masses d'elements químics el valor numèric del qual coincidisca amb les respectives masses atòmiques, hi haurà en cadascuna el mateix nombre d'àtoms. Aquest nombre rep el nom de **nombre d'Avogadro** i es designa com  $N_A$ .

El valor de  $N_A$  es pot determinar experimentalment de diverses formes i resulta ser, aproximadament,  $6 \cdot 02 \cdot 10^{23}$ .

**A.14.** *Comproveu que, donat un compost químic qualsevol, sempre que la massa expressada en grams coincideix numèricament amb la massa molecular relativa, el nombre de molècules serà el mateix que el nombre d'àtoms d'hidrogen existents en 1 g d'hidrogen, és a dir,  $N_A$ .*

La massa molecular relativa de l'aigua és 18. Això significa que cada molècula d'aigua té una massa 18 vegades major que la d'un àtom d'hidrogen. Per tant, si tenim 1 g d'hidrogen necessitarem 18 g d'aigua per estar segurs de tindre el mateix nombre molècules d'aigua que d'àtoms d'hidrogen.

No és difícil tampoc, comprovar matemàticament la conclusió anterior. En efecte: Si  $m_{H_2O}$  representa la massa en grams d'una sola molècula d'aigua,  $m_H$  la massa en grams d'un sol àtom d'hidrogen,  $N_{H_2O}$  el nombre de molècules d'aigua existents en 18 g d'aigua i  $N_H$  el nombre d'àtoms d'hidrogen existents en 1 g d'hidrogen, podem escriure que:

$$1 \text{ g d'hidrogen} = m_H \cdot N_H$$

$$18 \text{ g d'aigua} = m_{H_2O} \cdot N_{H_2O}$$

Però, sabem que  $m_{H_2O} = 18 \cdot m_H$  amb el que, substituint en la segona equació, ens queda:

$$18 \text{ g d'aigua} = 18 \cdot m_H \cdot N_{H_2O}$$

Dividint ara ambdues equacions:

$$\frac{1}{18} = \frac{m_H \cdot N_H}{18 \cdot m_H \cdot N_{H_2O}} \rightarrow 1 = \frac{N_H}{N_{H_2O}} \rightarrow N_{H_2O} = N_H$$

I com ja sabem que el nombre d'àtoms d'hidrogen en 1 g d'hidrogen és  $N_A$ , està clar que en 18 g d'aigua hi haurà també  $N_A$  molècules d'aigua ( $6 \cdot 02 \cdot 10^{23}$  molècules)

Anàlogament podríem haver fet utilitzant amoníac (massa molecular relativa 17), clorur d'hidrogen (massa molecular relativa 36'5), o qualsevol altre compost en lloc de l'aigua. En tots els casos arribaríem a la mateixa conclusió:

En 18 g d'aigua, en 17 g d'amoníac, en 36'5 g de clorur d'hidrogen, hi ha  $N_A$  molècules.

Així doncs, com conclusió podem afirmar que:

**Sempre que tinguem masses de substàncies expressades en grams, que numèricament coincideixen amb les seues masses atòmiques o moleculars, en aquestes masses hi haurà  $N_A$  àtoms o  $N_A$  molècules, respectivament.**

Es tracta d'una conclusió a recordar ja que en ella es basa, com veurem, el concepte de mol.

Un **mol** (o bé una mol) es defineix com la **quantitat de substància** d'un sistema que conté el nombre d'Avogadro de les entitats elementals característiques de la substància, entenent com entitats elementals als àtoms o agrupacions d'àtoms pròpies o característiques de la substància (la part més xicoteta d'una substància química donada). A l'entitat elemental (Na per al sodi, He per a l'heli,  $O_2$  per a l'oxigen,  $O_3$  per a l'ozó, NaCl per al clorur de sodi,  $NH_3$  per a l'amoníac, etc.), l'anomenarem **unitat fórmula**.

## 6. Reaccions químiques

La unitat fórmula sol correspondre a àtoms (com ocorre en He, Fe, Ca ...), molècules (com en H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, HCl, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ....), ions o agrupacions d'ions (com en NaCl, CaF<sub>2</sub> ...).

El mol és, doncs, la unitat en què es mesura una magnitud denominada quantitat de substància igual que, per exemple, el gram és una unitat que s'utilitza per mesurar la magnitud anomenada massa.

*A.15. Suposem que, en una certa quantitat de substància, hi ha un total de N partícules determinades i que es coneix el valor de N. Proposeu una expressió que servisca per obtindre quants mols d'eixes partícules existeixen en l'esmentada quantitat de substància.*

Com en 1 mol hi ha N<sub>A</sub> partícules, per trobar el nombre de mols (n) que hi ha en N partícules, caldrà dividir el total de partícules que tenim (N) entre el nombre de partícules que formen 1 mol (N<sub>A</sub>). Per tant:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

En l'expressió anterior, quan N siga el nombre total d'àtoms, n serà el nombre de mols d'àtoms; quan N siga el nombre total de molècules, n serà el nombre de mols de molècules, etc.

*A.16. Esbrineu quants mols de molècules d'aigua hi ha en 602 bilions (602 · 10<sup>12</sup>) de molècules d'aigua. R. 10<sup>9</sup> mols*

*A.17. Calculeu quantes molècules de nitrogen hi ha en 5 mols de nitrogen. Quants àtoms de nitrogen hi haurà? R. 3'01 · 10<sup>24</sup> molècules de N<sub>2</sub> ; 6'02 · 10<sup>24</sup> àtoms de N*

Es denomina **massa molar** d'una substància química a una magnitud, el valor numèric de la qual, coincideix amb el de la massa corresponent a un mol de les entitats elementals característiques que conformen la substància. Aquesta magnitud es designa per M. Quan s'expressa en g/mol, el seu valor numèric coincideix amb el de la massa molecular relativa (en el cas que les entitats elementals de la substància siguin molècules o agregats d'ions) o amb el de la massa atòmica relativa (en el cas que les entitats elementals de la substància siguin àtoms simples).

Així, per exemple, si la massa molecular relativa de l'aigua és 18, la massa molar seria 18 g/mol i això significa que cada mol de molècules d'aigua (les entitats elementals de l'aigua) té una massa de 18 g. Anàlogament, si la massa molecular relativa del nitrogen és 28, la massa molar relativa seria 28 g/mol, la qual cosa significaria que un mol de molècules de nitrogen (les entitats elementals del nitrogen) posseiria una massa de 28 g.

*A.18. Esbrineu la massa molar del neó, or, nitrogen, ozó, àcid sulfúric i clorur de magnesi, indicant el seu significat. R. 20'18, 196'97, 28'02, 48, 98 i 95'31 g/mol, respectivament.*

En conseqüència, a partir d'ara, per expressar la massa molar M d'una substància es donarà la seua massa molecular o la massa atòmica (segons corresponga), acompanyada de la unitat g/mol.

**A.19.** Deduïu quina relació existirà entre la massa expressada en g d'una certa mostra d'una substància, la seua massa molar expressada en g/mol i el nombre de mols de la substància.

Com la massa en grams d'1 mol de substància coincideix amb la seua massa molar M expressada en g/mol, per trobar el nombre de mols (n) que hi ha en una massa total de "m" grams d'una substància, caldrà dividir el valor de la massa entre els grams que corresponen a 1 mol (donats per M). Per tant:

$$n = \frac{m}{M}$$

En l'expressió anterior, n sempre correspon als mols de les partícules (àtoms o agrupacions d'àtoms) pròpies o característiques de la substància en qüestió.

**A.20.** Es disposa de 90 g d'aigua. Es demana:

- a) Nombre de mols de molècules d'aigua
- b) Nombre de molècules d'aigua
- c) Nombre d'àtoms d'oxigen i nombre d'àtoms d'hidrogen

R. a) 5; b)  $3 \cdot 01 \cdot 10^{24}$ ; c)  $6 \cdot 02 \cdot 10^{24}$  àtoms d'hidrogen i  $3 \cdot 01 \cdot 10^{24}$  àtoms d'oxigen.

**A.21.** Determineu a quina massa en grams correspondran les següents quantitats en mols:

- a) 4 mols d'àtoms d'oxigen.
- b) 3'2 mols d'àcid sulfúric.
- c) 5 mols de sodi.
- d) 1'5 mols de clorur d'alumini

R. a) 64 g; b) 115 g; c) 313'6 g; d) 200'25 g.

**A.22.** Obteniu el nombre de mols de molècules a què corresponen:

- a) 34 g d'amoniac
- b) 17 g de sulfur d'hidrogen
- c) 40 g de diòxid de carboni
- d) Un milió de molècules d'aigua

R. a) 2 mols de molècules; b) 0'5 mols de molècules; c) 0'91 mols de molècules; d)  $1 \cdot 66 \cdot 10^{18}$  mols de molècules.

**A.23.** Esbrineu en quin dels següents casos hi ha més grams de substància.

- a) 0'2 g d'àcid nítric
- b) 0'5 mols de sodi.
- c) 1/4 mols de diòxid de carboni
- d) Mil milions d'àtoms de plom.

R. En el b.

**A.24.** Partint d'un litre d'aigua líquida, realitzeu els càlculs necessaris per esbrinar:

- a) Quants mols d'aigua hi ha.
- b) Quants grams d'hidrogen i quants d'oxigen.

R. a) 55'5 mols; b) 888'9 g d'oxigen i 111'1 g d'hidrogen

**A.25.** Determineu la massa en grams d'una sola molècula d'aigua. A continuació, feu un càlcul aproximat de quantes molècules d'aigua pot haver-hi en una gota d'aquest compost.

R. Aproximadament  $3 \cdot 10^{-23}$  g. Suposant una massa de 0'5 g hi hauria, aproximadament,  $1 \cdot 67 \cdot 10^{22}$  molècules (16700 trillions).

## 6. Reaccions químiques

Una gran part de les substàncies que s'utilitzen al laboratori es troben en dissolució, per la qual cosa ens interessa també saber calcular la quantitat en mols d'una substància que es trobe dissolta, cosa que farem a continuació. Convé tindre en compte que una dissolució no ha de ser necessàriament d'un sòlid en un líquid. Es donen també altres casos com, per exemple, gasos en líquids (com ocorre amb les begudes carbòniques), líquids en líquids, etc. A la substància que es troba en menor quantitat (la que es dissol) l'anomenem **solut** i a l'altra, **dissolvent**. El conjunt d'ambdós forma la dissolució. Com més solut existisca en un volum determinada de dissolució, diem que major és la seua **concentració** (està més concentrada).

### 7.2. Molaritat d'una dissolució

El curs passat vam aprendre a expressar la concentració en grams/litre o en %. A partir de la definició del concepte de mol es pot establir la concentració d'una dissolució a partir de la concentració molar o **molaritat**, que ens indica els mols de solut existents per cada litre de dissolució.

La unitat de mesura per a la molaritat és mols de solut/ litre de dissolució. Així, per exemple, quan diem que la molaritat d'una dissolució és de 5 mol/ℓ estem indicant que, cada litre d'eixa dissolució conté 5 mols de solut. També es pot escriure com  $C = 5 \text{ M}$  (llegiu 5 molar).

*A.26. Proposeu una expressió que servisca per calcular la molaritat d'una dissolució coneixent la massa de solut  $X$  que hi ha dissolt, la massa molar i el volum total de la dissolució.*

Bastarà dividir el total de mols de solut existents ( $n_s$ ) en la dissolució, entre el volum total de la dissolució expressat en litres, d'eixa forma sabrem quants mols de solut hi ha per cada litre de dissolució. Per tant:

$$C = \frac{\text{mols de solut}}{\text{litres de dissolució}} \rightarrow C = \frac{n_s}{V} \quad \text{Com } n_s = m_s/M, \text{ s'obté fàcilment: } C = \frac{m_s}{M \cdot V}$$

*A.27. Calculeu la molaritat d'una dissolució preparada dissolent 8'45 g de sulfat de coure (II) en aigua fins obtenir un volum de 850 cm<sup>3</sup> de dissolució. (Busqueu les dades necessàries a un sistema periòdic).*

R.  $C = 0'06 \text{ M}$  (o, el que és equivalent,  $C = 0'06 \text{ mols/l}$ ).

*A.28. Descriviu detalladament com es podrien preparar 500 cm<sup>3</sup> d'una dissolució de sulfat de coure (II) 1'5 M.*

*A.29. Calculeu quants grams de clorur de sodi hi ha en 250 cm<sup>3</sup> d'una dissolució aquosa 0'1 M d'aquesta sal.* R. 1'46 g

*A.30. Calculeu la concentració molar d'una dissolució preparada dissolent 7'0 cm<sup>3</sup> d'una dissolució aquosa de HCl 12 M en aigua destil·lada, de manera que s'obtinguen 200 cm<sup>3</sup> de dissolució final.* R.  $C = 0'42 \text{ M}$



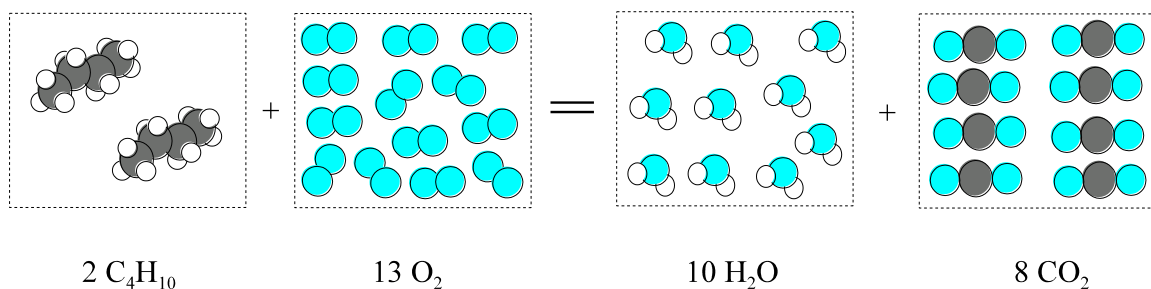
### 7.3. Iniciació als càlculs estequiomètrics

Quan llegim l'equació corresponent a una reacció química, estem obtenint informació sobre la proporció en què les distintes substàncies participen en la mateixa i, ja que el que tenim són proporcions, aquesta informació es pot utilitzar tant en termes de partícules com en mols de partícules.

*A.31. La combustió del butà és una reacció química molt utilitzada, ja que l'energia que s'obté a partir de la mateixa sol utilitzar-se en calefacció, per cuinar, etc. Com tots els hidrocarburs (compostos de carboni i hidrogen), quan el butà es crema en l'aire, produeix diòxid de carboni i aigua:*  $2\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g}) + 13\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 10\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 8\text{CO}_2(\text{g})$

*Extraieu tota la informació continguda en l'anterior equació.*

L'equació química mostrada proporciona informació qualitativa sobre les substàncies que hi intervenen (composició i estat físic) i també informació quantitativa en dues escales: l'escala atòmica (proporció en què es combinen les molècules) i l'escala macroscòpica (proporció en què es combinen els mols de les distintes substàncies que hi intervenen). En la figura següent es representa de forma esquemàtica la proporció en què es combinen les partícules de les substàncies reaccionants i dels productes de la reacció:



A nivell atòmic podem dir que:

**Cada 2 molècules de butà que reaccionen ho fan amb 13 molècules d'oxigen per formar 10 molècules d'aigua i 8 molècules de diòxid de carboni.**

Convé tindre en compte que els coeficients indiquen la proporció en què es combinen les partícules i no, per descomptat, el nombre de partícules que intervenen realment en la reacció, que, habitualment, és immens. L'equació ens indica també que, per exemple, cada 20 milions de molècules de butà que reaccionen, ho faran amb 130 milions de molècules d'oxigen per donar 100 milions de molècules d'aigua i 80 milions de diòxid de carboni. Per tant, igual podem referir-nos al nombre d'Avogadro de molècules i afirmar a nivell macroscòpic que:

**Cada 2 mols de molècules de butà que reaccionen ho fan amb 13 mols de molècules d'oxigen per donar 10 mols de molècules d'aigua i 8 mols de molècules de diòxid de carboni.**

En la identitat anterior és on resideix el gran avantatge d'utilitzar el concepte de mol: **tot allò que diguem sobre la proporció en què es combinen les partícules en una reacció química, és també vàlid per a la proporció en què es combinen els mols d'eixes mateixes partícules.** És a dir, els coeficients que apareixen davant de les fórmules en les equacions químiques ajustades, poden significar tant partícules com mols de partícules. Recordem, a més, que utilitzar els mols de quantitat de substància per calcular, per exemple, els grams de massa, és quelcom que ja sabem fer.

## 6. Reaccions químiques

**A.32.** *Quants quilograms de CO<sub>2</sub> s'obtinguen en cremar-se els 12 kg de butà?*

L'equació química ajustada és:  $2 \text{C}_4\text{H}_{10} (\text{g}) + 13 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 10 \text{H}_2\text{O} (\text{g}) + 8 \text{CO}_2 (\text{g})$

Per respondre la pregunta que es planteja, podem trobar en primer lloc quants mols de butà hi ha en eixa massa de 12 kg.

$$n_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = m/M = 12000/58 = 206,9$$

A continuació mitjançant l'anàlisi de la proporció en què es combinen els mols (obtinguda de l'equació química ajustada), és possible esbrinar quants mols de CO<sub>2</sub> s'obtinguen.

$$\frac{2}{8} = \frac{206,9}{n_{\text{CO}_2}} \rightarrow n_{\text{CO}_2} = 206,9 \cdot 8/2 = 827,6 \text{ mols}$$

Finalment es calcula la massa de CO<sub>2</sub> corresponent amb ajuda de la relació existent entre la massa (expressada en grams) i la quantitat de substància (expressada en mols). Naturalment, en aquesta reacció se suposa que hi ha oxigen de sobra per cremar totalment el butà (com ocorre, per exemple, si la combustió es realitza a l'aire lliure).

$$m_{\text{CO}_2} = n \cdot M = 827,6 \cdot 44 = 36414,4 \text{ g} = 36,4 \text{ kg}$$

Convé tindre en compte que les reaccions químiques no solen ocórrer de manera que totes les substàncies reaccionants es transformen totalment en productes de la reacció. El més habitual és que, per exemple, quan reaccionen diverses substàncies inicials, sempre ens sobre alguna quantitat d'una o d'altra. A més si la reacció transcorre en un medi tancat, en ocasions és possible que els productes també puguin reaccionar i formar de nou les substàncies de partida.

**Els coeficients que apareixen davant de les fórmules en una equació que represente una reacció química mai indiquen els mols realment existents de les substàncies que intervenen, sinó la proporció en què aquests mols es combinen.**

Els àcids ataquen a molts metalls desprenent-se hidrogen gasós a conseqüència de la reacció. En el problema següent es tracta un d'aquests casos a mena d'exemple:

**A.33.** *L'àcid clorhídric HCl reacciona amb Zn (sòlid) formant-se clorur de zinc (aquós) (ZnCl<sub>2</sub>) i hidrogen (gas), que es desprèn.*

a) *Escriu l'equació química corresponent, degudament ajustada.*

b) *Quin volum (en cm<sup>3</sup>) d'una dissolució de HCl de concentració 2 mol/l s'haurà necessitat, com a mínim, perquè reaccionen totalment 25 g de zinc?*

c) *Quina massa d'hidrogen s'haurà produït?*

R. b) 382 cm<sup>3</sup>; c) 0,76 g

El monòxid de carboni és un gas tòxic, responsable de molts enverinaments i un dels contaminants més habituals de l'atmosfera. Es produeix quan la combustió té lloc sense suficient oxigen, és a dir, quan és incompleta. La combustió de la gasolina en els motors d'explosió també origina un percentatge apreciable de CO. Així mateix la combustió del carbó en les centrals tèrmiques és altra de les fonts habituals d'aquest gas, el qual es forma junt amb CO<sub>2</sub> en cas de no produir-se una combustió completa.

**A.34.** En un braser dels que abans es col·locaven baix de les taules per escalfar-se els peus, es crema carbó en un medi que, sovint, està poc oxigenat, amb la qual cosa, la combustió del carboni present produiria en aquest cas monòxid de carboni, verinós.

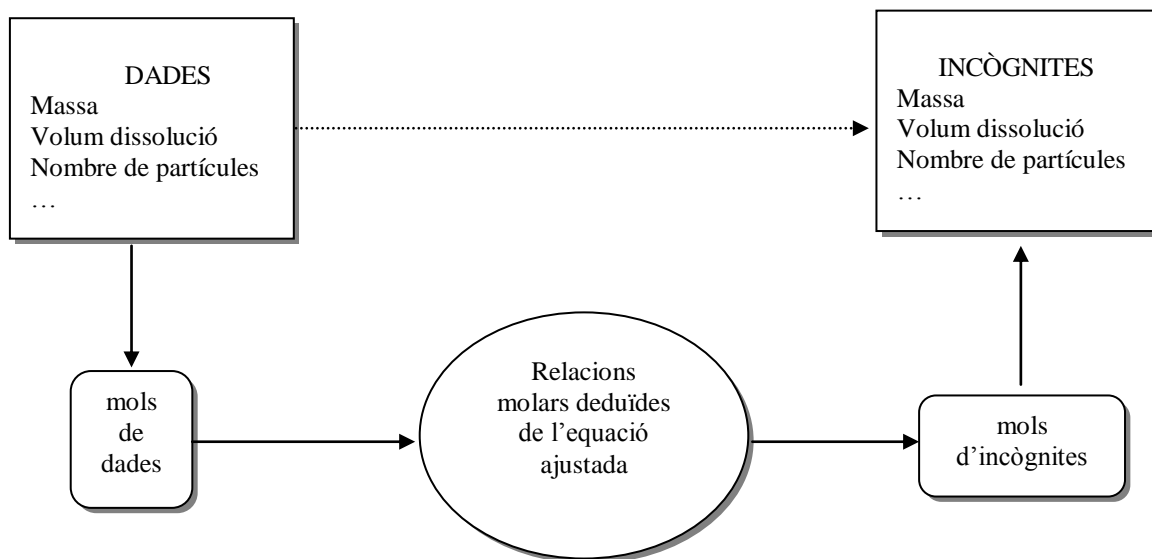
a) Escriviu correctament l'equació química corresponent a la reacció del C(s) amb l'oxigen per formar l'esmentat gas.

b) Calculeu els grams de CO(g) que s'obtidrien en la combustió de 400 g de C segons la reacció anterior

c) Determineu la massa d'oxigen empleada en l'esmentada combustió.

R. b) 933'3 g; c) 533'3 g.

D'acord amb les activitats anteriors, podem establir un mètode general per resoldre els problemes d'estequiometria. Essencialment, es tractaria d'assegurar-se, en primer lloc, que l'equació química està correctament escrita. Després, s'expressarien totes les dades del problema en mols, utilitzant les relacions necessàries (segons que les dades s'hagen proporcionat com masses, volums de gasos, volums de dissolucions, etc.). Després, mitjançant les proporcions en què es combinen els mols de les substàncies presents a l'equació, s'obtidrien les incògnites, expressades en mols. Finalment, caldria obtindre, a partir dels mols i de les relacions pertinents, els valors de les incògnites en les unitats en què se'ns demana a l'enunciat. Un possible esquema del procés descrit seria:



## 8. VELOCITAT DE REACCIÓ

El model de reacció química que hem vingut manejant es basa, com hem vist, en suposar que una reacció té lloc per mitjà de col·lisions entre les partícules (molècules, àtoms, ions) de les substàncies reaccionants. A causa dels xocs, es produeix la ruptura d'uns enllaços i la formació d'altres nous, donant lloc a altres substàncies (productes de la reacció). Una vegada conegut aquest fet, la pregunta que se'ns planteja és, podem afavorir una reacció química fent que transcórrega més ràpidament?

**A.35.** Quin interès pot tindre que una reacció química es produïska més o menys ràpidament?

## 6. Reaccions químiques

Que una reacció química es produïska com més prompte millor té gran importància en la indústria, ja que per fer rendible la fabricació de determinats productes, és evident que ha de poder fer-se en un temps no massa gran.

En la vida quotidiana utilitzem contínuament mètodes per augmentar o disminuir la velocitat a què ocorren determinades reaccions químiques. Per exemple, quan usem olles a pressió per cuinar abans els aliments o quan guardem aquests al frigorífic, per conservar-los durant més temps. El procés d'inflat del air-bag dels automòbils es basa en una reacció química que transcorre en mil·lèsimes de segon, i les explosions són reaccions químiques que tenen lloc a enorme velocitat.

En molts casos, per augmentar o retardar la velocitat pròpia a què transcorre una reacció s'utilitzen "catalitzadors", que són substàncies que no es consumeixen en la mateixa, però que, d'alguna manera, modifiquen la seua velocitat. Un exemple és la formació d'aigua a partir d'hidrogen i oxigen gasosos. Per exemple, a temperatura ambient, la velocitat de reacció de la mescla de  $\text{H}_2(\text{g})$  i  $\text{O}_2(\text{g})$ , és pràcticament nul·la. En canvi, si posem la mescla gasosa en contacte amb una reixeta de platí, l'hidrogen comença a reaccionar ràpidament amb l'oxigen per formar aigua. Els conservants que s'utilitzen per envasar conserves són catalitzadors que disminueixen la velocitat de la reacció, de manera que els aliments es conserven durant més temps sense fer-se malbé.

Els processos metabòlics que sustenten la vida, i en els quals estan implicades complexes molècules que han de ser sintetitzades (anabolisme) o degradades (catabolisme), necessiten la presència de substàncies, anomenades biocatalitzadors (enzims, vitamines, hormones, etc.) que acceleren i, de vegades, detenen, eixos processos químics.

La velocitat de les reaccions químiques depèn de diversos factors, que es poden determinar experimentalment. D'altra banda, si el model elemental de reacció química que venim manejant és vàlid, no sols haurà d'explicar els fets experimentals, sinó també, fins i tot, poder predir alguns d'ells.

*A.36. Indiqueu, a manera d'hipòtesi, partint del model de reacció establert fins ací, quins factors poden influir en la velocitat de reacció i com cal esperar que influïsquen, justificant-ho tot qualitativament.*

Partint del model de col·lisions podem pensar que la velocitat d'una reacció química dependrà de:

**a)** El grau de divisió de les substàncies reaccionants (en aquelles reaccions en què intervinguen substàncies reaccionants en fase sòlida). Concretament cal suposar que, com major siga el grau de divisió, major serà la velocitat a què transcorre la reacció, ja que augmentar el grau de divisió implica augmentar la superfície de contacte entre els reactius i, per tant, el nombre de xocs per unitat de temps i de superfície.

**b)** La concentració de les substàncies reaccionants. En aquest cas és evident que, si augmenta la concentració d'una de les substàncies, en un determinat volum hi haurà més partícules d'aquesta substància, amb la qual cosa s'incrementarà el nombre de xocs i, conseqüentment, la velocitat de reacció.

**c)** La temperatura. Un augment de la temperatura a què es troben les substàncies reaccionants suposa augmentar l'energia cinètica de moltes partícules i, en conseqüència, s'incrementarà el

nombre de xocs eficaços (capaços de trencar els enllaços dels reactius per formar posteriorment els productes), fent que la reacció transcórrega més ràpidament.

**d)** Com hem dit anteriorment, la presència de determinades substàncies, anomenades catalitzadors, també pot modificar en alguns casos la velocitat d'una reacció, encara que no intervinga en ella i el propi catalitzador es recupere intacte al final de la mateixa.

### 8.1. Influència del grau de divisió dels reaccionants

Són moltes les experiències que poden mostrar com, en augmentar el grau de divisió d'alguna de les substàncies reaccionants es pot augmentar (de vegades espectacularment) la velocitat a què transcorre una reacció química. A títol d'exemple proposem algunes d'elles.

