

CIÈNCIES NATURALS PER A MESTRES

**Jordi Solbes
M. Consuelo Domínguez**



Reservados todos los derechos.

De acuerdo con la legislación vigente, y bajo las sanciones en ella previstas, queda totalmente prohibida la reproducción y/o transmisión parcial o total de este libro, por procedimientos mecánicos o electrónicos, incluyendo fotocopia, grabación magnética, óptica o cualesquiera otros procedimientos que la técnica permita o pueda permitir en el futuro.

I.S.B.N.: 978-84-15323-70-9

Depósito Legal: V-0682-2013

Impresión y edición:



REPROEXPRES, S.L.
C/ Ramón Llull, 17 - bajo
46021 - Valencia
Tel.: 96 361 29 39
Fax: 96 361 58 49
www.reproexpres.com
atencionalcliente@reproexpres.com

Índex - Resum

El present material va dirigit als estudiants¹ del grau de Magisteri de la Universitat de València i desenvolupa l'assignatura de Ciències Naturals per a mestres. En la seua elaboració s'han perseguit dos objectius primordials:

El primer és oferir als futurs mestres un coneixement bàsic dels conceptes, els procediments i els valors de les ciències que apareixen en la guia docent de l'assignatura.

El segon és més ambiciós, ja que consisteix a involucrar els estudiants en el seu procés d'ensenyament-aprenentatge. Per aconseguir-ho es pretén que, partint d'uns coneixements previs, construïsquen els conceptes, les lleis i les teories que conformen el marc conceptual que s'està desenvolupant.

Conèixer la matèria que s'ha d'ensenyar és, òbviament, un requisit necessari per a impartir-la, però, som conscients que aquest no és, ni de bon tros, l'únic coneixement necessari per a ser un bon docent? Què més cal per a ser-ho? Què ha de saber el professorat i com pot arribar a construir aquest coneixement? Com pot un/a professor/a ajudar els estudiants a aprendre?

¹ Per motius d'agilitat en la lectura i únicament amb la intenció de fer-la més fàcil, en aquest text s'utilitza el masculí com a genèric. S'evita així la repetició de les formes *els/les ells/elles* del masculí/femení i s'entén sempre que estem fent referència tant a dones com a homes. Malgrat aquesta generalització del llenguatge, els autors som plenament conscients que la història s'ha elaborat amb la participació de totes les persones d'ambdós sexes i a totes elles va destinat aquest treball.

Actualment la Didàctica accepta que un bon especialista, capaç d'ajudar altres a aprendre, construeix aqueixa capacitat alhora que ensenya la seua àrea. Doncs bé, podem anar més enllà i afirmar que un bon docent es va gestant des del moment que ell mateix està aprenent, perquè d'aquesta forma va interioritzant i fent seues les estratègies d'ensenyament-aprenentatge, cosa que facilitarà que més endavant les pose en pràctica, de forma espontània, amb els seus alumnes.

A aqueixes estratègies també prestem atenció en aquest treball. En l'actualitat hi ha una gran tendència a memoritzar els conceptes, de forma que després els estudiants no són capaços de transferir els coneixements apresos en teoria a la realitat que els envolta. La nostra intenció és aconseguir aquesta transferència de la forma més completa possible. Per això s'han tingut en compte els aspectes que fan referència a la instrucció i s'ha ajudat a fer front a problemes i pràctiques en què la recerca va dirigida a la comprensió del fenomen relacionat amb els conceptes i amb capacitat per a explicar els "perquè" de la ciència. Per reforçar aqueixa direcció també s'incideix de forma particular en les àrees de major dificultat i, per descomptat, s'introdueix l'alumnat en un coneixement de la història de la ciència amb la doble intenció de donar-li a conèixer les vicissituds que aquesta ha travessat, alhora que s'afavoreix la comprensió de les dificultats amb les quals es toparà l'estudiant.

Per aconseguir aquests objectius, proposem que l'alumnat s'organitze i treballi en grups, reelaborant la teoria en conjunt, en una activitat de recerca conjunta que afavoreix el procés de reflexió i té per objectiu ajudar a desenvolupar les noves concepcions epistemològiques que redunden en un coneixement diferenciat entre el disciplinari i el pedagògic, és a dir, l'ensenyament de la disciplina, activitat a què estan abocats els alumnes que cursen aquesta assignatura.

A continuació s'exposen els temes que conformen l'assignatura. Pretenen mostrar que la ciència suposa un desafiament apassionant i que el seu coneixement explica multitud dels fenòmens que es poden apreciar diàriament. La recerca d'activitats motivadores pretén ajudar a superar el desinterès general dels estudiants respecte a la ciència i el seu estudi. Finalment, en tots els temes es treballa de forma transversal la necessitat d'involucrar-se personalment en la lluita per un desenvolupament sostenible.

1. *La Terra a l'Univers*. Primeres idees sobre l'Univers, models posteriors i síntesi newtoniana. Coneixements actuals sobre l'Univers i conquesta de l'espai. No es tracta de memoritzar el tema sinó de comprendre les hipòtesis, les observacions i els experiments que han portat al llarg de la història des del geocentrisme a l'actual principi cosmològic.

Les activitats CTSA poden fer referència a aspectes històrics, com els treballs d'Hipàtia, o actuals, com les aplicacions de l'astronomia i els satèl·lits artificials. Aquests poden servir també per a fer referència al problema de la sostenibilitat, com és el cas de la ferralla espacial.

2. *Energia, treball i calor*. Idees qualitatives i quantitatives d'aquests conceptes i aprofundiment sobre aquestes. Llei de conservació i transformació de l'energia; degradació d'aquesta. Ús de l'energia: problemes i possibles solucions.

Pel que fa als procediments, es poden desenvolupar experiències de calorimetria així com estudiar l'aparent no-conservació en la caiguda per un pla inclinat, situació en què no coincideixen la teoria i la realització pràctica (Solbes i Tarín, 2007). Per als temes CTSA i educació sostenible, es pot treballar l'increment de consum energètic al món, així com la manca d'equitat d'aquest, l'imminent esgotament del petroli, el paper de les energies alternatives i la necessitat d'eficiència energètica per a fer compatibles desenvolupament i sostenibilitat.

3. *Teoria atòmicomolecular de la matèria*. Contribució de l'estudi dels gasos a la construcció del model atòmic de la matèria. La utilització de les propietats per introduir el concepte de substància. Les reaccions químiques permeten definir les substàncies simples i compostes. La teoria atòmica de Dalton unifica tots els conceptes anteriors.

Els combustibles fòssils: usos i conseqüències. Problemes de la societat actual derivats de l'excessiu ús d'aquests.

Quant al procediment, es farà ús de les proves clàssiques basades en el comportament dels gasos i els canvis que s'aprecien en les substàncies per provar l'existència dels àtoms.

També es poden realitzar experiències de separació de substàncies i de conservació de la massa. Per a les activitats CTSA i història de la ciència es poden plantejar diversos debats sobre: la ciència a Espanya, partint del gran nivell de la química en la Il·lustració; problemes derivats de l'ús excessiu dels combustibles fòssils, contaminació atmosfèrica, boirum fotoquímic, pluja àcida i augment de l'efecte hivernacle.

4. *El canviant planeta Terra*. Edat, estructura i composició de la Terra. Teories de la deriva continental i de la tectònica de plaques. Capes fluides de l'atmosfera; meteorologia i problemes derivats de l'escassetat d'aigua dolça.

Quant al procediment, es pot realitzar un treball de camp en un parc natural i experiències amb ones longitudinals i transversals, així com utilització i interpretació de mapes, gràfiques, histogrames, etc. Respecte a l'educació CTSA es poden plantejar activitats sobre les formacions volcàniques i la sismicitat del nostre país, moltes vegades desconeguda, així com les causes que la provoquen. També es poden plantejar activitats sobre l'atmosfera i la hidrosfera, fonamentals per a l'habitabilitat del planeta, sobre aplicacions diverses de la meteorologia o sobre l'esgotament de l'aigua potable, un recurs fonamental, que ens permet introduir el concepte de petjada ecològica.

5. *Els éssers vius i la seua evolució*. Diversitat i edat dels éssers vius. Mecanismes de l'evolució: Lamarck i Darwin. Proves i implicacions socials de la teoria de l'evolució. Nous coneixements que la confirmen: estructura de l'ADN, investigacions sobre l'origen de la vida, canvi biològic. Amenaces a la biodiversitat.

Quant al procediment, es pot realitzar algun treball de camp sobre biodiversitat en algun parc natural. Les aplicacions CTSA poden fer referència a implicacions socials de la teoria de la evolució, com la resistència als antibiòtics o sobre astrobiologia, qüestionant l'existència d'ovnis. Pel que fa a l'educació per a la sostenibilitat, es poden tractar les amenaces a la biodiversitat.

6. *Salut i qualitat de vida*. Concepte de salut i factors que hi influeixen. Estils de vida saludables: alimentació, exercici físic, hàbits d'higiene i vacunació, equilibri personal. Agressions ambientals a la salut i accés a la sanitat.

Quant al procediment, poden realitzar-se experiències sobre la toxicitat del fum del tabac, la utilització de lupa i el microscopi per a observar microorganismes, la mesura de nivells de contaminació acústica amb un sonòmetre, la interpretació de taules o la revisió de les experiències de Semmelweis o Jenner, que mostren amb claredat l'eficàcia del desenvolupament del mètode científic per a la resolució d'una situació problemàtica. El tema també permet tractar aspectes de sostenibilitat com el creixement de la població humana i les profundes desigualtats quant a alimentació, causes de mortalitat, accés a la sanitat o esperança de vida.

Esperem que aquest treball responga als ambiciosos objectius que es planteja i ofereixca als estudiants que l'utilitzen aquelles eines per a les quals fou elaborat.

Els autors

CIÈNCIES PER A MESTRES

Capítol 1. LA TERRA A L'UNIVERS.....	1
1. Antecedents: primeres idees sobre l'Univers	3
2. L'astronomia i les seues aplicacions.....	9
3. Del sistema geocèntric a l'heliocèntric	13
4. La gravitació universal. La síntesis newtoniana	26
5. Imatge actual de l'Univers.....	31
6. Satèl·lits artificials i les seues aplicacions.....	40
7. Les amenaces que rep la nau espacial Terra	45
Capítol 2. ENERGIA, TREBALL I CALOR	51
1. Conceptes qualitius de treball i energia.....	53
1.1. Idea qualitativa de treball i energia	53
1.2. Formes i fonts d'energia. Consum d'energia	55
2. Aprofundiment dels conceptes de treball i energia	57
2.1. Mesura de l'eficàcia en la realització de treball	58
3. Llei de conservació i transformació de l'energia.....	61
4. Concepció actual de la naturalesa del calor: una transferència d'energia.....	67
5. La degradació de l'energia	72
6. De les màquines manuals a les màquines tèrmiques i elèctriques.....	74
7. Problemes associats a l'ús de l'energia i possibles solucions.....	84

Capítol 3. LA TEORIA ATOMICOMOLECULAR DE LA MATÈRIA.....	91
1. Contribució de l'estudi dels gasos al model atòmic de la matèria.....	94
1.1. Propietats dels gasos	94
1.2. Construcció d'un model corpuscular per als gasos.....	98
1.3. Generalització del model corpuscular per als tres estats de la matèria.....	102
2. La introducció del concepte de substància i l'estudi de les reaccions químiques.....	104
2.1. Conceptes macroscòpics de substància simple i composta i de mescla	105
2.2. Les reaccions químiques i les lleis que les regeixen	108
3. La teoria atòmicomolecular de Dalton.....	115
4. Els combustibles fòssils: usos i conseqüències	123
4.1. Contaminació atmosfèrica.....	125
4.2. Boirum (<i>smog</i>) fotoquímic.....	128
4.3. Pluja àcida.....	129
4.4. Increment de l'efecte hivernacle	130
5. La quantitat de substància i el mol (opcional)	132
 Capítol 4. EL CANVIANT PLANETA TERRA	 135
1. Com sabem l'edat de la Terra	136
2. Com coneixem l'estructura i composició de la Terra?	139
3. Teoria de la deriva continental	143
4. Expansió del fons oceànic	146
5. Teoria de la tectònica de plaques	148
6. Capes fluides de la Terra	154
6.1. Atmosfera i meteorologia.....	155
6.2. Hidrosfera	161
6.3. L'aigua dolça: un recurs escàs.....	163

Capítol 5. ELS ÉSSERS VIUS I LA SEUA EVOLUCIÓ.....	171
1. La diversitat dels éssers vius	173
2. El problema de l'origen de les espècies i de l'edat de la Terra	176
3. Els mecanismes de l'evolució	180
3.1. Lamarck: l'ús i el desús i l'herència dels caràcters adquirits	180
3.2. Darwin i Wallace: evolució per selecció natural	183
4. Les proves de l'evolució	187
5. Les implicacions socials de la teoria de l'evolució.....	192
6. La teoria sintètica de l'evolució i els nous descobriments que la confirmen	194
6.1. L'estructura de l'ADN.....	196
6.2. Investigacions sobre l'origen de la vida	201
6.3. Canvi biològic en l'actualitat.....	205
7. Amenaces a la biodiversitat	207
Cap 6. SALUT I QUALITAT DE VIDA.....	211
1. Concepte de salut.....	212
2. Factors que influeixen en la salut d'una persona.....	214
3. Gens o entorn?	215
4. Estils de vida saludables	219
4.1. Alimentació, nutrició i exercici físic	221
4.2. Hàbits d'higiene i vacunació	230
4.3. Equilibri personal	236
5. Agressions ambientals a la salut	241
6. L'accés a la sanitat.....	244
Referències bibliogràfiques	251

Capítol 1

LA TERRA EN L'UNIVERS

Aquest tema ens permetrà encetar l'estudi d'una de les ciències més antigues, l'astronomia, que avui segueix despertant un gran interès, no sols per les seues aplicacions i els enormes avanços tecnològics, sinó perquè també ens ajuda a resoldre un dels més antics problemes: conèixer el nostre lloc en l'Univers.

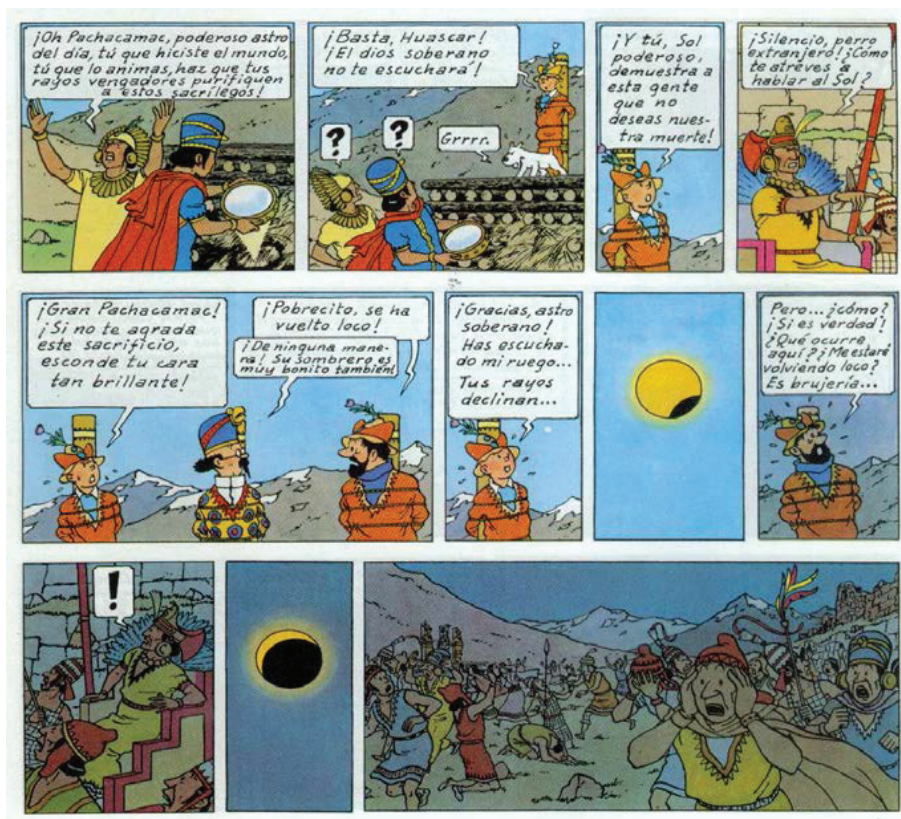
Es tracta, doncs, d'iniciar l'estudi d'un capítol excepcional des del punt de vista no sols científic sinó també didàctic, en què s'abordaran amb deteniment, com anirem veient, aspectes que contribuiran de forma rellevant a mostrar una imatge de la ciència contextualitzada, en tota la seua riquesa i complexitat: aprofitant els esdeveniments històrics per a una major comprensió dels coneixements científics, considerant els problemes plantejats que van portar a la construcció d'aquests coneixements, abordant les dificultats ideològiques amb què, al llarg de molts anys, nombrosos científics van haver d'afrontar (persecucions, condemnes...) i, molt en particular, aproximant-nos al sorgiment d'un nou paradigma, basat en unes mateixes lleis per a tot l'univers i fruit del treball de moltes persones (Copèrnic, Kepler, Galileu, Newton i un llarg etcètera), que unificava la mecànica terrestre i celeste i posava fi a una de les barreres que havia impedit l'avanç científic al llarg de més de vint segles.

I cal fer ressaltar, insistim, les enormes implicacions que té en les nostres concepcions de l'Univers i en les actuals formes de vida. D'aquesta manera, els estudiants poden enfrontar-se a aspectes fonamentals de l'activitat científica i tecnològica que sovint són ignorats en l'ensenyament i que poden contribuir a mostrar la seua naturalesa de desafiament apassionant. Una activitat absolutament necessària per a trencar amb el creixent desinterès respecte als estudis científics, com ha mostrat la investigació didàctica (Giordan, 1997; Solbes i Palomar, 2011).

Un cop plantejades les possibles qüestions, presentem un índex que recull els aspectes que es desenvoluparan en el tema i que permetrà anar responent a les preguntes formulades:

1. Antecedents: primeres idees sobre l'Univers
2. L'astronomia i les seues aplicacions
3. Del sistema geocèntric a l'heliocèntric
4. La síntesi newtoniana
5. Imatge actual de l'Univers
6. Satèl·lits artificials i les seues aplicacions
7. Les amenaces que rep la nau espacial Terra

1. ANTECEDENTS: PRIMERS IDEES SOBRE L'UNIVERS



A.1 Fins a quin punt és possible una història com l'anterior? Què reflecteix?

L'eclipsi, A. Monterroso

Quan fra Bartolomé Arrazola es va sentir perdut, va acceptar que ja res no podria salvar-lo. La selva poderosa de Guatemala l'havia capturat, implacable i definitiva. Vista la seua ignorància topogràfica, es va assegurar amb tranquil·litat a esperar la mort. Va voler morir allà, sense cap esperança, aïllat, amb el pensament fix en l'Espanya distant, particularment en el convent dels Abrojos, on Carles V va condescendir un cop a baixar de la seua eminència per dir que confiava en el zel religiós de la seua tasca redemptora.

En despertar, es va trobar envoltat per un grup d'indígenes de rostre impassible que es disposaven a sacrificar-lo davant d'un altar, un altar que a Bartolomé li va semblar com el llit en què descansaria, per fi, dels seus temors, del seu destí, de si mateix. Tres anys al país li havien conferit un mitjà domini de les llengües natives. Va intentar alguna cosa. Va dir algunes paraules que van ser compreses.

Llavors va florir en ell una idea que va tenir per digna del seu talent, de la seua cultura universal i del seu ardu coneixement d'Aristòtil. Recordà que per a aquest dia s'esperava un eclipsi total de sol. I va disposar, en el més íntim, valer-se d'aquell coneixement per enganyar els seus opressors i salvar la vida.

Si em mateu –els va dir– puc fer que el sol es faça fosc quan abaste el seu zenit.

Els indígenes el van mirar fixament i Bartolomé va sorprendre la incredulitat en els seus ulls. Va veure que es va produir un petit consell, i esperà confiat, mostrant un cert desdeny.

Dues hores després, el cor de fra Bartolomé Arrazola hi regalimava la sang vehement sobre la pedra dels sacrificis (brillant sota l'opaca llum d'un sol eclipsat), mentre un dels indígenes recitava sense cap inflexió de veu, sense pressa, una per una, les infinites dates en què es produïrien eclipsis solars i lunars, que els astrònoms de la comunitat maia havien previst i anotat en els seus còdexs sense la valuosa ajuda d'Aristòtil.

A.2 El text de Monterroso posa de manifest que tots els pobles i cultures coneixen l'astronomia. Per què penses que és així?

En la primera activitat es veu com la història de Tintin reflecteix l'eurocentrisme d'Hergé, que suposa que els inques desconeixen l'astronomia. En canvi, el conte de Monterroso mostra que tots els pobles i les cultures que han sobreviscut han conegut l'astronomia (Solbes *et al.*, 2009) per les seues aplicacions, importants per a la supervivència. Facilitar l'orientació, mesurar el pas del temps, establir calendaris, regular l'agricultura. També, perquè la major part dels pobles i les civilitzacions, al llarg de la història, han elaborat models sobre l'Univers, tractant d'explicar els moviments del Sol, la Lluna o els estels. L'estudi de l'astronomia, del moviment dels astres, va jugar des del principi un important paper en les diferents religions i cultures que intenten explicar el nostre origen.

Paga la pena fer algunes observacions que ens familiaritzen amb la visió del firmament que els nostres antecessors van poder obtenir i que van influir en les seues creences sobre l'univers. Contemplar el paisatge celeste, a més, és una cosa amb valor per si mateixa, per raons purament estètiques.

A.3. Observeu el cel nocturn i poseu en comú les observacions realitzades. Anoteu l'hora en què s'ha realitzat l'observació i dibuixeu un "mapa" celeste, amb indicació mitjançant punts dels objectes més lluminosos.

Els resultats en aquesta activitat mostren la dificultat de fer observacions en la gran majoria de les nostres poblacions. Això pot donar peu a l'inici d'una discussió sobre els problemes que planteja la contaminació atmosfèrica i, molt particularment, la lumínica, que ens està privant literalment del paisatge celeste, a més d'afectar els cicles vitals de les plantes i els animals que viuen a les ciutats, inclosos els éssers humans. Es tracta d'un aspecte sobre el qual incidirem en una propera activitat.

Resulta molt il·lustratiu de l'empobriment que pateix el paisatge celeste al qual tenim accés, confrontar els mapes celestes dibuixats pels estudiants amb un planisferi (o, alternativament, utilitzar alguns dels programes informàtics existents). Amb ajuda d'aquest es pot mostrar l'existència d'agrupacions d'estrelles o constel·lacions, descrites des dels temps més remots i que han tingut un paper essencial per a orientar els viatgers, encara que aquest paisatge varia, és clar, segons estiguem a l'hemisferi nord o al sud.

Aquesta "recuperació" del paisatge celeste es converteix en una activitat particularment atractiva per a molts estudiants. És convenient, doncs, incloure activitats com les següents i, si és possible, organitzar observacions en llocs allunyats de les ciutats.

A.4. Encara que en l'actualitat és difícil observar el cel nocturn a les ciutats, per la contaminació atmosfèrica i lumínica, deguda a la llum ambiental, localitzeu en un planisferi els estels i constel·lacions (les Ósses Major i Menor, Cassiopea, Orió, etc.).

A.5. Quina idea sobre el moviment dels astres suggereixen observacions del cel com les que hem realitzat? Amb altres paraules, quina idea se'n van poder formar els antics observadors del cel?

Una de les observacions de major interès realitzada des dels temps més remots és que la majoria d'estrelles no semblen canviar la seua posició relativa. Aquestes anomenades estrelles fixes formen al cel un esquema immutable. Els babilonis van donar noms a les constel·lacions o grups visibles d'aquest esquema, encara que nosaltres fem servir els noms grecs o les seues traduccions llatines. També hi ha molts noms d'estrelles procedents dels àrabs (Alcor, Mizar, Rigel, etc.), que van ser excel·lents astrònoms.

Són coneguts, doncs, diferents noms que al llarg de segles s'han donat als grups d'estrelles. Si ens situem a l'hemisferi nord, per exemple, podem esmentar alguns dels que es donaven a la constel·lació boreal coneguda a l'Amèrica del Nord com el Gran Cullerot; a França, com a la Cassola; a Anglaterra, com l'Arada; a la Xina, el Buròcrata Celeste; en l'Europa medieval, el Carro i en l'antiga Grècia, la cua de l'Óssa Major.

Les constel·lacions semblen girar en cercle amb centre en un punt anomenat pol celeste. Les que es troben prop d'aquest pol descriuen cercles complets que podem observar. Les que n'estan lluny desapareixen sota l'horitzó, però suposem que completen la seua revolució fora de la nostra vista. El pol queda ben marcat per l'Estrella Polar, que és fàcil de localitzar perllongant la línia recta originada per les dues estrelles posteriors de l'Óssa Major. Aquestes observacions sistemàtiques van ser explicades amb un model celeste en el qual la majoria dels astres semblaven fixos sobre una superfície esfèrica que girava al voltant de la Terra.

Hi ha en canvi set cossos celestes visibles a ull nu les posicions dels quals varien en relació amb les estrelles fixes. En primer lloc, el Sol, que sembla moure's per l'esquema de les estrelles fixes en una trajectòria que es diu eclíptica. El zodíac són les constel·lacions per on passa l'eclíptica. En realitat no són dotze, sinó tretze i no corresponen exactament als mesos: Àries, Taure, Gèmini o els Bessons, Càncer o el Cranc, Leo o el Lleó, Virgo o la Verge, la Balança o Libra, l'Escorpió, Sagitari, Capricorn, Aquari, els Peixos i la Balena o Cetus. Aquesta simple observació astronòmica també és contradictòria amb l'astrologia.

També es pot observar fàcilment la Lluna, que presenta una gran variabilitat. Amb tots aquests fets, podem plantejar la següent activitat:

A.6. Observeu diàriament la Lluna fins que es repetisca el cicle lunar i poseu en un quadre la posició aproximada (est-sud-oest), l'hora i la forma de la Lluna.

Actualment es presta tan poca atenció al firmament que, fins i tot, hi ha alumnes de 2n de Magisteri a qui sorprèn que la Lluna pugui ser vista de dia. Com que l'observació dura 28 dies, se'ls pot demanar que, en finalitzar-la, l'expliquen mitjançant el model heliocèntric. Per realitzar l'explicació, molts alumnes són capaços de representar la Terra amb la Lluna girant al seu voltant, en 4 o 8 posicions, però no són capaços d'explicar amb això les seues observacions (excepte la Lluna plena i nova). El problema és que aquesta representació és la que es realitzaria des d'un sistema de referència exterior al pla definit pel sistema Terra-Lluna (si està per sobre del pol nord, veurà la Terra girar en sentit antihorari). En canvi, les seues observacions s'han realitzat en un sistema de referència sobre la superfície terrestre. Cal ajudar-los que s'imaginin situats sobre el cercle que representa la Terra i que compreguen que cada posició correspon a una hora determinada. D'altra banda s'han d'adonar on està situada la seua esquerra i dreta, perquè expliquen quina part de la Lluna està il·luminada.

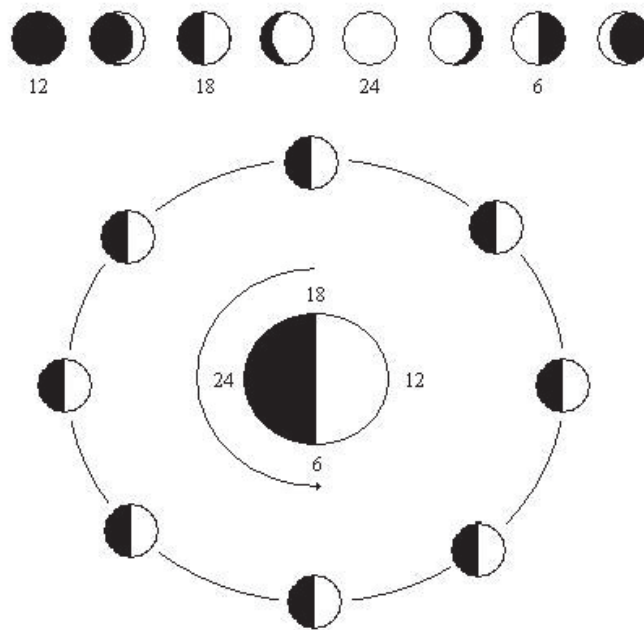


Fig. 1. Fases de la Lluna

Convé, a més, cridar l'atenció sobre altres cinc objectes celestes coneguts, visibles a simple vista, com Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn. Les seues trajectòries no semblen tan regulars i per això van ser denominats "planetes",

paraula que en grec significa 'errant', és a dir, objectes amb una trajectòria erràtica, poc regular. Com sabem, aquesta "petita irregularitat" va tenir un paper fonamental en la dramàtica evolució de les concepcions sobre el lloc de la Terra en l'Univers (molt lligades a les creences religioses), motiu pel qual és interessant destacar-la. En total, 7 objectes. Per observar els planetes, convé utilitzar planisferis informàtics com Cartes du Ciel, que representen la seua posició a una hora determinada.

Al marge d'establir aquest fet fonamental del gir aparent de la immensa majoria dels objectes celestes al voltant de la Terra –amb la sola excepció dels planetes–, amb aquestes activitats es pretén que els estudiants comencen a familiaritzar-se amb el cel nocturn, així com també amb l'ús del planisferi, de programes informàtics i, fins i tot, de telescopis, si en disposem. Una cosa que haurà d'anar realitzant al llarg del tema i, en particular, en els últims apartats, quan abordem una visió més actual de l'univers, ja que en el planisferi es presenten també nebuloses, cúmuls d'estrelles i galàxies, etc.

A.7. Quins problemes planteja la contaminació lumínica i quines poden ser les solucions que s'haurien d'adoptar?

Aquesta activitat ens ofereix una bona oportunitat per a fer referència i contribuir a la reflexió al voltant de la gravetat de la contaminació atmosfèrica i, molt en particular, lumínica. Aquesta última genera un problema, al qual no se sol prestar atenció i que, no obstant això, no sols altera a les ciutats el cicle vital dels éssers vius, sinó que, a més, també impedeix, com han denunciat els astrònoms, l'observació del cel i ens priva d'aquest element essencial del paisatge que durant milers d'anys ha ofert el cel estrellat. Per això, la UNESCO, ha declarat formalment que el cel fosc és un dret de les generacions futures (Vilches i Gil-Pérez, 2003). Aquesta pot ser una bona ocasió per a insistir en la gravetat de les múltiples formes de contaminació i referir-se a la situació d'emergència planetària que ha portat les Nacions Unides a instituir una Dècada de l'Educació per al Desenvolupament Sostenible (2005-2014).

Les percepcions que tenim avui dia sobre els planetes o el Sol i els seus moviments, que ens semblen un poc familiars, evidents, en realitat no ho són gens. Per a arribar a la comprensió actual va ser necessari un llarg procés en el qual no van faltar ni persecucions ni condemnes entre els qui defensaven idees diferents de les que s'havien mantingut durant més de vint segles. A l'estudi de tot això dedicarem els següents apartats.

2. L'ASTRONOMIA I LES SEUES APLICACIONS

A.8. Com ens orientem? Quina importància pràctica té l'orientació?

L'orientació es realitza de dia amb el Sol (els punts cardinals). Cal tenir en compte que en ambdós hemisferis el Sol surt per l'est i es pon per l'oest, però a l'hemisferi nord el Sol va pel sud i en l'hemisferi sud, pel nord. De nit, amb estrelles com la Creu del Sud o la polar, en els respectius hemisferis. Orientar-se amb els astres és bàsic per a viatjar, sobretot, quan no hi ha accidents geogràfics (deserts, mar, etc.). Encara que per això, també necessitem conèixer la posició, és a dir, la latitud i la longitud. En arquitectura, edificis religiosos com el Panteó, les esglésies romàniques, etc. s'orienten cap a l'est perquè els primers rajos de llum il·luminen determinades zones. A les zones fredes els pobles s'orienten al sud. A les marítimes, cap al mar, per aprofitar les brises. Fins i tot actualment, un edifici ben orientat estalvia energia.

A.9. Quines periodicitats astronòmiques marquen el calendari: dia, any, mes?

A.10. Identifiqueu els dies de la setmana amb el corresponent astre.

Les regularitats astronòmiques han permès establir el calendari al llarg de la història de la humanitat. Així, la rotació de la Terra sobre el seu eix defineix el dia i la rotació de la Terra al voltant del Sol, l'any. La rotació de la Lluna al voltant de la Terra, el mes de 28 dies de les civilitzacions que seguien un calendari lunar. La regularitat de solsticis i equinoccis va fer que altres civilitzacions es guiaren pel Sol. Van veure així la necessitat que els mesos tingueren 30 dies i, alguns 31, en lloc de 28. En aquesta època, els habitants de Mesopotàmia van realitzar mesuraments astronòmics precisos. L'any constava de 360 dies, dividit en dotze mesos de 30 dies cada un. Una altra de les seues aportacions va ser la divisió del dia en dotze hores dobles i de l'hora en minuts i segons sexagesimals. La setmana, que apareix per primera vegada en els calendaris lunars jueus, consta de 7 dies, corresponents als 7 planetes o "errants": la Lluna, Mart, Mercuri, Júpiter, Venus, Saturn i el Sol. Dissabte i diumenge corresponen al sàbat jueu i al *dies dominicus* (dia del Senyor) cristià, però en anglès, les correspondències astronòmiques són encara evidents, Saturday i Sunday.

A.11. Com podeu determinar amb exactitud les estacions? Quines característiques té l'ombra del gnòmon (pal vertical a terra) a migdia en els solsticis d'hivern i estiu? I en els equinoccis? Per a quines altres coses es pot usar aquesta tècnica?

Es poden determinar actualment simplement calculant la variació del nombre d'hores de llum solar a l'any: el dia més curt correspon al solstici d'hivern i el més llarg, al d'estiu, i els equinoccis són els dies en què hi ha les mateixes hores de llum que de foscor (López-Gay *et al.*, 2009). En l'antiguitat, com que no disposaven de rellotges, es van establir amb l'ombra del gnòmon (o d'obeliscs) que en els solsticis d'estiu i hivern és la més curta i llarga de l'any, respectivament. En els equinoccis, com el nom indica, és igual. Aquest va ser l'origen del rellotge de sol (quan es col·loca a les parets se li dona la inclinació de la latitud del lloc). També l'utilitzà Eratóstenes per determinar el radi de la Terra. Així, mesurant les ombres produïdes per un gnòmon, al migdia del solstici d'estiu, va comprovar que a Alexandria els raigs del sol formen un angle de $0'126$ rad ($7,2^\circ$) amb la vertical. A Siene (propera a l'actual presa d'Assuan), el Sol no produïa ombres, és a dir, gairebé era a la vertical. Sabent que Siene es troba 800 km al sud d'Alexandria, i com que sabem que: $\text{arc} = \text{radi} \times \text{angle (rad)}$, va poder determinar el radi de la Terra, $r = 800/0'126 = 6349$ km. També se'ls pot plantejar als estudiants com una activitat que, en contra del que alguns creuen, posa de manifest que en l'antiguitat no sols se sabia que la Terra no era plana, sinó que també se'n coneixia amb prou aproximació el radi i, a partir d'aquest, els de la Lluna i el Sol i les seues distàncies relatives, que va estimar Aristarc (310-230 aC), a partir dels eclipsis. En comprovar que el Sol era més gran que la Terra, va plantejar el primer sistema heliocèntric conegut.

Als alumnes, els resulta interessant conèixer, per exemple, que en els tròpics, on només es distingeixen l'estació seca i la plujosa, també l'astronomia va permetre establir l'època de sembra. Així, cap a l'any 2000 abans de la nostra era, els egipcis regulaven el seu calendari pels moviments de l'estrella Sotkis, que eixia just abans de l'alba per l'època de la inundació del Nil.