Una barreta de ferro pot escalfar-se amb la flama d'un Bunsen i no es crema. Però, si la substituïm per un poc de ferro en pols (que col·locarem en la punta d'una espàtula), veurem com es crema fàcilment, combinant-se amb l'oxigen de l'aire.

El vinagre ataca el marbre, com pot comprovar-se fàcilment per les taques que deixa en el banc de la cuina. Una experiència molt senzilla de realitzar consisteix a disposar de dos trossos aproximadament iguals de marbre (carbonat de calci,  $\text{CaCO}_3$ ) i polvoritzar només un d'ells. A continuació es col·loquen en sengles gots de precipitats i s'afegeix vinagre comercial. A simple vista es pot reconèixer (per les bombolles que es produeixen) que, en el cas del marbre picat, la reacció es produeix més ràpidament.

El mateix fenomen pot observar-se fent reaccionar el HCl concentrat (per exemple 2 M) amb altres reaccionants habitualment disponibles als laboratoris dels centres escolars com, per exemple, pols de magnesi i cinta de magnesi o pols de zinc i granalla de zinc (sempre amb les precaucions necessàries, utilitzant quantitats mínimes, i amb el control del professor, tant ací com en la resta d'experiències).

### 8.2. Influència de la temperatura

La influència de la temperatura és un fenomen que també es posa de manifest habitualment. Tots sabem que els aliments que guardem al frigorífic es mantenen durant més temps que si els deixem fora d'ell. Açò es deu al fet que, a l'interior del frigorífic, la temperatura és més baixa que fora i les reaccions no es produeixen amb tanta facilitat. Per comprovar com influeix la temperatura podem utilitzar la reacció entre l'àcid clorhídric i altres substàncies com el marbre en trossos, la granalla de zinc o la cinta de magnesi. El procés consisteix en realitzar una d'eixes reaccions a diferents temperatures. Per dur-ho a terme, pot col·locar-se la mateixa quantitat de clorhídric en dos gots i afegir a cadascun d'ells la mateixa quantitat aproximada de marbre o granalla de zinc (millor marbre, perquè el clorur de zinc és un producte molt perillós per al medi ambient). Si agafem un dels gots i el posem a escalfar, veurem com es desprenen més bombolles i la reacció transcorre més ràpida que a l'altre.

### 8.3. Influència de la concentració

Altre dels factors que, d'acord amb el model de reacció, hauria d'influir en la velocitat és la concentració de les substàncies reaccionants. Utilitzant les substàncies proposades anteriorment, és fàcil veure de forma qualitativa que si, per exemple, en compte d'utilitzar àcid clorhídric concentrat 2 molar, utilitzem àcid clorhídric diluït (per exemple afegint-li aigua destil·lada), la velocitat de qualsevol de les reaccions estudiades disminueix sensiblement.

## 6. Reaccions químiques

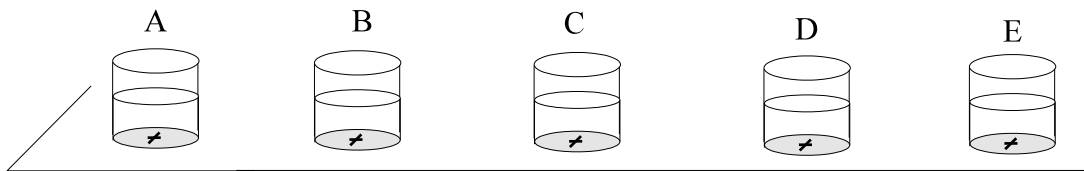
Altra pràctica interessant per estudiar l'efecte de la concentració sobre la velocitat d'una reacció, és la reacció entre el tiosulfat de sodi i l'àcid clorhídric, en la qual es produeix un precipitat de sofre tant més ràpidament com major siga la concentració.

Per realitzar-la, podem fabricar  $200\text{ cm}^3$  de dissolució de tiosulfat de sodi amb una concentració de  $40\text{ g/l}$ . A continuació utilitzarem 5 gots de precipitats en els que col·locarem distints volums d'aquesta dissolució ( $50\text{ cm}^3$ ,  $40\text{ cm}^3$ ,  $30\text{ cm}^3$ ,  $20\text{ cm}^3$  i  $10\text{ cm}^3$ , que retolarem com A, B, C, D i E respectivament). A cadascun d'eixos gots (excepte a l'A, que conté ja  $50\text{ cm}^3$ ) afegirem aigua destil·lada fins completar un volum de  $50\text{ cm}^3$  de dissolució. D'aquesta forma, tindrem 5 dissolucions de tiosulfat d'una concentració cada vegada menor.

**A.37.** Calculeu les concentracions en cadascuna de les dissolucions anteriors des d'A fins a E.

R.  $40\text{ g/l}$ ;  $32\text{ g/l}$ ;  $24\text{ g/l}$ ;  $16\text{ g/l}$ ;  $8\text{ g/l}$  respectivament

A continuació col·locarem, davall de cadascun dels gots, un tros de full de paper blanc en el que haurem dibuixat una creu amb retolador, segons s'indica a la figura. Després afegirem al primer (A)  $6\text{ cm}^3$  d'àcid clorhídric 2 molar i anotarem el temps que passa fins que la creu deixi de veure's, recoberta pel sofre precipitat. Repetirem el procés amb cadascun de la resta de gots i així, haurem obtingut una taula de concentracions i temps. El temps en cada cas serà indicatiu de la velocitat de la reacció.



**A.38.** Què cal esperar que ocorregi segons el model de reacció que venim manejant?

Conforme la concentració de solut és major, el nombre de xocs entre les partícules reaccionants augmentarà i, conseqüentment, també ho farà la velocitat de la reacció, de manera que, el precipitat de sofre, es formarà tant més a pressa com major siga la concentració de la dissolució de tiosulfat. Una forma de visualitzar-ho de manera global i ràpida és representar gràficament la concentració front al temps.

### 8.4. Naturalesa de les substàncies reaccionants, catalitzadors i velocitat de reacció.

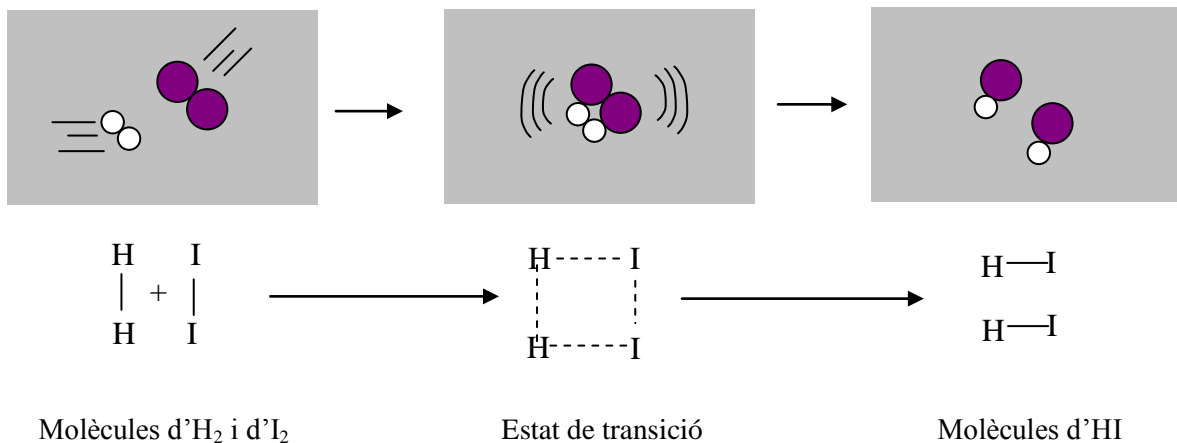
Com hem assenyalat a l'inici de l'apartat, és possible canviar la velocitat d'una reacció a partir de variacions en la temperatura, en el grau de divisió dels reactius o en la concentració dels mateixos. La influència d'aquests factors s'explica per la major energia de les molècules, la major superfície d'exposició o la major quantitat d'aquestes. Ara bé, com expliquem la influència dels catalitzadors en la velocitat d'una reacció si, a més, aquests no participen en la mateixa?

Altra qüestió que se'ns planteja és la diferent velocitat observada en reaccions molt semblants, en les que, mantenint constants tots els factors, varia únicament un dels reactius. Açò ocorre, per exemple, en:  $\text{F}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HF}(\text{g})$  i  $\text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$ . En dur-la a terme, s'observa que la velocitat de reacció és molt major en la primera que en la segona.

El model elemental de reacció que venim manejant, pot explicar la dependència de la velocitat de reacció amb la naturalesa de les substàncies reaccionants admetent que, en tractar-se d'àtoms diferents, els enllaços que cal trencar i s'han de formar també ho són. En general ocorre que, aquelles reaccions en què es requereix la ruptura i formació de molts enllaços, solen ser més lentes. No obstant això hi ha excepcions i, si es vol aprofundir més, cal introduir alguns conceptes nous. També necessitem una explicació per a la influència dels catalitzadors.

Les reaccions ocorren a causa de les col·lisions entre les partícules de reactius. En les col·lisions es trenquen els enllaços de les partícules reaccionants i es formen nous enllaços, que donen lloc a les partícules que constitueixen els productes de la reacció, a través d'un estat intermedi inestable, anomenat **estat de transició**, en el que queden momentàniament unides les partícules reaccionants.

L'estat de transició està format per les molècules reaccionants que han xocat i han quedat unides momentàniament. Mentre dura, els enllaços dels reactius es deformen i debiliten i comencen a formar-se els enllaços que donaran lloc als productes. Es tracta d'un estat d'alta energia, i per tant inestable, per la qual cosa es descompon immediatament després de formar-se, per generar els productes de la reacció. En la figura següent s'ha representat la reacció entre  $I_2(g)$  i  $H_2(g)$  per donar  $HI(g)$ , incloent l'estat de transició format. Els enllaços que es formen en eixe estat tenen més longitud i energia que els enllaços I-I, H-H i H-I.



Perquè una col·lisió siga eficaç, és a dir, perquè pugua formar-se l'estat de transició, cal que les molècules xoquen amb una orientació favorable i que ho facen amb la suficient energia cinètica com per originar aquest estat d'alta energia química que és l'estat de transició. L'energia necessària perquè s'abaste aquest estat rep el nom **d'energia d'activació** ( $E_a$ ).

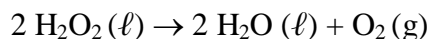
*Per què la velocitat d'una reacció depèn de la natura de les substàncies reaccionants? Com poden influir els catalitzadors?*

L'energia d'activació de l'estat de transició determina el nombre de xocs que són eficaços a una determinada temperatura (com major siga l'energia d'activació, menor serà la quantitat de xocs que resultaran eficaços), per tant, eixa mateixa energia determina la velocitat de reacció a eixa temperatura. Cal tindre en compte que l'energia d'activació té a veure amb el nombre d'enllaços que s'estableixen en l'estat de transició i l'energia dels mateixos, el que al seu torn depèn de la naturalesa de reaccionants i productes. En conseqüència, la velocitat de reacció depèn de la naturalesa de reactius i productes i, per tant, serà característica de cada reacció.

## 6. Reaccions químiques

Els catalitzadors són substàncies que modifiquen la velocitat de reacció, perquè fan que transcórrega per camins diferents als que tenen lloc quan ells no estan presents. En ells, es produeix un estat de transició diferent, en el que es troba el propi catalitzador. Com es tracta d'un estat de transició diferent, l'energia també ho serà i açò explica l'acció del catalitzador: si rebaixa l'energia d'activació, hi haurà més xocs eficaços per a una determinada temperatura i si l'augmenten hi haurà menys. En conseqüència, un catalitzador positiu disminueix l'energia d'activació i augmenta la velocitat de reacció; un catalitzador negatiu, o verí de reacció, augmenta l'energia d'activació i disminueix la velocitat de reacció.

Una reacció química en què podem apreciar el paper d'un catalitzador és la descomposició de l'aigua oxigenada en aigua i oxigen, segons:



Aquesta reacció ocorre molt lentament en condicions ordinàries, però si en un tub d'assaig que haurem omplert prèviament fins a la meitat amb aigua oxigenada, afegim un poc de diòxid de manganès ( $\text{MnO}_2$ ) com catalitzador<sup>1</sup>, veurem que la reacció de descomposició ocorre ràpidament (es desprèn oxigen), sense que el catalitzador s'altere. Podem comprovar que el que es desprèn és oxigen, perquè, si acostem amb cura un llumí encès, la flama s'aviva.

Quan es tira aigua oxigenada sobre la pell no ocorre res, però si hi ha una ferida, sabem que es produeix un procés en què es desprenen bombolles d'oxigen, formant-se una espècie d'escuma blanca. Això ocorre a causa de la presència en la sang d'unes substàncies que actuen com catalitzadors, augmentant la velocitat de descomposició de l'aigua oxigenada (anàlogament a com ho feia el  $\text{MnO}_2$  en la reacció anterior) i que es denominen enzims. En canvi, un catalitzador negatiu per a la descomposició de l'aigua oxigenada és la "acetanilida" ja que l'addició de mínimes quantitats d'aquesta substància a una dissolució d'aigua oxigenada, l'estabilitza impedit la seua descomposició.

## 9. CANVIS D'ENERGIA EN LES REACCIONS QUÍMIQUES

Per trencar qualsevol enllaç químic (com, per exemple, el que manté units als dos àtoms d'oxigen en la molècula d' $\text{O}_2$ ), es requereix sempre una certa quantitat d'energia. Al contrari, quan es produeix un enllaç químic entre àtoms (o grups d'àtoms) inicialment aïllats, sempre "s'allibera" energia. D'acord amb el principi de conservació de l'energia, la quantitat d'energia necessària per trencar un enllaç determinat haurà de coincidir amb l'energia que s'allibere en produir-se eixe mateix enllaç.

Com en qualsevol reacció química es trenquen i es formen molts enllaços, la conseqüència normal serà que l'energia total necessària per trencar els enllaços que mantenen units als àtoms dels reactius, formant molècules o altres agregats (que és l'energia que més compta), no coincidisca amb l'energia que es desprèn en la formació dels enllaços dels productes, per la qual cosa, segons el model de reacció que venim manejant, la majoria de les reaccions químiques aniran acompanyades de canvis d'energia.

---

<sup>1</sup> Atenció! Afegiu molt poca quantitat de catalitzador i allunyeu el tub d'assaig del cos, sense posar-lo de cara a ell. Si s'afegeix massa catalitzador, hi ha perill de que es produïsquen projeccions. Utilitzeu ulleres protectores i realitzeu l'experiència baix el control del professor.



### 9.1. Reaccions exotèrmiques

Què ocorre quan l'energia que s'allibera en la formació d'enllaços en els productes supera a l'energia necessària per trencar els enllaços en els reaccionants? Hi ha molts casos de reaccions químiques en què, el pas de les substàncies reaccionants als productes de la reacció, va acompanyat d'una transferència d'energia per mitjà de calor, des del sistema format pels productes de la reacció al medi exterior. De vegades, podem adonar-nos perquè, en tocar el recipient on té lloc la reacció notem que està calent. Aquest tipus de processos s'anomenen “**exotèrmics**”.

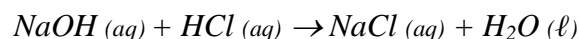
*A.39. Enumereu alguns exemples importants en què s'utilitzi l'energia transferida per una reacció exotèrmica al medi exterior.*

Podem referir-nos a les combustions d'alguns gasos com el butà o el gas natural, on l'energia que es desprèn sol utilitzar-se per cuinar, escalfar-nos, etc. També podem esmentar el motor d'explosió, basat en la combustió de gasolina, gasoil, alcohol, butà, etc., la combustió del carbó per produir electricitat (centrals tèrmiques), els diversos explosius, les simples estufes de llenya, brasers, etc. Altres exemples són el bufador oxhidrílic, les bateries i piles elèctriques, els processos metabòlics dels éssers vius (recordeu la calor que sentim després de menjar copiosament), etc.

Convé destacar que, en tots els casos, es produeix una aportació d'energia des de la reacció al medi circumdant, que es tradueix normalment en un augment de la temperatura d'aquest, així com en canvis diversos (cocció d'aliments, ruptura de roques, producció de moviments, etc.).

Aquesta transferència d'energia per mitjà de calor des de la reacció al medi es produeix perquè, en aquest tipus de reaccions, l'energia que s'allibera en la formació d'enllaços en els productes de la reacció, supera a l'energia necessària per trencar els enllaços en les substàncies reaccionants. La diferència es queda en els productes de la reacció i això es nota perquè la temperatura dels mateixos augmenta, raó per la qual, si la reacció no ocorre en un recipient aïllat (i el medi exterior i les substàncies reaccionants estan inicialment a la mateixa temperatura) es “cedeix calor” al medi circumdant.

*A.40. Aboqueu en un got de precipitats 50 cm<sup>3</sup> de dissolució d'hidroxid de sodi (NaOH) concentrat, a la temperatura ambient, col·loqueu un termòmetre dins i afegiu llavors 50 cm<sup>3</sup> de dissolució d'àcid clorhídric HCl concentrat, a la mateixa temperatura. La reacció química que es produeix ve donada per:*



*Comproveu que es tracta d'una reacció exotèrmica.*

Si realitzem la reacció química proposada, podrem comprovar que les parets del got s'escalfen. Si hem posat un termòmetre al seu interior, observarem que la temperatura (que inicialment era igual a la de l'ambient) augmenta. Es tracta d'una reacció exotèrmica. En tindre lloc la reacció, es produeix una diferència de temperatura (el sistema format per les substàncies que intervenen en la reacció es troba, al final de la mateixa, a una temperatura major que la del medi exterior). Com el sistema no està aïllat, a causa d'eixa diferència de temperatura, es produeix una transferència d'energia per mitjà de calor des del sistema al medi exterior. Sol dir-se que “se cedeix” calor a l'exterior.

## 6. Reaccions químiques

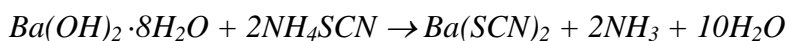
### 9.2. Reaccions endotèrmiques

Què ocurrerà quan l'energia que s'allibera en la formació d'enllaços en els productes siga inferior a l'energia necessària per trencar els enllaços en els reaccionants? Hi ha reaccions químiques en què ocorre el procés contrari a les reaccions exotèrmiques: es produeix una transferència d'energia per mitjà de calor des del medi exterior cap al sistema format pels productes de la reacció. Aquestes reaccions s'anomenen “**endotèrmiques**”.

Açò ocorre perquè l'energia que s'allibera en la formació dels nous enllaços és menor que l'energia que cal per trencar els enllaços en les substàncies reaccionants. Això fa que els productes de la reacció es troben a menor temperatura que l'existent a l'inici de la reacció. Si les parets del recipient on té lloc la reacció no foren aïllants (i el medi exterior i les substàncies reaccionants estigueren inicialment a la mateixa temperatura), no hi ha dubte que, llavors, es produiria una transferència d'energia per mitjà de calor des de l'entorn o medi exterior cap al sistema format pels productes de la reacció (que s'ha refredat).

El que acabem de mencionar explica que, si toquem les parets del recipient on s'ha produït la reacció, notem que estan fredes.

*A.41. Mescleu en un got 16 g d'hidroxid de bari hidratat  $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$  amb 8 g de tiocianat d'amoni,  $NH_4SCN$ . La reacció que es produeix ve donada per l'equació:*



*Comproveu que es tracta d'una reacció endotèrmica.*

Si realitzem la reacció química proposada, podrem constatar que les parets del got es refreden i el vapor d'aigua atmosfèric condensa sobre elles i es gela. Si hem posat un termòmetre a l'interior del got, observarem que la temperatura descendeix. Es tracta d'una reacció molt endotèrmica. Com els productes formats estan a menor temperatura que la temperatura del medi exterior, si el got no està aïllat, aquests productes “absorbiran” calor del medi exterior. Per això, si toquem el got, notarem que se'ns refreda la mà.

## RECAPITULACIÓ

Al llarg d'aquest curs, hem estudiat els canvis materials. Començarem pels mecànics, en els que sols canvia el valor de magnituds com la posició o la velocitat i, després, en el present tema, hem abordat l'estudi de transformacions materials més complexes en les que es produeixen canvis que afecten a l'estructura íntima de la matèria.

Al llarg del tema hem vist com unes substàncies (reaccionants) es podien transformar en altres (productes de la reacció) introduint un model elemental de reacció química, i hem estudiat alguns aspectes d'interès que acompanyen a aquest tipus de transformacions i que es poden explicar amb el model de reacció elaborat (càlculs estequiomètrics, velocitat de reacció i canvis d'energia que es poden produir).

Al tema següent ens ocuparem d'un tipus especial de compostos: les anomenades substàncies orgàniques o, més pròpiament, compostos del carboni.

**6. REACCIONS QUÍMIQUES. QÜESTIONS, EXERCICIS I PROBLEMES**

1. Reviseu el tema i elaboreu una llista, explicant el significat, de tots els termes nous introduïts en ell, com: substàncies reaccionants, productes de la reacció, nombre d'Avogadro, mol de substància, massa molar, condicions normals, solut, dissolvent, dissolució, molaritat, etc.

2. Escriviu i comenteu les fórmules introduïdes en el tema, a partir de les quals es puga obtenir el nombre de mols d'una substància en diversos casos.

3. Els peixos respiren oxigen. D'on l'obtenen?

- a) De l'oxigen dissolt a l'aigua
- b) De les bombolles d'aire que hi ha a l'aigua
- c) De l'oxigen de l'aigua (H<sub>2</sub>O), deixant l'hidrogen com a residu.

4. Quants àtoms hi ha en 5 grams d'Heli? R.  $7'53 \cdot 10^{23}$  àtoms

5. Quina massa en grams correspon a  $2'16 \cdot 10^{23}$  àtoms de ferro? R. 20 g.

6. Calcula la massa de  $1'20452 \cdot 10^{23}$  molècules de PCl<sub>5</sub>. R. 416'5 g.

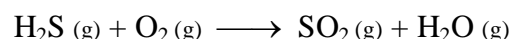
7. Tenim 500 cm<sup>3</sup> d'una dissolució que conté 12 mols de solut. Aboquem 28 cm<sup>3</sup> de la mateixa en un got i afegim 22 cm<sup>3</sup> d'aigua. Calcula la concentració molar de la nova dissolució formada (es suposa volums additius). Calcula la nova concentració molar si afegim aigua fins obtenir 500 cm<sup>3</sup> de dissolució.

R. C = 13'44 mol/ℓ; C' = 1'344 mol/ℓ

8. Mesclm mig litre de dissolució d'àcid sulfúric 1 M amb un litre de dissolució del mateix àcid 0'5 M. Quina serà la concentració molar de la dissolució resultant? R. C = 0'67 M

9. Mesclm 21 cm<sup>3</sup> de dissolució d'àcid sulfúric 3 M amb 1 litre d'altra dissolució del mateix àcid, que conté 0'2 mols de solut per cada 600 cm<sup>3</sup> de dissolució i finalment afegim 21 cm<sup>3</sup> d'aigua. Quina és la concentració molar de la dissolució resultant? R. C = 0'348 M

10. El sulfur d'hidrogen emès per les substàncies orgàniques en descomposició (per exemple, els ous podrits), es converteix en diòxid de sofre a l'atmosfera (com ja sabeu, un dels contaminants ambientals causants de la pluja àcida), mitjançant la reacció no ajustada:

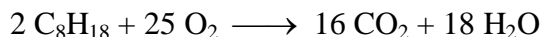


Calculeu la massa de SO<sub>2</sub> que es produirà, per cada kg de sulfur d'hidrogen que reaccione.

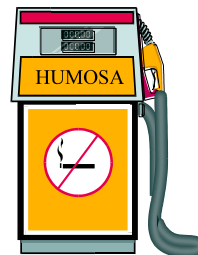
R. m = 1882'35 g.

## 6. Reaccions químiques

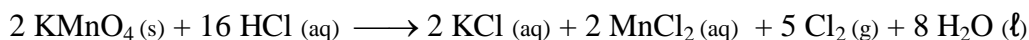
**11.-** El diòxid de carboni és un dels gasos responsables de l'efecte hivernacle que es produeix, per exemple, en la combustió dels hidrocarburs. La gasolina és una mescla complexa d'hidrocarburs. Un dels principals components de la gasolina és un hidrocarbur de fórmula  $C_8H_{18}$ . La reacció del mateix amb l'oxigen de l'aire ve expressada per:



Calculeu els kg de diòxid de carboni que es produiran en cremar-se completament 30 litres de  $C_8H_{18}$  líquid, de densitat  $0,7 \text{ g/cm}^3$ . R.  $m = 64,8 \text{ kg}$

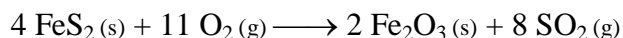


**12.** El clor és un gas verd groguenc d'olor coent i **molt verinós**. Es tracta d'un element molt reactiu que mata ràpidament a les plantes. Es pot seguir fàcilment la marxa d'un núvol de clor en l'aire (és un gas més pesat que l'aire) perquè les plantes en contacte amb ell perden el color verd i queden blanquejades. Actualment és un producte necessari, que té múltiples usos (plàstics, anestèsics, insecticides, desinfecció de l'aigua, blanquejador del paper, etc.). El clor es pot obtenir al laboratori fent reaccionar permanganat de potassi amb àcid clorhídric. La reacció que té lloc pot representar-se per la següent equació química:



- a) Calculeu els grams de permanganat que han de reaccionar per obtenir 1 g de clor.  
b) Calculeu quina massa de clor pot obtenir's quan  $100 \text{ cm}^3$  d'una dissolució de permanganat  $0,5 \text{ M}$ , reaccionen amb excés d'àcid clorhídric.  
R. a)  $0,88 \text{ g}$ ; b)  $8,88 \text{ g}$

**13.** Quasi tot el carbó d'hulla que es crema als Estats Units conté de l'1 al 3% de sofre, que generalment, es troba formant part de minerals com les pirites,  $FeS_2$ . Durant la combustió del carbó, el sofre es converteix en diòxid de sofre, segons:



Part del  $SO_2$  produït reacciona amb l'oxigen de l'aire convertint-se en  $SO_3$  que, finalment, es combina amb l'aigua present a l'atmosfera donant lloc a boires d'àcid sulfúric, que ataquen als materials de construcció com el marbre, intervenen en la formació de pluges àcides, etc. Així, s'ha afirmat, per exemple, que l'Acropolis d'Atenes ha patit més danys els últims 50 anys que durant els 20 segles precedents.

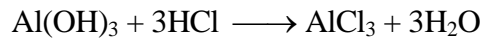


Cert tipus de carbó conté un 8% en pes de  $FeS_2$ . Calculeu quants kg de  $SO_2$  es produiran en cremar completament una tona de carbó. Si el 10% del  $SO_2$  produït donara lloc a àcid sulfúric segons la reacció (no ajustada)  $SO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ , quina massa d'àcid s'obtingria?  
Dades:  $Ar(S) = 32$ ;  $Ar(O) = 16$ ;  $Ar(H) = 1$ ;  $Ar(Fe) = 55,8$ .

R.  $85,48 \text{ kg}$  de  $SO_2$ ;  $13,09 \text{ kg}$  d'àcid.

14. Els àcids poden reaccionar amb hidròxids metàl·lics (substàncies bàsiques), donant una sal i aigua, de manera que les seues propietats àcides queden neutralitzades. En el problema següent es tracta un d'aquests casos:

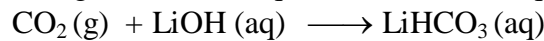
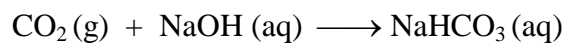
Un malalt d'úlceres d'estómac es pren un medicament a base d'hidròxid d'alumini per neutralitzar l'acidesa (deguda a l'àcid clorhídric present als sucus gàstrics). L'equació que representa eixa neutralització és:



Suposa que ets el seu metge i que cada dia el seu estómac rep 3 litres de suc gàstric amb una concentració de HCl de 0'08 mols/l. Quants  $\text{cm}^3$  d'un medicament consistent en una dissolució de  $\text{Al(OH)}_3$  de concentració 0'8 mols/l li aconsellaries que es prenguera cada dia?

R.  $100 \text{ cm}^3$

15. El problema de l'eliminació del  $\text{CO}_2$  exhalat pels tripulants de les naus espacials i estacions orbitals, pot resoldre's si s'absorbeix a partir de dissolucions de bases fortes com NaOH i LiOH segons les reaccions:



Doneu alguna raó **de pes** per la qual convinga utilitzar una o altra dissolució.

16. L'acetilè ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) és un gas que pot obtindre's a partir del carbur de calci ( $\text{CaC}_2$ ) per reacció amb l'aigua, per donar acetilè i hidròxid de calci  $\text{Ca(OH)}_2$ . La combustió de l'acetilè produeix una flama intensa, raó per la qual era utilitzat a principis de segle XX en la il·luminació.

Quan es crema completament acetilè es produeix diòxid de carboni i vapor d'aigua.



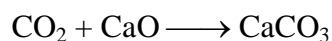
a) Escriviu les equacions químiques corresponents.

b) Calculeu la massa de diòxid de carboni que pot obtindre's en cremar completament 78 g d'acetilè.

d) Trobeu quants grams d'oxigen hauran reaccionat.

R. 264 g  $\text{CO}_2$  i 240 g d' $\text{O}_2$ .

17. Una forma d'eliminar el  $\text{CO}_2$  de l'aire d'una estació espacial seria fent-lo reaccionar amb "calç viva", CaO. L'equació és:

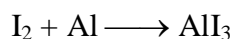


Un astronauta exhala cada dia aproximadament 1 kg de  $\text{CO}_2$ . Quants kg de CaO, com a mínim, caldria portar en l'estació espacial, si dos astronautes han d'estar en ella 5 dies?

R. 12'75 kg de CaO

## 6. Reaccions químiques

**18.** Es mesclen, en condicions adequades per a que reaccionen, 7'62 g de iode amb 1'35 g d'alumini, amb la qual cosa es produeix la reacció (no ajustada):



a) De quin dels dos reactius quedarà una part sense reaccionar? Quina quantitat sobrarà?

b) Quina massa, com a màxim, es podrà obtenir de iodur d'alumini?

R. Sobren 0'81 g d'Al i es pot obtenir un màxim de 8'16 g d'AlI<sub>3</sub>.

**19.** Preneu un terròs de sucre amb una pinça de fusta i exposeu l'extrem lliure del terròs a l'acció d'una flama. Comprovareu que el sucre s'ennegreix i es fon, però no es pren foc al mateix.

Torneu a realitzar l'experiència, però havent-hi posat prèviament a l'extrem lliure del terròs, un poc de cendra de cigarret. Comprovareu que el sucre ara sí que crema i es crema fins al final sense cap dificultat.

Completeu les frases següents: La cendra del cigarret actua com un \_\_\_\_\_ de forma que, mentre el sucre es transforma, ella no \_\_\_\_\_. No obstant, la seua presència és imprescindible per a augmentar la \_\_\_\_\_ a què transcorre la reacció de \_\_\_\_\_ del sucre.

**20.** A les mines, les partícules fines de carbó suspeses en l'aire, ofereixen un risc d'explosió molt elevat. Pel contrari, els trossos grans no suposen cap perill. A què es pot deure aquesta diferència?

**21.** Raoneu el motiu pel qual es produeixen els següents fets:

a) El ferro no es crema en contacte amb l'aire; la llana de ferro, sí que ho fa.

b) L'àcid clorhídric concentrat ataca el marbre molt més ràpidament que el diluït.

c) La reacció entre el F<sub>2</sub> (g) i l'H<sub>2</sub> (g) és molt més ràpida que la reacció entre I<sub>2</sub> (g) i H<sub>2</sub> (g).

d) L'addició de ferro accelera la reacció d'obtenció d'amoniac.

**22.** En una olla a pressió (l'interior de la qual està a 110 °C), es tarda la meitat de temps en cuinar un dinar que en un recipient obert. Expliqueu quin pot ser el motiu.

**23.** La velocitat de les reaccions es pot veure afectada per raons diverses. Indiqueu, justificant la resposta, quins factors estan implicats en els casos següents:

a) El calci reacciona més ràpidament en aigua calenta que en aigua freda.

b) Un full de paper de periòdic estès, es crema més ràpidament que un que s'haja enrotllat prèviament.

c) Un bosc es crema més ràpidament si bufa el vent que quan l'aire està en calma.

d) L'àcid clorhídric reacciona més ràpidament amb llimadures de ferro que amb un tros d'aquest metall.

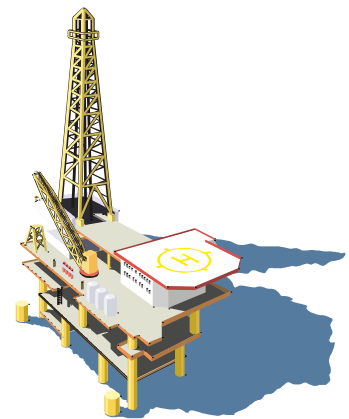
## 6. REACCIONS QUÍMIQUES. ANNEXES

### ANNEX 1. LES DISTINTES CARES DE LES REACCIONS QUÍMIQUES

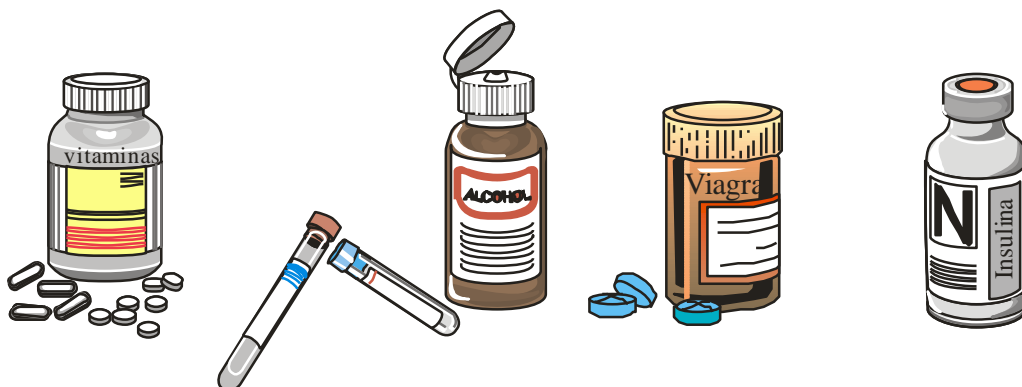
El debat respecte als efectes que tenen els canvis químics sobre el medi ambient i les persones en general, no hauria de reduir-se només als problemes derivats de la contaminació. No obstant, en l'actualitat, la paraula "Química" s'ha convertit en un terme amb característiques negatives. Així, per exemple, l'expressió "això té química" s'utilitza, sovint, per desqualificar un producte. Es tracta, sens dubte, d'una imatge massa simplista, que oblidia les grans contribucions que els canvis químics han suposat per a la humanitat.

*Reflexioneu sobre processos químics concrets que hagen permès canvis importants en diversos aspectes o sectors claus per al desenvolupament de la humanitat com: l'obtenció d'energia utilitzable, la indústria farmacèutica, l'agricultura, l'alimentació, la indústria tèxtil, la construcció, el transport, la neteja i la fabricació de nous materials.*

Quan a l'obtenció d'energia, podem referir-nos en primer lloc a la fabricació de la pólvora i, posteriorment de potents explosius (utilitzats per enderrocar vells edificis en ruïnes, construir túnels, carreteres, embassaments d'aigua, etc). També podem recordar la importància de l'obtenció de combustibles (transport de mercaderies i persones d'uns llocs a altres, cuinar aliments, calefacció, etc). Nosaltres mateixos, obtenim energia per mitjà d'un procés químic (la respiració).



En la indústria farmacèutica, no podem oblidar la importància de certs medicaments obtinguts a partir de processos químics, des de la tradicional aspirina (control del dolor, de la temperatura corporal, etc) a les píndoles anticonceptives (control de la natalitat), anestèsics (control del dolor), antibiòtics com la penicil·lina (combatre virus), vitamines, etc.



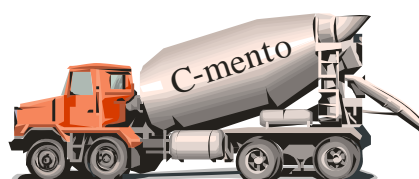
En l'agricultura, els adobs químics, units a l'ús d'herbicides i d'insecticides permeten augmentar el rendiment de les collites. La utilització de plàstics per fabricar hivernacles ha suposat una autèntica revolució en possibilitar-nos la disposició de molts productes fora de temporada.

## 6. Reaccions químiques

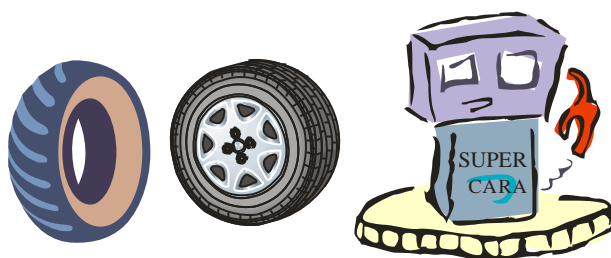
En l'alimentació, la fabricació de conservants alimentaris ha permès allargar la data de caducitat de molts productes. També la fabricació de llaunes (material resistent a l'oxidació) i d'envasos lleugers d'alumini, ha produït grans canvis en tota la indústria conservera i de refrescos.

En la indústria tèxtil, l'obtenció de teixits sintètics artificials a partir del petroli, alguns dels quals no precisen planxar-se, ha seguit de gran importància per a la fabricació de peces de vestir i per a augmentar la disponibilitat de temps lliure.

En la construcció podem trobar molts exemples de canvis químics i de control de diversos canvis. La fabricació de materials com l'algeps, el ciment, ceràmica, etc. té un paper crucial en la construcció, igual que altres materials com el ferro, l'alumini, les pintures, etc. Altres productes com els antioxidants, etc., serveixen per evitar o frenar canvis indesitjables (corrosió).



En la indústria del transport en general, l'obtenció de combustibles (gasolines, gasoil, alcohol, gas, etc.), d'olis lubricants per als motors, de cautxú per als pneumàtics, metalls, pintures i plàstics per a carrosseries, etc.



En la indústria de productes de neteja i de la cosmètica, la fabricació de sabons, detergents, productes com el lleixiu, l'amoniac, abrillantadors, ceras per al sòl, etc., han permès una major higiene de la població i control de malalties. D'igual forma, els perfums i productes de bellesa en general (tints de cabell, antiarrugues, protectors solars, etc.) fan que les persones ens trobem millor, amb un aspecte més agradable.

Podríem citar molts altres materials importants en la fabricació dels quals són necessaris canvis químics, com, per exemple, el paper (periòdics, llibres, etc.), el vidre (finestrals, portes, recipients, etc.), les gomes d'enganxar, els productes per eliminar les taques, els anticongelants en els vehicles, els colorants artificials, etc. Especial interès té la preparació i fabricació de nous materials, com el plàstic PVC (marcs de finestres, envasos, joguets, etc.), el gore-tex (roba i calçat esportiu), aliments deshidratats (excursionisme, viatges espacials, etc.), propel·lents per a vehicles espacials, cristalls líquids (rellotges, ordinadors, etc.), materials superconductors, etc.



*Els exemples anteriors permeten comprendre que la Química ha tingut i continua tenint contribucions molt positives per a la humanitat en possibilitar molts canvis i el control d'altres a la nostra conveniència. No obstant, això tampoc ha de fer-nos oblidar altres aspectes no tan beneficiosos.*

**L'increment de l'efecte hivernacle** consisteix en un augment de la temperatura mitjana del planeta produït per l'abocament a l'atmosfera de grans quantitats de gasos com el diòxid de carboni, metà, òxids de nitrogen i altres que es generen, sobretot, en cremar combustibles fòssils (vehicles a motor, centrals tèrmiques, calefacció, certes indústries, etc.).

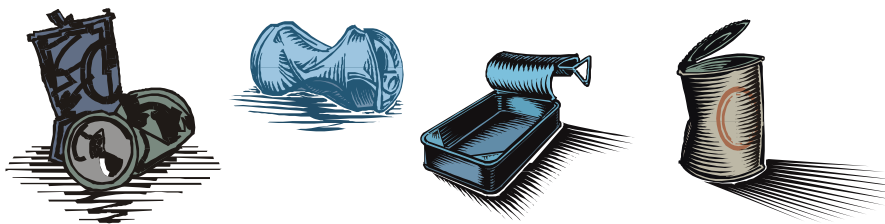


**La contaminació atmosfèrica i la pluja àcida**, que es produeixen també a causa de la presència de certs gasos a l'atmosfera, com els òxids de nitrogen i de sofre que es generen, per exemple, en cremar combustibles fòssils (derivats del petroli i carbó). Aquests gasos es traslladen fàcilment d'uns llocs a altres i poden combinar-se amb el vapor d'aigua per produir àcids nítric i sulfúric, causants de la pluja àcida responsable del deteriorament de boscos i també de molts monuments antics de pedra (catedrals, etc.). La contaminació atmosfèrica existent en alguns grans nuclis urbans (fums i gasos contaminants) és causa de malalties respiratòries.



**L'abús de medicaments i consum massiu de substàncies perjudicials per a la salut.** El consum de drogues sintètiques, ocasiona greus problemes de salut a moltes persones i importants despeses a la sanitat pública.

**Contaminació terrestre i marina.** Presència en terra i mar de materials que tarden molt en degradar-se, com llaunes, envasos, bosses (llauna, alumini, plàstics, etc.).



Metalls tòxics o molt tòxics, com el mercuri, plom, cadmi, etc., que s'utilitzen en la fabricació de molts productes. Utilització massiva de productes perillosos, com el plàstic PVC

## 6. Reaccions químiques

(finestrals, portes, envasos, bosses, gots, persianes, canonades, etc), de greus efectes contaminants. Contaminació d'aigües subterrànies i productes del camp causada per la utilització excessiva d'adobs químics, herbicides i plaguicides en general. Alguns d'aquests contaminants (com, per exemple, el mercuri), van augmentant la concentració en passar d'uns éssers vius a altres, fins arribar a les persones.

Entre els efectes negatius, tampoc podem deixar de mencionar la **utilització bèl·lica de molts productes** (guerra química) com el fòsfor, els gasos verinosos, bombes i explosius en general, etc., o els greus accidents que, amb massa freqüència, ocorren en el transport de certs productes, com el petroli cru.

Així doncs, la contaminació ambiental, el canvi climàtic, l'efecte hivernacle, la disminució del gruix de la capa d'ozó, la guerra química, l'extinció d'espècies animals, l'augment de malalties respiratòries, la proliferació de certes al·lèrgies, la pluja àcida, el creixent consum de drogues, el descens de la fertilitat, augment de casos de càncer, etc., són, desgraciadament, situacions que també guarden relació amb la fabricació de noves substàncies, és a dir, amb els canvis químics.

*Després d'analitzar els aspectes positius i negatius dels canvis químics, tracteu de traure alguna conclusió i feu propostes que puguin resultar beneficioses, directa o indirectament, per al nostre planeta i els éssers vius que hi habitem.*

L'existència simultània d'aspectes tan positius i altres tan negatius, fa convenient una anàlisi més profunda de les causes que fomenten els negatius. És cert que, per exemple, els plàstics utilitzats als hivernacles afavoreixen les collites en quantitat i en diversitat, però també ho és que contaminen el medi ambient. A més, no sempre és possible solucionar el problema fabricant un producte respectuós amb el medi ambient (per exemple, un plàstic biodegradable). La ciència no té solució per a tot. No podem pensar que la solució de problemes tan greus és únicament qüestió que els científics troben l'antídot adequat. És necessari que, en les decisions per fabricar o utilitzar certs productes, o per consumir-los, participem tots els ciutadans, considerant els seus avantatges i inconvenients. Si eixa presa de decisions s'efectua lliurement, amb la informació adequada, pensant en el futur i en el benefici de la majoria, possiblement es pugui aconseguir un desenvolupament sostenible, respectuós amb el medi ambient i amb nosaltres mateixos.

## ANNEX 2. UN PRIMER INTENT D'EXPLICACIÓ DE LES REACCIONS QUÍMIQUES: EL FLOGIST

Segons hem vist al llarg del tema, en una reacció química canvien les substàncies, és a dir, a partir d'una o diverses substàncies de partida, s'obtenen altres substàncies diferents, que abans no existien. En canvi, es mantenen els àtoms dels elements, per la qual cosa, en una transformació química, sempre es conserva la massa. Açò, que és una conseqüència necessària de l'estructura atòmica i molecular de la matèria, i avui assumim amb tanta facilitat, no sempre ha estat tan clar. De fet, va haver-hi alguns intents anteriors d'explicar els canvis, com la **teoria del flogist**, que, des del prisma actual, pot ser qualificada, com a mínim, com curiosa.

Al segle XVIII la Química encara es trobava en construcció i no hi havia lleis generals que unificaren els distints processos, de manera que la teoria del flogist té la importància històrica d'haver segut la primera teoria que tractà d'unificar tots els fenòmens químics coneguts en aquell moment.

Segons aquesta teoria, els cossos combustibles es cremaven, perquè contenien una substància, a la que anomenaren **flogist**, que es desprenia durant la combustió, al temps que la substància inicial es convertia en altra nova. El problema per aquesta teoria va sorgir quan es pogué pesar amb precisió els reaccionants i els productes de les reaccions, en particular aquelles en què s'oxidava un metall i s'obtenia el seu òxid, al qual, en aquell moment, li donaven el nom de CALÇ del metall. Aquestes reaccions s'explicaven com s'indica tot seguit:

Metall (contenint flogist) + calor → CALÇ del metall (actualment òxid del metall) + flogist

En una reacció com l'anterior, es comprovà que la substància obtinguda en calcinar els metalls, pesava més que el metall original. Com podia ser que, després de desprendre's el flogist, la massa resultant fóra major? Per justificar aquesta contradicció, alguns científics afirmaren que la massa del flogist era negativa (condició de lleugeresa) i, per això, el producte resultant, pesava més.

En canvi, per explicar altres reaccions, calia suposar que el flogist no tenia pes. A més, plantejava altres problemes: calia associar-lo amb el foc, no s'havia vist mai, ni es podia aïllar. Davant de tantes contradiccions, la seua utilització plantejava importants problemes, als que no se sabia donar solució.

Antoine Lavoisier fou un científic francès que visqué durant el segle XVIII. Estava format en diverses ciències i realitzà importants treballs en química. Es va oposar a la teoria del flogist i a altres idees químiques tradicionals. De fet, va aprofitar molts dels resultats experimentals obtinguts per químics anteriors a ell, però, donant-los una nova interpretació. Així, per exemple, Lavoisier explicava l'anterior reacció admetent que, en escalfar el metall, es combinava amb l'oxigen de l'aire, amb la qual cosa es formava la calç del metall resultant, que avui anomenem òxid. Així doncs, el producte obtingut, necessàriament havia de pesar més. Amb aquesta explicació ja no calia suposar l'existència d'un principi tan estrany com el flogist, amb la qual cosa, a poc a poc, la comunitat científica va anar abandonant aquesta teoria.

Els treballs de Lavoisier foren decisius en la superació de la teoria del flogist. Les seues conclusions es van estendre a qualsevol tipus de canvi químic, afirmant que: **en tot sistema aïllat, encara que canvie la massa d'alguns components, la massa total s'ha de conservar**. Lavoisier va participar en l'elaboració del primer manual de nomenclatura química i també se li atribueix la publicació del primer dels llibres de text de química modern.

A nivell personal, també fou un home progressista, com ho mostra el fet d'haver treballat en equip amb la seua esposa, Marie Anne Paulze, que col·laborà amb ell dibuixant molts dels gravats que acompanyaven les explicacions de les experiències i traduint els textos de científics anglesos, l'idioma dels quals, Lavoisier no coneixia. Malgrat la seua condició de liberal i haver recolzat la revolució, fou guillotinat durant l'època del terror, acusat de "pertanyer a la noblesa", atès que posseïa nombrosos béns.

### ANNEX 3. FORMULACIÓ I NOMENCLATURA EN QUÍMICA INORGÁNICA

A la natura hi ha milions de substàncies que, en la major part dels casos, es troben més o menys mesclades unes amb altres. Des de molt antic els científics han intentat separar de les mescles naturals algunes substàncies que interessaven per un motiu o un altre (extracció de minerals, obtenció d'algun principi actiu amb propietats curatives a partir de certes plantes, etc.). En altres casos, el procés ha estat distint i, a partir d'unes substàncies, mitjançant les reaccions químiques apropiades, s'han obtingut altres substàncies noves de propietats diferents a les que tenien les de partida.

D'una o altra forma, aquests processos de separacions i de síntesi, s'han vingut repetint al llarg del temps i han permès aïllar ja **milions de compostos químics** diferents. No obstant, tots els compostos existents estan formats per distintes combinacions de menys d'un centenar d'elements químics. Així, l'aigua pura està formada únicament per hidrogen i oxigen; el butà, per carboni i hidrogen; l'algeps (deshidratat) per sofre, oxigen i calci, etc.

Segons el nombre de compostos aïllats (naturals o artificials) anava incrementant-se, els químics es van veure en la **necessitat d'inventar un sistema** per poder entendre's i evitar que un mateix compost fóra "batejat" de formes distintes depenent del gust de cada científic. Les normes que seguirem ací, fonamentalment, per anomenar i formular compostos, han estat establertes per la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada (IUPAC). Per utilitzar-les, resulta especialment útil el següent sistema periòdic curt:

#### 1.TAULA PERIÒDICA ABREUJADA

Taula 1. Sistema periòdic abreujat

1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a
H						H	He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca		Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr		Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Pb	Bi			Rn

 Metalls       Semimetalls       No metalls       Gasos nobles

Els electrons d'un àtom estan organitzats en capes o nivells d'energia. El nombre de la columna on es troba cada element, coincideix amb el nombre d'electrons de l'última capa o nivell d'energia d'un dels seus àtoms. L'hidrogen també ha estat situat a la setena columna per les raons que s'explicaran més endavant. L'estructura electrònica dels gasos nobles consisteix en una estructura estable i tots ells (excepte l'He), tenen 8 electrons a l'últim nivell d'energia.

*A.I. Doneu el nom i memoritzeu la posició de cadascun dels elements de què consta la taula periòdica anterior.*

A més dels elements anteriors, utilitzarem altres també molt coneguts, com els que veurem a continuació, però no situarem en la taula anterior.

Cr (crom)	Co (cobalt)	Cu (coure)	Zn (zinc)
Mn (manganès)	Ni (níquel)	Ag (plata)	Cd (cadmi)
Fe (ferro)	Pt (platí)	Au (or)	Hg (mercuri)

*A.2. Predigueu, a partir de la columna de la taula periòdica on està situat cadascun, quins ions poden formar més fàcilment els següents elements: Li, Mg, O, Cl, Ca.*

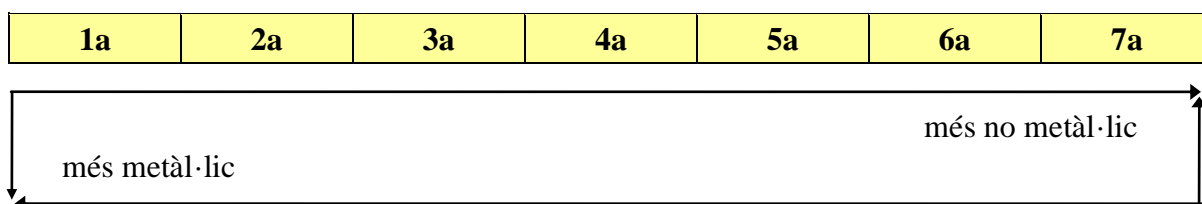
## 2. CARÀCTER METÀL·LIC I NO METÀL·LIC DELS ELEMENTS QUÍMICS.

Un element és tant més **metàl·lic**, quan més fàcil és arrancar-li electrons (menys energia costa). Al contrari, es diu que és més **no metàl·lic**, com més energia costa llevar-li electrons. Els elements més no metàl·lics són aquells als quals els falten menys electrons per a tindre la mateixa estructura electrònica d'un gas noble (estructura estable). Els més metàl·lics, pel contrari, són aquells als que els sobren menys electrons per a adquirir l'esmentada estructura.

*Per entendre's millor, de vegades es parla de "tendència" dels àtoms a guanyar i perdre electrons, assenyalant que els més metàl·lics són els que més tendència tenen a perdre electrons i viceversa.*

El caràcter no metàl·lic dels elements, en general, augmenta cap a la dreta del **sistema periòdic** i cap amunt, mentre que el caràcter més metàl·lic augmenta cap a l'esquerra i cap avall. Així, doncs, l'element més no metàl·lic de la taula anterior és el fluor i el més metàl·lic el Cs. Aquesta tendència s'explica, en part, perquè l'energia necessària per arrancar un electró exterior d'un àtom neutre és tant menor quant major siga el "radi atòmic" (més allunyat estiga l'electró del nucli) el qual, en general, augmenta segons es descendeix en una família i disminueix segons ens desplaceu cap a la dreta en un període.

### Evolució del caràcter metàl·lic i no metàl·lic en el sistema periòdic



Els elements situats a les columnes centrals (i sobretot al mig d'elles), tenen un caràcter intermedi entre metall i no metall, s'anomenen semimetalls (B, Si, Ge, As, Sb, Te)

Quan dos àtoms diferents s'enllacen, sempre hi ha un més metàl·lic que l'altre. El nombre d'electrons sobre els quals un àtom guanya o perd domini, quan s'enllaça amb altre, s'anomena **índex d'oxidació** (positiu si es perd domini, negatiu si es guanya).

Per indicar els àtoms que atrauen amb més força als electrons d'enllaç, quan s'enllacen amb altre, es diu que són més **electronegatius**, és a dir, que tenen més "apetència" pels electrons<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> És important aclarir que aquestes expressions no són més que una forma, freqüent, de parlar i que seria absurd pensar que els àtoms tenen realment "apetències" o coses semblants.