També van ser molt notables els avanços realitzats pels amerindis. Podem referir-nos així, per exemple, a la "roda de la medicina", dels nadius de Saskatchewan, construïda cap al segle VI aC, que constitueix l'observatori astronòmic més antic d'Amèrica i que assenyalava l'eixida del sol cada solstici d'estiu. Tenim un altre exemple en el canyó del Chaco, a Nou Mèxic, on els anasazi van construir un observatori per mesurar el pas de les estacions. També mereixen una menció les tres lloses del sud-oest nord-americà, les espirals com galàxies constitueixen un sistema únic per a llegir el calendari al cel, utilitzant el

sol del migdia. I, per esmentar un últim exemple, se sap que els maies van elaborar tres precisos calendaris basats en el Sol, la Lluna i Venus, i que l'edifici conegut com el Caragol a la ciutat maia de Chichén Itzá podria haver servit d'observatori astronòmic. I cal assenyalar que per a totes aquelles cultures, la possibilitat de llegir el calendari al cel per sortir de caça, reunir-se, sembrar o segar, etc., era una qüestió de la major importància.

A.12. Amb quines festivitats del nostre calendari coincideixen aproximadament els solsticis i equinoccis? Quina pot ser la causa?

A.13. Qui va establir l'actual calendari occidental? Quins factors hi influeixen?

Coincideixen, aproximadament, amb la nit de Nadal, Sant Josep, Sant Joan, etc. perquè el cristianisme ocupà les festes paganes que se celebraven en aquests dies. Per aquest motiu es conserven tradicions paganes, com les fogueres de Sant Joan.

El calendari actual es basa en el que Juli Cèsar va establir per a tot l'imperi romà. Aquest calendari s'iniciava, com és lògic, a la primavera, al març, denominat així en honor a Mart, déu fundador de Roma. El seguien Aprilia, Maia i Juno, deesses romanes. El següent mes va rebre el seu nom en honor de Juli Cèsar i tots tenien 31 dies. El següent va ser consagrat a August i com que aquest no podia ser menor que César, se li va afegir un dia, que es va llevar de l'últim mes, febrer. Afortunadament Tiberi va interrompre el procés i els següents mesos van continuar amb la seua denominació de setè (setembre), vuitè (octubre), novè (novembre) i desè (desembre). Els dos últims mesos de l'any, gener i febrer, són lars romans. Cada quatre anys consideraven un traspàs, però com que l'any real és un poc menor de 365 dies $\frac{1}{4}$, produeix un error d'uns tres dies cada 400 anys. Cap a 1500 l'error era d'uns 11 dies, cosa que produïa errors en les festes religioses. El papa Gregori XIII el 1582, corregí aquesta deficiència amb el calendari gregorià, que omet tres anys de traspàs cada quatre segles (aquells els numerals dels quals siguen divisibles per 100 però no per 400, per exemple, 1700, 1800 i 1900). Les nacions cristianes van adoptar aquest calendari excepte els cristians ortodoxos, que van mantenir el julià fins a la Revolució Russa. Els països islàmics tenen un calendari lunar: els anys no duren 365 dies. La denominació dels mesos, el canvi de calendaris, és un nou exemple de relacions CTS i de com la política i la religió poden influir en una cosa tan aparentment objectiva i neutral com el calendari.

No hem d'oblidar, però, que les observacions astronòmiques van estar associades, des dels seus orígens, a confuses creences astrològiques, en les quals val la pena aturar-se, atès que l'astrologia manté avui la seua presència (i, malauradament, el seu atractiu) en certs sectors culturals.

A.14. A què es pot atribuir la creença que els astres influeixen sobre la vida de les persones? Quin valor podem donar avui a aquestes creences?

Convé assenyalar que en l'antiguitat, veient la importància pràctica de l'astronomia en l'agricultura, la navegació, etc., es va arribar a suposar que els cossos celestes influïen en els assumptes de les persones. Fins i tot en algunes civilitzacions se'ls considerava com a déus.

Resulta fins a cert punt lògic que, en comprovar que la posició del Sol (els solsticis d'estiu i hivern i els equinoccis) determina les estacions i aquestes, al seu torn, les collites, s'atribuïra als cossos celestes poder sobre els afers humans (i fins i tot se'ls divinitzara). L'astrologia anà desenvolupant-se, doncs, com una estranya combinació d'observacions meticuloses i dades i càlculs matemàtics, acompanyats de creences i pensaments confusos i en molts casos d'enormes mentides. Per exemple, la possibilitat de predir fenòmens inexplicables per a la majoria, com els eclipsis, concedia poder i influència als sacerdots egipcis encarregats de les observacions. De fet, durant molts segles, resulta pràcticament impossible separar els avanços astronòmics de les concepcions astrològiques, fins al punt que astrònoms de la talla de Ptolemeu van mantenir creences astrològiques.

A.15. Segueixes el teu horòscop? Per què?

A.16. Quins fets i raons coneixeu que posen de manifest el caràcter acientífic de l'astrologia?

Avui sabem, però, que reconèixer la importància del Sol en les estacions, el ritme dia/nit, l'agricultura, la temperatura, etc., o que la Lluna controla les mareas, no pot portar a sostenir que el destí de les persones està influït pels astres. No hi ha cap argument científic ni cap recull sistemàtic d'observacions que avalen aquestes creences ingènues, molt al contrari. Cal, doncs, denunciar el caràcter anticientífic d'aquestes creences, que continuen sent explotades avui dia per desaprensus. Com sabem, alguns mitjans de comunicació segueixen avalant aquestes creences publicant horòscops cada setmana,

realitzant nombrosos programes sobre astrologia, persones que prediuen el futur, mèdiams, etc. I encara que molt sovint aquests programes tinguen una intenció fonamentalment lúdica, són molts els ciutadans que els prenen seriosament. El seu caràcter acientífic es comprova fàcilment veient que els diferents horòscops prediuen coses diferents o prou ambigües perquè servisquen en qualsevol cas o amb bessons que, tot i haver nascut sota el mateix signe i ascendent, tenen vides diferents. Quant al zodíac, que són les constel·lacions per on passa l'eclíptica (la trajectòria del Sol sobre l'esquema d'estrelles fixes), cal assenyalar que en realitat no són dotze, sinó tretze i no corresponen exactament als mesos: Àries, Taure, Bessons o Gèmini, Càncer o Cranc, Leo o Lleó, la Verge, la Balança, l'Escorpió, Sagitari, Capricorn, Aquari, Peixos i Balena o Cetus. Aquesta simple observació astronòmica també és contradictòria amb l'astrologia.

Resulta necessari, doncs, aclarir aquestes qüestions i que els estudiants compreguen que l'astronomia és una ciència que estudia l'univers, mentre que l'astrologia és una pseudociència que pretén, sense proves (o, més aviat, sense tenir en compte totes les proves en contra) que els planetes influeixen en les nostres vides personals. I si en temps de Ptolemeu la distinció entre ambdues no era clara, avui en dia sí que ho és.

3. DEL SISTEMA GEOCÈNTRIC A L'HELIOCÈNTRIC

La imatge que es tenia a l'antiguitat del sistema solar i de l'Univers conegut en general, es va denominar geocentrisme, ja que es pensava que la Terra era el centre de tot.

A.17. Els antics grecs pensaven que la Terra era el centre de l'Univers, estava immòbil, i que el Sol i la resta dels astres es movien al seu voltant. En què es basaven per pensar així, a més de fer-ho en les seues observacions astronòmiques?

Alguns estudiants es refereixen també, a banda de les observacions astronòmiques que hem estat estudiant, a altres experiències quotidianes com, molt particularment, el fet que no notem el moviment de la Terra. El repòs de la Terra apareixia, efectivament, com una cosa "evident" i inqüestionable i estava relacionat amb altres evidències "de sentit comú", com la tendència al repòs dels objectes terrestres, mentre que els astres giraven indefinidament. L'acceptació general d'aquest sistema geocèntric es mostrava molt clarament

en el mateix llenguatge ordinari, ple d'expressions com ara "el Sol surt per...". Els estudiants comprenen així que aquestes idees no eren desgavellades, sinó que recolzaven, com hem vist, en experiències de la vida quotidiana.

Convé tenir present, d'altra banda, que si bé els estudiants no sostenen avui el model geocèntric, ja que coneixen els moviments de la Terra, així com l'estructura del sistema solar, sí que posseeixen, com anirem veient en el desenvolupament del capítol, concepcions que els fan pensar que l'explicació del moviment dels cossos a la Terra i les seues proximitats és diferent a la dels cossos molt allunyats d'aquesta, mantenint encara, en alguna mesura, una clara diferència entre el món celeste i terrestre. Convé, per tant, que vagen eixint a la llum les seues concepcions, de les quals ens ocuparem al llarg del desenvolupament del capítol. D'aquesta manera, l'estudi de l'evolució dels models sobre l'estructura de l'univers representa per a ells un veritable enriquiment, que no té lloc quan ens limitem a transmetre els coneixements actualment acceptats.

Una exposició ja molt elaborada d'aquest sistema geocèntric, la trobem en Aristòtil (384-322 abans de la nostra era). Aristòtil no es va limitar a explicar les observacions astronòmiques, sinó que també va integrar gran part dels coneixements de l'època sobre el comportament dels objectes celestes i terrestres.

A.18. De què està feta la matèria terrestre? I la celeste? Com es mouen?

A.19. Expliqueu què es necessita per a mantenir un cos en moviment.

A.20. Deixem caure dos cossos de diferent massa simultàniament des de la mateixa alçada. Què podem dir dels temps respectius d'arribada a terra?

Bàsicament aquest sistema sostenia que la Terra està en repòs en el centre del Univers i que tots els astres giren amb moviments circulars al voltant de la mateixa. L'aparent immutabilitat del firmament, en contrast amb els continus canvis observats, va conduir a una visió jeràrquica, amb una clara distinció entre el món sublunar (lloc d'imperfeció, d'objectes corruptibles, que tendeixen al repòs en absència de forces) i del món celeste (lloc de perfecció format per esferes incorruptibles, eternes, dotades d'un moviment perenne, circular uniforme, també perfecte).

Pot ser interessant aturar-se a mostrar –proporcionant alguna informació elemental (Gil, 1981; Holton, Rutherford i Watson, 1982; Mason, 1985)– com el sistema explicava els canvis observats a la Terra a partir de l'existència i la combinació de quatre elements o "essències" (terra, aigua, aire i foc), així com també la perennitat del món celeste, format per una "quinta essència" o èter, de perfecció absoluta. També explicava la necessitat d'una força per mantenir el moviment i com un cos més pesant cau més ràpid per ser la força major.

Aquest sistema va ser perfilat amb nombroses contribucions, particularment en el món de l'astronomia. Molt important, en aquest sentit, és el període alexandrí, etapa d'esplendor d'Alexandria i el seu Museu (segles III i II abans de la nostra era), que va ser en realitat la primera universitat que ha existit al món. Hi estudiaren i hi treballaren la major part dels científics d'aquest període, com Euclides, Aristarc, Arquimedes, Eratóstenes, Hiparc, Heró, Ptolemeu i Hipàtia mateixa, filòsofa i astrònoma que va morir lapidada a causa del fanatisme del populatxo encoratjat pels monjos. Recentment Amenábar li ha dedicat la pel·lícula *Àgora*, la visió i el comentari de la qual pels alumnes pot substituir l'activitat següent. Tot això és una bona ocasió per a mostrar el caràcter col·lectiu de la ciència, fruit del treball de moltes persones, així com les dificultats amb què es van enfrontar les dones en aquest àmbit.

A.21. Busqueu informació a Internet sobre aquests personatges i les seues contribucions, en particular, d'Hipàtia.

L'astronomia va seguir avançant i Hiparc (190-120 aC), va determinar les posicions d'unes 1.080 estrelles i les va classificar segons sis magnituds de brillantor. Finalment, Claudi Ptolemeu (85-165) va desenvolupar el sistema geocèntric en el seu llibre d'astronomia denominat pels àrabs *Almagest* ('el millor dels llibres') i el van escampar per tota l'Europa medieval.

El sistema geocèntric era, doncs, acceptat a tot el món influït per les cultures grega, llatina i àrab i va arribar a estar vigent durant més de 20 segles. Convé aturar-se a explicar aquesta extraordinària vigència per a millor comprendre l'oposició que va generar que es posara en qüestió el que va constituir –tornem a insistir-hi– la primera gran revolució científica.

A.22. Com s'explica la gran acceptació del model geocèntric i la seua persistència al llarg de més de vint segles?

Per explicar la vigència del model geocèntric durant més de 20 segles, cal fer referència, en primer lloc, a la seua compatibilitat, que ja hem assenyalat, amb el sentit comú. Però cal tenir present també que aquest sistema encaixava perfectament amb la tradició, la filosofia, la religió i, en general, tots els àmbits culturals de l'Europa influïda per les cultures grega, llatina i aràbiga.

L'Església Catòlica, per exemple, afavoria el sistema aristotelicoptolemaic ja que la seua visió s'acomodava molt bé a la idea cristiana que divinitza el cel com a lloc de perfecció, la Terra com a lloc central, on viuen els éssers humans (úniques criatures creades a la imatge de Déu) i naix Jesucrist, i alhora com a lloc de pecat i corrupció. Aquesta visió estratificada de l'univers donava suport a la pròpia jerarquització social, és a dir, la submissió dels "inferiors" (esclaus, dones, simples camperols...) als "superiors" (homes lliures, clergat, noblesa...).

És molt convenient aturar-se a discutir aquestes implicacions del model en l'àmbit de les relacions CTSA (ciència-tecnologia-societat-ambient), que permeten comprendre per què va ser tan difícil superar-les i els nombrosos obstacles als quals va haver d'enfrontar-se per a establir un nou model.

El model geocèntric va estar vigent durant gairebé vint segles, des d'Aristòtil fins al segle XVI, en què va començar a enfonsar-se a causa de la impossibilitat de resoldre alguns problemes en el marc d'aquest model. L'any 1543, pocs dies després de la mort del seu autor, es va publicar l'obra *De revolutionibus orbium coelestium* ('Sobre les revolucions de les esferes celestes') de Nicolau Copèrnic (1473-1543), astrònom i sacerdot nascut a Torun (Polònia). S'hi proposava un nou model de l'univers, on la Terra perdia el seu paper central, immòbil, i era el Sol el que constituïa el centre de l'univers. Aquest nou model, denominat heliocèntric i desenvolupat i impulsat després per molts altres científics, va ser atacat durant més de cent anys, i els seus defensors foren perseguits i moltes vegades condemnats.

A.23. Indagueu i exposeu quines van poder ser les raons que van portar Copèrnic a qüestionar el sistema geocèntric.

Paga la pena aturar-se en les raons que van fer posar en dubte el sistema geocèntric. El fet principal que va portar a qüestionar-lo fou la sistemàtica discrepància entre les dades proporcionades per observacions astronòmiques cada vegada més precises i les prediccions d'aquest sistema per al moviment dels planetes. La idea que tot astre havia de girar amb moviment circular

uniforme al voltant de la Terra, o al voltant de punts que giraren entorn d'aquesta, no permetia fer prediccions acceptables, tot i que en l'època de Copèrnic s'havia arribat a suposar l'existència de fins a 70 (!) moviments circulars simultanis per explicar la trajectòria de Mart, en particular les seues retrogradacions (vegeu dibuix).

La complexitat creixent del model per a explicar la trajectòria erràtica dels planetes va portar Copèrnic a buscar una altra possible explicació. Resulta interessant assenyalar que Copèrnic va recórrer a la història per veure si algú havia imaginat altres possibles explicacions del moviment dels astres. Així ho reconeix en *De revolutionibus* i es refereix al fet que autors grecs com Nicetes o Aristarc havien ja imaginat que el Sol podia ser el centre del Univers i que tots els altres astres, inclosa la Terra, giraven al voltant d'aquell.

Copèrnic va mostrar en el seu llibre que, si s'acceptava aquesta estructura de l'univers, es reduïa molt notablement el nombre de moviments circulars necessaris per a explicar el moviment de cada planeta i donar compte dels aparents retrocessos, com es pot veure en la imatge adjunta (Holton i Brush, 1996).

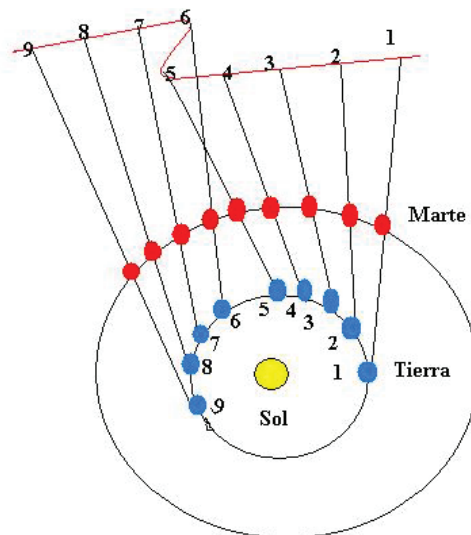


Fig. 2. Moviment aparent dels planetes

A.24. *El model heliocèntric va ser atacat, entre d'altres, amb els següents arguments: si la Terra es mou, no hauria de quedar endarrerit un objecte que cau cap a terra?; i no hauríem de veure que la posició relativa de les estrelles es modifica en anar desplaçant la Terra al llarg de la seua trajectòria? Plantegeu possibles respostes per a cada un d'aquests arguments.*

Copèrnic era conscient, però, que les seues idees estaven per despertar un ampli rebuig i això el va portar a considerar possibles arguments en contra i a respondre acuradament a cadascun. Respecte a la modificació de la posició relativa de les estrelles, Copèrnic va argumentar que, si la circumferència que recorre la Terra és molt petita en comparació amb la distància a la qual es troben les estrelles, és lògic que no s'aprecien canvis en les posicions relatives d'aquelles. Respecte al fet que si la Terra es moguera, l'aire tendiria a quedar-se enrere, ens remetem al principi de superposició de moviments establert per Galileu, encara que Copèrnic no va poder utilitzar arguments tan clars i que qualsevol observació de la caiguda d'un objecte en l'interior d'un vehicle en moviment confirma: no hi ha gens de retard.