## 6. Reaccions químiques

Quan tinguem que escriure la fórmula d'un compost format per dos elements, sempre escriurem a la dreta el símbol de l'element que apareix primer en la sèrie següent:

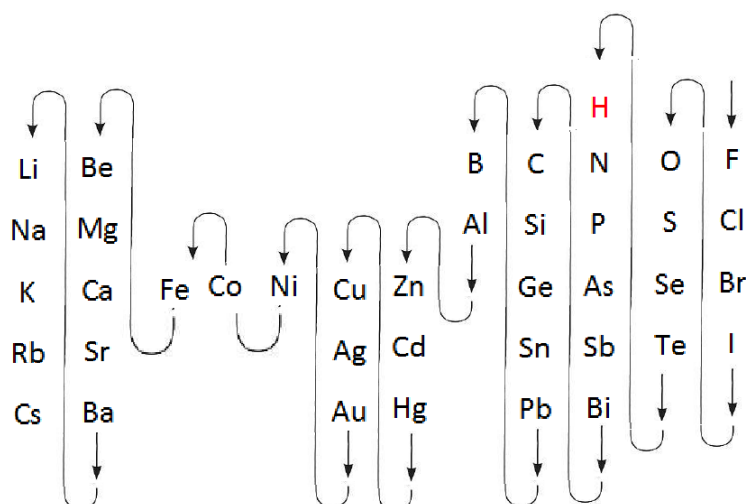


Figura 1: Seqüència dels elements per la seua electronegativitat

A la figura anterior, la fletxa indica, amb alguna excepció, l'ordre en que va disminuint l'electronegativitat. En efecte, l'electronegativitat va decreixent, en general, des del fluor (el més electronegatiu) fins al cesi (el menys electronegatiu), amb l'excepció de l'oxigen que és, en realitat, més electronegatiu que el clor, però que per conveni es posa davant del sofre. Com es pot veure la figura és calcada al sistema periòdic, malgrat que s'ha alterat la posició de l'hidrogen, que en lloc d'aparèixer en la 1a columna es troba el primer dels elements corresponents a la 5a columna del sistema periòdic curt.

**A.3. Raoneu quin seria l'índex d'oxidació que tindrien els elements de cada grup de la taula periòdica abreujada en funció de la regla de l'octet (índex d'oxidació principal).**

Els de les columnes primera, segona i tercera tindrien com a índex d'oxidació **I**, **II**, i **III** (positius tots ells) ja que han de perdre 1, 2, i 3 electrons, respectivament, per adquirir estructura electrònica de gas noble. Els de la columna quarta, actuaran amb índex d'oxidació **IV**. Finalment, els de les columnes cinquena, sisena i setena, tindrien com índexs d'oxidació principals, **-III**, **-II** i **-I** (negatius tots ells) ja que eixos són precisament els electrons que, respectivament, han de guanyar per completar l'octet. (Resulta més fàcil energèticament que, el clor, per exemple, guanye un electró i adquirisca la mateixa estructura electrònica que el gas noble Ar, que arrancar-li set perquè es quede amb la mateixa estructura que el gas noble Ne).

A més dels anteriors, és aconsellable recordar els índexs d'oxidació dels metalls següents (tots positius):

Taula 2. Nombres d'oxidació més usuals dels metalls de transició i metalls dels grups 3r i 4t.

Cr (II, III, VI)	Co (II, III)	Cu (I, II)	Zn (II)	Al (III)
Mn (II a VII)	Ni (II, III)	Ag (I)	Cd (II)	Sn (II, IV)
Fe (II, III)	Pt (II, IV)	Au (I, III)	Hg (I, II)	Pb (II, IV)

És imprescindible memoritzar l'índex d'oxidació d'aquells metalls que sols formen compostos amb un únic nombre d'oxidació com la plata Ag(I), el zinc Zn(II), el cadmi Cd(II) i l'alumini Al(III).

### 3. SUBSTÀNCIES SIMPLES

Són substàncies formades per un o varius àtoms d'un mateix element, per anomenar-les utilitzem prefixes multiplicadors que indiquen el nombre d'àtoms que formen la molècula. A la taula apareixen els prefixes numerals utilitzats per a indicar la quantitat d'àtoms.

Taula 3. Prefixos numerals

Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prefix	mono	di	tri	tetra	penta	hexa	hepta	octa	enea	deca

**Nomenclatura de substàncies simples:** S'escriu el prefix multiplicador seguit del nom de l'element.

Exemple:  $N_2$  = Dinitrogen.

**Formulació de les substàncies simples:** S'escriu el símbol de l'element seguit del número com a subíndex que indica el prefix.

Exemple: Trioxigen =  $O_3$  (també anomenat ozó).

**A.4. Formuleu:** a) Diclor      b) Tetrafòsfor      c) Octasofre

**A.5. Anomeneu:** a)  $H_2$       b) Ar      c)  $As_4$

### 4. COMBINACIONS ENTRE METALLS I NO METALLS (SALS BINÀRIES)

A continuació tractarem sobre els compostos que es formen quan es combinen dos elements (un metàl·lic i l'altre no metàl·lic). Ens centrarem en el cas de que cap dels dos siga ni l'hidrogen ni l'oxigen (sals binàries neutres).

En aquest tipus de compostos (fonamentalment iònics) el no metall, **sol** presentar-se en un únic estat d'oxidació (negatiu, per descomptat) que, en valor absolut, coincideix amb el nombre d'electrons que li falten per a tindre estructura electrònica estable de gas noble.

1a	2a	3a		5a	6a	7a
+I	+II	+III		-III	-II	-I

#### 4.1 Nomenclatura amb el nombre d'oxidació

**Nomenclatura de les sals binàries:** S'escriu el nom del no metall acabat en **ur**, seguit del nom del metall, amb indicació de l'índex d'oxidació d'aquest **últim**, en nombres romans i entre parèntesi (només en el cas que tinga més d'un).

Exemple:  $FeCl_3$  Clorur de ferro(III).

#### Com determinar el nombre d'oxidació del metall?

S'assigna el nombre d'oxidació al no metall i es multiplica pel seu subíndex, això ens proporciona la quantitat d'electrons que guanya el no metall. Aquests electrons seran precisament els que ha "perdut" el metall. Per a saber l'índex d'oxidació del metall, serà

## 6. Reaccions químiques

suficient dividir aquest numero entre la quantitat d'àtoms de metall presents en la fórmula. Vegem un parell d'exemples

En el  $\text{FeCl}_3$  el clor té com a índex d'oxidació (-I) (negatiu) i com n'hi ha tres àtoms de clor, interpretem que s'han guanyat un total de 3 electrons, que hauran de ser els mateixos que ha perdut el ferro. Com sols hi ha un àtom de ferro, concloem que l'índex d'oxidació del ferro, en aquest cas, és (III) (positiu).

En el  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  el clor té com a índex d'oxidació (-II) i com n'hi ha tres àtoms de sofre, interpretem que s'han guanyat 6 electrons que haurien de provenir dels àtoms de ferro. Per a saber l'índex d'oxidació del ferro serà suficient dividir aquest 6 electrons entre els àtoms de ferro de la fórmula, el que ens porta a concloure que cada àtom de ferro perd 3 electrons i l'índex d'oxidació del ferro és, per tant (III) (positiu).

**Formulació de les sals binàries:** Sols hem d'escriure els símbols dels elements, un darrere de l'altre, tenint cura de col·locar sempre el menys electronegatiu (el metall) a l'esquerra. Tot seguit, s'intercanvien els índexs d'oxidació respectius, col·locant-los en forma de subíndexs. En cas de ser possible se simplifica el resultat dividint per un nombre enter.

Exemple: Clorur de calci

- Escrivim els símbols un a continuació de l'altre, amb el calci a l'esquerra:  $\text{CaCl}$
- L'índex d'oxidació del calci és II i del clor -I
- Intercanviem els corresponents índexs d'oxidació (sense signe i amb numeració decimal), la qual cosa ens condueix a:  $\text{CaCl}_2$  (com ja sabem, l'1 no es posa)

Convé adonar-se de que al clorur de calci, cada àtom de calci perd dos electrons, mentre que cada clor sols pot guanyar un, per això necessitem que haja el doble d'àtoms de clor que de calci. Aleshores, en el clorur de calci, per cada ió  $\text{Ca}^{2+}$  hi ha 2 ions  $\text{Cl}^-$ , d'aquesta forma el compost és elèctricament neutre.

A.6. Formuleu: a) Sulfur de plom(IV) b) Nitrur de liti c) Bromur de coure(I)

A.7. Anomeneu els següents compostos: a)  $\text{AlCl}_3$  b)  $\text{Na}_2\text{S}$  c)  $\text{AgI}$

### 4.2 Nomenclatura amb prefixos multiplicadors

**Nomenclatura de les sals binàries:** S'escriu el **prefix** multiplicador del no metall (subíndex de l'element que apareix a la dreta) a continuació **l'arrel del nom del no metall acabat en "ur"**, la paraula **"de"** i el **prefix** multiplicador del metall (subíndex de l'element que apareix a l'esquerra) seguit del **nom del metall**.

Exemple:  $\text{Zn}_3\text{P}_2$  = **Difosfur** de **trizinc**

**Formulació de les sals binàries:** Escrivim el símbol del metall amb el subíndex indicat pel seu prefix multiplicador i a continuació el símbol del no metall amb el seu subíndex corresponent (en el cas de que siga diferent d'1).

Exemple: Seleniür de dipotassi =  $\text{K}_2\text{Se}$

A.8. Formuleu: a) Diclorur de mercuri, b) Fosfur de tricoure, c) Arseniür de cobalt



**A.9.** Anomeneu segons les nomenclatures estudiades, completant la taula.

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Nombre d'oxidació	Prefixos multiplicadors
AgF		
Ni <sub>2</sub> S <sub>3</sub>		
Ba <sub>3</sub> N <sub>2</sub>		

Els compostos anteriors es caracteritzen principalment per l'elevada diferència d'electronegativitat entre els àtoms dels elements corresponents, la qual cosa fa que les seues fórmules es puguin justificar suposant una transferència d'electrons des del metall al no metall, és a dir, que el metall perd electrons i el no metall els guanya (enllaç iònic), també es sol dir una pèrdua de domini total (o quasi total) d'electrons i un guany de domini total (o quasi total) d'electrons.

No obstant això, sabem que el nombre de compostos iònics és comparativament molt xicotet davant del total de substàncies conegudes. Així, per exemple, hi ha substàncies que estan formades per molècules diatòmiques (on en ser àtoms iguals la diferència d'electronegativitat és nul·la), i molts compostos en els que es combinen elements no metàl·lics entre si, com per exemple l'aigua, l'amoníac, el diòxid de carboni, etc., on la diferència d'electronegativitat no és molt gran i no permet suposar que un element perd total o quasi totalment el domini sobre els seus electrons de valència. A continuació, tractarem aquests casos.

## 5. COMBINACIONS BINÀRIES ENTRE NO METALLS

A continuació tractarem dels compostos que es formen quan es combinen dos elements **no** metàl·lics. Seguirem considerant que cap dels dos siga ni l'hidrogen ni l'oxigen. En aquest cas, l'enllaç no pot justificar-se, com abans, mitjançant l'intercanvi d'electrons (enllaç iònic) ja que ambdós elements necessiten guanyar electrons per a adquirir la mateixa estructura electrònica que el gas noble més proper. El que ocorre és una compartició d'electrons (enllaç covalent).

**Les regles per a anomenar i formular aquests compostos segueixen sent les mateixes** que anteriorment, sols que en lloc de referir-nos a metall i a no metall, com ambdós són no metalls, parlarem del menys electronegatiu i el més electronegatiu (respectivament). A més ara es comparteixen electrons però, degut a la diferència d'electronegativitat, aquesta compartició no és per igual i parlem de que el més electronegatiu guanya domini sobre els electrons de l'enllaç mentre que el menys electronegatiu perd domini sobre aquests mateixos electrons, malgrat de que es tracte d'un guany i una pèrdua de domini parcials.

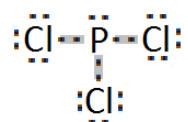
L'àtom més electronegatiu és el que s'escriu més a la dreta i actua amb nombre d'oxidació negatiu (el corresponent a la seua posició a la taula periòdica), en canvi, per a l'àtom menys electronegatiu que apareix a l'esquerra, s'ha de calcular el nombre d'oxidació a partir de la fórmula i indicar-lo en anomenar el compost, de forma similar a com es feia a l'apartat anterior.

Exemple: PCl<sub>3</sub>

Ambdós comparteixen electrons fins a completar l'octet. El P (cinquena columna del sistema periòdic) ha de guanyar tres electrons, mentre que el clor (setena columna) ha de guanyar un sol electró.

## 6. Reaccions químiques

Per tant, calen tres àtoms de clor per cada àtom de fòsfor, formant-se els tres enllaços covalents simples que s'indiquen en el diagrama de Lewis següent:



Com veiem es comparteixen tres parells d'electrons. No obstant, donat que el clor és més electronegatiu, en una primera aproximació podem pensar que estira d'ells amb més força i estan més a prop del clor que del fòsfor, és a dir, el P perd domini (parcial) sobre tres electrons i cadascú dels tres Cl guanya domini (parcial) sobre un electró. Com sols hi ha un àtom de fòsfor, està clar que el seu índex d'oxidació és ací III (positiu) i el compost s'anomenarà: clorur de fòsfor(III)

Exemple: PF<sub>5</sub>

El nombre d'oxidació del fluor és -I, indicant que cada àtom de fluor guanya domini sobre un electró. Com a la fórmula hi ha 5 àtoms de fluor, es guanya domini sobre un total de 5 electrons. Per tant, és fòsfor perd domini sobre 5 dels seus electrons i actua ací amb índex d'oxidació V, per la qual cosa anomenem el compost com: fluorur de fòsfor(V).

**A.10. Formuleu:** a) Bromur de fòsfor(III), b) Disulfur de carboni, c) Seleniür de plom(II)

**A.11. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades, completant la taula.**

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Nombre d'oxidació	Prefixos multiplicadors
PI <sub>5</sub>		
Si <sub>3</sub> P <sub>4</sub>		
NF <sub>3</sub>		

## 6. COMBINACIONS BINÀRIES DE L'HIDROGEN

Atès que l'àtom d'hidrogen sols té un electró, en combinar-se pot cedir-lo, compartir-lo o guanyar un altre per adquirir l'estructura electrònica de l'He, raó per la qual el seu índex d'oxidació **sempre** serà **+I** o **-I**. Per formular els compostos binaris de l'hidrogen cal situar aquest a l'esquerra o a la dreta segons actue com metall (perdent domini sobre el seu únic electró) o no metall (guanyant domini sobre un electró de l'altre àtom). Aquesta és la raó per la qual, en el sistema periòdic abreujat, figura al mateix temps en les columnes primera i setena (ja que, en alguns casos, actua com alcalí i en altres com halogen).

### 6.1 Combinacions binàries de l'hidrogen amb un metall (Hidrurs)

La combinació de l'H amb els elements de les dos primeres columnes del sistema periòdic forma els hidrurs salins. En aquests casos la diferència d'electronegativitat es gran i a favor de l'hidrogen, per la qual cosa en aquests compostos l'índex d'oxidació de l'H serà sempre **-I** i el metall actuarà amb el que li corresponga. El mateix succeeix amb els metalls de la 3a i 4a columna.

1a	2a	3a	4a
I	II	III	II i IV

H
-I

**Nomenclatura dels hidrurs.**

Amb nombre d'oxidació: S'escriuen les paraules **Hidrur de** i, a continuació, s'afegeix el nom del metall. Si es tracta d'un metall que pot actuar amb més d'un índex d'oxidació, s'especifica quin és, indicant-lo entre parèntesis.

Exemples:  $MgH_2$  = Hidrur de magnesi.  $CuH$  = Hidrur de coure(I),  $PbH_2$  = Hidrur de plom(II)

Amb prefixes multiplicadors: S'escriu el prefix que indica la quantitat d'hidrògens seguit de les paraules **Hidrur de** i el nom del metall

Exemple:  $SnH_2$  = Dihidrur d'estany

**Formulació dels hidrurs:**

Amb nombre d'oxidació: Es col·loca el símbol del metall seguit de l'hidrogen i es col·loca, com subíndex de l'hidrogen, el nombre (en valor absolut) que indica l'índex d'oxidació del metall (sols si és distint d'1).

Exemple: Hidrur de ferro(III) =  $FeH_3$

Amb prefixes multiplicadors: Es col·loca el símbol del metall i a continuació el de l'hidrogen amb el subíndex corresponent al prefix de l'hidrogen.

Exemple: Tetrahidrur de plom =  $PbH_4$

**A.12.** Formuleu: a) Hidrur de sodi; b) hidrur de zinc; c) hidrur d'or(III); d) Trihidrur de crom

**A.13.** Anomeneu segons les nomenclatures estudiades, completant la taula

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Nombre d'oxidació	Prefixos multiplicadors
$CoH_3$		
$BeH_2$		
$CuH_2$		

**6.2 Combinacions binàries de l'hidrogen amb no metalls de la sisena i setena columna**

Les combinacions binàries de l'H amb els no metalls de la setena columna del sistema periòdic s'anomenen **halurs d'hidrogen**. Quan aquests es dissolen en aigua, formen dissolucions aquoses àcides i, en eixe cas, s'anomenen **hidràcids**. D'igual forma es comporten els no metalls de la sisena columna.

Tant l'hidrogen com el no metall, tenen "apetència" pels electrons, raó per la qual els enllaços en aquests compostos seran, fonamentalment, covalents (compartiran electrons). Com el no metall que acompanya l'H és més electronegatiu que ell, es formen enllaços covalents polars, i en conseqüència, **l'H actua amb índex d'oxidació I**, mentre el **no metall, actua amb l'índex d'oxidació principal** (negatiu) "tractant" d'adquirir la configuració electrònica del gas noble més proper.

## 6. Reaccions químiques

H
I

6a	7a
-II	-I

**Nomenclatura dels halurs d'hidrogen:** S'indica el nom del no metall acabat en **ur**, seguit de l'expressió **d'hidrogen**.

Exemple: Sulfur d'hidrogen =  $\text{H}_2\text{S}$ . Al S li falten dos electrons per a completar el seu octet, per la qual cosa, per cada S, haurà d'haver dos H. El resultat és equivalent a escriure HS i a continuació intercanviar els respectius índexs d'oxidació (amb el que resulta  $\text{H}_2\text{S}$ )

**Nomenclatura dels hidròxids:** En dissolució aquosa s'anomenen anteposant la paraula **àcid** al nom del no metall acabat en **hídric**.

Exemples:  $\text{HCl}$  = Clorur d'hidrogen  
 $\text{HCl(aq)}$  = Àcid clorhídric (aq significa "en dissolució aquosa").  
 $\text{H}_2\text{S}$  = Sulfur d'hidrogen  
 $\text{H}_2\text{S(aq)}$  = Àcid sulfhídric.

Explicació: El no metall ha de guanyar electrons (un o dos, segons siga de la 7a o de la 6a columna respectivament), mentre l'hidrogen té un únic electró i li'n falta altre per adquirir estructura electrònica estable de gas noble. Això fa que s'unisquen mitjançant un enllaç covalent. Així, en el cas del  $\text{H}_2\text{S}$ , per exemple, a l'àtom de S (sisena columna) li'n falten dos electrons, raó per la qual compartirà dos dels electrons de valència amb altres tants àtoms d'hidrogen, segons l'esquema següent:



En el compost anterior, cada hidrogen perd domini sobre el seu únic electró, mentre que el sofre guanya domini sobre dos electrons (un de cada hidrogen). Insistim en que es tracta d'un guany i pèrdua de dominis parcial, ja que els electrons es comparteixen sense arribar a transferir-se, però es pot dir que estan més propers al S (que estira d'ells amb més força en ser més electronegatiu).

**Formulació dels halurs d'hidrogen.**

En primer lloc es col·loca el símbol de l'hidrogen, seguit del corresponent al no metall. S'intercanvien els nombres d'oxidació col·locant com subíndex de l'hidrogen l'índex d'oxidació principal corresponent al no metall (el de l'H és I i no s'escriu).

Exemple: Seleniür d'hidrogen. Primer s'escriu HSe. A continuació, es col·loca un 2 a l'H com subíndex, perquè l'índex d'oxidació principal del seleni (sisena columna del sistema periòdic) és -II. La fórmula del seleniür d'hidrogen és  $\text{H}_2\text{Se}$ .

**Regla pràctica per a la formulació dels hidròxids.**

Es formula l'halur d'hidrogen del qual prové l'hidròxid i a continuació s'afegeix d'arrere de la fórmula "(aq)", que significa "en dissolució aquosa"

Exemple: Àcid bromhídric. Primer s'escriu la fórmula de l'halur d'hidrogen del qual prové l'hidròxid, en aquest cas bromur d'hidrogen (HBr). Darrere de la fórmula es col·loca entre parèntesi "aq" que vol dir aquós (o en dissolució amb aigua). La fórmula de l'àcid bromhídric és  $\text{HBr(aq)}$ .

A.14. Formuleu: a) Fluorur d'hidrogen b) Àcid iodhídric c) Àcid clorhídric

A.15. Anomeneu: a) HF(aq) b) HCl c) H<sub>2</sub>S(aq)

### 6.3 Combinacions binàries de l'hidrogen amb no metalls de la 3a, 4a i 5a columna.

De nou en aquest cas, com amb els elements de la columna 6a i 7a, els dos elements tenen “apetència” pels electrons però en aquest cas l'hidrogen és més electronegatiu que els no metalls i per això actuarà amb nombre d'oxidació negatiu (-I) mentre que els no metall actuarà amb nombre d'oxidació positiu “tractant” d'adquirir la configuració electrònica del gas noble més proper.

	3a	4a	5a		H
	III	IV	III		-I

**Nomenclatura dels compostos dels elements de la columna 3a, 4a i 5a amb l'hidrogen:** S'indica la paraula **hidrur** seguida de la paraula **de** i el nom del no metall.

Exemples: BH<sub>3</sub> = Hidrur de bor; SiH<sub>4</sub> = Hidrur de silici; SbH<sub>3</sub> = Hidrur d'antimoni

Explicació: El no metall ha de guanyar electrons (quatre o tres, segons siga de la 4a o 5a columna respectivament), l'hidrogen també necessita un electró per a adquirir configuració electrònica de gas noble. Com tots dos elements tenen tendència a guanyar electrons s'uneixen compartint electrons (formant enllaços covalents).

En el cas del SiH<sub>4</sub>, com el silici està en la 4a columna té quatre electrons de valència que haurà de compartir amb quatre hidrògens, segons l'esquema de Lewis següent:



El cas del bor és excepcional, com es mostra a la figura anterior, ja que pertany a la 3a columna i per tant sols té 3 electrons a la última capa, per això, sols pot compatir aquests tres electrons amb altres tres hidrògens formant tres enllaços covalents. El bor en aquest compost no aconsegueix la configuració electrònica de gas noble (necessitaria compartir 5 electrons).

Alguns compostos d'aquest tipus reben noms especials que s'han de conèixer perquè són utilitzats freqüentment.

Fórmula	Nom	Nom propi
BH <sub>3</sub>	Hidrur de bor	Borà
CH <sub>4</sub>	Hidrur de carboni	Metà
SiH <sub>4</sub>	Hidrur de silici	Silà
NH <sub>3</sub>	Hidrur de nitrogen	Azà o amoníac
PH <sub>3</sub>	Hidrur de fòsfor	Fosfà

## 6. Reaccions químiques

### **Formulació dels compostos dels elements de la columna 3a, 4a i 5a amb l'hidrogen.**

En primer lloc es col·loca el símbol del no metall, seguit del de l'hidrogen i s'intercanvien els nombres d'oxidació col·locant com subíndex de l'hidrogen el nombre d'oxidació principal del no metall.

Exemple: Hidrur de bismut. Primer s'escriu Bi H. A continuació es col·loca un 3 a l'hidrogen com a subíndex, perquè l'índex d'oxidació principal del bismut (5a columna del sistema periòdic curt) és (III). Al Bi no se li col·loca cap subíndex ja que l'índex d'oxidació de l'hidrogen és (-I). La fórmula de l'hidrur de bismut és  $\text{BiH}_3$ .

**A.16. Formuleu:**      a) Hidrur d'arsènic.                      b) Amoníac.                      c) Metà.

**A.17. Anomeneu:**      a)  $\text{SiH}_4$                       b)  $\text{BH}_3$                       c)  $\text{PH}_3$

## 7. COMBINACIONS BINÀRIES DE L'OXIGEN: ÒXIDS

A continuació veurem els casos en els quals l'oxigen es combina amb altre element, distingint entre dos situacions, segons l'oxigen es combine amb qualsevol element que no siga de la 7a columna de la taula periòdica curta (halògens) o que es combine amb qualsevol element d'aquesta columna. Als compostos corresponents a la primera situació, se'ls anomena en general òxids i als de la segona, halurs d'oxigen. Començarem per la primera:

### 7.1 Òxids

En aquests compostos, l'oxigen (que és molt no metàl·lic i molt electronegatiu) sempre actua amb índex d'oxidació -II, tractant de guanyar els 2 electrons que li falten per adquirir configuració electrònica estable de gas noble. L'altre element en canvi si és metall perdrà electrons i si és no metall compartirà electrons (formant enllaços covalents).

1a	2a	3a	4a	5a	6a	O
I	II	III	variable	variable	variable	-II

### **Nomenclatura dels òxids:**

Amb nombres d'oxidació: A la paraula òxid s'afegeix el nom de l'altre element. En cas que presente més d'un índex d'oxidació, s'especifica de quin d'ells es tracta, posant-lo entre parèntesis (i en numeració romana) al final.

Exemples:  $\text{CuO}$  = Òxid de coure(II);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  = Òxid d'alumini;  $\text{SO}_2$  = Òxid de sofre(IV)

### **Com determinar el nombre d'oxidació de l'element que es combina amb l'oxigen?**

El nombre d'oxidació de l'oxigen és -II, cada àtom d'oxigen, per ser més electronegatiu, té tendència a "guanyar" dos electrons que els àtoms de l'altre element hauran de "perdre". Per això, multiplicant el número d'oxígens per (-2) obtindrem els electrons sobre els quals l'oxigen guanya domini. Com ja sabem, aquest número ha de coincidir amb els electrons sobre els quals perd domini l'altre element enllaçat amb l'oxigen. Dividint aquest valor en positiu per el nombre d'àtoms obtindrem el seu nombre d'oxidació.

$\text{SO}_2$  = Òxid de sofre(IV)

A la fórmula anterior cada àtom d'oxigen guanya domini sobre dos electrons. Com hi ha dos àtoms d'oxigen, es guanya domini sobre un total de 4 electrons. Per tant, l'àtom de sofre ha perdut domini sobre 4 dels seus electrons de valència i el seu índex d'oxidació serà IV (malgrat que, com ja sabem, en tractar-s d'un no metall, no hi ha transferència d'electrons sinó compartició).

**Amb prefixos multiplicadors:** S'escriu el **prefix** que indica la quantitat d'oxígens seguit de les paraules **òxid de**, s'escriu el **prefix** corresponent a la quantitat d'àtoms de l'altre element seguit del **nom** de l'element.

Exemples:  $B_2O_3$  = **Triòxid de dibor**;  $FeO$  = Monòxid de ferro

**Regles pràctiques per a la formulació dels òxids:**

**Amb nombres d'oxidació:** S'escriu el símbol de l'element seguit de l'oxigen s'intercanvien, com subíndex, els respectius nombres d'oxidació (en valor absolut i numeració decimal). Si es pot, se simplifica dividint per un nombre enter.

Exemples: Òxid de beril·li =  $BeO$ ; Òxid de ferro(III) =  $Fe_2O_3$ ; Òxid de carboni(IV) =  $CO_2$

**Explicació:** En el primer exemple anterior, el Be ha de perdre dos electrons per aconseguir una estructura més estable, mentre que l'O els guanya. Per tant, la fórmula empírica del compost serà  $BeO$ , indicant que, per cada Be hi ha un O de forma que el compost és neutre. Seguint les indicacions hauríem escrit  $Be_2O_2$  i després, simplificant, obtenim  $BeO$ . Anàlogament poden interpretar l'òxid de ferro (III).

En el cas de l'òxid de carboni, com el carboni també és un no metall com l'oxigen, l'explicació és diferent perquè es forma una molècula amb enllaços covalents per compartició d'electrons, però la regla pràctica per a la formulació de l'òxid és igualment vàlida. Seguint les indicacions hauríem escrit  $C_2O_4$  i després simplificant, obtenim  $CO_2$ .