Però el principal argument en contra del model heliocèntric va ser de tipus ideològic, en considerar que aquest model contradeia la Bíblia, a la qual les autoritats religioses consideraven expressió de la veritat revelada i inqüestionable en tots els àmbits (Sánchez Ron, 1999). Va ser aquest dogmatisme religiós el que va generar la major oposició a les noves idees, perseguides pel recentment aparegut protestantisme, per la Inquisició, que va incloure *De revolutionibus* a l'*Index librorum prohibitorum*, com "fals i, a més, oposat a les sagrades escriptures" i per algunes comunitats jueves, que van prohibir l'ensenyament de la teoria heliocèntrica (Holton i Brush, 1976). I això, malgrat que Copèrnic va fer notables esforços per convèncer que el nou model encara era més d'acord amb la grandesa de l'obra divina i va mantenir la creença en la majoria de les tesis del model geocèntric, com la idea de la perfecció dels moviments circulars dels astres, etc.

Així es va produir una dramàtica confrontació entre els defensors de la llibertat de pensament i investigació i el que negaven aquestes llibertats en nom de dogmes religiosos. Aquesta confrontació va marcar el naixement de la ciència moderna, motiu pel qual la pena aturar-se mínimament en el seu anàlisi.

A.25. Malgrat l'oposició religiosa, molts astrònoms van comprendre el valor de les idees de Copèrnic i van contribuir a confirmar i estendre-les, encara que això els va enfrontar a persecucions i condemnes. Consulteu algun text d'història de la ciència per conèixer quins altres astrònoms van contribuir a qüestionar el sistema geocèntric i a mostrar la validesa del model heliocèntric. Indiqueu quines van ser les seues principals aportacions.

Amb aquesta activitat es pretén, en primer lloc, que els estudiants s'entrenen a buscar textos d'història de la ciència (Holton i Roller, 1963; Holton i Brush, 1976; Sagan, 1982) i que coneguen la seua capacitat per a contextualitzar el desenvolupament científic i mostrar el seu caràcter d'aventura col·lectiva. L'establiment del model heliocèntric va ser, efectivament, conseqüència del treball de moltes persones, que van haver de fer front a importants problemes, ja que les seues idees qüestionaven, com ja hem assenyalat, més enllà del sistema geocèntric, la visió jeràrquica de la societat, que negava la llibertat de comunicació i en nom dels dogmes religiosos.

Entre les principals aportacions cal esmentar les de Johannes Kepler (1571-1630) i Galileu (1564-1642). El primer va ser un astrònom alemany que va treballar amb el també astrònom danès Tycho Brahe (1546-1601) i va utilitzar les seues dades per perfeccionar el sistema heliocèntric i buscar regularitats en el sistema solar, que el van conduir a enunciar, després d'anys de treball, tres importants lleis que porten el seu nom. La primera d'aquestes assenyalava que les òrbites de la Terra i altres planetes al voltant del Sol no són circulars sinó el·líptiques i que el Sol es troba el Sol en un dels seus focus. D'aquesta manera, Kepler va anar més lluny que el mateix Copèrnic qüestionant el model geocèntric, ja que es va atrevir a imaginar moviments celestes que no posseïen la perfecció del circular uniforme. Però les observacions astronòmiques s'ajustaven molt millor a òrbites el·líptiques que a les circulars i això va prevaler, als ulls de Kepler, sobre l'acceptació de la perfecció del cel. La segona establia que la velocitat areolar d'un planeta (àrea escombrada pel vector de posició del planeta respecte al Sol en la unitat de temps) és constant, cosa que suposa que el planeta es mou més ràpidament quan és més prop del Sol. I la tercera, que el període d'un planeta augmenta quan ho fa el radi mitjà de la seua òrbita, i així es compleix la relació $T^2 = K \cdot R^3$.

A26. Com s'expliquen les estacions?

Les estacions s'expliquen per la inclinació de 24° de l'eix de la Terra i no per la diferent distància de la Terra al Sol en les òrbites el·líptiques, com pensen els estudiants (Navarrete *et al.*, 2004). Per això, quan a l'hemisferi nord els raigs cauen amb menor inclinació (i la intensitat de radiació solar és major) estem a l'estiu i a l'hemisferi sud, a l'hivern, encara que ens trobem en l'afeli (major distància al Sol). En el periheli (menor distància al Sol), succeeix tot el contrari.

Tan important o més que l'aportació de Kepler va ser la de Galileu, en la qual convé detenir-se per la rellevància que va adquirir el seu cas en la confrontació entre la nova ciència i el dogmatisme religiós:

A.27. Les observacions astronòmiques de Galileu (1564-1642) suposaren una gran contribució al nou model heliocèntric. El telescopi, que ell mateix va construir, millorant l'inventat amb altres fins pels fabricants de lents holandesos (denominat "tub ampliador"), va permetre a Galileu descobrir, entre altres coses, l'existència de taques en la superfície del Sol, cràters i muntanyes a la Lluna i l'existència de satèl·lits al voltant de Júpiter. Comenteu quins aspectes clau del model geocèntric resultaven qüestionats per les observacions realitzades per Galileu amb l'ajuda del telescopi.

De les observacions realitzades per Galileu amb ajuda del telescopi, les corresponents a les irregularitats (relleus) de la Lluna o a les taques solars (que li van permetre, a més, mostrar que el Sol girava al voltant del seu eix en 27 dies) venien a qüestionar la suposada perfecció atribuïda als objectes celestes i amb això la idea d'una dràstica separació entre el cel i la Terra. Va establir, per tant, la mutabilitat en el cel que negaven els aristotèlics i ptolemaics. Quant als satèl·lits de Júpiter, juntament amb el gir del Sol, tiraven per terra la tesi bàsica del sistema geocèntric que tots els objectes celestes havien girar al voltant de la Terra. També va observar que Venus presentava fases anàlogues a les lunars, cosa que li va permetre afirmar que els planetes brillaven per la llum reflectida del Sol. Com a conseqüència de tot això va pensar que havia arribat el moment de defensar el nou model públicament i amb aquesta finalitat publicà les seues troballes en opuscles que va denominar *Sidereus Nuncius* ('El missatger sideral'), l'aparició dels quals generava apassionats debats. Pot ser interessant, referent a aquest tema, llegir algun fragment de l'obra *Diàleg sobre els dos màxims sistemes del món*, a la qual ens referirem més endavant, sobre les repercussions de les seues observacions dels estels i les taques solars (vegeu pàg. 52-56 del llibre citat de Sánchez Ron, 1999).

Tornant a les contribucions de Galileu, cal destacar-ne els treballs que realitzà per determinar la longitud en la Terra. La latitud es calcula a partir de l'angle que forma la polar amb l'horitzó, però no era fàcil determinar la longitud. Per això, els imperis marítims (Espanya, Anglaterra, Holanda, etc.) oferiren premis copiosos a qui ho aconseguira. Es va tractar de fer-ho utilitzant mesures astronòmiques, però la majoria van fracassar. Galileu va proposar utilitzar l'eclipsi dels satèl·lits de Júpiter, descoberts per ell mateix, però la navegació no es podia basar en aquests, perquè les observacions nocturnes només es poden fer una part de l'any. A més, cal que el cel estiga net i el moviment del vaixell fa desaparèixer Júpiter del camp visual del telescopi. Després de 1650 es va utilitzar la seua proposta, però només per a fer càlculs a terra, cosa que va permetre als cartògrafs dibuixar els mapes del món amb major exactitud.

A.28. Com es determina la longitud?

Es mesura l'hora local (sabent que a les 12 el Sol està en la seua culminació) i la diferència amb l'hora del port que transporta el rellotge ens dona la diferència de latituds. Així, 24 hores és a 360° com la diferència horària és a la diferència de latituds, que és absoluta si es defineix un meridià 0° que, per cert, passa per la província de Castelló. Però les limitacions tècniques dels rellotges de l'època van impedir portar el mètode a la pràctica. La solució per a la navegació només es va aconseguir quan el 1762 Harrison va construir un rellotge capaç de mesurar l'hora amb un alt grau de precisió, sense alterar-se amb l'onatge. Aquests fets són narrats per Dava Sobel en l'obra *Longitud* (1999), on no es reconeix que la idea original va ser d'Hernando Colón, el fill del descobridor, que la va exposar per primera vegada en 1524, en el marc de les disputes territorials en el Nou Món entre les monarquies espanyola i portuguesa. Per això, tots els navegants havien de saber utilitzar l'astrolabi, un cercle de metall, sostingut amb una anella a la part superior i mantingut en la vertical de l'astre observat. En dirigir l'alidada, que era giratòria, cap a l'astre, l'escala graduada del cercle donava l'angle corresponent a l'altura de l'astre.

A.29. Assenyaleu el paper exercit en la revolució científica pel telescopi i altres instruments. Quins podrieu esmentar?

A més del telescopi, tenim el microscopi de Hooke, la bomba de buit de Von Guericke, el baròmetre de Pascal, el termòmetre, etc., que donen origen a

noves ciències. Aquesta activitat pot ser una bona ocasió per a posar de manifest les complexes interaccions entre la ciència i la tecnologia, sortint al pas de la consideració simplista de la tecnologia com a mera aplicació de la ciència (Maiztegui *et al.*, 2002). En efecte, va ser l'existència del telescopi (un artefacte tecnològic) el que va fer possible observacions fonamentals en suport del model heliocèntric. I açò és una cosa que trobem sovint en el desenvolupament de la ciència i sobre la qual convé insistir sempre que hi haja ocasió.

Per això cal aclarir, atenent el desenvolupament històric d'ambdues, que l'activitat tècnica ha precedit en mil·lennis la ciència, que la tecnologia no és, doncs, un subproducte de la ciència, un simple procés d'aplicació del coneixement científic per a l'elaboració d'artefactes. I no es tracta només d'assenyalar l'impuls que aquest o altres desenvolupaments tecnològics poden donar a la ciència, com és el cas que ens ocupa del telescopi de Galileu. El punt de partida de la Revolució Industrial, per exemple, va ser la màquina de Newcomen, que era fonedor i ferrer. Com afirma Bybee (2000), "En revisar la investigació científica contemporània, un no pot escapar a la realitat que la majoria dels avanços científics estan basats en la tecnologia". I això qüestiona la visió elitista, socialment assumida, d'un treball científicointel·lectual superior al treball tècnic.

Al marge de les notables contribucions a la comprensió del comportament de la matèria, celeste o terrestre, la vida i obra de Galileu han quedat com a paradigmes de l'enfrontament entre dogmatisme i llibertat d'investigació. Pot ser interessant per a aquest propòsit acostar-se a la seua biografia, descrita en innumbrables llibres, documentals, obres de teatre (*Galileu Galilei* de Bertolt Brecht) o pel·lícules (de Liliana Cavani o de Joseph Losey).

A.30. Realitzeu un debat a classe sobre els problemes a què va haver de fer front Galileu, després de veure fragments d'alguna pel·lícula o documental sobre la seua vida.

La visió de pel·lícules, o fragments d'aquestes, com les esmentades en els comentaris de l'activitat anterior, o bé el capítol III de la sèrie *Cosmos* de Carl Sagan ("L'harmonia dels mons"), poden contribuir a fer que els estudiants coneguen l'apassionant aventura que va suposar el sorgiment de la ciència moderna. Quan en 1632 Galileu, com a conseqüència del permís que li va concedir el Papa Urbà VII per a parlar del sistema copernicà en un llibre "sempre que donara una igual i imparcial discussió dels arguments a favor del

sistema ptolemaic" (Sánchez Ron, 1999), publica la seua obra *Diàleg sobre els dos màxims sistemes del món, ptolemaic i copernicà* (1632), en italià i en forma de diàleg, enviant-la a la societat, s'inicia una autèntica persecució contra ell, malgrat la seua edat avançada. Va ser jutjat per la Inquisició, amenaçat amb tortura i obligat a abjurar de les seues idees, cosa que Galileu va fer per salvar la vida. De fet, anys enrere, el 1600, Giordano Bruno havia estat sotmès a tortures perquè renunciara a les seues idees (defensa de l'heliocentrisme, de la infinitud de l'Univers i l'existència d'un gran nombre de mons habitats) i, com que no ho fa ver, va ser cremat a la foguera.

La abjuració de Galileu va ser llegida públicament en totes les esglésies d'Itàlia i ell va ser condemnat a romandre confinat fins a la seua mort (que va tenir lloc el 1642) en una vila al camp. Mentre va romandre confinat, va escriure *Discursos i demostracions sobre dues noves ciències* pertanyents a la mecànica i el moviment global, sobre el moviment dels objectes terrestres, que van ser igualment subversius per a la imatge de l'univers defensada per la Inquisició. En efecte, com sabem, els seus estudis van conduir a qüestionar la idea que calia una força per mantenir un cos terrestre en moviment i a mostrar que la força era només necessària per a modificar un moviment. Les suposades diferències entre els moviments celestes i terrestres començaven, així, a ser qüestionades. Aquest llibre es va publicar a Holanda, ja que a Itàlia els llibres estaven prohibits. Cal assenyalar que aquesta condemna de les teories de Galileu s'ha prolongat diversos segles, fins molt recentment. El Vaticà no va anunciar fins al 1968 la conveniència d'anul·lar-la i només la va fer efectiva el 1992, mentre que, des de la Congregació per la Doctrina de la Fe (ex Sant Ofici), encara es pretén avui justificar i exculpar la Inquisició.

Però Galileu es va equivocar en pensar que fets tan contundents farien acceptar el sistema heliocèntric, perquè la seua proposta no només canviava la imatge del món, sinó els criteris per a comprovar la veracitat dels enunciats i el mateix paper de la ciència.

A.31. Com prova els seus enunciats la nova ciència enfront de l'escolàstica? Quins canvis de finalitat de la ciència es proposen?

La revolució científica va suposar una nova forma d'abordar els problemes, caracteritzada per la substitució d'un pensament basat en "les evidències del sentit comú" i en les autoritats (filòsofs, doctors de l'Església i, en última instància, la Bíblia), per un de més creatiu, que utilitzara les hipòtesis com a

nucli central i fóra rigorós amb l'ús de les matemàtiques i la realització d'experiments per a provar les hipòtesis. Aquest ús de l'experimentació ve determinat per l'acostament dels científics cap a la tècnica en camps com l'enginyeria mecànica, l'òptica, l'anatomia i la cartografia, durant el Renaixement. Els tècnics (constructors, escultors, pintors o cirurgians) comencen a escriure llibres i interessar-se per qüestions teòriques. És a dir, hi ha un canvi metodològic que suposa un canvi en el que es considera prova: de l'autoritat a l'argumentació (Jiménez-Aleixandre, 2010), de manera que el conflicte està servit.

D'altra banda, també hi ha un canvi de valors o axiològic. Així, al segle XIII, amb St. Tomàs d'Aquino, tot i que el cristianisme reconeix en la raó humana representada per la filosofia grega, especialment Aristòtil, una potència a part de la fe, s'exigeix que en les qüestions comunes haja d'haver-hi harmonia. No obstant això, la filosofia té una posició subordinada, és "una esclava de la teologia", que es considerava la reina de les ciències, cosa que posa de manifest com canvia i pot canviar el concepte de ciència al llarg de la història. Per tant, les discrepàncies es deuen a errors comesos en raonar o a una manera errònia d'entendre l'escriptura. A partir de la Revolució Científica, s'estableix un criteri de demarcació: es delimita una regió inaccessible a la física, la de l'ésser humà i la seua ànima, que pertanyen al regne de la religió. Alguns textos fundacionals poden ser reveladors. Per exemple, Descartes en la tercera part del *Discurs del mètode* renúncia a posar en dubte i, per tant, inseqüent amb el seu mètode, les qüestions de moral i religió, afirmant "seguir les lleis i els costums del meu país" i dirigir-se "per les opinions més moderades". En els Estatuts de la Royal Society (1663) s'assenyala que el seu objectiu és "millorar el coneixement dels objectes naturals, de totes les arts útils, les manufactures, les pràctiques mecàniques, les màquines i els invents per mitjà de l'experimentació (sense tractar de Teologia, Metafísica, Moral, Política, Gramàtica, Retòrica i Lògica)". Com assenyala un dels seus membres, Thomas Spratt, "[...] aquest tema mai no ens va dividir en mortals faccions, ens permetia mantenir sense animositat les diferències d'opinió". Aquest criteri de demarcació es va mantenir fins que va ser qüestionat per Darwin. En resum, es produeix una separació entre ciència i religió que permet el desenvolupament autònom d'aquesta, però alhora la ciència deixa de tenir incidència sobre la concepció del món o en les qüestions d'organització social.

Un altre canvi axiològic està basat en la valoració de la tècnica que inicia així el procés de transició des de l'empirisme complet fins a les tecnologies plenament basades en les matemàtiques i la ciència aplicada. Així, moltes investigacions científiques han estat originades en problemes d'ordre tècnic (la cinemàtica de

Galileu té relació amb el llançament de projectils; el magnetisme de Gilbert, amb la brúixola). A més, l'avanç tècnic determina sovint la mateixa possibilitat del treball científic (els progressos en astronomia es vinculen a la construcció de telescopis).

Paga la pena estendre aquestes reflexions sobre la llibertat d'investigació i els seus obstacles a altres moments de la història de la ciència i contribuir així a qüestionar el mite de la seua neutralitat.

A.32. Citeu exemples d'altres conflictes que, al llarg de la història de la humanitat, hagen enfrontat la ciència i la tecnologia amb posicions dogmàtiques.