En la molècula de  $CO_2$  es formen dos enllaços covalents dobles, compartint-se 4 electrons, però com l'oxigen és més electronegatiu, cada àtom d'oxigen guanya domini (parcial) sobre quatre dels seus electrons. Es pot interpretar també dient que els electrons en els enllaços formats, malgrat que compartits, estan més a prop a l'O que al C (enllaç covalent polar).

**Amb prefixos multiplicadors:** S'escriu el símbol de l'element amb un subíndex corresponent al seu prefix i seguidament el símbol de l'oxigen amb el subíndex corresponent al seu prefix.

Per exemple: Pentaòxid de dinitrogen =  $N_2O_5$

**A.18.** Formuleu: a) Òxid de liti. b) Òxid de ferro(II). c) Òxid de fòsfor(V). d) Triòxid de crom

**A.19.** Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Nombre d'oxidació	Prefixos multiplicadors
$K_2O$		
$NiO$		
$NO_2$		

## 6. Reaccions químiques

### 7.2 Halurs d'oxigen

Són combinacions binàries d'un halogen (qualsevol element de la 7a columna de la taula periòdica curta) amb l'oxigen. En aquest cas, d'acord amb l'ordre establert amb la sèrie de la figura 1, l'oxigen sempre s'escriu a l'esquerra de la fórmula i l'halogen a la dreta.

**Nomenclatura dels halurs d'oxigen:** S'utilitza sols la nomenclatura amb prefixos multiplicadors. S'escriu el prefix de l'halogen (sempre **di**) seguit de **l'arrel del nom de l'halogen** terminat en **ur** i després s'afegeix **de**, seguit del **prefix** corresponen al nombre d'oxígens paraula **oxigen**.

Exemple:  $O_3Cl_2 = \text{Diclorur de trioxigen}$

**Regla pràctica per a la formulació dels halurs d'oxigen:** S'escriu el símbol de l'oxigen amb el subíndex del prefix corresponent i a continuació el símbol de l'halogen amb el seu subíndex (sempre 2).

Exemple: Diiodur d'heptaoxigen =  $O_7I_2$

Com a recapitulació de tot el que s'ha tractat fins ací, es proposen les dues activitats següents:

**A.20.** Doneu la fórmula dels següents compostos: clorur de liti, òxid de zinc, Metà, sulfur de ferro(III), bromur de mercuri(II), Iodur de plom(II), Àcid bromhídric, triòxid de sofre, diòxid de carboni, sulfur de zinc, tricolorur de fòsfor, Sulfur d'hidrogen, diclorur d'heptaoxigen, tetraiodur de plom, Fluorur d'hidrogen, nitrur de magnesi, hidrur de crom(II), amoníac.

**A.21.** Anomeneu els següents compostos segons les nomenclatures estudiades

Fórmula	Nomenclatura amb		
	Nombre d'oxidació	Prefixos multiplicadors	Nom propi
FeCl <sub>3</sub>			
Cu <sub>2</sub> O			
O <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>			
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
SnCl <sub>2</sub>			
NO <sub>2</sub>			
MnO <sub>2</sub>			
O <sub>5</sub> Br <sub>2</sub>			
FeS			
CuH <sub>2</sub>			
HBr			
PH <sub>3</sub>			
HCl(aq)			
H <sub>2</sub> Se			
I <sub>2</sub>			
ZnS			

Fins ací, hem après a formular compostos binaris (algunes sals binàries, hidràcids, hidrurs i òxids). En la segona part, que ara començarem, abordarem la formulació de compostos amb tres o més elements com són els hidròxids i els àcids que contenen oxigen (oxoàcids).



## 8. COMBINACIÓ ENTRE UN METALL I EL GRUP OH<sup>-</sup> (HIDRÒXIDS)

Es tracta de compostos iònics en els quals l'ió negatiu o anió és el OH<sup>-</sup> i l'ió positiu o catió és un metall. En aquests compostos, **l'índex d'oxidació del grup hidròxid serà sempre -I**, mentre el del metall serà positiu. El nombre d'ions OH<sup>-</sup> haurà d'ésser el necessari per compensar la càrrega positiva del metall. Els ions OH<sup>-</sup> van sempre a la dreta.

### *Nomenclatura dels hidròxids:*

**Amb nombres d'oxidació:** S'afegeix a la paraula **hidròxid** el nom de l'element o grup que l'acompanya. En el cas que aquest últim tinga més d'un índex d'oxidació s'indicarà, com sempre, en nombres romans i entre parèntesi.

Exemples: Fe(OH)<sub>2</sub> = hidròxid de ferro(II); Al(OH)<sub>3</sub> = hidròxid d'alumini.

**Amb prefixes multiplicadors:** S'escriu el prefix numeral que indica la quantitat de ions hidròxid i a continuació les paraules **hidròxid de** i el nom del metall.

Exemple: Pt(OH)<sub>4</sub> = Tetrahidròxid de platí; Sr(OH)<sub>2</sub> = Dihidròxid d'estronci

### *Formulació dels hidròxids:*

**Amb el nombre d'oxidació:** El nombre de ions OH<sup>-</sup> ha de ser el suficient per a compensar la càrrega del catió que els acompanya.

Exemple: Hidròxid de coure (II) = Cu(OH)<sub>2</sub> perquè s'utilitza el Cu<sup>2+</sup> i, per tant, són necessaris 2 grups OH<sup>-</sup> per compensar la càrrega.

**Amb prefixes multiplicadors:** S'escriu el nom del metall seguit de (OH) i com a subíndex el número que indica el prefix que precedeix a la paraula hidròxid.

Exemple: Trihidròxid de crom = Cr(OH)<sub>3</sub>

**A.22. Formuleu:** a) Hidròxid de plom (II). b) Hidròxid de bari. c) Hidròxid de sodi

**A.23. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:**

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Nombre d'oxidació	Prefixes multiplicadors
Ca(OH) <sub>2</sub>		
Ag(OH)		
Hg(OH) <sub>2</sub>		

## 9. ÀCIDS QUE CONTENEN OXIGEN (OXOÀCIDS)

Les propietats dels àcids es deuen al fet que, en dissolució aquosa, cedeixen ions H<sup>+</sup>. Es tracta de compostos, les molècules dels quals contenen àtoms d'H units a O. Els esmentats àtoms d'H, poden ser fàcilment arrancats o substituïts (sense el seu electró, és a dir com a H<sup>+</sup>). Així doncs, en els oxoàcids, l'H sempre actua amb índex d'oxidació +I i l'oxigen, per descomptat, amb (-II).

## 6. Reaccions químiques

Anteriorment vam veure un tipus d'àcids (els hidràcids) de fórmula general  $H_aX(aq)$ . Ací tractarem la formulació d'altre tipus d'àcids, caracteritzats per contindre àtoms d'oxigen en les seues molècules. Es tracta dels oxoàcids, l'expressió general dels quals és  $H_aX_bO_c$  on X normalment és un no metall (encara que, de vegades, pot ser un metall de transició, com Mn o Cr).

### Com es determina el nombre d'oxidació del no metall o àtom central a l'oxoàcid?

En els oxoàcids l'oxigen és l'element més electronegatiu tenint tendència a guanyar domini sobre dos electrons, per això el seu nombre d'oxidació és (-II), mentre que l'hidrogen comparteix el seu electró "perdent" domini sobre el mateix, l'altre element (X) també comparteix els seus electrons perdent domini, és a dir, actua amb nombre d'oxidació positiu. Com la molècula d'oxoàcid és neutra al final la quantitat d'electrons sobre els que guanya domini l'oxigen ha de coincidir amb els electrons sobre els que perden domini l'hidrogen i l'altre element (X). Com sempre, la suma algebraica de guany de domini total (donada per un nombre negatiu) i les pèrdues de domini (donades pels nombres positius) ha de donar 0.

Exemple: Determina el nombre d'oxidació del sofre en els dos oxoàcids:  $H_2SO_3$  i  $H_2SO_4$ .



Com podem veure en ambdues expressions, la suma del guany de domini (en blau) i pèrdua de domini (en roig) dona 0, la qual cosa és lògica ja que els electrons sobre els quals l'oxigen guanya domini són justament els electrons sobre els quals l'H i el S perden domini<sup>2</sup>.

### 9.1 Oxoàcids dels halògens

La major part d'ells contenen únicament un àtom d'H en cada molècula. En general la seua expressió serà del tipus  $HXO_c$  havent de determinar el subíndex c.

#### Nomenclatura:

**Tradicional:** Donat que en aquest grup d'elements són possibles diferents índexs d'oxidació (**I, III, V i VII**), s'utilitzen els prefixos i sufixos del requadre següent per a distingir a quin d'ells ens estem referint:

HIPO	...ÓS	per al primer
	...ÓS	per al segon
	... IC	per al tercer
PER	... IC	per al quart

Exemples: Anomeneu el compost  $HClO_3$ , es guanya domini sobre un total de 6 electrons i. Per tant, entre l'H i el Cl han de perdre domini també sobre 5, és a dir, que en aquest cas actua amb índex d'oxidació V (el tercer dels quatre considerats), per la qual cosa serà: l'àcid clòric. Si ens hagueren demanat anomenar al  $HClO_4$ , mitjançant els mateixos raonaments s'arriba a comprovar

<sup>2</sup> Atenció: No confondre aquests superíndexs acolorits amb càrregues elèctriques reals (en les quals el signe matemàtic va després del nombre). Insistim en que, en casos com aquests, es tracta de guanys i pèrdues de domini "parcials" on els electrons d'enllaç es comparteixen en distint grau.

que, en aquest cas, l'índex d'oxidació amb que actua el clor és VII (el quart dels considerats) i, per tant es tracta de l'àcid perclòric.

Aquest mateix raonament poden aplicar-se als oxoàcids amb el Br i amb el I. Així, el HBrO és l'àcid hipobromós i el HIO<sub>2</sub> l'àcid iodós.

**Amb prefixes multiplicadors:** Es posa, sense espais de separació la paraula **hidrogen**, seguida entre parèntesi del **prefix** que indica la quantitat d'oxígens, la paraula **oxid** i finalment l'arrel de l'altre element (X) acabada en **-at**.

Exemple: HBrO<sub>2</sub> = **Hidrogen(dioxidbromat)**

### **Formulació:**

**Tradicional:** S'han de memoritzar les fórmules (en aquest cas HXO<sub>c</sub> c=1,2,3,4) o bé els nombres d'oxidació de l'àtom central (I, III, V, VII).

Exemple: doneu la fórmula de l'àcid perclòric. En dir-nos perclòric, hem de pensar en el quart índex d'oxidació, és a dir VII. A continuació escrivim HClO i finalment, afegim la quantitat d'O necessàries per a que la molècula complisca la condició de que el nombre d'electrons sobre els quals es perd domini siga el mateix sobre els que es guanya, és a dir: HClO<sub>4</sub>. D'aquesta forma, l'oxigen guanya domini sobre 8 electrons (7 del clor i 1 de l'hidrogen).

Aquests mateixos raonaments són vàlids per al Br i per al I. Així, l'àcid iòdic ens fa pensar en el tercer índex d'oxidació, és a dir V. Escrivim HIO i a continuació raonem que han d'haver un total de tres oxígens per a que el nombre d'electrons sobre els quals es perd domini (5 per part del I i 1 per part de l'H) siga el mateix que sobre els que es guanya. Per tant HIO<sub>3</sub>.

**Amb prefixes multiplicadors:** S'escriu en primer lloc HXO i a continuació el subíndex corresponent a l'oxigen, d'acord amb el prefix que acompanye a **oxid**.

Exemple: Hidrogen(tetraoxidodat). Escrivim HIO i després com el prefix davant d'oxid és tetra, optem per col·locar un 4 com a subíndex de l'oxigen i ens queda: HIO<sub>4</sub>.

## **9.2. Oxoàcids dels elements de la sisena columna de la taula periòdica**

La major part d'aquests àcids contenen dos àtoms d'H en les seues molècules. En general, la seua fórmula ve donada per: H<sub>2</sub>XO<sub>c</sub>. La següent informació fa referència al S i al Se, però els oxoàcids més importants d'aquest grup són, sense dubte, els del sofre.

### **Nomenclatura i formulació**

**Tradicional:** Donat que en aquest grup d'elements són possibles dos índexs d'oxidació (IV i VI), s'utilitzen els sufixos del requadre següent per a distingir a quin d'ells ens estem referint:

...ÓS	per al 1r
...IC	per al 2n

## 6. Reaccions químiques

Exemples: es segueixen els mateixos criteris que abans, sols que tenint en compte que ara, d'entrada, s'han de posar dos àtoms d'H. Així si ens diuen, per exemple, que formulem l'àcid sulfúric, hem de pensar que el S actua amb índex d'oxidació VI, a continuació escriure  $H_2SO$  i finalment. Pensar quants àtoms d'oxigen ha d'haver per a que el nombre d'electrons sobre els quals es perd domini (en aquest cas 8: dos dels H i sis del S) coincidisca amb el nombre d'electrons sobre els quals es guanya domini, el que condueix a posar 4 àtoms d'oxigen (cada O guanya domini sobre 2 electrons) i escriure finalment:  $H_2SO_4$  per a la molècula d'àcid sulfúric.

Nomeneu  $H_2SO_3$ : Seguint les indicacions anteriors, és fàcil esbrinar ara que l'índex d'oxidació del S és de IV, amb la qual cosa, d'acord amb el quadre anterior, li correspon el primer sufix i s'haurà d'anomenar com àcid sulfurós.

Amb prefixos multiplicadors, també seguirem els mateixos criteris que anteriorment (sols que tenint en compte que ara hi ha dos H).

Exemples:  $H_2SO_4$  serà Dihidrogen(tetraoxidsulfat), Dihidrogen(trioxidseleniat)=  $H_2SeO_3$

### 9.3. Oxoàcids dels elements de la cinquena columna de la taula periòdica

Els oxoàcids més importants d'aquesta família són els del nitrogen. La seua fórmula general ve donada per  $HNO_c$  on els índex d'oxidació més freqüents del nitrogen són (III i V).

#### *Nomenclatura i formulació*

Donat que en aquest grup d'elements són possibles dos índexs d'oxidació (III i V), s'utilitzen els sufixos "ós" i "ic" d'igual forma que en els oxoàcids de la 6a columna.

Tradicional: es segueixen els mateixos criteris que abans, sols que tenint en compte que ara, d'entrada, s'ha de col·locar sols un àtom d'H en la molècula.

Així si ens diuen que formulem l'àcid nítric, hem de pensar que el N actua amb un índex d'oxidació de V, a continuació escriure  $HNO$  i finalment, pensar quants àtoms d'oxigen ha d'haver per a que el nombre d'electrons sobre els que es perd domini (en aquest cas 6: un de l'H i 5 del N) coincidisca amb el nombre d'electrons sobre els quals es guanya domini, el que condueix a posar 3 àtoms d'oxigen (cada O guanya domini sobre 2 electrons) i escriure finalment  $HNO_3$  per a la molècula d'àcid nítric.

Nomeneu  $HNO_2$ : Seguint les mateixes indicacions que en apartats anteriors, és fàcil esbrinar que l'índex d'oxidació del N és (III), amb la qual cosa s'haurà d'anomenar com a àcid nítrós.

Amb prefixos multiplicadors: Es segueixen els criteris habituals.

Exemples:  $HNO_3$  s'anomena com Hidrogen(trioxidnitrat), Hidrogen(dioxidnitrat) es formula com  $HNO_2$

Els oxoàcids d'altres elements d'aquesta família (com el fòsfor), són més complexos degut a que les seues molècules contenen més àtoms d'H i d'O dels que, en principi, caldria esperar, per la qual cosa s'estudiaran en cursos posteriors de química. No obstant, la seua formulació i nomenclatura utilitzant prefixos multiplicadors, és molt senzill. Això ocorre, per exemple, amb l'àcid fosfòric (nomenclatura tradicional), que amb prefixos multiplicadors s'anomena com Trihidrogen(tetraoxidfosfat) i, consegüentment, la seua fórmula és  $H_3PO_4$ .

### 9.4. Oxoàcids dels elements de la quarta columna de la taula periòdica

El carboni pot formar part d'infininitat d'oxoàcids, però quasi tots d'ells són compostos orgànics i no els anem a tractar ací. En química inorgànica, el més important és l'àcid carbònic, on el carboni actua amb índex d'oxidació IV i la molècula conté 2 àtoms d'H.

#### Nomenclatura i formulació

Tradicional: es segueixen els mateixos criteris que abans, però tenint en compte que ara d'entrada s'han de col·locar 2 àtoms d'H en la molècula. També s'ha de tenir en compte que en nomenclatura tradicional per a aquells casos en els quals, com aquest, sols hi ha un oxoàcid, s'utilitza únicament el sufix **ic** sense cap prefix.

Per a formular, doncs, l'àcid carbònic, s'ha d'escriure inicialment  $H_2CO$  i després, tenint en compte l'índex d'oxidació del carboni (IV) i el de l'hidrogen (I), seguir el raonament habitual i concloure que han d'haver 3 àtoms d'oxigen i, per tant, la fórmula cercada és  $H_2CO_3$ .

Si el procés haguera segut al contrari i ens hagueren preguntat el nom a partir de la fórmula, la resposta és immediata ja que, com hem dit, en actuar ací el carboni amb sols un índex d'oxidació, sols existeix el sufix **ic** i, per tant, es tracta de l'àcid carbònic.

Amb prefixos multiplicadors: Es segueixen els passos habituals.

Exemple:  $H_2CO_3$  s'anomena com: Dihidrogen(trioxidcarbonat)

A manera de recapitulació d'aquest apartat, es presenta una taula amb els oxoàcids més comuns segons la nomenclatura tradicional i amb prefixos multiplicadors.

Fórmula	Nomenclatura		Extensible a
	Tradicional	Amb prefixos multiplicadors	
HClO	Àcid hipoclorós	Hidrogen(oxidclorat)	Br i I
HClO <sub>2</sub>	Àcid clorós	Hidrogen(dioxidclorat)	
HClO <sub>3</sub>	Àcid clòric	Hidrogen(trioxidclorat)	
HClO <sub>4</sub>	Àcid perclòric	Hidrogen(tetraoxidclorat)	
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Àcid sulfurós	Dihidrogen(trioxidsulfat)	Se
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Àcid sulfúric	Dihidrogen(tetraoxidsulfat)	
HNO <sub>2</sub>	Àcid nítrós	Hidrogen(dioxidnitrat)	
HNO <sub>3</sub>	Àcid nítric	Hidrogen(trioxidnitrat)	
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	Àcid fosforós	Trihidrogen(trioxidfosfat)	As
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Àcid fosfòric	Trihidrogen(tetraoxidfosfat)	
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Àcid carbònic	Dihidrogen(trioxidcarbonat)	

## 6. Reaccions químiques

**A.24.** Formula els següents oxoàcids: Àcid iodós, àcid selènic, àcid arsènic, àcid nítrós, hidrogen(tetraoxidbromat), dihidrogen(trioxidsulfat), dihidrogeno(tetraoxidobromato), trihidrogen(trioxidarseniat).

**A25.** Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Tradicional	Prefixes multiplicadors
HBrO <sub>3</sub>		
H <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>		
HNO <sub>2</sub>		
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>		
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		

## ACTIVITATS DE RECAPITULACIÓ

**1.** Completeu la taula amb les fórmules corresponents:

Nom	Fórmula	Nom	Fórmula
Òxid d'argent (plata)		Sulfur de sodi	
Hidrur d'alumini		Òxid de carboni(IV)	
Sulfur de ferro(II)		Hidrur de magnesi	
Òxid de manganés(VII)		Iodur d'hidrogen	
Fluorur d'hidrogen		Metà	
Nitrur de magnesi		Clorur d'hidrogen	
Hidrur de silici		Àcid fluorhídric	
Àcid selenhídric		Òxid de cobalt(III)	
Òxid de potassi		Diòxid d'estany	
Borà		Tetrafluorur de sofre	
Diclorur de pentaoxigen		Hidrur de coure(II)	
Òxid de sofre(VI)		Òxid de calci	
Òxid de rubidi		Seleniür de potassi	
Arseniür de zinc		Diòxid de nitrogen	

## 2. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb		
	Nombre d'oxidació	Prefixes multiplicadors	Nom propi
SiO <sub>2</sub>			
CoCl <sub>3</sub>			
CdO			
Na <sub>2</sub> S			
PbI <sub>2</sub>			
HF			
O <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>			
AgH			
H <sub>2</sub> Se(aq)			
NH <sub>3</sub>			
S <sub>8</sub>			
OF <sub>2</sub>			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
O <sub>7</sub> Br <sub>2</sub>			

## 3. Completeu la taula amb les fórmules corresponents:

Nom	Fórmula	Nom	Fórmula
Hidròxid d'or(III)		Àcid carbònic	
Dihidròxid de mercuri		Hidròxid de crom(III)	
Àcid perclòric		Hidrogen(oxidbromat)	
Àcid nítrós		Hidròxid de bari	
Hidròxid de ferro(III)		Àcid arsènic	

## 4. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb		
	Nombre d'oxidació	Prefixes multiplicadors	Nom tradicional
Pb(OH) <sub>2</sub>			
HIO <sub>3</sub>			
Na(OH)			
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			
H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>			

6. Reaccions químiques

5. Determineu el nombre d'oxidació del sofre en les següents substàncies:  $BaS$ ,  $H_2SO_3$ ,  $SO_2$ ,  $S_8$ ,  $H_2S(aq)$ ,  $SO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $SO$ ,  $Fe_2S_3$ ,  $SF_6$ .

6. Completeu la taula amb les fórmules corresponents:

Nom	Fórmula	Nom	Fórmula
Àcid fluorhídric		Àcid clòric	
Àcid periòdic		Àcid selenhídric	
Àcid seleniós		Àcid clorhídric	
Àcid perbròmic		Àcid hipiodós	
Àcid sulfhídric		Àcid bromós	

7. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb	
	Prefixes multiplicadors	Nom tradicional
HCl(aq)		
HClO <sub>3</sub>		
H <sub>2</sub> Se(aq)		
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
HIO <sub>2</sub>		

8. Completeu la taula amb les fórmules corresponents:

Nom	Fórmula	Nom	Fórmula
Nitrur de potassi		Àcid sulfhídric	
Hidrur de coure(I)		Hidròxid de calci	
Bromur d'hidrogen		Òxid d'argent (plata)	
Àcid iodhídric		Dibromur de trioxigen	
Fosfà		Òxid de zinc	
Òxid de manganès(II)		Hidrur de bor	
Diclorur d'oxigen		Sulfur de carboni(IV)	
Hidròxid d'alumini		Diiodur de pentaoxigen	
Seleniür de ferro(III)		Tetraiodur de plom	
Hidrur de níquel(II)		Hidròxid de mercuri(I)	
Seleniür d'hidrogen		Hidrur de beril·li	
Hidrur de carboni		Tetraclorur de silici	
Àcid nítric		Dihidrogen(tetraoxidseleniat)	
Trihidrogen(tetraoxidarseniat)		Àcid bromós	



## 9. Anomeneu segons les nomenclatures estudiades:

Fórmula	Nomenclatura amb		
	Nombre d'oxidació	Prefixes multiplicadors	Nom propi (si en té)
P <sub>4</sub>			
HNO <sub>2</sub>			
Co(OH) <sub>3</sub>			
OF <sub>2</sub>			
SiO <sub>2</sub>			
Na <sub>2</sub> O			
NH <sub>3</sub>			
HBr(aq)			
H <sub>2</sub> S			
HF			
FeH <sub>2</sub>			
PbS			
CO			
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			

## 6. Reaccions químiques

## 7. INICIACIÓ A LA QUÍMICA DEL CARBONI

Al llarg d'aquest curs hem estudiat amb cert detall els canvis materials, tractant d'investigar com ocorren uns i com podem fer que es produïsquen altres que, per alguna raó, ens interessin, tenint sempre en compte la necessitat d'un desenvolupament sostenible.

*Per quin motiu penseu que anem a plantejar-nos, per acabar, una introducció a la química del carboni? Què té d'especial la química d'aquest element, perquè val la pena el seu estudi en particular?*

### 1. L'ORIGEN DE LA QUÍMICA DEL CARBONI

Les propietats específiques d'algunes **substàncies orgàniques** (és a dir, substàncies presents als organismes, a la matèria de la qual estan fets tots els éssers vius, com les plantes o els animals) són conegudes des de molt antic. A títol d'exemple, podem mencionar l'alcohol present al suc de raïm fermentat, l'àcid acètic del vi agre, la sacarosa de la remolatxa o canya de sucre, alguns colorants naturals extrets de plantes o animals, etc. Més endavant, ja durant el segle XVIII, s'aïllaren altres substàncies com l'alcohol de fusta (metílic), la glucosa, la lactosa, la urea (present en l'orina dels animals), l'àcid úric, etc. Totes aquestes noves substàncies mostraven la característica d'obtenir-se sempre al laboratori a partir de mostres procedents d'éssers vius, però mai a partir de substàncies inorgàniques.

A més d'aquest origen particular, semblava que els anomenats compostos orgànics eren més complexos que els inorgànics. No és, doncs, d'estranyar que aquesta situació, junt amb l'existència d'algunes creences religioses, portaren als químics de l'època a admetre que, malgrat que totes les substàncies orgàniques estaven compostes fonamentalment per carboni i hidrogen (elements que també poden trobar-se en la matèria inorgànica), les lleis que regulaven la seua formació eren diferents. Concretament, es pensava que era necessària una “**força vital**” per produir-les. Pareixia que només els organismes animals i les plantes disposaven d'eixa força vital que, de cap manera estava present als tubs d'assaig ni als altres instruments d'un laboratori, per sofisticats que fossen. Aquesta idea va formar part d'una teoria anomenada “**vitalisme**”. D'acord amb l'esmentada teoria existia una **barrera infranquejable** entre les substàncies d'origen mineral (inorgàniques) i les procedents d'éssers vius, motiu pel qual, qualsevol intent de sintetitzar al laboratori substàncies orgàniques a partir d'altres inorgàniques estava condemnat al fracàs.

Hem de fer notar que la teoria vitalista implicava la impossibilitat que, a partir de la matèria inanimada (inorgànica), poguera alguna vegada haver sorgit la vida (matèria orgànica) de forma natural i, per tant, es podia interpretar com un suport a la intervenció divina per explicar l'origen de la vida a la Terra.

El vitalisme va començar a posar-se en dubte ja entrat el segle XIX quan, en 1828, el químic alemany Wöhler, als 28 anys, va sintetitzar la urea a partir de l'escalfament d'un compost inorgànic. En una carta dirigida al seu professor Berzelius escrivia al respecte:

“... Puc produir urea sense necessitat d'un ronyó, sense un animal (siga una persona o un gos)...”

## 7. Iniciació a la química del carboni

Açò no va fer que s'abandonara immediatament la teoria vitalista, sinó que va persistir d'una forma o una altra durant uns 20 anys més, mostrant així, una vegada més que no és prou amb què els resultats d'un experiment contradiguen una teoria perquè aquesta siga immediatament abandonada. Malgrat els dubtes d'alguns, durant els anys posteriors a la síntesi de la urea, es sintetitzaren nous compostos orgànics a partir de substàncies inorgàniques. Per exemple, Kolbe (alumne de Wöhler), va obtenir àcid acètic a partir dels elements que el constitueixen (carboni, hidrogen i oxigen) i el químic francès Berthelot sintetitzà altres substàncies com alcohol metílic, alcohol etílic, metà, benzè, acetilè, etc. A més, l'existència d'una "força vital" com explicació d'un tipus determinat de canvi no resultava compatible amb el principi de conservació de l'energia que, per aquella època, acabava de desenvolupar-se. Tot això va contribuir, sens dubte, a què, finalment, els científics abandonaren la teoria vitalista, al temps que començava el desenvolupament imparable de la química orgànica.