La història de la ciència és pròdiga, malauradament, en conflictes entre dogmatismes i llibertat d'investigació. La crema de Miguel Servet per atrevir-se a investigar l'interior del cos humà i la inclusió de *L'origen de les espècies* en el *Index librorum prohibitorum*, en oposició a la revolució científica que va suposar l'evolucionisme, són dos dels casos més coneguts, que solen ser assenyalats per alguns estudiants. Però els exemples poden multiplicar-se i arribar als nostres dies. Es pot esmentar que els conflictes no sols han estat amb la religió sinó amb règims absolutistes vuitcentistes (vegeu el tema d'"Els éssers vius i la seua evolució") o dictadures del segle XX, que han perseguit no solament científics per la seua raça o ideologia, sinó idees científiques (la relativitat pel nazisme, la genètica o la quàntica per l'estalinisme o l'evolució pel franquisme). Entre els més recents, l'oposició frontal dels creacionistes nord-americans a la teoria de l'evolució (com veurem en el capítol 5) o de determinats sectors d'ideologia conservadora a la investigació amb cèl·lules mare embrionàries. Però és important que els estudiants compreguen que el rebuig de l'heliocentrisme constitueix l'exemple més paradigmàtic de resistència a la llibertat d'investigació i d'oposició absoluta a l'avanç científic. De fet, com ja hem assenyalat, la "rehabilitació" de l'heliocentrisme per l'Església Catòlica va haver d'esperar al final del segle XX.

4. LA GRAVITACIÓ UNIVERSAL. LA SÍNTESE NEWTONIANA

Després de Copèrnic i Galileu, van ser molts els qui abordaren l'estudi del moviment dels cossos celestes. Científics anglesos, entre altres, com Hooke, Wren, Halley i, molt en particular, Newton (que va nèixer l'any 1642, precisament el mateix any que va morir Galileu) van enfocar els problemes de forma diferent: utilitzant el nou concepte de força i els principis de la dinàmica, analitzen l'última gran diferència suposadament existent entre els moviments terrestres i celestes.

A.33. Dibuixeu les forces que actuen sobre un objecte que cau en les proximitats de la superfície terrestre i sobre un satèl·lit posat en òrbita al voltant de la Terra.

Diguem d'entrada que, com han mostrat nombroses investigacions, moltes persones pensen que "un objecte en òrbita no pesa", ja que no "cau" cap a la Terra. Així, molts estudiants consideren que la força neta sobre el satèl·lit ha de ser nul·la, ja que "es troba en equilibri". La separació cel-Terra no és, doncs, "una idea absurda del passat", sinó que respon al sentit comú, com tants altres aspectes del model aristotèlic. Però l'aplicació consegüent dels principis de la dinàmica va portar a Newton –i ha de portar els alumnes– a comprendre que, si la Lluna gira (canvia la direcció de la velocitat), ha d'estar actuant sobre aquella alguna força resultant, ja que, si no fóra així, portaria un moviment rectilini uniforme.

A.34. Com podríeu justificar que el pes sobre l'objecte i la força gravitatòria són la mateixa força?

La gran intuïció de Newton, facilitada pels passos donats pels seus predecessors, va ser atrevir-se a pensar que la mateixa força que fa caure un objecte que deixem anar, o que fa descriure una paràbola a un projectil, és la que fa girar la Lluna al voltant de la Terra, o els planetes al voltant del Sol; atrevir-se a pensar, en definitiva, en l'existència d'una força universal, per la qual tots els objectes, terrestres o celestes, s'atraurien entre si. Resulta interessant la lectura del text de Newton (citada per Mason, 1985, p. 103) que expressa la connexió que va establir la idea de la gravitació universal entre els

moviments d'objectes a la Terra i el moviment d'objectes celestes, com la Lluna: "El que els planetes puguen ser retinguts en les seues òrbites es pot comprendre fàcilment si considerem els moviments dels projectils. En efecte, una pedra llançada, es veu forçada pel seu propi pes a abandonar la trajectòria rectilínia [...] és obligada a descriure una línia corba en l'aire i, gràcies a aquest camí parabòlic, es veu finalment portada a terra. I com més gran siga la velocitat amb què es projecta, més lluny caurà a terra. Podem suposar, per tant, que la velocitat s'incrementa de manera que pot descriure un arc de (molts) quilòmetres abans d'arribar a terra, fins que, finalment, excedint dels límits de la Terra, passarà totalment sense tocar-la". Aquest podria ser el cas de la Lluna girant al voltant de la Terra o el dels planetes al voltant del Sol, a causa, en tots els casos, a l'atracció gravitatòria. Com veiem, amb aquesta analogia entre el moviment d'un projectil i el de la Lluna o el d'un planeta, Newton va establir, per primera vegada, la relació entre el moviment dels cossos terrestres i celestes i va superar així una de les més grans barreres de l'avanç del coneixement científic en la història de la ciència.

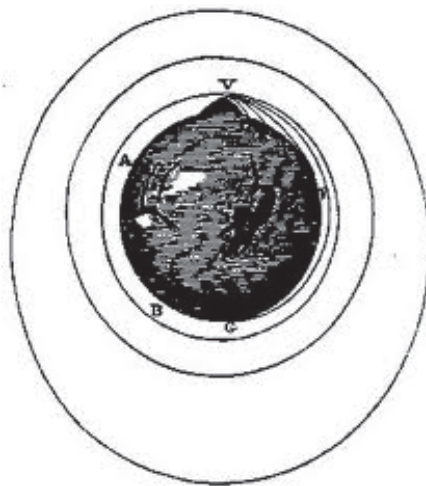


Fig. 3. Possibles trajectòries d'un objecte llançat des de la superfície de la Terra

Ara cal completar l'estudi de l'establiment de la llei de la gravitació universal, la qual cosa exigia passar de les intuïcions qualitatives a les formulacions operatives i a sotmetre a prova les seues prediccions quantitatives.

A.35. De quins factors cal suposar que depèn la interacció gravitatòria entre dos cossos?

Els alumnes conjeturen fàcilment que la força d'atracció entre dos cossos creixerà amb el valor de les seues masses i disminuirà amb la distància que els separa. El professor pot indicar que aquestes són conjetures raonables i coincideixen amb les realitzades per Newton mateix, que va argumentar mitjançant curiosos raonaments que la força gravitatòria F seria proporcional al producte de les masses d'ambdós cossos, m_1 i m_2 , i inversament proporcional al quadrat de la distància que els separa, r^2 . Newton suposava així que el debilitament de la força d'atracció era causa de l'augment de la superfície ($4\pi r^2$) sobre la qual es distribuïa aquesta atracció a la distància r . D'aquesta manera les hipòtesis de Newton poden expressar-se amb la proporcionalitat:

$$\frac{F}{\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}} = \text{Constant}$$

Aquesta constant és universal, és a dir, la mateixa per a dos cossos qualssevol. Designant-la com a G (de gravitació), l'expressió anterior es pot escriure com a:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

No era possible, en aquell moment, sotmetre a prova directament la hipòtesi de la gravitació universal. Newton va haver de recórrer, doncs, a proves indirectes.

L'ús de proves indirectes és un fet prou comú en la ciència. Newton va predir el període de gir de la Lluna T_L i també va aplicar la seua hipòtesi a l'estudi de la relació entre el període T i el radi r de l'òrbita dels planetes i va deduir així la tercera llei de Kepler. Els experiments, els va realitzar el físic anglès Cavendish a la fi del segle XVIII amb masses lleugeres en els extrems de la vareta, a les quals s'aproximaven dues esferes de massa molt superior, dispositiu que es coneix com a balança de torsió. Cavendish buscava determinar la densitat de la Terra amb els seus experiments, però van contribuir, posteriorment, a determinar el valor de la constant G ($6'67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$) i a determinar la massa de la Terra.

Naturalment, l'establiment de la llei de la gravitació universal no va posar punt final, ni de bon tros, a la recerca en aquest camp. Els nous coneixements van generar noves preguntes i van impulsar nombrosos desenvolupaments que han arribat fins als nostres dies. Ens acostarem, a continuació, a alguns d'aquests.

A.36. Com es poden explicar les marees, el comportament dels cometes a partir de la força gravitatòria?

Les primeres conseqüències de la llei de la gravitació universal van ser desenvolupades majoritàriament per Newton mateix i fan referència a les marees oceàniques i l'aplanament dels planetes en els pols: les marees són canvis periòdics en el nivell del mar, produïts principalment per les forces gravitacionals que exerceixen la Lluna i, en menor proporció, el Sol. Aquestes forces atrauen la part més propera de l'oceà i tendeixen a elevar les aigües. D'altra banda, la forma d'esferoide aplatat dels planetes es deu a l'efecte combinat de la gravitació (que formaria esferes a partir de la matèria inicialment dispersa) i de la rotació al voltant de l'eix (eixamplament a l'equador i aixafament en els pols).

La llei de la gravitació també va permetre explicar el comportament dels cometes. Si els cometes són periòdics, la seua trajectòria deu ser una el·lipse molt excèntrica. El més famós és el cometa que E. Halley va estudiar quan va aparèixer el 1682 i per al qual va predir un període d'aproximadament 75 anys. La seua tornada el 1756 i tres vegades més des de llavors, després de recórrer una àmplia el·lipse que s'estén més enllà de l'últim planeta, va ser interpretada com un important triomf de la mecànica newtoniana. Si els cometes no són periòdics, la seua trajectòria serà oberta, és a dir, una hipèrbola o una paràbola.

Altres descobriments astronòmics relacionats amb la llei de la gravitació han posat de manifest el seu caràcter universal. Així, per exemple, el descobriment de nous planetes a partir de les pertorbacions que produeixen en les seues òrbites dels planetes ja coneguts: les irregularitats en l'òrbita d'Urà, descobert el 1781 per Herschel, van conduir al descobriment de Neptú el 1846 per Leverrier i Adams; per les pertorbacions que produïa en aquest últim va ser descobert Plutó el 1930 per Tombaugh.

A.37. Feu una representació a escala del sistema solar a partir de les següents dades, en les quals D és la distància al Sol en milions de km, ϕ el diàmetre del planeta en km i el diàmetre del Sol és 1.392.000 km.

	Mercuri	Venus	Terra	Mart	Júpiter	Saturn	Urà	Neptú
D	58	108	150	228	778	1.427	2.871	4.497
ϕ	4.870	12.103	12.756	6.786	142.984	120.536	51.118	49.528

Aquesta activitat és molt important per a eixir al pas d'errors que els estudiants tenen sobre les magnituds del sistema solar. Si prenen 10.000 km (aproximadament el diàmetre de la Terra) com un cm, una simple proporció mostra que Neptú es troba a 4'4 km. Això són distàncies urbanes. Així, per exemple, si situem el Sol a la plaça de l'Ajuntament de València, on també es trobaria el planeta Terra, Neptú acaba, molt adequadament, al port. Això es pot visualitzar amb un mapa de la ciutat al qual se li superposen les òrbites.

Per situar-lo a distàncies escolars, es poden utilitzar dues escales, com fa Cardete (2009), una per a la D i una altra mil vegades major per a ϕ , però per això mateix no és molt adequat. Per tant, per poder realitzar l'activitat, és convenient que els estudiants mesuren la distància més llarga al centre (una tanca exterior, per exemple) i la facen proporcional a la distància de Neptú. Així, si la tanca mesura 225 m, tindrem per al Sol un diàmetre de 70 mm i per a la Terra, un diàmetre de 0'64 mm, com el cap d'una agulla.

	Mercuri	Venus	Terra	Mart	Júpiter	Saturn	Urà	Neptú
D (m)	2.9	5.4	7.5	11.4	39	71	144	225
ϕ (mm)	0.24	0.6	0.64	0.34	7.2	6.0	2.6	2.5

A.38. Busqueu informació sobre planetes petris i gasosos i els seus satèl·lits. Quins tenen tectònica? I aigua? On es troba la muntanya més alta del sistema solar? Per què?

Poden trobar molta informació respecte a això en Internet, on veuran que petris són Mercuri, Venus, Terra i Mart i gasosos, Júpiter, Saturn, Urà i Neptú. La Terra és l'únic planeta del sistema solar amb plaques tectòniques actives, encara que hi ha evidències que en temps remots Mart, Venus i algun dels satèl·lits de Galileu foren tectònicament actius. La muntanya més alta es troba a Mart, el mont Olimp, amb 21 km d'altura, perquè la gravetat a Mart és menor que a la Terra.

A.39. Com es pot explicar la gran concentració d'estrelles de la Via Làctia?

Cap a 1784 Herschel explicà aquesta observació mostrant que els estels observables constituïen un sistema amb forma de lent, és a dir, una galàxia. En conseqüència, si mirem en la direcció del pla de la galàxia veiem moltes estrelles i, en direcció perpendicular a aquest, poques; per tant, la Via Làctia correspon al pla de la nostra galàxia. Això proporciona una nova i major imatge de l'Univers, similar a la profetitzada per Giordano Bruno, en la qual el sistema solar i una multitud de milers de milions d'estrelles (amb els seus possibles sistemes) giren al voltant del centre de la galàxia i posen així de manifest el caràcter universal de la gravitació.

El mateix Herschel va observar el 1803 que algunes parelles d'estrelles pròximes giren una al voltant de l'altra (estels binaris), segons la llei de la gravitació. També es va observar (Halley, el 1714; Messier, el 1781) que les estrelles tendeixen a agrupar-se per efecte de la gravitació i formen cúmuls globulars i oberts.

A.40. Considerant les grans distàncies entre les estrelles i altres cossos de l'Univers, per descriure les distàncies astronòmiques s'utilitza l'any llum. Sabent que la llum del Sol triga uns 8 minuts a arribar fins a nosaltres i la llum emesa per l'estrella més propera, Alfa del Centaure, triga quatre anys i quatre mesos, calculeu les seues distàncies respecte de la Terra.

Tenint en compte que la velocitat de la llum en el buit és de 300000 km/s, trobem que el Sol es troba a uns 150 milions de km i Alfa, a 41 bilions de km, és a dir, 273.300 vegades la distància entre la Terra i el Sol! Un any llum són 9,46 bilions de km.

5. IMATGE ACTUAL DE L'UNIVERS

Fins a principis del segle XX, l'Univers es creia reduït a la Via Làctia i existia una forta controvèrsia entre Hubble i Shapley sobre la grandària d'aquesta, fins que Hubble observa amb el gran telescopi de Mount Wilson (EUA) que molts objectes denominats nebuloses contenen estrelles i, en conseqüència, són realment galàxies exteriors a la Via Làctia que en realitat no és més que una galàxia entre milers o milions.

A.41. El 1929 Hubble va descobrir que la llum procedent de les galàxies llunyanes té freqüències inferiors a les corresponents a l'espectre del Sol. És a dir, hi ha un desplaçament cap al vermell més gran com més lluny es troben les galàxies. Quina explicació pot donar-se d'aquest fet, si el comparem amb el diferent to en la sirena d'una ambulància o al xiulet d'un tren quan s'acosta o quan s'allunya?

Molts estudiants han observat l'efecte Doppler. Convé que compreguen que quan s'acosten, el to és més agut (el que correspon a una freqüència major) i quan s'allunyen, més greu (freqüència menor). Com que les línies espectrals d'aquestes galàxies estaven desplaçades cap al vermell, és a dir, cap a freqüències menors (o longituds d'ona majors), això va demostrar que les galàxies s'allunyaven de la Terra.

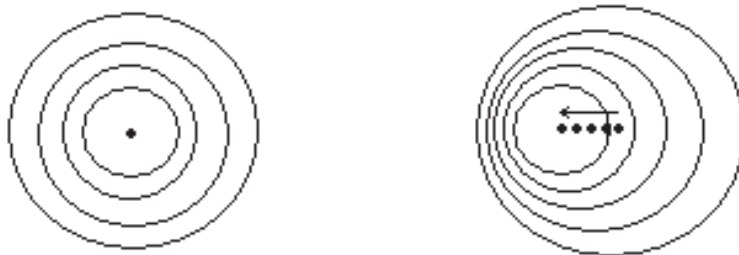


Fig. 4. Representació de l'efecte Doppler

A més, Hubble va comprovar que ho fan amb una velocitat v major com més gran era la seua distància de nosaltres, segons la llei $v = H \cdot d$, on H és la "constant" (és possible que no ho siga) de Hubble. Aquesta H és igual al revés de l'edat de l'Univers, de manera que la velocitat d'allunyament de les galàxies ens dona dades sobre aquest valor. Aquestes dades es veuen confirmades per altres, com l'abundància a la Terra dels isòtops d'urani 235 i 238 i els càlculs sobre l'evolució de les estrelles, i indiquen que l'expansió de l'Univers va començar fa uns 13.500 milions d'anys, cosa que, al seu torn, ens indica que la grandària de l'Univers visible és d'uns 13.500.000.000 d'anys llum. Fins i tot en alguns textos es diu que la mida de l'Univers visible seria d'uns 13.700.000.000 d'anys llum, ja que l'expansió de l'univers va començar fa aquests milions d'anys. Però, a causa d'aquesta expansió, els objectes que van emetre la seua llum fa 13.700.000.000 d'anys, es troben actualment a 4.600.000.000 d'anys llum, distància coneguda com a radi de l'univers observable (Davis & Lineweaver, 2004).

En l'actualitat, els astrònoms calculen que en la nostra galàxia, la Via Làctia, hi ha més de 100.000 milions d'estrelles, separades pel buit interestel·lar, així com núvols de pols i gas, té la forma d'un disc bombat en el seu centre, d'un diàmetre de 100.000 anys llum, i un gruix de 50.000 anys llum. Si representem les estrelles de la nostra galàxia en dos eixos, el de temperatura (o color) i el de lluminositat, trobem que estan agrupades en el que es coneix com a diagrama HR, que ens permet diferenciar tipus d'estrelles, i estudiar-ne l'evolució.

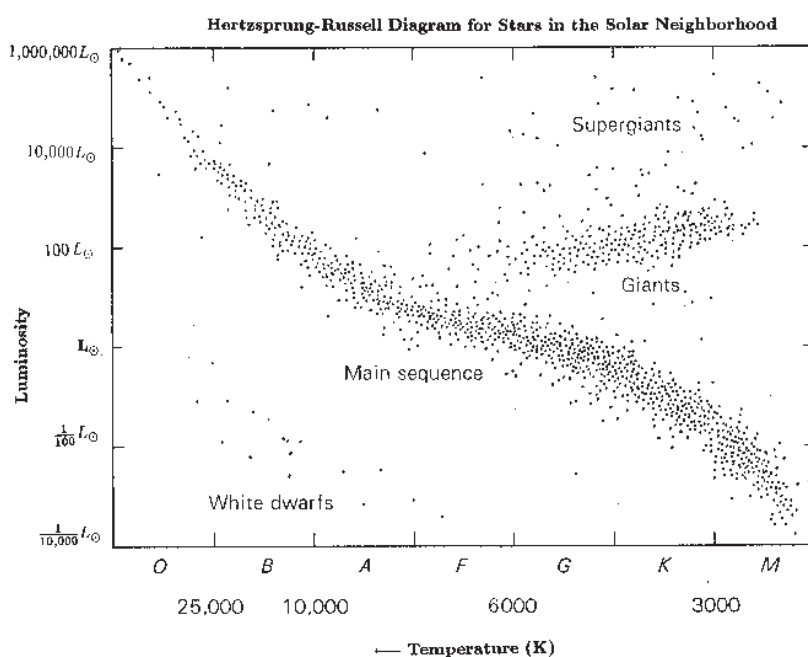


Fig. 5. Gràfica lluminositat-temperatura

A.42. *Quin procés pot explicar l'enorme quantitat d'energia radiada per les estrelles? Busca informació sobre la vida de les estrelles.*

L'origen de les estrelles es deu a l'agregació, produïda per la força de gravitació, de nuclis d'hidrogen i heli que formen el gas estel·lar. A mesura que aquesta força atrau els nuclis, s'ajunten i es produeix un escalfament del gas. Quan la temperatura és de l'ordre de 10 a 20 milions de graus, els nuclis d'hidrogen pateixen un procés de fusió nuclear i s'origina heli. Mentre l'estrella es troba en aquesta fase, es diu que evoluciona seguint la seqüència principal. En el cas d'una estrella de la grandària del Sol, aquest període té una durada aproximada de deu mil milions d'anys.

La fusió de l'hidrogen genera un augment de la concentració d'heli en el nucli de l'estrella i una disminució dels nuclis d'hidrogen. En incrementar la proporció d'àtoms més pesants, el nucli de l'estrella es fa més dens, es contrau i s'escalfa més. L'augment de temperatura permet el desenvolupament de reaccions nuclears de l'heli que tenen com a resultat la formació d'elements més pesants (carboni i oxigen). La calor produïda en aquestes noves reaccions de fusió fa que l'estrella augmente la seua grandària i es refrede. S'ha convertit en una gegant vermella.

Després d'esgotat l'heli, es realitzen reaccions de fusió donant com a resultat nuclis cada vegada més pesants. Quan s'obté ferro, les fusions nuclears acaben perquè les reaccions necessitarien energia per a produir-se.

Les fases següents de l'evolució estel·lar són determinades per la massa de l'estrella. En els cossos de massa inferior a 1,5 vegades la del Sol (límit de Chandrasekhar) l'estrella es col·lapsa per les forces gravitatòries i dona lloc a nanes blanques, cossos de milers de km de radi i una densitat molt gran (10^4 kg/cm^3). L'energia emesa disminueix amb el temps i l'estrella es transforma en un cos fosc i fred anomenat nana negra.

Si la massa de l'estrella està compresa entre 1,5 i 2,5 vegades la massa del Sol (límit de Landau-Oppenheimer), el col·lapse gravitatori fa que els electrons caiguen al nucli i reaccionen amb els protons que s'hi troben. D'aquesta manera es formen neutrons i neutrins. L'estrella es transforma en un estel de neutrons, amb radis de desenes de km i densitats de 10^{10} kg/cm^3 . Una varietat d'aquestes estrelles la constitueixen els púlsars que emeten ones de ràdio de forma periòdica com a conseqüència del seu moviment de rotació, com un far. Respecte a aquests, els seus descobridors, Hewish i Jocelyn Bell, inicialment van pensar que es podia tractar d'un senyal d'intel·ligència extraterrestre. La matèria exterior de l'estrella de neutrons és expulsada violentament per l'ona expansiva creada en el nucli. En aquest cas es diu que ha tingut lloc l'explosió d'una supernova. A Europa s'han observat explosions d'aquest tipus en 1572, 1604 i 1987. La varietat descrita pertany a la classe anomenada supernova tipus II.

El sistema format per dues estrelles es diu estrella binària. Si una d'aquestes és una nana blanca, pot passar matèria de la major a la nana i produir una violenta explosió de l'última. En aquest cas es diu que es tracta d'una supernova tipus I. Les dues varietats de supernoves presenten característiques diferents: en les longituds d'ona compreses entre 6.000 i 7.000 Å de l'espectre de les supernoves tipus II apareix un pic, anomenat H-alfa.

Quan la massa de l'estrella és superior a 2,5 vegades la massa del Sol, la contracció gravitatòria del nucli és tan gran que ni els neutrons poden suportar el col·lapse. Aquest fet dona lloc a un cos anomenat forat negre, que és un altre exemple de predicció de la teoria general de la relativitat. Com que la densitat d'aquest objecte és tan gran, l'atracció gravitatòria resulta enorme i dins del radi crític o de Schwarzschild, res no pot escapar a la seua acció, ni tan sols la llum. D'aquí el nom de forat negre que va proposar Wheeler. Per a fer-nos una idea d'aquestes densitats és suficient veure que, si en un forat negre s'igualava la velocitat d'escapament a la velocitat de la llum, s'obté el radi de Schwarzschild, que per a forats negres de massa igual a la de la Terra valdria 0,8 cm, a la del Sol 3 km i a la de 3 sols, 9 km.

Com que un forat negre és menut i no emet radiació, era difícil donar crèdit a la seua existència, però actualment hi ha diversos candidats fermes a forat negre en la constel·lació del Cigne, en Circe, etc. Són fonts intenses de raigs X que provenen de sistemes binaris, en què una estrella visible gira al voltant d'un company invisible. La millor explicació és que s'està traient matèria de la superfície de l'estrella visible que cau en espiral cap a la invisible i adquireix així una temperatura elevada, amb emissió de raigs X. A partir de l'òrbita observada de l'estrella es pot determinar la massa del seu company invisible i, com que en el cas de Cigne X-1 és 6 vegades la solar, és molt probable (fins a un 95%) que es tracte d'un forat negre.

Els astrofísics es troben cada vegada més segurs que hi ha un forat negre en el centre d'algunes galàxies; per exemple, en M 87, una galàxia gegant que es troba en Virgo, distant uns 52 milions d'anys llum de la Terra. Les últimes proves, les ha aportades el telescopi espacial Hubble posat en òrbita l'abril de 1990, que ha pres imatges de la galàxia millors que les obtingudes fins ara. Les imatges mostren que les estrelles d'aquesta galàxia es troben molt concentrades en el seu centre, com si estiguessen sent atretes cap al centre i retingudes pel camp de gravetat d'un forat negre amb una massa 2600 milions de vegades més gran que la del Sol. La existència del forat negre no pot ser confirmada fins que es mesure la velocitat de rotació de les estrelles situades en les seues rodalies i es confirme que concorda amb les prediccions teòriques.

A.43. Prenent els 225 m que corresponien a la distància entre la Terra i Neptú com diàmetre de la Galàxia, quina mida correspondria al sistema solar? Igualment si prenem els 225 m. com a ràdio de l'Univers visible, quina mida correspondria a la Galàxia?

Aquest problema és complex, ja que el sistema solar no és una esfera amb vores definides. Si es pren com a límit del sistema solar la vora del núvol d'Oort, 50.000 UA (més enllà de les 1.000 UA de la zona de Kuiper o de les 30 UA de Neptú). Com que una UA són 150.106 km, llavors el radi del sistema solar són $7,5 \cdot 10^{15}$ m. D'altra banda, el radi de la Via Làctia és 50000 al, és a dir, $4,75 \cdot 10^{20}$ m.

$$\frac{225 \text{ m}}{4'75 \cdot 10^{20} \text{ m}} = \frac{r}{7'5 \cdot 10^{15} \text{ m}} \rightarrow r = 355 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 3'6 \text{ mm}$$

És a dir, el sistema solar és insignificant davant de la Via Làctia. Igualment, si el radi de l'univers observable, tenint en compte l'expansió de l'Univers és de $4,1 \cdot 10^{10}$ anys llum (al), i el de la nostra galàxia 50000 al, tindrem:

$$\frac{225}{4'1 \cdot 10^{10} \text{ al}} = \frac{r}{5 \cdot 10^4 \text{ al}} \rightarrow r = 274 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0'27 \text{ mm}$$

És a dir, a l'escala de l'Univers, la Via Làctia és insignificant. A gran escala l'Univers està format per 100.000 milions de galàxies, aproximadament puntuals, cap de les quals no ocupa un lloc central (Sagan, 2002). Físicament parlant, diríem que, a gran escala, l'Univers és homogeni i isòtrop (principi cosmològic).

Les galàxies s'agrupen en conjunts dels quals "el Grup Local" és un dels que engloba la Via Làctia, Andròmeda, els Núvols de Magalhães. Els conjunts s'integren al seu torn en supercúmuls: la Verge, el supercúmul més semblant al nostre, es troba a 50 milions d'anys llum. La imatge que tenim avui en dia d'aquests supercúmuls correspon a com era fa 50 milions d'anys...

A.44. Com es pot explicar l'expansió de l'Univers?

Es pot explicar a partir de l'explosió a partir d'un nucli inicial que contenia tota la matèria i l'energia de l'Univers actual, cosa que al seu torn explica l'origen de l'Univers. Les primeres teories que tracten l'Univers com un tot es basen en la relativitat general enunciada el 1915 per Einstein, després de vuit anys d'esforços. Hi va proposar una sèrie d'equacions que relacionen la distribució de matèria amb la "curvatura" de l'espai. Aquest fa així el paper del camp gravitatori, ja que cossos com la Terra no estan obligats a moure en trajectòries corbes per la gravetat; segueixen la trajectòria més curta entre dos punts de l'espai corb (la geodèsica).

No obstant això, els càlculs de la teoria de la relativitat general d'Einstein coincideixen amb els de la teoria de la gravitació de Newton, excepte per a camps gravitatoris molt intensos; en conseqüència, és aquesta última, molt més senzilla, la que s'utilitza en la major part de l'astronomia i per posar en òrbita satèl·lits espacials. No obstant això, en les proximitats d'una estrella, fins i tot petita com el Sol, la gravetat és prou elevada perquè s'aprecien efectes relativistes, que va predir Einstein. El primer és l'avanç del periheli de Mercuri. L'òrbita de Mercuri gira lentament al voltant del Sol, de manera que la posició de màxima aproximació (periheli) varia. El valor predit per Einstein (43 segons d'arc per segle) coincideix amb l'observat per Le Verrier el 1859. El segon és la desviació o curvatura d'un feix lluminós en passar per una regió on existisca un camp gravitatori. Aquesta desviació va ser observada el 1919 per l'astrònom britànic Eddington durant un eclipsi total de Sol. Un estel de posició coneguda va ser observat en una posició diferent i la desviació observada era compatible amb la predita per Einstein.

El 1917 Einstein va tractar de trobar una solució a les seues equacions de la teoria general de la relativitat que descriu la geometria de l'Univers. A partir de les idees cosmològiques de la seua època va suposar que l'Univers era estàtic, però en veure que les seues equacions no proporcionaven una solució estàtica, es va veure obligat a introduir la constant cosmològica, que implicava una repulsió entre les galàxies per compensar l'atracció gravitatòria, deguda a l'expansió de l'espai mateix. Anys després ho va qualificar com "el pitjor error de la meua vida". Va suggerir que la curvatura de l'espai podia fer l'Univers tancat, però sense límits, ja que un feix de llum propagant es corbaria per la presència de matèria i acabaria tornant al seu punt de partida. Això implica que l'Univers té un radi però no un centre o un límit. El mateix any William de Sitter va obtenir una altra solució estacionària. El 1922 el soviètic Aleksandr Friedmann va obtenir unes solucions generals no estàtiques de les equacions d'Einstein que implicaven un Univers en expansió (o contracció), que no van ser immediatament conegudes a Occident, de manera que el belga Georges Lemaître, que havia estudiat amb Eddington, les va obtenir independentment el 1927. Implicaven un radi que creix amb el temps, cosa que el va portar el 1931 a proposar una solució amb radi nul en l'origen del temps. I això el dugué a la idea de l'"àtom primordial" (nom que no va tenir fortuna) com a origen del Univers.

La teoria actualment acceptada va ser enunciada el 1946 per Georges Gamow, que havia estudiat amb Friedmann, i els seus col·laboradors Ralph Alpher i Robert Herman. Expliquen l'origen de l'Univers a partir de l'explosió a partir d'un nucli inicial que contenia tota la matèria i l'energia de l'Univers actual, denominada, amb ànim de ridiculitzar-la, "Big Bang" ('gran explosió') per Fred

Hoyle, nom que actualment rep la teoria. Les condicions tan particulars d'aquest objecte van tenir com a conseqüència que la seua densitat, temperatura i gravetat aconseguissin valors màxims (aproximadament uns $4 \cdot 10^9$ kg/l i 1011 °C).

Atesa la gran explosió inicial, va començar l'expansió de l'Univers i en va disminuir la temperatura i la densitat. Convé eixir al pas d'una idea força estesa entre l'alumnat: no es tracta que el nucli projectés violentament cap a l'exterior tota la matèria que contenia sinó que l'espai es crea en l'expansió (Solbes i Tarín, 1995). Al mateix temps que s'expandia, es van formar les partícules elementals, els àtoms senzills (hidrogen, deuteri, heli), les galàxies, estrelles i sistemes solars i, finalment, la vida.

A.45. Coneixeu alguns fets que confirmen la teoria del Big Bang"?

La teoria de la Gran Explosió es considera confirmada per tres fets: 1) La separació de les galàxies o el seu desplaçament cap al vermell, que ja hem vist. 2) L'abundància relativa dels nuclis lleugers: aproximadament tres quartes parts d'hidrogen, una quarta d'heli i petites quantitats de deuteri i triti. 3) L'existència de la radiació de fons de microones.

El 1964 els astrònoms Arno Penzias i Robert Wilson, tractant de detectar ones de ràdio de la galàxia fora del pla de la Via Làctia, trobaren l'existència d'un soroll, una radiació de microones (7,35 cm), corresponent a una temperatura aproximada de 3 K, que era isòtropa (amb la mateixa intensitat en totes direccions de l'espai) i que van intentar eliminar netejant l'antena, però l'origen de la qual no van saber explicar. Aquest mateix any Robert H. Dicke i James Peebles havien predit que, com que l'Univers primitiu es trobava a una temperatura molt elevada, va emetre energia en forma de radiació de petita longitud d'ona (raigs gamma). Com a conseqüència de l'expansió de l'Univers, aquesta radiació hauria de ser observada molt desplaçada cap al vermell, és a dir, amb una longitud d'ona centimètrica i que hauria d'arribar a la Terra de manera isòtropa.

A.46. Quin pot ser el final de l'Univers?

La solució de les equacions de la teoria general de la relativitat d'Einstein que Aleksandr Friedmann va elaborar el 1922 ofereix tres models d'evolució de l'Univers. És una situació anàloga a quan es llança des de la Terra un projectil

cap al cel a una velocitat menor, major o igual a la velocitat d'escapament, 11,2 km/s (considerant negligible el fregament amb l'atmosfera). Si és menor, tornarà a caure a la Terra. Si és igual, començarà a escapar i no hi tornarà. Si és més gran, escaparà amb facilitat.

El primer model prediu un Univers que s'expandeix indefinidament. La quantitat de matèria que conté no és suficient per a equilibrar l'expansió per mitjà de la força gravitatòria. L'Univers és, per tant, obert i infinit. Correspon a una geometria espai-temps de curvatura negativa com la d'una sella de muntar.

En el segon model, l'evolució de l'Univers correspon a una expansió en la qual la velocitat de separació de les galàxies disminueix gradualment, encara que no arriba a ser nul·la. Com a conseqüència, l'Univers és infinit. La geometria espai-temps pertany al tipus pla: geometria euclidiana.

En el tercer tipus evolutiu de Friedmann la força d'atracció gravitatòria de la matèria de l'Univers arriba a un valor prou gran per a aturar l'expansió i tornar, mitjançant una Gran Implosió, a l'estat original i, potser, originar nova Gran Explosió. La geometria que implica aquest model correspon a una de curvatura positiva, com la d'una esfera. L'Univers té un volum infinit però és tancat.

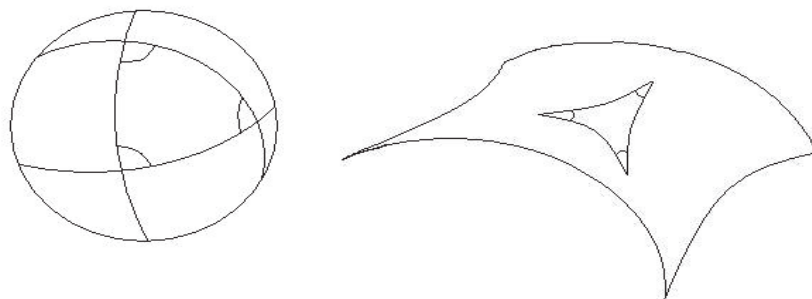


Fig. 6. Geometries corresponents a l'Univers tancat i obert

D'acord amb l'anterior es pot concloure que la massa que conté l'Univers determina la seua evolució d'acord amb un dels tres models esmentats. En cosmologia s'acostuma a no utilitzar la massa sinó la relació entre la densitat de la matèria de l'Univers i l'anomenada "densitat crítica". Aquesta relació se simbolitza per la lletra Ω . La "densitat crítica" es refereix a la que tindria un univers que evolucionara d'acord amb el segon model de Friedmann. Segons la

teoria general de la relativitat, aquesta "densitat crítica" té un valor d'uns 10^{-30} g/cm³. Per tant, si Ω és menor que 1, l'Univers tindrà una evolució com la descrita pel model u i si el valor de Ω és més gran que 1, l'evolució és la corresponent al model tercer.