Una vegada s'havia superat la barrera que separava la matèria inorgànica de l'orgànica, ja no tenia sentit continuar distingint entre química inorgànica i química orgànica. De fet, actualment es prefereix parlar de la "química del carboni", encara que continua admetent-se el terme de química orgànica, però havent perdut el seu sentit original.

*Per quina raó, llavors, es continua estudiant de forma particular una química que gira entorn d'un sol element? A continuació tractarem de donar resposta a aquesta qüestió.*

## 2. CARACTERÍSTIQUES GENERALS DELS COMPOSTOS DEL CARBONI

*A.I. Què poden tindre en comú una bossa de plàstic, una camisa, una aspirina, el colesterol, un preservatiu, una cadira, l'aroma de les maduixes madures i un xampú per al cabell?*

Tots els exemples anteriors podrien tindre en comú estar formats per compostos de carboni. De fet, des que a mitjans del segle XIX començaren a sintetitzar-se compostos orgànics al laboratori, s'han elaborat ja milions de compostos de carboni. Molts d'ells existeixen a la naturalesa, on són produïts pels éssers vius (com per exemple les vitamines, acetona, colorants, cautxú, penicil·lina, etc.) però també se sintetitzen al laboratori perquè, per exemple, pot ser més barat que extraure'ls de la seua font natural. Altres dels que se sintetitzen als laboratoris no existeixen a la naturalesa, però tenen propietats que els fan molt interessants. És el cas, per exemple, dels plàstics, amb els que es fabriquen objectes que romanen inalterables durant molt de temps, són lleugers, etc., o de les fibres sintètiques amb què es fabriquen peces de roba que no precisen planxar-se, etc. L'any 2011 es coneixien ja més de **10 milions** de compostos de carboni, front als poc més de mig milió de compostos de tots els altres elements. I cada any se sintetitzen milers de nous compostos, amb les més diverses aplicacions, des d'unes botes impermeables a base de gore-tex fins a píndoles anticonceptives i nous fàrmacs.

D'acord amb el que acabem de dir, una característica fonamental de l'àtom de carboni, que el fa tan especial, davant de la resta d'elements, és la seua extraordinària capacitat per a combinar-se. *Cal plantejar-se, per tant, a què es deu aquesta capacitat.*

## 2.1. Estructura electrònica de l'àtom de carboni

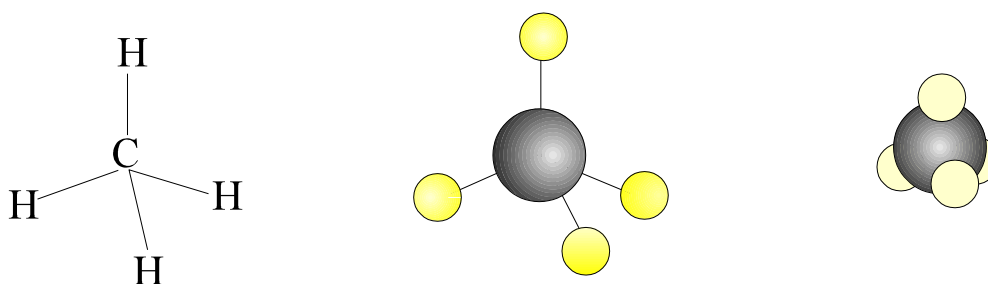
Com és sabut, els sis electrons de què consta l'àtom de carboni, estan distribuïts de manera que hi ha només dos en un primer nivell d'energia (electrons interns) i els quatre restants es troben en un segon nivell, més extern (electrons de valència). Per tant li'n falten quatre electrons per a completar l'octet. D'altra banda, la seua posició central al sistema periòdic (allunyada dels elements més metàl·lics i més no metàl·lics), fa que aquest element es caracteritze per formar enllaços covalents per compartició dels seus electrons de valència amb els d'altres elements dels que difereix poc en electronegativitat o, fins i tot amb ell mateix.

*A.2. El carboni i l'hidrogen, per exemple, tenen electronegativitats quasi idèntiques, motiu pel qual l'enllaç entre ambdós elements serà molt covalent. Prediu com serà aquest enllaç en la molècula de metà ( $\text{CH}_4$ ) i quines direccions cal esperar que formen entre ells els parells d'electrons enllaçats (és a dir, els enllaços C-H).*

D'acord amb la fórmula del metà es donaran quatre enllaços covalents simples entre el carboni i l'hidrogen. Podem representar la molècula com:



No obstant això, a causa de la repulsió elèctrica existent entre els quatre parells d'electrons d'enllaç, cada parell se situarà el més allunyat possible de la resta (com tenen càrrega del mateix signe es repel·leixen entre ells), la qual cosa permet comprendre la forma tetraèdrica que realment presenta la molècula de metà. Als esquemes següents es donen tres possibles representacions espacials d'aquesta molècula.



El carboni pot formar enllaços covalents no sols amb l'hidrogen sinó també amb ell mateix i amb altres elements, formant així cadenes obertes o tancades que donen lloc a un gran nombre de compostos distints, que després tractarem.

## 2.2. Estabilitat dels compostos de carboni

Altre tret diferencial de la química del carboni, és la gran estabilitat de l'enllaç C - C, que resulta ser el segon enllaç més fort entre dos àtoms iguals que comparteixen un parell d'electrons (únicament superat per l'enllaç H-H). Es tracta d'enllaços dirigits, amb els electrons d'enllaç molt localitzats en una determinada zona i entre àtoms molt xicotets que, o be no tenen electrons interns (cas de l' H) o be en tenen únicament 2 (cas del C). Tot el que acabem d'indicar explica

## 7. Iniciació a la química del carboni

que siga possible l'existència de compostos de carboni estables amb llargues cadenes, de manera que algunes molècules poden contindre 100 o més carbonis enllaçats.

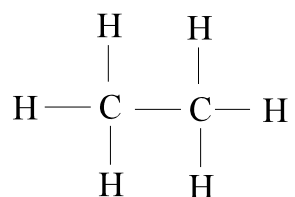
Els enllaços C-C i C-H són molt poc polars, la qual cosa genera dèbils forces intermoleculars (al contrari, per exemple, del que li succeeix a l'aigua). Per aquest motiu, en condicions ambientals ordinàries, les substàncies orgàniques tenen, generalment, punts de fusió i d'ebullició baixos.

### 2.3. Capacitat de combinació del carboni amb altres elements i amb ell mateix

El caràcter tan especial de la química del carboni prové fonamentalment de l'enorme capacitat que posseeix per formar compostos. La presència d'un nombre tan gran de compostos de carboni a la natura fa possible que existisca una variació molt gradual de propietats en passar d'unes substàncies a altres, la qual cosa pot fer que les quantitats d'energia que es veuen implicades en els esmentats canvis no siguin molt grans. No és per tant d'estranyar que la vida estiga associada al carboni.

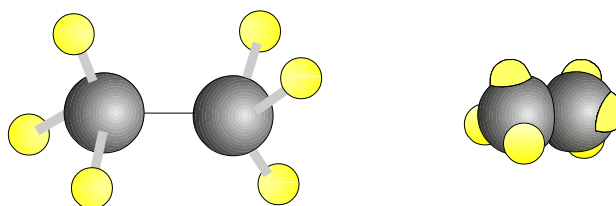
*A.3. Escriuiu la fórmula desenvolupada d'un possible compost de carboni i hidrogen format només per dos àtoms de carboni.*

En aquest cas caldria enllaçar dos àtoms de carboni entre ells i completar la resta d'enllaços amb àtoms d'hidrogen, la qual cosa ens conduiria a una representació com la següent:

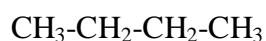


El compost anterior es coneix com età. Per facilitar l'escriptura, sol donar-se de forma "semidesenvolupada", indicant únicament els enllaços C-C, és a dir:  $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$

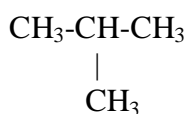
Recordant la distribució espacial dels quatre enllaços covalents del carboni, la molècula anterior es pot representar també com:



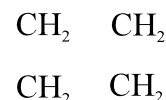
Quan el nombre de carbonis augmenta, existeix també la possibilitat de cadenes ramificades o fins i tot tancades (cicles), com ocorre en els exemples que s'exposen a continuació:



Butà



metilpropà



ciclobutà

El butà i el metilpropà tenen la mateixa fórmula molecular ( $C_4H_{10}$ ), però es tracta de dos compostos diferents, amb una estructura i propietats diferents. Es diu llavors que són isòmers (compostos diferents amb la mateixa fórmula molecular).

*A.4. Tenint en compte la possibilitat de formar cadenes obertes i tancades (cicles), ramificades o no, escriuiu les fórmules semidesenvolupades de tots els compostos (de carboni i hidrogen) amb cinc àtoms de carboni lligats per enllaços simples i digueu quins són isòmers. (Ignoreu el cicle de tres carbonis, perquè no és un compost estable).*

R: quatre compostos estables diferents, tres dels quals són isòmers.

Com veiem, les possibilitats de combinació del carboni augmenten en elevar el nombre d'àtoms enllaçats. I encara no acaben ací, ja que també és possible l'existència de dobles i de triples enllaços.

*A.5. Construïu les possibles fórmules desenvolupades dels compostos  $C_2H_4$  (età) i  $C_2H_2$  (etí) sabent que es tracta de compostos estables en els que s'acompleix la regla de l'octet.*

Atès que no hi ha prou hidrògens per completar la tetravalència del carboni, caldrà pensar en l'existència d'un doble enllaç  $-C=C-$  per al  $C_2H_4$  i d'un triple  $-C\equiv C-$  per al  $C_2H_2$

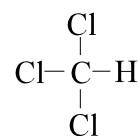


Les formules semidesenvolupades per als compostos anteriors serien respectivament:

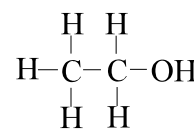


Fins ara només hem vist uns pocs exemples que mostraven possibilitats de combinació del carboni amb ell mateix i amb l'hidrogen. Però també és possible la intervenció d'altres àtoms o grups d'àtoms amb els que aquestes possibilitats s'amplien encara més.

Així, per exemple, és possible substituir 3 hidrògens del metà per àtoms de clor i obtenir el compost anomenat triclorometà (o cloroform), usat fa anys com anestèsic.



També és possible substituir un àtom d'hidrogen de l'età per un grup OH i obtenir un alcohol (etanol) que forma part de totes les begudes alcohòliques i que també s'utilitza com desinfectant.



Després d'apreciar l'especificitat de l'àtom de carboni i la seua extraordinària capacitat de combinació per donar lloc a moltíssims compostos, ens podem plantejar algunes preguntes, com:

- ✓ *Si es coneixen tants compostos del carboni, com procedir a realitzar un estudi racional dels mateixos?, es podran agrupar en uns pocs tipus segons un comportament químic semblant?, com els distingirem i els anomenarem?*
- ✓ *Entre tanta varietat de compostos hi haurà també un gran nombre d'aplicacions distintes, podrem veure algunes d'elles?*

## 7. Iniciació a la química del carboni

- ✓ D'on s'extrau la matèria primera per obtenir els compostos del carboni?
- ✓ Hem vist algun exemple de compostos que, sent distints, tenen la mateixa fórmula molecular (isòmers). Està molt estès aquest fenomen? Hi ha distints tipus d'isomeria?
- ✓ Quins tipus de compostos de carboni es poden trobar en els éssers vius?
- ✓ Quins efectes sobre el medi ambient i la societat està tenint el fet de la fabricació i ús de tants compostos de carboni?

En aquest nivell ens limitarem a donar una primera aproximació respecte d'algunes de les qüestions anteriors, deixant altres (com la nomenclatura i formulació) per estudis posteriors.

### 3. COMPOSTOS DE CARBONI I HIDROGEN (HIDROCARBURS)

Els hidrocarburs són compostos formats exclusivament per carboni i hidrogen. Les seues molècules poden tindre cadenes d'àtoms de carboni en forma lineal (oberta) o cíclica (tancada) i enllaçats a aquests carbonis es troben els àtoms d'hidrogen.

**A.6.** *Elaboreu una llista amb substàncies que siguen hidrocarburs o mescles d'hidrocarburs.*

Algunes de les substàncies que poden citar-se són d'enorme importància com, per exemple, la gasolina, el gasoil, etc., utilitzats en automoció com combustibles; el butà i el gas ciutat, d'ús domèstic en la cuina o a les calefaccions; el querosè, utilitzat en els motors a reacció; els olis lubricants; els plàstics, com el polietilè, etc.

Podem classificar els hidrocarburs de cadena oberta (és a dir, no cíclics) segons tinguen només enllaços simples C - C (hidrocarburs saturats) o incloguen en la seua molècula enllaços dobles o triples (hidrocarburs insaturats). Començarem pels primers.

#### 3.1. Hidrocarburs saturats de cadena oberta

En aquest tipus d'hidrocarburs tots els àtoms de carboni formen quatre enllaços covalents simples, bé siga amb altres àtoms de carboni de la cadena o amb àtoms d'hidrogen. Reben el nom de “parafines” o “alcans”.

A la taula següent es donen les fórmules semidesenvolupades, el nom i els punts de fusió i ebullició (en °C) dels sis primers elements de la sèrie.

Fórmula	Nom	T. Fusió	T. Ebullició
CH <sub>4</sub>	Metà	-182	-162
CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	Età	-183	-89
CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	Propà	-188	-42
CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	Butà	-138	-1
CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	Pentà	-130	36
CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub>	Hexà	-95	69



Com podeu comprovar, a partir del butà, els noms es construeixen a partir d'un prefix indicatiu del nombre de carbonis (*pent, hex, hept ...*) seguit del sufix *-à*.

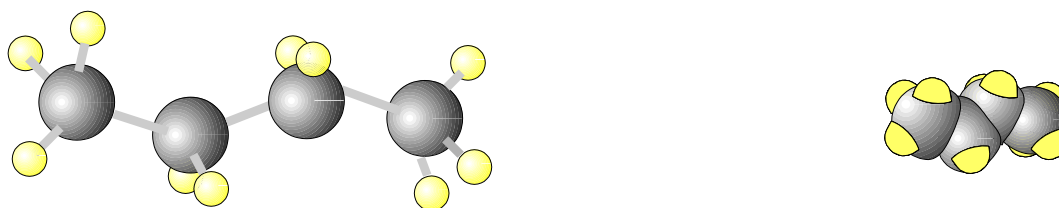
*A.7. A partir de les molècules de la sèrie anterior deduiu la fórmula general dels alcans.*

Analitzant el nombre de carbonis i d'hidrògens presents en cadascuna de les molècules dels compostos de la taula, es pot veure que el nombre d'hidrògens presents sempre és igual al de carbonis més dos, de manera que si anomenem  $n$  al nombre de carbonis, la fórmula general per als alcans serà:  $C_nH_{2n+2}$

*A.8. Quina serà la fórmula molecular d'un alcà amb 29 àtoms de carboni?*

(R:  $C_{29}H_{60}$ )

D'altra banda, no hem de confondre cadena lineal amb cadena recta ja que, a causa de l'orientació tetraèdrica dels enllaços de carboni, la cadena en realitat és zigzaguejant, com es pot comprovar en les representacions de la molècula de butà ( $C_4H_{10}$ ) que es donen a continuació:



Pel que fa a les propietats dels alcans, començarem assenyalant que, atès que el carboni i l'hidrogen tenen electronegativitats molt semblants, les molècules són poc polars i per tant no són solubles en dissolvents polars com l'aigua, però sí en dissolvents apolars com el benzè, el tetraclorur de carboni, etc. De fet, moltes plantes obtenen importants avantatges de la insolubilitat dels alcans en aigua. En efecte, moltes vegades hem pogut comprovar la brillantor que adquireix una poma en ser fregada amb un drap. Açò es deu a les ceres (alcans  $C_{27}H_{56}$  i  $C_{29}H_{60}$ ) que recobreixen la seua pell. Anàlogament ocorre en altres fruits i fulles. La funció principal d'eixos alcans és disminuir la pèrdua d'aigua, formant una pel·lícula impermeable.

D'altra banda, a la taula anterior s'observa clarament que, segons va augmentant la massa molecular, la tendència general és que augmenten també les temperatures de fusió i ebullició. Açò explica que, en condicions ordinàries de pressió i temperatura, els quatre primers alcans siguin gasos; mentre que des del  $C_5$  fins al  $C_{18}$  siguin líquids i, quan la cadena té més de 18 àtoms de carboni, els compostos siguin sòlids de baix punt de fusió i aspecte cerós (ceres de parafina); finalment, a partir de  $C_{35}$ , són sòlids mols (asfalt).

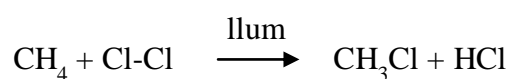
Respecte a les propietats químiques dels alcans, són poc reactius degut al caràcter saturat dels seus enllaços intramoleculars i a l'estabilitat dels mateixos. No obstant això, a temperatures altes poden reaccionar amb l'oxigen (cremar-se), donant sempre diòxid de carboni i aigua. És conegut, per exemple, l'ús domèstic del butà per escalfar i cuinar així com l'ús de la gasolina i altres combustibles (tots ells mesclades d'hidrocarburs) en els motors d'explosió.

Com ja hem vist, el més senzill dels hidrocarburs saturats és el metà ( $CH_4$ ). Aquest es troba formant part del gas natural que, fonamentalment, és una mescla de diversos hidrocarburs (sent el metà el que es troba en major proporció). El metà es forma quan es

## 7. Iniciació a la química del carboni

descomponen restes de plantes i animals en ambients amb poc d'aire. Açò ocorre en diversos llocs com en algunes zones pantanoses, arrossars o a l'aparell digestiu dels rumugants (com, per exemple, les vaques). Es pot obtenir metà a partir del fem mitjançant uns convertidors i utilitzar-lo posteriorment per a cuinar. El metà és també un potent gas hivernacle que, al contrari que el  $\text{CO}_2$ , no es dissol en aigua ni és utilitzat per les plantes per realitzar cap funció. En determinades zones fredes del globus (per exemple en alguns llocs de Sibèria) hi ha matèria orgànica (molses i líquens) atrapada des de fa molts anys en sòls congelats. És preocupant pensar que, si l'efecte hivernacle continua augmentant, es pot descompondre i alliberar tot aquest metà, provocant un augment encara major.

Els hidrocarburs saturats també poden reaccionar amb els halògens (com el clor o el brom) en determinades condicions (**halogenació**). Per exemple, si es mescla un alcà amb clor gasós en un lloc fosc no té lloc cap canvi, però si es fa en presència de la llum solar es produeix una reacció exotèrmica en què un o més àtoms d'hidrogen de l'alcà són substituïts per àtoms de clor.

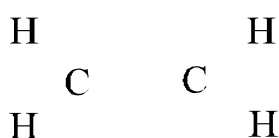


En presència d'excés d'halogen, la reacció anterior pot continuar, formant-se nous productes, les molècules dels quals contenen més d'un àtom d'halogen. Així, si fem reaccionar metà amb clor en excés, es formen molècules amb dos o més àtoms de clor. Molts derivats clorats i bromats s'utilitzen en agricultura com insecticides i herbicides.

Els **freons** (coneguts també com CFC) són compostos de carboni fluor i clor. Es tracta de compostos molt estables, inodors, i no inflamables que, des de mitjans del segle XX van ser àmpliament utilitzats com a gasos propulsors d'esprais, en aparells d'aire condicionat, en frigorífics, per a fumigar plantes, etc. Anys després de l'inici del seu ús massiu es va esbrinar que es tracta de productes molt perillosos ja que, a més de ser gasos hivernacle, tenen la particularitat de difondre's lentament en l'atmosfera i, en arribar a l'estratosfera, es descomponen per l'acció de la radiació ultraviolada, alliberant àtoms de clor capaços de destruir moltes molècules d'ozó. Com sabem, la capa d'ozó estratosfèric contribueix a regular el clima i ens protegeix de la radiació ultraviolada. Afortunadament l'ús dels CFC està actualment prohibit, però els efectes beneficiosos d'aquesta mesura per a la capa d'ozó tardaran encara molts anys a apreciar-se de forma clara.

### 3.2. Hidrocarburs insaturats de cadena oberta

En aquest tipus d'hidrocarburs hi ha dobles i triples enllaços entre àtoms de carboni, de manera que hi haurà menys enllaços C-H que en els hidrocarburs saturats del mateix nombre d'àtoms de carboni. En el cas de doble enllaç, l'hidrocarbur més senzill és l'etè o etilè ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ). En el cas del triple enllaç, el més senzill és l'etí o acetilè ( $\text{CH}\equiv\text{CH}$ ). En el present curs ens limitarem a estudiar aquelles molècules en què existeix únicament una insaturació (sols un doble enllaç o un triple enllaç). Les fórmules moleculars desenvolupades seran:



Etè (o etilè)

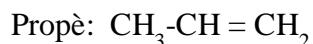


Etí (o acetilè)

Els hidrocarburs que contenen un doble enllaç  $\text{-C=C-}$  es denominen alquens i els que contenen un triple enllaç  $\text{-C}\equiv\text{C-}$  alquins. El nom d'un hidrocarbur insaturat s'obté canviant la terminació  $\text{-à}$  de l'alca corresponent per la de  $\text{-è}$  (per als alquens) i per la terminació  $\text{-í}$  (per als alquins).

**A.9.** *Escriuiu les fórmules semidesenvolupades corresponents al propè i al propí.*

En aquest cas hem de col·locar respectivament un doble enllaç i un triple enllaç, sent indiferent col·locar-lo a la dreta o a l'esquerra del carboni central (és la mateixa molècula vista des de davant o des de darrere).

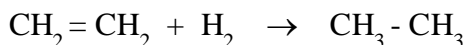


En les molècules amb més de tres àtoms de carboni, la posició del doble o triple enllaç pot variar, donant lloc a diferents compostos (encara que amb la mateixa fórmula molecular). A més també pot haver-hi radicals.

Algunes propietats dels hidrocarburs insaturats són paregudes a les dels saturats. Així, per exemple, són poc polars, motiu pel qual tampoc són solubles en aigua i sí que ho són en dissolvents orgànics tipus benzè. La seua combustió també produeix  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . En canvi, els hidrocarburs insaturats són més reactius. Açò es deu fonamentalment a la naturalesa dels dobles i triples enllaços que, en moltes reaccions es poden trencar i formar enllaços simples.

**A.10.** *Escriuiu la reacció d'addició d'hidrogen a l'etilè per obtindre età.*

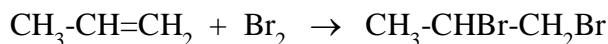
En presència d'un catalitzador i a temperatura elevada, l'hidrogen pot afegir-se a la molècula, donant lloc a un alcà:



**A.11.** *Si introduïm uns quants  $\text{cm}^3$  de gasolina en un tub d'assaig i afegim unes gotes de brom dissolt en tetraclorur de carboni (dissolució de color roig) s'observa que les gotes de dissolució que afegim es decoloren ràpidament. A què es pot atribuir aquest efecte?*

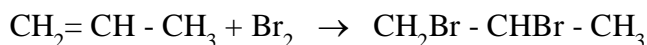
Nota: Es tracta de productes nocius per a persones i medi ambient. Utilitzeu la menor quantitat possible i treballeu sempre amb les mesures de precaució adequades.

L'explicació és que, a la mescla complexa d'hidrocarburs que és la gasolina, hi ha hidrocarburs insaturats. Quan les molècules de brom es trenquen, els àtoms de brom s'addicionen a les insaturacions. Així, per exemple, en el cas del propè, la reacció seria:



**A.12.** *Determineu el volum de brom, de densitat  $3'19 \text{ g/cm}^3$ , necessari per saturar completament 63 g de propè.*

L'equació química corresponent a la reacció del propè amb el brom ve donada per:



## 7. Iniciació a la química del carboni

D'acord amb ella, cada mol de molècules de propè que reacciona ho fa amb un mol de molècules de brom i s'obté un mol de molècules d'1,2-dibromopropà.

En el problema ens pregunten quin volum de brom es necessitarà per fer reaccionar totalment 63 g de propè. Una forma d'obtindre-ho és esbrinar en primer lloc quants mols de propè hi ha en els 63 g i després utilitzar les relacions molars de l'equació química per obtindre els mols de brom necessaris. Finalment, es tractaria d'esbrinar la massa de brom corresponent a l'esmentada quantitat de mols i amb ella (i la densitat) el volum demanat.

$$\text{Núm. de mols de } C_3H_6 = \text{massa(g)}/\text{massa molar (g/mol)} = 63/42 = 1'5 \text{ mols}$$

Com per cada mol de propè que reacciona, s'utilitza també un mol de brom, concloem que s'hauran utilitzat 1'5 mols de brom.

$$\text{La massa de brom serà: } \text{massa de brom} = \text{núm. mols} \cdot \text{massa molar} = 1'5 \cdot 79'9 = 119'85 \text{ g}$$

$$\text{Per obtindre el volum de brom, apliquem: } V = m/d = 119'85/3'19 = 37'57 \text{ cm}^3$$

Pel que fa a la combustió, els hidrocarburs insaturats cremen en l'aire de forma semblant als saturats, produint també  $CO_2$  i  $H_2O$ . Un cas particularment interessant al respecte és el cas de l'acetilè, que crema produint una flama que pot aconseguir una temperatura pròxima als 3000 °C, motiu pel qual s'empra en treballs de soldadura i tall de metalls.

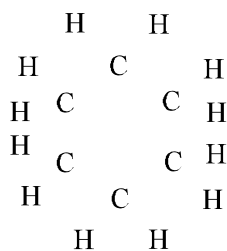
**A.13.** En cremar una certa quantitat d'acetilè es van produir 154 g de  $CO_2$ . Obteniu la massa d'acetilè que es va cremar.

Resultat: 45'5 g

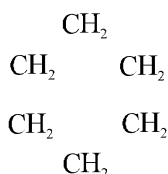
### 3.3. Hidrocarburs cíclics

Aquest grup d'hidrocarburs es caracteritza perquè les seues molècules tenen almenys un anell, format per la unió de 3 o més àtoms de carboni. Quan es tracta d'un hidrocarbur saturat ens trobem davant d'un cicloalcà.

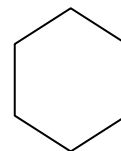
Un dels cicloalcans més importants és el ciclohexà ( $C_6H_{12}$ ), molt utilitzat com dissolvent d'altres substàncies orgàniques. Els esquemes següents corresponen a formes distintes de representar la molècula de ciclohexà.



o bé



o, més esquemàticament



**A.14.** Representeu, de la forma més esquemàtica possible, les molècules dels següents compostos: Ciclopropà, ciclobutà, ciclopentà, cicloheptà i ciclooctà.

**A.15.** La fórmula general dels alcans és, com ja hem vist,  $C_nH_{2n+2}$ . Quina serà la fórmula general dels cicloalcans?

Resultat:  $C_nH_{2n}$

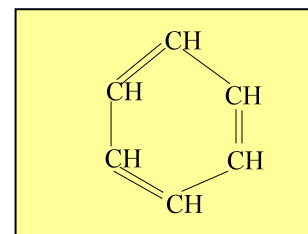
Les propietats físiques dels cicloalcans són semblants a les dels alcans de cadena oberta: No són solubles en aigua, però sí en dissolvents orgànics, són poc reactius, es combinen amb l'oxigen donant reaccions exotèrmiques (combustió), en presència de la llum solar poden experimentar reaccions d'halogenació, etc.