Després de realitzar mesures reals de la massa de les galàxies contingudes en un volum determinat de l'Univers, s'ha obtingut per Ω un valor de 0,1, la qual cosa implica que el nostre Univers evolucionaria d'acord amb el primer model, és a dir, s'expandiria indefinidament. No obstant això, hi ha investigacions recents han posat de manifest, pels seus efectes gravitacionals, l'existència de "matèria fosca" que no s'havia computat amb anterioritat. Alguns cosmòlegs expliquen aquesta matèria fosca a partir de la massa dels neutrins; altres, com Stephen Hawking, mitjançant forats negres microscòpics i altres, amb partícules exòtiques encara no detectades. Recentment, dades sobre la velocitat d'allunyament de supernoves llunyanes semblen posar de manifest que la velocitat d'expansió de l'univers s'està accelerant, a causa d'una expansió de l'espai mateix. Si dues partícules se separen, no es conserva l'energia del sistema, per la qual cosa s'ha introduït una energia del buit (o fosca), i es recupera així la constant cosmològica d'Einstein. Aquests tres ingredient (matèria ordinària i fosca i energia fosca) farien que $\Omega = 1$. Però la veritat és que en l'actualitat no es coneix amb exactitud el valor de Ω i no es pot assegurar si el nostre Univers és obert, tancat o pla ni la seua evolució futura (Smolin, 2007).

6. SATÈL·LITS ARTIFICIALS I LES SEUES APLICACIONS

La possibilitat de posar un objecte en òrbita al voltant de la Terra va ser ja concebuda per Newton, almenys implícitament, en considerar que la paràbola descrita per un objecte llançat des d'una torre amb velocitat creixent va obrir-se i fent caure l'objecte cada vegada més lluny, de manera que, si arribem a donar-li suficient velocitat pot arribar a no caure a terra, tancant una trajectòria el·líptica. Posteriorment, el novel·lista francès Jules Verne (1828-1905) va imaginar el llançament d'un projectil tripulat a la Lluna en el seu llibre *De la Terra a la Lluna*, utilitzant els recursos tècnics disponibles en aquell moment. El llançament s'efectuava mitjançant un gran canó d'uns 300 m de longitud enfonsat a terra.

A.47. Per què aquest mètode mai ha estat utilitzat per posar satèl·lits en òrbita?

A.48. Per què els coets es llancen des de punts de la superfície terrestre al més prop possible de l'Equador?

Es poden esmentar dues raons. En primer lloc, perquè el projectil ha de passar de 0 a 11'2 km/s en els 300 m de longitud del canó, cosa per a la qual són necessàries acceleracions molt superiors a 10 g, màxim tolerable per l'ésser humà. En segon lloc, perquè aquestes velocitats tan elevades s'obtenen en les capes més baixes de l'atmosfera, on aquesta és més densa, de manera que la força de fregament és major. En conseqüència, si el projectil no es fon pel fregament, es veurà molt frenat. En la tercera activitat podem veure que la velocitat de rotació de la Terra sobre si mateixa, que és màxima a l'equador, se sumaria a la del coet (sempre que es llance en el sentit de rotació de la Terra). Per tant, la velocitat que s'ha de comunicar al coet és menor com més pròxima estiga la òrbita a l'equador. És a dir, en el que sí que va encertar Verne, doncs, va ser en la seua predicció del llançament del projectil des de Florida o Texas.

A.49. En els mitjans de comunicació solen aparèixer expressions com: "Un astronauta en un satèl·lit en òrbita terrestre es troba en estat d'ingravedesa, no pesa". Comenta aquesta afirmació.

Molts alumnes han vist en la TV, cinema, etc., que els astronautes semblen "surar". Per això pensen que s'han alliberat de l'atracció terrestre, però, com ja hem vist, el moviment orbital és una caiguda lliure. Si una persona que va en un ascensor en caiguda lliure deixara anar un llapis, aquest no cauria a terra. Per a un observador inercial exterior, el llapis cau amb acceleració g . Però també ho fa el terra de l'ascensor i la persona. A aquest fet se li dóna el nom d'ingravedesa aparent, perquè, en realitat, la gravetat continua actuant sobre el cos.

Aquesta ingravedesa és la mateixa que experimenta el satèl·lit que gira al voltant de la Terra, excepte quan actuen els coets. Una altra idea que apareix en els alumnes i també en Verne mateix és que la gravetat només desapareix al punt neutre entre la Terra i la Lluna, és a dir, el punt on s'igualen les forces d'atracció de la Lluna i la Terra.

La tecnologia aeroespacial no avança fins que no es planteja l'alternativa del coet. Els desenvolupaments pioners, amb petits coets, tenen lloc en la dècada dels 20 per Tsiolkovski (URSS), Goddard (EUA) i Oberth (Alemanya). Es plantegen els problemes com el combustible necessari per a accelerar l'objecte el temps suficient per a assolir la velocitat requerida o la necessitat de materials

capaços de resistir les elevades temperatures que es produeixen en travessar l'atmosfera a gran velocitat, etc.

A.50. Quines aplicacions tenen els satèl·lits artificials?

Com en tantes altres ocasions, la primera motivació per al llançament de satèl·lits artificials va ser, malauradament, la militar. L'avanç en la investigació sobre coets es produeix amb fins bèl·lics, en la II Guerra Mundial, quan a les instal·lacions de Peenemünde, Von Braun desenvolupa el coet V-2 (bomba volant) entre 1937 i 1942, que es va utilitzar massivament contra el sud d'Anglaterra el 1944. En la postguerra, els soviètics van desenvolupar un míssil balístic intercontinental, provat amb èxit el 1957, setmanes abans del llançament del satèl·lit Sputnik.

Això va produir la recerca i el desenvolupament en coets i satèl·lits. El 1958 apareix el Thor nord-americà, amb un abast de 1900 km; es llança el satèl·lit Explorer i el 1959, l'Atlas D, amb unes característiques similars al T-3. El 1961 els soviètics van posar Yuri Gagarin durant gairebé dues hores en òrbita al voltant de la Terra. El primer passeig espacial d'Aleksei Leonov es va realitzar el 1965. El president Kennedy aprovà el programa Apollo, en què va participar Von Braun, i que va portar Armstrong i Aldrin a la Lluna el 21 de juny de 1969 (Solbes, 2002). El primer vol d'un transbordador espacial es va produir el 1981... Alguns greus accidents soferts pels vehicles espacials són bona prova de les dificultats tecnològiques que suposa la seua construcció. Sobre això, es pot plantejar la següent activitat: busca informació en Internet sobre els accidents espacials i sobre el paper del premi Nobel de física Richard Feynman en l'accident del Challenger. Hi ha molta informació respecte a aquest punt que posa de manifest que la proliferació d'accidents (els Apollo 1 i 13, Soiuz 1 i 11, Challenger, Columbia), al costat dels costos prohibitius, detenen la "cursa espacial". Feynman (2000 *b*) va fer un informe molt crític amb la NASA; els gestors no van fer cas als enginyers que aconsellaven un ajornament del llançament, i van tractar d'impedir la publicació de l'informe.

Des de llavors les "aplicacions" bèl·liques s'han desenvolupat considerablement (espionatge, col·locació d'armes en òrbita disposades per al llançament de projectils en qualsevol moment...).

Un pas més enllà està l'anomenada "guerra de les galàxies" amb la qual el govern dels EUA pretén dotar-se d'un impossible "escut inexpugnable" capaç de destruir qualsevol míssil enemic, que implica la seua negativa a signar un tractat sobre l'ús pacífic de l'espai. Aquesta negativa impulsa la cursa armamentista

que podia haver-se frenat al final de la guerra freda, que absorbeix recursos impressionants i impedeix atendre les necessitats dels milers de milions d'éssers humans que viuen en la misèria.

Però no podem oblidar tampoc que avui dia gran part de l'intercanvi i difusió de la informació que circula pel planeta en temps real té lloc amb el concurs de satèl·lits, la TV via satèl·lit, Internet o la nova telefonia mòbil, encara que la major part d'aquestes últimes viatgen per fibra òptica. I el mateix es pot assenyalar del comerç internacional, del control de les condicions meteorològiques (amb ajuda del Meteosat), de la detecció de bancs de pesca, del seguiment de l'evolució dels ecosistemes amenaçats (incendis, afebliment de la capa d'ozó, processos de desertització, extinció d'espècies...), la instal·lació de telescopis capaços d'observar el firmament sense la limitació de l'atmosfera terrestre, les anomenades sondes com les Pioneer, Voyager, etc., els espectròmetres ultraviolats envien dades sobre les galàxies, nanes, blanques, etc. Són poques les activitats humanes que no es veuen avui facilitades per la combinació d'ordinadors, telefonia i satèl·lits artificials.

A.51. Quins problemes plantegen els viatges espacials tripulats, fins i tot a un planeta tan proper com Mart? Per què els polítics prefereixen aquest tipus de viatges i els científics els no tripulats?

Pel que fa als problemes, cal garantir el retorn, cosa que augmenta els costos. Però a més, tenim el greu problema de la radiació de fons (protons, neutrons, nuclis) i el dany que pot produir en les cèl·lules, tant a curt termini (en el sistema nerviós central o mutacions en les reproductives) com a llarg (càncer). En òrbites terrestres baixes (l'estació espacial), l'atmosfera i el camp magnètic terrestre ens protegeixen de les radiacions. En viatges a la Lluna (tres dies d'anada), pot no considerar-se el problema de les radiacions, però en viatges a Mart (nou mesos d'anada), ja cal blindar la nau, cosa que encareix considerablement l'enlairament. A més, a Mart no hi ha protecció: manca de camp magnètic i gairebé no té atmosfera. D'altra banda, s'ha comprovat a l'estació espacial que en condicions de baixa gravetat el cor pateix estrès, es produeix atròfia muscular, descalcificació, depressió del sistema immunitari, diarrea endèmica, pertorbació dels cicles del son. En viatges llargs no seria suficient la medicació i l'exercici físic; caldria dissenyar naus que feren rotació. Les missions tripulades suposen simbolisme i propaganda, encara que les no tripulades aconseguen millors resultats científics a menor cost. En

conseqüència, inicialment la política va prevaler sobre els resultats científics (Park, 2003).

Pot ser interessant referir-se al fet que la vida d'un satèl·lit està limitada a uns quants anys, ja que, per a mantenir-ne l'òrbita, necessita utilitzar els seus coets propulsors de gas de tant en tant. Això que suposa que es va gastant el combustible en un cert nombre d'anys, en funció de la seua mida i l'altura de l'òrbita, ja que si aquesta augmenta, el fregament amb l'atmosfera disminueix. Tot això implica l'abandonament en l'espai de nombrosos objectes denominats ferralla espacial, fet que representa ja un problema al qual dedicarem la següent activitat.

A.52. Quines conseqüències té l'existència de la ferralla espacial? Quin tipus de mesures s'haurien d'adoptar per resoldre el problema?

En general, les persones no solem preocupar-nos per la contaminació de l'espai orbital, tot i que ja en la dècada dels vuitanta la Comissió Mundial del Medi Ambient i del Desenvolupament (1988), en el seu documentat estudi sobre els problemes als quals ha de fer front la humanitat, "El nostre món comú", alertava que els residus que continuen en òrbita constitueixen una amenaça creixent per a les activitats humanes realitzades en l'espai o des de l'espai. La contribució dels satèl·lits a fer del planeta un veïnatge universal és fonamental però, com ha emfatitzat l'Agència Espacial Europea, si no es redueixen les deixalles en òrbita, d'ací a alguns anys no es podrà col·locar res en l'espai.

El satèl·lit francès CERISE, que va costar milers de milions, va ser destruït per un d'aquests enderrocs. De fet, aquest perill ha encarat ja enormement el cost dels blindatges amb què cal protegir els nous satèl·lits, cada vegada més necessaris. Es podria pensar que "l'espai és molt gran" i que els riscos de col·lisions són, doncs, petits. Però no cal oblidar que hi ha una òrbita "preferida" per als satèl·lits de comunicacions, la denominada autopista geostacionària, que presenta molts avantatges, perquè els artefactes hi giren a la mateixa velocitat angular que la Terra i queden aparentment fixos en el cel respecte a la superfície del planeta. El nombre de satèl·lits col·locats allà s'acosta a la saturació i les possibilitats de col·lisions en aquesta zona són enormes.

Una de les fonts d'aquesta ferralla, segons la Comissió Mundial del Medi Ambient i del Desenvolupament (CMMAD), ha estat l'activitat militar, amb l'assaig d'armes espacials. I això es veuria greument incrementat si es tiren

endavant els plans de "guerra de les galàxies" que preveuen la col·locació de grans quantitats d'armes i de detectors d'armes en els satèl·lits, així com assajos de destrucció de míssils en l'espai. Per això la mesura més important per a reduir els residus espacials, afirma la mateixa CMMAD, consisteix a evitar que continuen els assajos i el desplegament d'armes espacials que s'utilitzaran contra objectes col·locats en l'espai. Es tracta de mesures necessàries per a evitar deixar en òrbita aquesta herència a les pròximes generacions, cosa que resulta, segons els experts de la Subcomissió d'Afers Científics i Tècnics de l'ONU, una negligència tan greu com acumular residus radioactius, amb una activitat que pot durar centenars o milers d'anys, enverinar els oceans, salinitzar les aigües subterrànies o destruir els boscos del planeta (Vilches i Gil-Pérez, 2003). També aquí es pot connectar amb la necessitat d'una formació ciutadana que permeti participar en la presa fonamentada de decisions sobre els problemes als quals la humanitat ha de fer front.

7. LES AMENACES QUE REP LA NAU ESPACIAL TERRA

Tot i que aquest passeig pel sistema solar ha estat anomenat, ampul·losament, "conquesta de l'espai" i ens ha permès obtenir imatges de la Terra que, juntament amb les enormes dificultats dels viatges tripulats, ens han portat a la idea de la nau espacial Terra, que posa de manifest l'origen comú i la destinació solidària de la humanitat, que podria morir a causa de la destrucció de la nau en la qual viatja. No obstant això, quan es parla de causes de destrucció, els llibres de divulgació científica (Maddox, 1999; Ganten *et al.*, 2004) i el cinema (*Armageddon*, *Impacte*) s'inclinen per catàstrofes astronòmiques, com l'impacte d'un meteorit (com el que va provocar la desaparició dels dinosaures). Però en realitat, aquests esdeveniments són de molt baixa probabilitat si se'ls compara amb els problemes i desafiaments que afecten la humanitat.

A.53. A quins problemes s'enfronta avui dia la humanitat?

Els estudiants esmenten sobretot els relatius a impactes i a esgotament de recursos. L'activitat ha de fer que prenguen consciència de la resta, de la relació que existeix entre aquests i que, com posen de manifest diversos treballs (Solbes, 2002; Vilches i Gil, 2003), els problemes són globals i les solucions hi han de ser globals. Es poden esmentar els següents problemes:

El creixement exponencial de la població, que fa que aquesta es duplique en períodes molt curts de temps. El 1950 érem 2.500 milions de persones; ara som més de 6.000 milions i el 2050 es preveuen més de 10.000 milions de persones a la Terra.

El creixement de la polarització entre riquesa i pobresa. Ara hi ha uns 1.200 milions de persones al primer món i 5.000 milions al tercer, dels quals 1.500 milions malviuen amb menys d'un dòlar diari. El 2025 hi haurà 1.400 milions i 7.100 milions, respectivament, i les seues conseqüències, com la fam (ara hi ha més de 700 milions de persones que la pateixen), les malalties, l'analfabetisme, etc.

La producció d'armaments, causa fonamental de les guerres (des de 1945 més de 100, gairebé totes al Tercer Món i amb més de 16 milions de morts), del tràfic d'armes i, sobretot, d'un estoc d'armes nuclears, químiques i biològiques amb capacitat més que sobrada per a destruir el món com a planeta habitable.

L'esgotament dels recursos, particularment els energètics (el petroli, el gas natural), l'aigua potable, els bancs de peixos de la plataforma continental, etc.

La contaminació del medi ambient, on s'ha passat de problemes locals, com la pol·lució atmosfèrica de les grans ciutats, els residus urbans, la contaminació de rius, llacs i costes, la pluja àcida, a problemes globals com:

- L'efecte hivernacle, produït pel CO_2 i altres substàncies, que contribueix a l'augment global de la temperatura del planeta (que s'estudiarà amb més detall a continuació).
- La destrucció de la capa d'ozó pels CFC, el NO, sense la qual no és possible la vida a la terra, ja que absorbeix les radiacions ultraviolades. L'aprimament d'aquesta capa provoca una major incidència del càncer de pell, danys oculars, disminució de defenses i augment d'infeccions, etc.
- La pluja àcida, deguda als òxids de sofre i nitrogen, que es poden desplaçar grans distàncies abans de combinar-se amb l'aigua i precipitar-se en forma d'àcids (sulfúric, nítric, etc.) i que fan que el problema creat a les zones industrials d'alguns països (per exemple, a la conca del Ruhr alemanya) es patisca en els veïns (per exemple, a Suècia, Noruega, etc.), on s'acidifiquen llacs i rius, es destrueixen boscos o es deterioren monuments famosos.

- La desforestació, no sols per la pèrdua de biodiversitat que suposa en el cas de les selves tropicals, sinó pels seus efectes en la disminució de pluges, en l'erosió de sòls productius pel vent, l'aigua, i la consegüent desertificació, que no es limita només a l'Àfrica subsahariana, sinó que arriba al nostre país (el sud-est).

A.54. Aquests problemes poden ser conseqüència d'algun desenvolupament científic o tecnològic?

A.55. Com poden contribuir la ciència i la tecnologia a resoldre els problemes?

A.56. Com podríem contribuir cadascú de nosaltres a resoldre'ls?

Encara que s'atribueix en molts casos la responsabilitat d'aquests problemes a la ciència i la tècnica i per això es produeixen actituds negatives d'algunes persones respecte a les ciències anomenades "dures" (la física, la química), en realitat són deguts al fet que les classes dominants de la societat valoren més el benefici econòmic o el poder militar que el respecte a la justícia o al medi ambient.

És veritat que alguns problemes són fruit de la utilització perversa de la ciència i, sobretot, de la tècnica –com els armaments– o s'agregen amb la seua aplicació imprudent –com la contaminació. Però també és veritat que la ciència i la tècnica poden contribuir a la solució de la major part d'aquests: de la superpoblació, amb mètodes anticonceptius i planificació familiar; de la fam, amb biotecnologies, en particular, l'enginyeria genètica; de la contaminació, amb el seu control i amb energies i tecnologies alternatives, que al seu torn poden contribuir a la conservació de recursos, etc. Però la ciència i la tècnica soles no ho poden fer. Són condicions necessàries per a resoldre els problemes, però no suficients, perquè també és necessària la voluntat de canviar la situació injusta.