Un tipus d'hidrocarburs cíclics d'especial importància és el grup dels hidrocarburs aromàtics. A l'edat mitjana ja es comerciava amb espècies i s'utilitzaven moltes herbes en medicina. No és, doncs, d'estranyar que els químics estudiaren aquests productes amb la finalitat d'extraure d'ells les essències amb les fragàncies, sabors o propietats curatives. Més endavant es tractà de determinar la seua estructura per tal d'aconseguir sintetitzar-los en grans quantitats i a menor cost. Durant la primera mitat del segle XIX es va aïllar per primera vegada el benzè ( $C_6H_6$ ), que és l'hidrocarbur base a partir del qual s'han obtingut un gran nombre de compostos als que, per costum, se'ls va continuar denominant aromàtics (encara que molts d'ells no emeten cap aroma). En l'actualitat també se'ls coneix com "arenos".

Les substàncies anomenades aromàtiques es caracteritzen per tindre una unitat formada per sis àtoms de carboni enllaçats entre ells, formant una cadena tancada de gran estabilitat, que roman intacta en moltes reaccions.

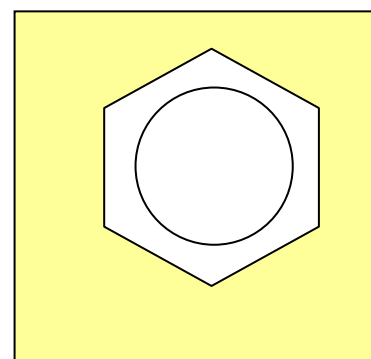
**A.16.** A partir de la fórmula molecular del benzè  $C_6H_6$  i sabent que es tracta d'una molècula hexagonal i plana, proposeu una possible estructura (utilitzant els dobles enllaços necessaris) que done compte de la mateixa.

Una possible estructura seria la d'un hexàgon amb tres dobles enllaços alternats, que és la que es va acudir als químics que investigaren aquest compost per primera vegada. En aquest cas l'hexàgon no seria regular, perquè els dobles enllaços són més curts que els simples. A més, a causa de l'existència de dobles enllaços, el benzè hauria de ser tan reactiu com els alquens.



En canvi, els resultats experimentals mostraven una estructura regular en la que tots els costats de l'hexàgon tenien la mateixa longitud. A més el benzè no presenta reaccions típiques de l'existència de dobles enllaços (per exemple, no decolora l'aigua de brom), per tant, aquesta no podia ser l'estructura.

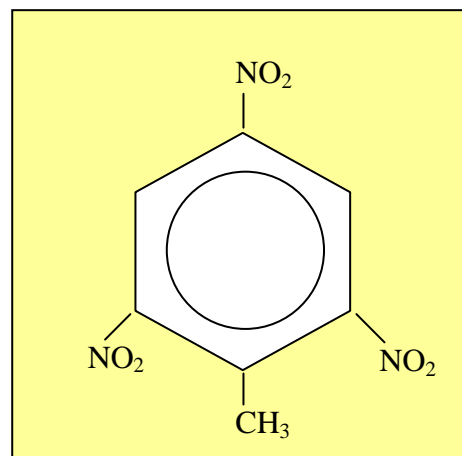
Actualment s'admet que l'estructura de la molècula de benzè és la de sis àtoms de carboni enllaçats entre ells, ocupant els vèrtexs d'un hexàgon regular i els sis electrons restants es distribueixen deslocalitzats, de forma uniforme, donant lloc a un "núvol electrònic compartit", per damunt i per baix del pla de la molècula. Així, l'anell benzènic se sol representar esquemàticament mitjançant un hexàgon regular amb una circumferència interior (indicativa del núvol electrònic). A l'esquema, encara que no estiguen indicats expressament, cada vèrtex de l'hexàgon està ocupat per un C unit a un H.



## 7. Iniciació a la química del carboni

El benzè és una substància tòxica molt perillosa, per tant convé prendre moltes precaucions si s'ha de manipular. La seua inhalació pot produir marejos, irritació ocular i mal de cap. A més és un compost molt cancerigen. Es tracta d'un líquid incolor, poc viscos i d'una olor forta molt característica. És molt poc soluble en aigua, però sí que es dissol en dissolvents orgànics (per exemple en alcohol o èter). Fon a 5'5 °C i bull a 80'1 °C

Per substitució d'alguns dels hidrògens pot produir diferents derivats, motiu pel qual sol utilitzar-se com producte de partida per a la fabricació d'un gran nombre de compostos derivats (hidrocarburs aromàtics o arenos). Una de les reaccions més importants en la que participa el benzè és la de nitració, formant trinitrotoluen o TNT, un explosiu de gran potència, l'estructura del qual és:



### 3.4. Fonts dels hidrocarburs

El petroli i el gas natural són la principal font dels hidrocarburs saturats (fins al C<sub>40</sub>) i proporcionen la matèria primera per a l'obtenció de la majoria de les substàncies orgàniques. El gas natural està compost fonamentalment per metà (sobre el 80%) i età (al voltant del 10 %) i, en menor grau, per propà, quelcom de butà i altres hidrocarburs superiors (de molècules amb major nombre d'àtoms de carboni).

L'hulla és un producte natural que conté al voltant d'un 80 % de carboni. Quan es procedeix al seu calfament en absència d'aire s'obté una mescla de metà i hidrogen (gas de l'enllumenat), carboni quasi pur i quitrà d'hulla. Aquest últim producte és una substància negra i viscosa i constitueix una font important per a l'obtenció d'hidrocarburs aromàtics (que també s'obtenen per deshidrogenació del ciclohexà i els seus derivats).

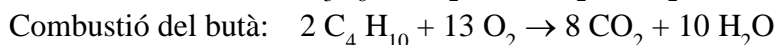
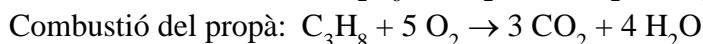
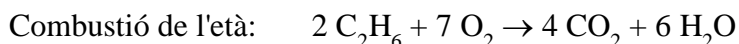
## 4. COMBUSTIÓ DELS HIDROCARBURS

Com ja hem vist, tots els hidrocarburs produeixen CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O en cremar-se. La combustió dels hidrocarburs té una importància extraordinària i, de fet, constitueix el seu ús més generalitzat (com a combustibles) ja que les reaccions de combustió permeten transferir grans quantitats d'energia interna química (existent en les molècules dels hidrocarburs) a altres sistemes (mitjançant treball i/o calor), aconseguint així moure vehicles, augmentar la temperatura ambient a les cases, cuinar, produir electricitat, etc.

No obstant això, la combustió d'estos compostos és també la causa fonamental de l'augment de la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera, que en 2014 superava ja en més d'un 40% a la que hi havia a l'inici de la revolució industrial (1760) i és la més alta registrada des de fa almenys 800 000 anys, contribuint així de forma decisiva a l'augment de l'efecte hivernacle.

*A.17. Escriu les equacions químiques, degudament ajustades, corresponents a les reaccions de combustió dels quatre primers hidrocarburs de la sèrie dels alcans.*

La contestació a la qüestió plantejada ens porta a escriure:



En les reaccions de combustió dels hidrocarburs, es requereix una certa energia per iniciar el procés (energia d'activació). Aquesta energia es pot aconseguir mitjançant una flama o espurna, però una vegada començada prossegueix espontàniament, per tractar-se d'una reacció molt exotèrmica.

*A.18. La gasolina és una mescla complexa d'hidrocarburs, la major part dels quals estan formats per molècules de 5 a 10 àtoms de carboni cadascuna. Un dels principals components de la gasolina és l'isooctà ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ). Suposant que en un dipòsit existisquen 31'92 litres d'aquest compost (densitat  $0'7 \text{ g/cm}^3$ ), es demana: Quina massa de diòxid de carboni s'haurà emès a l'atmosfera degut només a la combustió de tot l'isooctà present? Utilitzeu aquest resultat per a reflexionar sobre la contribució dels vehicles de motor a l'augment de la concentració de  $\text{CO}_2$  a l'atmosfera en tot el planeta. Resultat: 69 kg.*

## 5. ALGUNS COMPOSTOS DE CARBONI AMB ALTRES ELEMENTS

Les cadenes d'hidrocarburs poden incorporar altres àtoms o grups d'àtoms diferents a l'hidrogen, que els proporcionen unes propietats característiques perfectament diferenciades de les de l'hidrocarbur de la mateixa cadena carbonada. Aquests s'anomenen **grups funcionals**, i la resta de la molècula és un radical hidrocarbonat que en general se simbolitza per R. En aquest curs, ens limitarem a estudiar de forma elemental alguns d'ells.

### 5.1. Derivats halogenats. R-X

Són els hidrocarburs que, a les seues molècules, han substituït almenys un àtom d'hidrogen per un halogen. El nombre de compostos d'aquest tipus és enorme. Per anomenar-los es nomena el nom de l'halogen seguit del nom de l'hidrocarbur corresponent.

*A.19. Escriuiu les fórmules semidesenvolupades del clorometà i cloroetà.*

S'utilitzen principalment com dissolvents i desengreixants (sobretot els derivats clorats). També s'utilitzen com compostos bàsics en la síntesi d'alguns **polímers** i com a propel·lents en alguns aerosols. També en circuits de refrigeració i com agents extintors. El triclorometà (o cloroform) es va emprar durant molt de temps com anestèsic (actualment no s'utilitza, perquè produeix efectes tòxics secundaris).

### 5.2. Alcohols. R-OH

Són compostos que tenen un o més grups **hidroxil** (-OH) units a un radical R, és a dir a un hidrocarbur que ha perdut un o més àtoms d'hidrogen (els quals han segut substituïts pels grups -OH). S'anomenen com derivats de l'hidrocarbur del qual provenen, acabat en *-ol*.

## 7. Iniciació a la química del carboni

### A.20. *Escriuiu les fórmules del metanol i de l'etanol*

Quan el metanol i l'etanol es cremen produeixen  $\text{CO}_2$  i vapor d'aigua (igual que la resta dels alcohols). L'etanol (que forma part de les begudes alcohòliques) és un dels alcohols més importants i és el compost a què la gent anomena habitualment "alcohol" o, més exactament: **alcohol etílic**. En condicions ordinàries és un líquid transparent, incolor, d'olor penetrant i característic, menys dens que l'aigua ( $0,8 \text{ g/cm}^3$ ), bull a uns  $78 \text{ }^\circ\text{C}$  i solidifica a  $-112 \text{ }^\circ\text{C}$ , es mescla molt bé amb l'aigua i sol usar-se com desinfectant. Com ja sabem, el percentatge d'etanol pur indica el grau alcohòlic. Així, quan parlem de l'alcohol de farmàcia de  $96 \text{ }^\circ$ , estem indicant que, per cada  $100 \text{ cm}^3$ , hi ha  $96 \text{ cm}^3$  d'etanol pur (igual ocorre en les begudes alcohòliques). L'etanol pot obtindre's a partir de la fermentació dels sucres presents en el suc de determinades fruites (generalment el raïm) o en els grans de cereals (com la dacsà o l'ordi).

Quan consumim begudes alcohòliques ingerim l'etanol que contenen. El cos humà no pot emmagatzemar alcohol, de manera que ha de metabolitzar-lo i transformar-lo en altres compostos que sí que es poden assimilar. Aquest procés ocorre fonamentalment en el fetge. Convé tindre en compte que, si arriba massa alcohol al fetge, es provoquen danys que poden ser molt greus, com la malaltia del fetge gras o, fins i tot, cirrosi. L'etanol és una substància que crea addicció provocant que l'organisme necessite prendre cada vegada més quantitat per obtindre els mateixos efectes. Conduir havent consumit begudes alcohòliques prèviament, és una de les causes més freqüents de morts i lesions greus per accidents de trànsit.

El metanol és un alcohol molt més tòxic que l'anterior. La seua ingestió provoca ceguera o inclús la mort. S'utilitza com alcohol de cremar i també com a additiu de la gasolina.

Els alcohols amb més d'un grup  $-\text{OH}$  es denominen polialcohols. Un exemple és el propanotriol o **glicerina**, usat habitualment en cremes per a la protecció de la pell i també en la fabricació d'altres productes, com alguns plàstics i explosius.

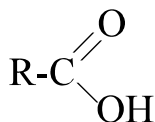
### A.21. *Escriu la fórmula semidesenvolupada del propanotriol sabent que té un grup $-\text{OH}$ en cada carboni.*

Des de fa alguns anys s'usa l'anomenat "bioetanol" com a combustible. S'anomena així a l'etanol produït a gran escala a partir, principalment, de vegetals com la dacsà, la remolatxa o la canya de sucre, mitjançant processos de fermentació dels sucres que contenen. Aquest etanol es pot utilitzar com combustible (sense afegir-li res més) o bé ser afegit a la gasolina.

### A.22. *Quins avantatges té l'ús de bioetanol en els vehicles de motor en compte dels combustibles fòssils?*

Contràriament al que poguera pensar-se, a igualtat d'energia obtinguda, l'etanol produïx quan es crema més  $\text{CO}_2$  que la gasolina, per la qual cosa deuria (en principi) contribuir més que esta a l'augment de l'efecte hivernacle. No obstant això no és així, perquè el bioetanol ha sigut produït per les plantes i estes, durant tot el seu creixement, han estat eliminant  $\text{CO}_2$  de l'atmosfera per mitjà de la fotosíntesi (que després es restitueix novament al cremar el bioetanol). A més, la dacsà o la remolatxa es poden plantar indefinidament, però els combustibles fòssils no es renoen. No obstant, cal pensar també en la gran quantitat de terreny i aigua que es necessitaria per poder substituir una part important dels combustibles fòssils pels altres, així com altres implicacions, com la possibilitat que augmente el preu de productes tan bàsics com la dacsà o el blat.

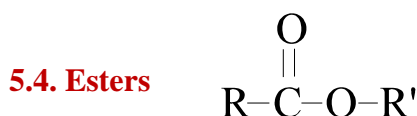


**5.3. Àcids orgànics**

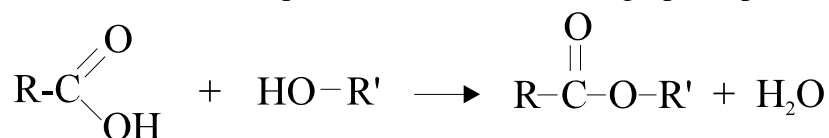
Els àcids orgànics es caracteritzen per la presència del grup **carboxil** a les seues molècules. Per anomenar-los s'utilitza el nom de l'hidrocarbur del qual provenen amb el sufix *-oic*.

**A.23.** *Escriu les fórmules semidesenvolupades dels àcids metanoic (o fòrmic), etanoic (o acètic) i propanoic.*

Molts àcids orgànics es troben en productes naturals i són coneguts pels seus noms comuns (diferents de la nomenclatura internacional). Podem esmentar, per exemple, l'àcid cítric de les taronges i limes, l'oxàlic de les tomaques, el màlic de les pomes, l'acètic del vinagre, el làctic de la llet o els anomenats àcids grassos (àcids amb un grup carboxil, saturats i insaturats, amb longituds de cadena entre C<sub>4</sub> i C<sub>24</sub>) que estan presents en olis vegetals i animals.



Es consideren derivats dels àcids, als què s'ha substituït l' H del grup OH per un radical.



Els esters es poden nomenar com si foren sals derivats de l'àcid carboxílic del qual provenen canviant la terminació *-oic* del mateix per la terminació *-at* i afegint el nom del radical R' acabat en *-il*.

**A.24.** *Escriu les fórmules semidesenvolupades del metanoat d'etil i de l'acetat de metil.*

Els esters de massa molecular baixa són líquids neutres i incolors, sovint d'olor agradable (per això solen utilitzar-se com aromatitzants artificials). Els d'elevada massa molecular són substàncies greixoses ceroses o cristal·lines. Estan presents a la naturalesa donant aromes i sabors a plantes i fruits. També es troben en els greixos, ceres i olis.



Són compostos en les molècules dels quals, l'àtom de nitrogen està unit directament a una, dos o tres cadenes carbonades. Es poden considerar, en principi, com derivats de l'amoníac NH<sub>3</sub> on s'han anat substituint cadascun dels seus hidrògens per radicals (restes carbonats), produint així amines primàries R-NH<sub>2</sub>, secundàries R-NH-R' i terciàries R-NR''-R'

En primer lloc s'anomenen els radicals, en orde alfabètic i s'acaba amb la paraula amina.

**A.25.** *Escriu les fórmules semidesenvolupades de l'etilmetilamina i de la propilamina*

La importància d'aquests compostos radica, fonamentalment en la seua utilització per fabricar fibres tèxtils i colorants. També en bioquímica i medicina (amfetamines, penicil·lina, morfina, nicotina, adrenalina, etc.). Els aminoàcids (constituents bàsics de les proteïnes) són compostos que tenen un grup amina i un altre àcid.

## 6. QUÈ SÓN ELS POLÍMERS?

Una propietat molt important dels hidrocarburs insaturats és la **polimerització**. Un polímer és una substància, les molècules de la qual s'han format per la unió de moltes unitats menors idèntiques entre elles, anomenades monòmers. Així, per exemple, una molècula d'etilè, en determinades condicions, pot enllaçar-se amb altra. En general, aquest procés comença amb l'obertura d'un doble enllaç:

$\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2 \cdot$  Si es troben dues molècules podran formar un enllaç covalent

$\cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2 \cdot + \cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2 \cdot \rightarrow \cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2 \cdot$

Al producte resultant pot afegir-se altra molècula d'etilè:

$\cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2 \cdot + \cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2 \cdot \rightarrow \cdot \text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2 \cdot$

I seguir així successivament donant lloc a un polímer anomenat **polietilè** format per molècules amb un nombre "n" de monòmers. El procés es pot resumir com:

$n \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \dots \text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-} \dots$  és a dir:  $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_n\text{-}$

On, hem ombrejat el monòmer corresponent per destacar-lo.

Una sola macromolècula de polietilè pot contindre unes 2000 unitats de monòmer. El polietilè s'emptra en la fabricació de teixits sintètics, joguets, recobriment de fils d'aram i cables, recipients per a embalatge, etc. Les seues propietats són molt diferents de les del monòmer que el forma (l'etilè). En l'actualitat (2008) es produeixen anualment uns 40 milions de tones de polietilè al món.

*A.26. Altre polímer és el policlorur de vinil, més conegut com PVC. En aquest cas el monòmer és el clorur de vinil  $\text{ClCH}=\text{CH}_2$ . Escriu esquemàticament l'estructura del PVC.*

Ací, n de  $\text{CHCl}=\text{CH}_2$  donarien  $\dots \text{-CHCl-CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-} \dots$  és a dir:  $\text{-(CHCl-CH}_2\text{)}_n\text{-}$

Una sola macromolècula de PVC pot contindre al voltant de 25000 unitats de monòmer.

La fabricació a escala industrial de PVC és objecte d'una viva polèmica, present inclús als mitjans de comunicació. Els seus detractors afirmen que la seua obtenció comporta la utilització de substàncies perilloses per a la salut i el medi ambient, com és el propi clorur de vinil. D'altra banda, els canvis químics necessaris requereixen molta energia ja que, entre altres coses, s'ha de separar el clor del sodi a què es troba unit en el compost clorur de sodi per forts enllaços de tipus iònic. A més, un producte fet de PVC pot contindre additius tòxics que se li afegixen amb distints propòsits (per exemple per fer-lo més estable), com el plom o el cadmi. Els productes amb PVC són molt nombrosos: més del 65 % del PVC que es fabrica s'utilitza en la construcció, per a fabricar persianes, marcs de finestres i portes, canonades, revestiments, mobles de jardí, etc. ; també s'utilitza per fabricar cortines de bany, tovalles, tapisseries de cotxes, botelles, etc. Quan, passat el temps, aquests productes vagen a parar a enderrocs o abocadors, alliberaran a poc a poc els additius tòxics que contenen, contaminant el sòl i l'aigua. Si es cremen, es produeix clorur d'hidrogen (corrosiu) i altres substàncies altament tòxiques (com les dioxines). Molts envasos (botelles d'aigua, oli, vinagre, etc.), gots, plats, etc., de plàstic, són de PVC.

Actualment, moltes empreses embotelladores d'aigua, han deixat d'utilitzar PVC als seus envasos, però en general, la fabricació d'aquest polímer ha experimentat un gran augment a escala mundial, passant de 220.000 tones a l'any en 1950 a més de 25 milions de tones anuals a finals del segle XX.

El polietilè i el PVC són dos exemples de plàstics. Hi ha molts tipus de plàstics i la societat actual no pot prescindir d'ells. Cada vegada es fan més objectes de plàstic. Particularment les bosses de plàstic han envaït el planeta i poden trobar-se en qualsevol part. Són barates i resistents. En molts centres comercials les regalen per transportar les compres. Es calcula que cada minut es produeixen al voltant d'1 milió de bosses de plàstic al món. Només a Espanya es reparteixen a l'any més de 10.000 milions d'aquestes bosses. (Font: El País Setmanal, 21 d'octubre del 2007).

*A.27. Els plàstics presenten tants avantatges (poc pes, resistència, durabilitat, etc.), que el seu ús per a fabricar tot tipus d'objectes s'ha generalitzat pràcticament a tot el món. Cap a l'any 2010 la demanda mundial de plàstics serà de l'orde d'uns 300.000 milions de quilograms anuals i la seua producció fa temps que ha superat ja a la d'acer. No obstant això, alguns sostenen que aquest elevat consum pot estar causant més problemes que solucions. A quins problemes poden estar referint-se?*

Els plàstics causen un greu impacte sobre el medi ambient. Per començar, a diferència del vidre o del paper, el seu reciclatge no suposa cap estalvi especial. Per aquesta i altres raons, el plàstic que es recicla no arriba ni a la quarta part del què es produeix. Però actualment ja és absolutament necessari evitar les enormes quantitats de plàstics que s'acumulen en abocadors i que estan presents, pràcticament en tots els medis (tant en el mar com en els continents), situació que produeix un efecte molt antiestètic al temps que genera greus problemes ja que els plàstics poden romandre inalterables durant molt de temps (impossibilitat de **biodegradar-se** en la majoria dels casos). D'altra banda, la seua incineració no sols produeix CO<sub>2</sub>, sinó també substàncies tòxiques com metalls pesats i dioxines. A més la matèria primera per a la fabricació de la immensa majoria dels plàstics és el petroli (un combustible fòssil no renovable).

*A.28. Quines accions es poden dur a terme per contribuir a solucionar els problemes anteriorment enumerats?*

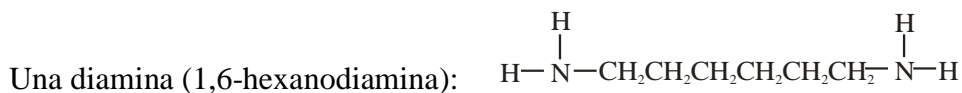
Hem de ser conscients d'aquests greus problemes i donar preferència als productes a granel front als envasats en plàstic (per exemple, fruites i verdures). Utilitzem també sempre les mateixes bosses de lona per a les nostres compres (que podem transportar plegades fàcilment i reutilitzar moltes vegades) i no acceptem les de plàstic (la millor forma de tractar els residus és no produir-los), donem prioritat als envasos de vidre (moltes empreses, aprofitant una deficient legislació ambiental, tendeixen a substituir els envasos de vidre per altres de plàstic no retornables) i, per descomptat, fem ús dels contenidors previstos per dipositar el plàstic rebutjat. D'altra banda és necessari impulsar la investigació per fabricar nous plàstics que siguin biodegradables (açò és, que puguin ser destruïts pels bacteris) i que substituïsquen als que no ho són (per ara la gran majoria).

Des de 1930, la indústria química ha produït una gran varietat de polímers sintètics. A més dels dos ja tractats (polietilè i PVC) podem citar, entre d'altres, materials tèxtils com el niló o el polièster, el cautxú sintètic (utilitzat per fabricar pneumàtics), les silicones (per a impermeabilitzar), el tefló (com material antiadherent en paelles), etc.

## 7. Iniciació a la química del carboni

Una de les aplicacions més conegudes del niló és la seua utilització en la fabricació de mitges. Es tracta d'un polímer resultant de la combinació de dos monòmers distints, que forma fibres elàstiques i forts, a causa dels enllaços intermoleculars per pont d'hidrogen que es formen entre les distintes macromolècules. De les fibres de niló es poden obtenir fils finíssims. Cap a l'any 1940 es van comercialitzar amb un gran èxit les primeres calces de niló als Estats Units i en 1945 a Europa. El niló té també moltes altres aplicacions (teles de paracaigudes, raspalls de dents, pintes i mànecs de raspalls, etc.).

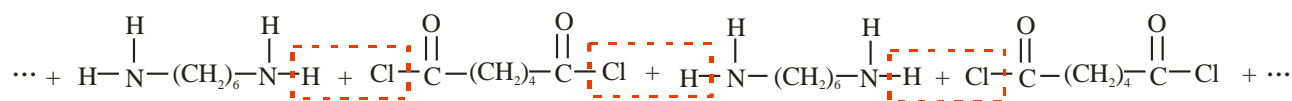
Els monòmers que s'uneixen per formar el niló són:



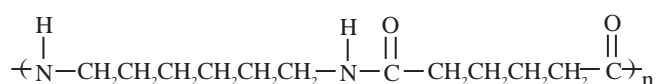
Es tracta d'una reacció de polimerització per **condensació** en la qual les molècules anteriors s'uneixen per formar la unitat estructural del niló.

**A.29.** *Escribiu la reacció entre les molècules anteriors, sabent que en ella es produeix clorur d'hidrogen i indiqueu quina seria la unitat estructural del niló.*

L'equació de la reacció ve donada per:



En la que, com pot observar-se, es desprèn HCl i es forma un polímer (niló), la unitat estructural del qual es pot representar com:



**Per fabricar fibra de niló al laboratori escolar s'utilitzen els materials següents:**

Dos vasos de precipitats de 50 ml i un de 150 ml

Vareta de vidre (o millor, una proveta de plàstic)

Dissolució d'1,6-hexanodiamina en aigua al 5% . **(A)**.

Dissolució al 5% de clorur d'hexanodioïlo (també conegut com clorur d'adipoïlo) en ciclohexà, col·locat en un flascó amb dispensador. **(B)**.

Dissolució al 20% de NaOH

Pinces (o, millor, un clip metàl·lic), comptagotes, pipeta y paper de filtre.

**El procediment experimental és el següent:**

1r) S'aboquen 5 ml de la dissolució a en el vas de precipitats de 150 ml, afegint després unes 5 gotes de dissolució aquosa de NaOH al 20 %.

2n) Es transvasen 5 ml de la dissolució B a un vas de precipitats de 50 ml i després, utilitzant aquest mateix vas, s'aboquen amb molta cura sobre el vas de 150 ml, col·locant-lo un poc inclinat de manera que vagen rrelliscant per la paret lentament. Atès que el dissolvent orgànic (ciclohexà) no es mescla amb l'aigua, s'observarà com es formen dues capes, apareixent una pel·lícula del polímer (niló) en la separació d'ambdós. És important no agitar la mescla.

3r) Amb ajuda de les pinces (o el clip desenrotllat, amb un xicotet ganxo final), s'agafa la pel·lícula de niló formada entre les dues capes, alçant-la lentament i enrotllant el fil sobre la vareta de vidre (o la proveta). Aquesta es va girant lentament per anar extraient a poc a poc el niló, observant com, al temps que desapareix, es forma més, segons es van posant en contacte els dos reactius (si s'estira massa ràpid el fil es pot trencar).



Laboratori de Química. IES Misericòrdia. València

4t) Quan s'acaben els reactius, es renta el polímer obtingut varies vegades amb aigua i es deixa eixugar sobre un paper de filtre.

### **Precaucions a tindre en compte:**

Utilitzeu guants i ulleres protectores

Treballu en vitrina de gasos

No toqueu el polímer amb les mans nues fins després de rentat i eixugat.

Utilitzeu els reactius amb cura (es tracta de productes perillosos per a les persones i el medi ambient). Al final vessar les restes de la dissolució en un recipient per a residus orgànics halogenats.

## 7. MACROMOLÈCULES IMPORTANTS EN LA CONSTITUCIÓ DELS ÉSSERS VIUS

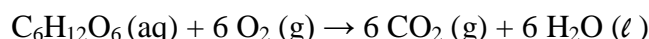
Als organismes vius existeixen també una gran quantitat de polímers naturals, alguns d'ells essencials per a la vida com, per exemple, els glúcids (també anomenats hidrats de carboni), els lípids i les proteïnes.

### 7.1. Els glúcids o hidrats de carboni

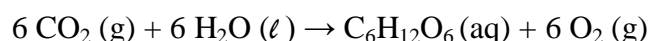
Són compostos de carboni, hidrogen i oxigen. Es poden classificar en tres grans grups: **monosacàrids o sucres** (com la glucosa o la fructosa), formats per molècules simples, que constitueixen les unitats bàsiques de tots els glúcids; **oligosacàrids**, formats per la unió d'entre 2 i 15 molècules (com, per exemple, la sacarosa, formada a partir d'una molècula de glucosa i altra de fructosa que s'uneixen, donant sacarosa i  $H_2O$ ); i els **polisacàrids**, que són els glúcids més abundants a la naturalesa. Estan formats per la unió d'un elevat nombre de monosacàrids (exemple, el midó i la cel·lulosa) donant lloc a vertaderes macromolècules.

Els hidrats de carboni són fonts d'energia per a l'organisme (cada gram proporciona aproximadament 4 kcal). Els monosacàrids i oligosacàrids solen ser cristal·lins, de sabor dolç, solubles en aigua. Poden ser utilitzats directament per les cèl·lules. Abunden en brioeria, pastisseria, dolços en general i fruites com el raïm.

Els animals i les plantes obtenen una part molt important de l'energia que necessiten oxidant la glucosa en la respiració. Es tracta d'un procés complex que es realitza en diverses etapes. La reacció global és:



Les plantes verdes, a més de respirar (tant de dia com de nit), en presència de la llum realitzen altra funció distinta: la fotosíntesi. També es tracta d'un procés complex, que globalment pot ser esquematitzat mitjançant la reacció:



Com pot veure's en la fotosíntesi es forma glucosa, que les plantes utilitzen per obtenir després midó, proteïnes i altres compostos que necessiten per a viure.

La sacarosa es troba en el sucre de canya i també de remolatxa. Amb ella es fabrica el sucre de taula.

Els polisacàrids no són dolços ni cristal·lins i a penes són solubles en aigua. La seua estructura està composta per la unió d'un elevat nombre d'unitats de monosacàrids. Són, per tant, polímers naturals.

En el cas del midó, el monòmer és la glucosa. Una macromolècula de midó pot contindre al voltant de 1000 unitats de glucosa (convé tindre present que cada vegada que s'afegeix una molècula de glucosa a la cadena, s'elimina altra d'aigua). Està present en grans quantitats en la dacs, les creïlles i l'arròs. La seua funció principal és la de reserva d'energia.

La cel·lulosa és una substància estructural que constitueix la membrana cel·lular de la major part de les plantes. Així, en el cas dels arbres, al voltant del 50% de l'estructura llenyosa és cel·lulosa i el cotó és pràcticament cel·lulosa pura (98%). El mateix que el midó, la cel·lulosa és un

polisacàrid. Les cadenes de cel·lulosa estan formades per unes 10000 unitats de glucosa. La cel·lulosa té moltes aplicacions (per exemple, per a fabricar paper). Al contrari que el midó, no és un nutrient per al ser humà, no obstant això la seua presència en la dieta és fonamental ja que aporta la fibra necessària. Es troba en verdures i fruites.

Convé tindre en compte que per a una alimentació adequada són més interessants els glúcids complexos que els senzills o sucres i que l'excés d'hidrats de carboni es transforma en greixos (teixit adipós).

## 7.2. Els lípids

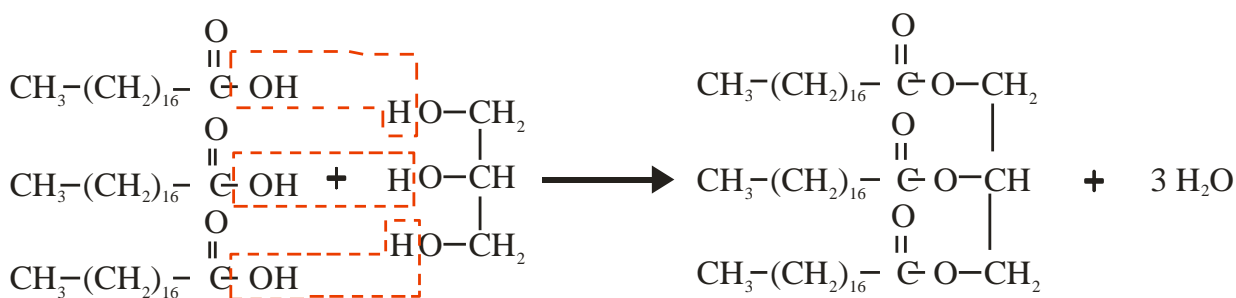
Amb el nom de lípids es designa a substàncies diverses com, per exemple: els greixos, olis i ceres. Tots ells són insolubles en aigua, encara que sí que es poden dissoldre en dissolvents orgànics. Tant els olis com els greixos són esters d'àcids grassos i glicerina. Els greixos i olis en general són els nutrients amb major poder energètic (aproximadament 9 kcal per cada gram), per tant no és estrany que una de les seues funcions més importants siga actuar com substàncies de reserva energètica a llarg termini (i també com aïllants tèrmics, especialment en alguns animals com l'ós, les foques, balenes, etc.).

Les cadenes dels àcids grassos poden ser saturades (formades només per enllaços simples) o insaturades (amb un o més enllaços dobles). Els greixos en general o un oli natural en particular estan formats per una mescla d'esters de diversos àcids grassos.

Exemples d'aliments rics en àcids grassos insaturats són: el peix blau, l'oli d'oliva, les nous, ametlles, etc. Al contrari, la mantega, margarines, cansalada, nata, embotits, gelats, brioxeria industrial, etc., són rics en àcids grassos saturats. En realitat un oli o un greix no contenen àcids grassos com a tals, però s'acostuma a expressar la seua composició en termes del percentatge dels diferents àcids grassos que es podrien obtindre a partir d'ells per **saponificació** (un tipus de reacció química que veurem a continuació). Així, per exemple, l'oli d'oliva ens donaria un 83% d'àcid oleic i un 7% d'àcid linoleic, ambdós insaturats, front a només un 8% d'àcids grassos saturats; mentre que a partir de l'oli de palma s'obtindria un 47 % d'àcids grassos saturats. En la mantega, el percentatge d'àcids grassos saturats ascendeix al 65 % davant de només un 28 % d'insaturats.

La ingestió de greixos i olis a què corresponen alts percentatges d'àcids grassos saturats produeix més **colesterol** (un lípid que, quan es dona en excés, part d'ell es diposita a les artèries obstructives, contribuint així al desenvolupament de malalties cardiovasculars).

**A.30.** Utilitzant les fórmules semidesenvolupades corresponents, escriviu l'equació química corresponent a la reacció entre tres molècules d'àcid esteàric  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$  amb una molècula de glicerina  $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$  per donar una molècula de greix saturat i 3 molècules d'aigua.



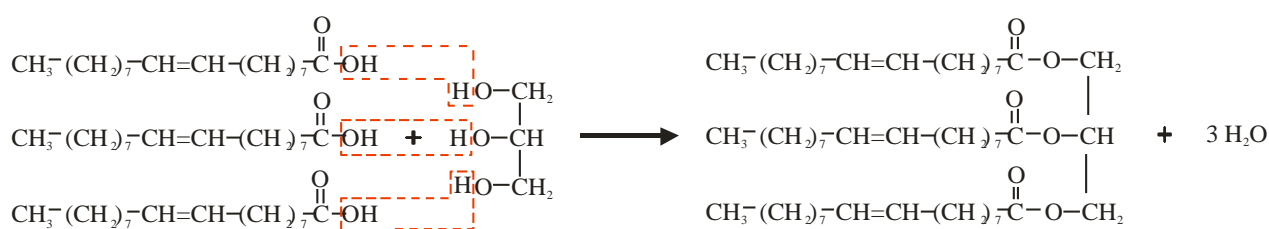
## 7. Iniciació a la química del carboni

Una aplicació dels greixos és la seua utilització per a fabricar sabó. Fa anys les restes de greix i olis fregits que es produïen a les llars no es tiraven al fem sinó que es guardaven per a fabricar sabó, evitant així la incorporació de productes molt nocius al medi ambient.

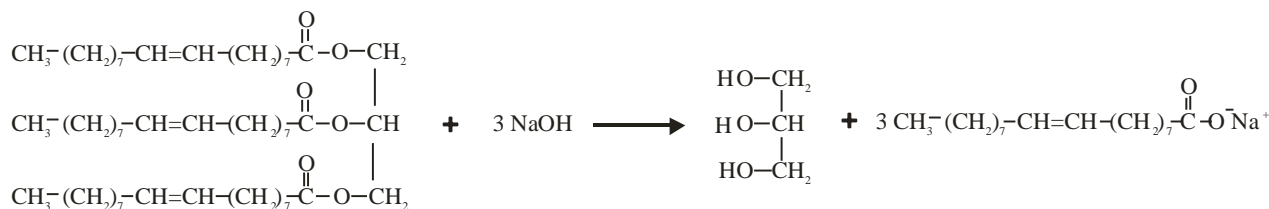
El tractament d'olis i greixos amb lleixius (dissolucions de NaOH, KOH o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) formen la sal alcalina dels àcids grassos, coneguda com sabó, deixant en llibertat la glicerina. Aquesta reacció s'anomena **saponificació** d'un ester. Les sals de sodi són sabons sòlids mentre les de potassi formen sabons líquids (gel).

Utilitzarem oli d'oliva per fabricar sabó. En aquest oli la trioleïna constitueix l'ester més abundant (aproximadament el 80% de l'oli).

**A.31.** *Escriu l'equació química corresponent a la reacció entre tres molècules d'àcid oleic CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>-CH=CH-(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>-COOH amb una molècula de glicerina CH<sub>2</sub>OH-CHOH-CH<sub>2</sub>OH per donar una molècula de trioleïna i 3 molècules d'aigua.*



**A.32.** *Quan es mesclen oli d'oliva i una dissolució aquosa de NaOH en condicions adequades, la trioleïna reacciona amb la sosa per donar una sal de sodi (sabó) i glicerina. Escriu l'equació corresponent a l'esmentada reacció de **saponificació**.*



En la reacció de saponificació anterior a partir de l'oleïna obtenim oleat de sodi (una sal de l'àcid oleic). Les sals d'àcids grassos són els sabons.

Procediu a la realització experimental de la reacció anterior per obtenir sabó al laboratori, seguint les indicacions següents:

### Material i productes necessaris

Vareta per remoure (millor de fusta)

Reixeta i trípod

Mistera

Cullereta o espàtula

Tub d'assaig

Vasos de precipitats de 250 ml

Capseta o motle on posar el sabó obtingut

Oli d'oliva

Dissolució aquosa de NaOH amb una concentració aproximada del 30% en massa

Dissolució saturada de NaCl (sal comuna en aigua)

Etanol



**Procediment**

**1r)** Aboqueu en un vas de precipitats uns 5 g d'oli i després calfeu al **bany Maria** afegint a poc a poc uns 20 ml de la dissolució de sosa, removent contínuament amb la vareta fins que es formen uns grums. La reacció pot anar més ràpida si afegim un poc de sabó o bé un poc d'etanol (en aquest últim cas amb molt cura, ja que és inflamable).

**2n)** Per verificar si ja ha finalitzat la reacció, agafeu un xicotet grum amb la cullereta i tracteu de dissoldre'l en un tub d'assaig al què prèviament li haureu afegit uns 5 ml d'aigua (agitant el tub amb la mescla). Si no s'aconsegueix dissoldre completament, indica que la reacció no ha acabat i cal continuar escalfant la mescla.



I.E.S. Misericòrdia. València.

*Per què diem que si no s'aconsegueix dissoldre el grum significa que no ha acabat la reacció?*

**3r)** Al cap d'una estona es repeteix l'operació anterior i, si el grum es dissol, es considera que la reacció ha finalitzat. En eixe moment cal afegir ràpidament uns 25 ml de dissolució saturada de sal comuna a la mescla i continuar escalfant durant 5 minuts més, sense deixar de remoure i directament al foc. Després deixar reposar fins a l'endemà.

*Quin objecte té afegir una dissolució saturada de NaCl?*

**4t)** S'hauran format dues capes. La capa superior és el sabó que, a causa de la seua menor densitat, sura sobre la inferior (una dissolució aquosa en què hi ha, entre altres espècies químiques: glicerina, cations sodi i anions clorur).

**5t)** Separar el sabó de la resta: Per fer-ho pot procedir-se a sifonar la dissolució amb una goma o simplement decantar la dissolució, buidant tot el contingut del vas en un embut (cobert interiorment per un paper de filtre), llavant després el sabó que queda a l'interior de l'embut amb aigua freda i separant-lo finalment del paper de filtre.

**6t)** El sabó arreplegat es col·loca en un recipient, on s'escalfarà suaument fins que fonga. Tot seguit es posa en un motle per donar-li forma (serveix una capseta qualsevol).

*Per què el sabó elimina les taques de greix o oli dels teixits?*

En les unitats **d'oleat** del sabó que hem obtingut hi ha dues parts diferenciades: una, que atrau a l'aigua i repel·leix al greix (zona hidròfila) i altra, en la que passa el contrari (zona lipòfila). Quan un teixit amb taques de greix se submergeix en aigua sabonosa, cada gota de greix és rodejada per multitud de les esmentades unitats que contacten amb ella per la zona lipòfila, formant un conjunt greix-sabó que es desprèn del teixit, ja que les zones hidròfiles són atretes per les molècules de l'aigua (aquest procés s'afavoreix si agitem, a mà o a màquina, i utilitzem aigua calenta).

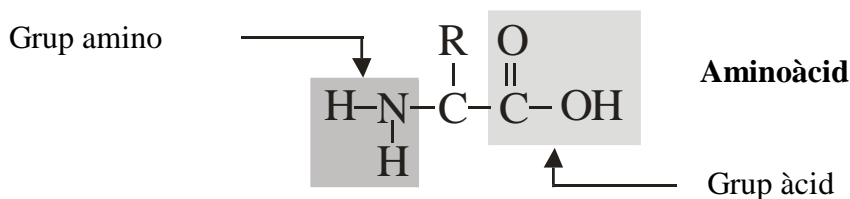
## 7. Iniciació a la química del carboni

### 7.3. Les proteïnes

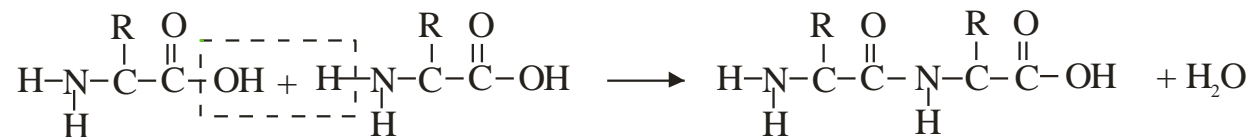
Si es poguera extraure tota l'aigua d'un cos humà, aproximadament la meitat de tot el que quedaria serien proteïnes. Es tracta de polímers que poden tindre distintes funcions: Algunes formen part de la pell i dels músculs, altres es troben en els nostres líquids corporals (per exemple l'hemoglobina que transporta l'oxigen o els anticossos que ens defensen de les infeccions) i també n'hi ha que actuen com catalitzadors de diverses reaccions químiques que ocorren al nostre cos.

Les proteïnes són macromolècules que formen llargues cadenes formades per 20 tipus d'anells o unitats diferents denominades aminoàcids.

Un aminoàcid és un compost que es caracteritza per tindre un grup amino i un grup àcid:



Els aminoàcids s'uneixen entre ells per formar proteïnes. En eixe procés, el grup amino d'una molècula s'uneix amb el grup àcid d'altra, al temps que s'elimina una molècula d'aigua:



Els 20 aminoàcids s'uneixen entre ells de diferents formes i en nombres que poden ser molt elevats. Una característica pròpia de les proteïnes és que basta amb què canvie la posició sols d'un dels aminoàcids que la formen, perquè s'obtinga altra proteïna molt diferent de la primera. Cada espècie animal o vegetal posseeix les seues pròpies proteïnes. Inclús dins d'una mateixa espècie, un individu té proteïnes específiques que el diferencien de la resta dels seus congèneres (açò és una de les raons per les quals es produeixen mecanismes de rebuig en els trasplants d'òrgans, ja que quan en un organisme s'introdueix una proteïna estranya, sol reaccionar contra ella produint anticossos).

Un simple bacteri pot tindre més de 500 proteïnes distintes mentre que, en organismes complexos com l'ésser humà, aquest nombre pot ascendir a milions. En les proteïnes dels éssers vius podem trobar fins a 20 aminoàcids diferents ordenats en distint nombre i seqüències.

Les proteïnes es troben fonamentalment en la carn, peix, llet i els seus derivats (formatge, iogurt, etc.,) i en els ous. També en alguns vegetals com llegums (lletilles, soja, cigrons ...) i cereals (blat, dacsà, arròs...). Ingerim proteïnes dels aliments per descompondre-les en aminoàcids i amb ells fabricar les nostres pròpies.

Dels 20 aminoàcids hi ha 8 que són essencials (perquè amb eixos 8 es poden fabricar també els 12 restants). Aquests han d'estar en la nostra dieta. Les proteïnes millors són les que contenen eixos 8 aminoàcids (les d'origen animal). No obstant això, si mesquem cereals amb llegums, també és possible cobrir entre ambdós aliments els 8 aminoàcids essencials, per això és molt millor menjar, per exemple, arròs amb lletilles que qualssevol d'aquests dos plats a soles.

Convé tindre en compte que, només per a reposar les cèl·lules perdudes, l'ésser humà precisa diàriament 0'8 grams de proteïnes per cada quilogram de massa corporal. Naturalment, aquest nombre és major quan s'està creixent. Finalment, indicar que quan falten glúcids i/o greixos, les proteïnes s'utilitzen com a nutrients energètics.

Una dieta adequada, ha d'incloure els distints nutrients (hidrats de carboni, lípids, proteïnes i també vitamines i sals minerals), en quantitats i proporcions adequades (que varien segons l'edat, el sexe, la constitució corporal i el tipus d'activitats que realitzem). Per això la dieta ha d'incloure la major varietat possible d'aliments. Les persones que no segueixen una dieta sana i equilibrada, corren el risc de patir greus malalties com obesitat, anorèxia, infarts i càncer.

## 8. PAPER DE LA QUÍMICA EN L'ORIGEN I DESENVOLUPAMENT DE LA VIDA

La Terra està habitada per un gran nombre de diferents espècies d'animals i vegetals. No obstant això, malgrat la varietat existent, totes elles, des del més xicotet insecte fins a les grans balenes, passant pels éssers humans, es caracteritzen per tindre vida, una qualitat de què no gaudeixen les roques, l'aigua, l'aire ni la resta del món inanimat.

No obstant això, sabem que la Terra no ha existit sempre, sinó que es va originar fa uns 4600 milions d'anys a partir de gas i pols interestel·lar. Conseqüentment les primeres formes de vida van haver d'originar-se a la Terra posteriorment a eixa data.

La vida no va sorgir de colp. Fins els éssers vius més simples tenen una estructura tan complexa que va haver de ser fruit de canvis successius i prolongats, partint d'altres estructures més elementals al llarg de molts milions d'anys.

Tots els éssers vius estan formats per compostos del carboni: glúcids, lípids, proteïnes, etc. Concretament, les proteïnes exerceixen, com hem vist, un paper essencial en la formació de cèl·lules, per la qual cosa la formació d'aquests compostos de carboni, va haver de ser una etapa fonamental en el llarguíssim procés evolutiu que va donar lloc als primers éssers vius.

Probablement, fa uns 4000 milions d'anys, a l'atmosfera primitiva (sense oxigen, però rica en hidrogen i altres substàncies com metà i amoníac), sotmesa a l'acció de rajos, llampecs, llum ultraviolada (no hi havia capa d'ozó que la filtrara) i vapor d'aigua sobreescalfat, van poder formar-se molècules més complexes. Els productes d'aquestes primeres reaccions químiques, es van dissoldre en els oceans primitius formant una espècie de sopa orgànica, en la que es van poder formar noves molècules i compostos de carboni, de complexitat creixent, fins donar lloc als compostos de carboni bàsics per a la vida, com els hidrats de carboni i les proteïnes.

En l'etapa següent segurament es formaren algunes molècules capaces de fer còpies d'elles mateixes utilitzant per fer-ho, altres molècules del seu entorn i, a partir d'elles, es van originar les cèl·lules primitives.

Fa uns 3000 milions d'anys ja existien en els oceans plantes unicel·lulars i fa uns 1000 milions d'anys els oceans estaven replets de plantes verdes senzilles que, mitjançant la fotosíntesi, van produir un canvi fonamental a l'atmosfera de la Terra fent que l'oxigen constituïra una part important d'ella.

## 7. Iniciació a la química del carboni

Fou necessari esperar fins fa uns 600 milions d'anys perquè acabara el predomini de les algues i sorgiren als oceans formes de vida més grans, de les quals tenim constància fòssil, com els trilobits. Aquest període és conegut com el cambrià. De les algues i altres éssers anteriors al cambrià no queda rastre, ja que els éssers molls deixen poques restes fòssils.

Després es van desenvolupar els primers peixos i vertebrats. Les plantes es van estendre fora dels oceans, van evolucionar els primers insectes i animals amfibis, es van produir els primers arbres i rèptils, els dinosaures, els mamífers i finalment... els **primats**, és a dir, els avantpassats de les mones, dels grans simis i dels humans.

Fa menys de 10 milions que van evolucionar els primers éssers que s'assemblaven fidelment a nosaltres i després, fa només uns pocs milions d'anys, van aparèixer els primers éssers humans. Si ens comparem amb la història de la Terra, els éssers humans som uns nouvinguts. En efecte, si els 4600 milions d'anys d'existència de la Terra es reduïren a un sol any, la nostra espècie no portaria vivint en ella ni una dècima de segon.

La història de la Terra és, per tant, molt llarga. El nostre meravellós planeta té quasi 5000 milions d'anys d'edat i probablement li queden altres tants abans de desaparèixer engolit pel Sol. La vida va sorgir molt prompte en la Terra, com si es tractara d'un procés químic inevitable; però no va ser tan fàcil que, a partir d'eixes primeres formes de vida evolucionaren les plantes i animals superiors i, finalment, els primats. El desenvolupament del cervell i la facultat de pensar és un esdeveniment encara més extraordinari en l'evolució que fa de nosaltres, els éssers humans, una espècie única.

La Terra està plena de fòssils, testimoni de moltes espècies que van viure i es van extingir molt abans que nosaltres apareguérem. La capacitat de raonar, que ens distingeix de la resta d'éssers vius, ens ha convertit en el que som i ens ha permès canviar el món. Actualment s'ha fet imprescindible que utilitzem eixa mateixa capacitat per a construir un desenvolupament sostenible, si no volem que l'impacte que causem sobre la naturalesa acabe fent que el món continue endavant sense nosaltres molt abans del que s'espera. Paga la pena que tots i totes dediquem el nostre esforç a aconseguir aquest objectiu.



# SISTEMA PERIÒDIC DELS ELEMENTS

Clau

Nombre atòmic → 7

N → Símbol

Nom → Nitrogen

14'0 → Massa atòmica

Sòlids
Gasos
Líquids
Artificials

PERIODE	Grup 1A 1												III A 13	IV A 14	V A 15	VIA 16	VII A 17	1 4'0
	IIA 2		III B 3	IV B 4	V B 5	VIB 6	VII B 7	VIII 8 9 10		IB 11	IIB 12	B 13	C 14	N 15	O 16	F 17	He 18	
1	1 H Hidrogen																	
2	3 Li Liti	4 Be Beril·li										5 B Bor	6 C Carboni	7 N Nitrogen	8 O Oxigen	9 F Fluor	10 Ne Neó	
3	11 Na Sodi	12 Mg Magnesi										13 Al Alumini	14 Si Silici	15 P Fòsfor	16 S Sofre	17 Cl Clor	18 Ar Argó	
4	19 K Potassi	20 Ca Calci	21 Sc Escandi	22 Ti Titani	23 V Vanadi	24 Cr Crom	25 Mn Manganès	26 Fe Ferro	27 Co Cobalt	28 Ni Níquel	29 Cu Coure	30 Zn Zinc	31 Ga Gal·li	32 Ge Germani	33 As Arsènic	34 Se Seleni	35 Br Brom	36 Kr Criptó
5	37 Rb Rubidi	38 Sr Estronci	39 Y Itri	40 Zr Zirconi	41 Nb Niobi	42 Mo Molibdé	43 Tc Tecneci	44 Ru Ruteni	45 Rh Rodi	46 Pd Pal·ladi	47 Ag Plata	48 Cd Cadmí	49 In Indi	50 Sn Estany	51 Sb Antimoni	52 Te Telur	53 I Iode	54 Xe Xenó
6	55 Cs Cesi	56 Ba Bari	57 La Lantà	72 Hf Hafni	73 Ta Tantali	74 W Volframi	75 Re Reni	76 Os Osmi	77 Ir Iridi	78 Pt Platí	79 Au Or	80 Hg Mercuri	81 Tl Tal·li	82 Pb Plom	83 Bi Bismut	84 Po Poloni	85 At Astat	86 Rn Radó
7	87 Fr Franci	88 Ra Radi	89 Ac Actini	104 Rf Rutherfordi	105 Db Dubni	106 Sg Seaborgi	107 Bh Bohri	108 Hs Hesi	109 Mt Meitneri	110 Uun Ununnili	111 Uuu Unununi	112 Uub Ununbi		114 Uuq Ununquadi		116 Uuh Ununhexi		118 Uuo Ununocti

Lantànids	6	58 Ce Ceri	59 Pr Praseodimi	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometi	62 Sm Samari	63 Eu Europi	64 Gd Gadolini	65 Tb Terbi	66 Dy Disprosi	67 Ho Holmi	68 Er Erbi	69 Tm Tuli	70 Yb Iterbi	71 Lu Luteci
Actínids	7	90 Th Tori	91 Pa Protactini	92 U Urani	93 Np Neptuni	94 Pu Plutoni	95 Am Americi	96 Cm Curio	97 Bk Berkeli	98 Cf Californi	99 Es Einsteni	100 Fm Fermi	101 Md Mendelevi	102 No Nobeli	103 Lr Laurenci

El color indica l'estat en que es troba en condicions ordinàries de pressió i temperatura, o si es tracta d'un element obtingut artificialment