En resum, els problemes no es poden resoldre només amb la ciència, però tampoc es podran resoldre sense aquella.

Els mateixos impactes ambientals presentats posen de manifest que no són tant deguts a la ciència i la tecnologia sinó més aviat a l'ús que en fan les persones que tenen el poder en la societat, és a dir, els empresaris, els polítics i els militars. De fet, la mateixa ciència ha contribuït a posar de manifest els

problemes ecològics i a buscar-hi solucions. I si aquestes solucions no s'apliquen és perquè no augmenten els beneficis o el poder dels qui poden prendre aquesta decisió i perquè els ciutadans no tenen la consciència suficient d'aquests problemes i del que poden fer per posar-hi remei, en particular, com a consumidors (boicotejant determinats productes, racionalitzant el consum d'altres, etc.).

Per acabar aquesta consideració de la revolució científica i tecnològica que va suposar el desplaçament del sistema geocèntric pel heliocèntric i l'establiment de la teoria de la gravitació universal, convé proposar, a tall de recapitulació, algunes activitats de síntesi de l'estudi realitzat en aquesta unitat.

A.57. Indiqueu les aportacions d'interès que ha suposat l'estudi del tema.

A.58. Quins camps del coneixement queden integrats a partir del model heliocèntric i el seu desenvolupament?

A.59. Quina relació hi ha entre l'evolució dels coneixements abordats en aquest tema i les transformacions de la societat?

A.60. Visiteu un planetari per tal de realitzar un treball posterior sobre les seues aportacions per a la comprensió dels conceptes abordats en el tema.

A.61. Feu un seguiment de les notícies aparegudes en la premsa durant diverses setmanes relacionades amb la gravitació, viatges espacials, origen de l'Univers etc. Confeccioneu-hi un mural per a la classe i feu-ne un debat posterior sobre les seues repercussions en la vida actual.

Al llarg del tema ja s'han anat realitzant pauses de reflexió, alhora que s'ha fet ressaltar el caràcter revolucionari del pas del geocentrisme a l'heliocentrisme, que permet comprendre la manera de creixement de la ciència i evita visions de creixement lineal. I alhora s'analitzen aquests moments culminants en la història del pensament que van suposar la remodelació del cos de coneixements després de qüestionar tesis acceptades durant mil·lennis.

Però volem assenyalar que el final del tema constitueix una ocasió privilegiada per a tractar aspectes fonamentals de l'activitat científica, com el referit a la recapitulació i les perspectives obertes amb els desenvolupaments abordats.

És per això que es proposa ara un grup d'activitats que permeten recapitular tot el que s'ha estudiat en el tema, revisant i sintetitzant el que va suposar aquesta gran revolució científica, l'enfonsament de la barrera que separava el cel de la Terra, el sorgiment d'un nou paradigma i la integració, per primera vegada en la història de la humanitat, de dominis aparentment inconnexos.

Una ocasió, també, per a tractar de nou les relacions CTSA, que han estat considerades des de l'inici del tema, però que, després d'avançar en l'estudi de la problemàtica abordada, cal analitzar amb més profunditat, connectant els aspectes tractats amb els desenvolupaments tecnològics i la societat i el medi en què es desenvolupen (Solbes, 2002). Així, ja ens referim al que va representar la recerca d'una millora en les prediccions astronòmiques, fonamental per als llargs viatges amb allunyament de les costes que van tenir lloc en el segle XV i que van influir en l'impuls que van rebre en aquests anys les investigacions en el camp de l'astronomia. També abordem les barreres ideològiques a acceptar el moviment de la Terra, cosa que constitueix un magnífic exemple del paper subversiu del desenvolupament científic, de qüestionament de dogmes i barreres a la llibertat de pensament. I és possible referir-se a la contribució de tots aquests desenvolupaments en accions transformadores a la Terra, que faciliten els grans descobriments i, amb aquests, la primera gran globalització i les transformacions socials i del medi físic que va provocar a tot el planeta... i que ens ha conduït a l'actual situació d'emergència planetària (Bybee, 1991) que reclama decidides accions correctores (Comissió Mundial del Medi Ambient i del Desenvolupament, 1988; Mayor Zaragoza, 2000; Vilches i Gil, 2003).

I si estenem la consideració d'aquestes implicacions fins als nostres dies, ens trobem amb conseqüències encara majors, com, per exemple, les possibilitats pels satèl·lits artificials que han modificat en profunditat la vida a la Terra i ha fet possible la transmissió gairebé instantània d'informació i de transaccions de tot tipus, així com la predicció de fenòmens atmosfèrics, l'estudi de l'evolució dels ecosistemes, la detecció d'incendis, etc., etc., sense oblidar les repercussions negatives que tot això pot comportar i que es relacionen amb la contemplació de les perspectives obertes i la presa de decisions sobre tot plegat.

Es tracta, en definitiva, d'aspectes fonamentals de l'educació científica, a la comprensió de la qual pot contribuir a la realització de la visita a un planetari, que permeten relacionar la gravitació amb la revolució científicotècnica del segle XX i aprofundir en el coneixement de l'evolució de les idees científiques, perquè ajuden a mostrar una imatge de la ciència en connexió amb el món que

ens envolta, amb els avenços científics, amb temes d'actualitat, a anar aproximant-nos al coneixement dels nostres orígens i, en definitiva, a contestar moltes de les preguntes que els éssers humans teníem plantejades des de fa molt temps, d'una forma oberta, desproveïda de mites i supersticions.

Capítol 2.

ENERGIA, TREBALL I CALOR

La recerca de relacions directes entre els canvis o transformacions de la matèria i les seues causes són molt antigues. Galileu (1564-1642) ja es plantejava el problema de determinar l'existència d'alguna relació entre el desplaçament experimentat per un cos mentre sobre aquest actua una força i el canvi de velocitat que s'hi produeix. Aquesta cerca de relacions va conduir, al llarg d'un sinuós procés de més de 150 anys, a la introducció de noves magnituds físiques, en particular, als conceptes de treball, energia i calor i a l'establiment de relacions que havien de mostrar una gran potència explicativa i predictiva.

A.1. Esmenteu algun exemple d'ús de l'energia pels éssers humans al llarg de la història.

Abans d'abordar les idees qualitatives de treball i energia convé detenir-se a justificar l'interès del tema. Per fer-ho, s'utilitzarà l'activitat anterior, que ens permet reflexionar sobre la importància de l'energia en la societat. Assenyalarem, a continuació, la dificultat que ofereix la introducció del concepte d'energia. No oblidem que l'elaboració d'aquest concepte, fins a arribar a una comprensió total mitjançant el principi de conservació de l'energia, suposà un procés que durà uns dos segles. D'altra banda, els conceptes d'energia i de camp són els més potents, fructífers i unificadors de la física clàssica. Com diuen Holton i Bruhs (1976), "el concepte d'energia va proporcionar un vincle unificador dels fenòmens mecànics i tèrmics, el concepte de camp va subministrar a l'electricitat, el magnetisme, la gravetat i la llum un marc comú de teories físiques". A més, el camp i l'energia segueixen conservant la seua validesa en la física moderna. Tot açò, posa de manifest la seua importància i, alhora, la seua dificultat. Per tant, fa que siga un dels temes més investigats per la didàctica de les ciències, especialment quant a les dificultats dels estudiants (com veurem a continuació), però també en la formació del professorat (Hernández i Abenza, 1993).

Com a conseqüència d'aquesta dificultat, existeix una polèmica en la didàctica de les ciències sobre la conveniència de començar introduint el concepte de treball abans del d'energia o viceversa (Sexl, 1981; Duit, 1981 i 1984). Nosaltres opinem que és preferible una introducció pràcticament simultània dels

conceptes de treball i energia, motiu pel qual presentarem en primer lloc el concepte qualitatiu de treball i, a continuació, el d'energia. El tractament quantitatiu d'ambdues magnituds es realitzarà de forma senzilla, sense distingir entre els diferents tipus de treball (conservatiu, dissipatiu, etc.). Per tant, ens limitarem a mostrar que el treball que es realitza sobre un cos pot produir variacions d'energia cinètica, potencial o d'ambdues. Açò, pensem, pot facilitar la comprensió de la conservació i la variació de l'energia.

Abordarem també la transmissió d'energia d'un cos a un altre en forma de calor i farem un repàs de diferents màquines. Finalitzarem el tema posant de manifest els problemes associats al consum d'energia.

També s'inclouen activitats CTSA, en les quals es presenten aspectes ambientals, socials i tècnics de l'energia, per l'enorme impacte que té en el món en què vivim i per la millora que produeixen en l'aprenentatge, per tal com estableixen connexions amb els interessos de l'alumnat.

En conseqüència, desenvoluparem el tema segons l'índex següent:

1. Conceptes qualitatius de treball i energia
 - 1.1. Idea qualitativa de treball i d'energia
 - 1.2. Formes i fonts d'energia. Consum d'energia
2. Aprofundiment en els conceptes de treball i energia
3. Llei de conservació i transformació de l'energia
4. Concepció actual de la naturalesa de la calor: una transferència d'energia
5. La degradació de l'energia.
6. Màquines tèrmiques i elèctriques
7. Problemes associats a l'ús de l'energia i possibles solucions

1. CONCEPTES QUALITATIUS DE TREBALL I ENERGIA

1.1. Idea qualitativa de treball i energia

Un *sistema* és un cos o conjunt de cossos que separem de l'Univers per estudiar el que els succeeix. El que en queda fora es diu *entorn* o *voltants*. Els sistemes físics interactuen de diferents formes entre si i aquestes interaccions hi produeixen canvis. Introduïrem a continuació qualitativament alguns conceptes que ens permetran estudiar-los.

A.2. Considereu diversos exemples del que s'entén per treball en la vida corrent i establiu a partir d'aquests el concepte qualitatiu de treball.

Diguem, d'entrada, que aquesta activitat permet superar les habituals introduccions purament operatives, sense significat físic. Com en tants altres casos, la discussió qualitativa permet connectar amb les idees que els alumnes ja tenen. En l'exposició dels diferents grups apareixen les idees de canvi (transformació) i de força (esforç). Després de la posada en comú, la classe pot arribar així al concepte qualitatiu de treball com "la transformació de la matèria a través de les interaccions, és a dir, per l'acció de forces", segons la clàssica definició de Maxwell (1877), que expressa amb bastant propietat una primera idea de treball.

A.3. En les situacions que apareixen a continuació, assenyaleu si es realitza o no treball: a) Pujar un sac a una altura determinada, b) picar una pedra, c) empenyar una paret, d) caminar sostenint una maleta.

Seria didàcticament incorrecte passar per alt la freqüent confusió entre treball i esforç (Driver i Warrington, 1985). Es tracta d'un error conceptual bastant generalitzat. Convé, doncs, detenir-se en aquesta i altres possibles confusions, abordant els exemples proposats pels alumnes. Així, la qüestió "Es treballa quan s'està sostenint un objecte?" exigeix una resposta matisada. Sembla evident que l'objecte (si és indeformable) no pateix transformacions. No obstant açò, la impressió d'estar realitzant treball que els alumnes tenen no és errada: el mateix subjecte que suporta l'objecte experimenta transformacions (el seu cor va més de pressa, transpira...).

Finalment, cal insistir que la comprensió del concepte de treball no pot aconseguir-se sense tenir compte les seues relacions amb el concepte associat d'energia, al qual es refereixen també els alumnes des del primer moment.

El concepte d'energia ens resulta molt familiar perquè s'utilitza contínuament en el llenguatge quotidià, però convé que ens detinguem per aclarir-lo i aprofundir en el seu significat físic.

A.4. Exposeu les idees qualitatives que tingueu sobre el concepte d'energia.

Cal assenyalar que, en aquesta activitat, la idea d'energia com a “capacitat d'un sistema per a realitzar treball” sorgeix sense dificultats aparents. Alguns autors han indicat que aquesta idea no és correcta perquè tots els sistemes tenen energia i, no obstant açò, no tots poden realitzar treball (per exemple, molts sistemes tenen solament energia interna, però com que estan a la mateixa temperatura que l'exterior, no poden produir transformacions). Açò els ha portat a definir l'energia com la capacitat dels sistemes per a produir transformacions o canvis. Uns altres la consideren una propietat dels sistemes que solament canvia quan es produeixen interaccions, la qual cosa és certa, però no suficient, perquè açò es pot afirmar d'altres magnituds que es conserven en els sistemes: la quantitat de moviment, el moment angular, etc. Millorar açò amb el teorema d'Emmy Noether que afirma que l'energia és la magnitud que es conserva a causa de la invariància de les lleis de la física respecte a translacions temporals ens portaria massa lluny. Per açò, pensem que hi ha suficients raons, tant científiques com didàctiques, per a continuar utilitzant la idea d'energia com una capacitat del sistema per a produir transformacions.

A.5. Expliqueu si els següents cossos tenen energia: a) una persona que camina; b) una botella d'aigua; c) un cotxe que es mou amb una velocitat de 120 km/h; d) una persona que està asseguda; e) una casseroles amb aigua bullent.

En aquesta activitat veiem que alguns alumnes no reconeixen l'energia com una propietat de tots els cossos, ja que associen l'energia amb el moviment o amb els éssers vius (Solomon, 1983). D'acord amb aquesta preconcepció, els cossos en repòs no posseiran energia.

A.6. Què succeeix amb l'energia d'un sistema que realitza treball? Poseu-ne un exemple.

Aquesta activitat, d'altra banda, condueix a expressar la idea que, en realitzar treball, el sistema consumeix energia, és a dir, experimenta una variació

d'energia. Per descomptat, aquesta idea (que pot concretar-se en una hipotètica relació entre el treball W i la variació d'energia, de la forma $W = \Delta E$) és encara molt imprecisa i caldrà aprofundir-hi. Però, d'entrada, permet comprendre millor els exemples de realització de treball en situacions de la vida pràctica considerats en l'apartat 1.1. Així, pot entendre's més clarament per què en sostenir un objecte es realitza treball (associat a una disminució d'energia del subjecte).

En resum, el treball se'ns mostra com una forma de transferència d'energia des d'un sistema a l'exterior o viceversa. Si el sistema realitza treball, disminueix la seua energia. Si es realitza treball sobre el sistema, augmenta la seua energia.

1.2. Formes i fonts d'energia. Consum d'energia

La importància de l'energia en les societats modernes fa que tots els dies en sentim parlar, si bé cal assenyalar que no sempre el llenguatge ordinari coincideix amb el científic i açò és font de noves confusions que intentarem clarificar en aquest apartat.

A.7. Enumereu les diferents formes d'energia que conegueu.

A.8. Indiqueu, per a cadascuna de les formes d'energia considerades, en què es basa la seua capacitat de realitzar treball, de transformar la matèria.

En la primera activitat els alumnes enumeren tot un seguit de fonts d'energia, que confonen formes d'energia (Carr i Kirkwood, 1988; Solomon, 1985). Ressalta el desordre d'aquesta enumeració, que la següent activitat ha de contribuir a superar fent veure el caràcter cinètic d'algunes denominacions (energia eòlica, etc.) i el caràcter potencial de les altres (no solament la potencial gravitatòria!). En definitiva, ha de quedar clar que tota l'energia o bé és cinètica associada al moviment relatiu d'uns objectes respecte a uns altres o és potencial, és a dir, deguda a les interaccions dels cossos (gravitatòries, elèctriques) i avançar que, per descomptat, no s'ha de parlar d'energia tèrmica o calorífica, error conceptual molt freqüent encara fins i tot en alguns textos i que és necessari desfer. També convé deixar d'utilitzar l'expressió *energia mecànica* (cinètica més potencial gravitatòria)

A.9. Elaboreu una relació de les principals fonts d'energia, indicant caràcter renovable o no, el seu consum, etc.

A.10. Seguiu en la premsa, durant el temps que indique el professor, totes les notícies relacionades amb l'energia. Elaboreu-ne un dossier amb la finalitat de debatre les conseqüències socials, econòmiques, mediambientals, tecnològiques, etc., que l'ús de l'energia genera.

A.11. Visiteu una central de producció d'energia (hidràulica, nuclear, tèrmica, solar, etc.) i realitzeu un treball sobre aquesta.

Una vegada establertes les formes d'energia, és fàcil que els alumnes compreguen que la major part de les formes enumerades inicialment són, en realitat, fonts d'energia. Quant a les fonts d'energia consumida al món en 2001, les dominants són les no renovables (un 86,3% del total). Aquestes es distribueixen en: petroli (35%, 332 EJ, 1 EJ = 1.018 J), carbó (22,6%, 94 EJ), gas natural (21,7%, 91 EJ) i nuclear (6,9%, 29 EJ). Les energies renovables aporten en l'actualitat un 13,7% (57 EJ) de l'energia primària: un 9,3% (39 EJ) correspon a la biomassa, un 2,3% (9 EJ) a la hidràulica i el 2,2% (9 EJ) restant a les noves renovables (solar –tèrmica i fotovoltaica–, l'eòlica, etc.) (Sapiña, 2005).

A.12. Com està evolucionant el consum d'energia?

A.13. Valoreu críticament la distribució del consum mundial d'energia.

El consum d'energia ha anat en augment constant a causa de dues raons: pel creixement de població i per l'increment d'energia consumida per habitant. Així, en les societats caçadores una persona consumia 20.000 J/dia; en les primeres societats agrícoles, 50.000 J/dia; en la societat industrial europea cap a 1870, 280.000 J/dia i un nord-americà cap a 1970, 1.000.000 J/dia. També ha anat variant el tipus d'energia consumida majoritàriament: en l'antiguitat, la llenya; durant la Revolució Industrial, el carbó i, en l'actualitat, el petroli. No obstant açò, les xifres de consum revelen un abisme que separa els països pobres dels rics. Els 270 milions de nord-americans consumeixen tanta energia –en un 80% d'origen fòssil– com els 3.600 milions d'habitants d'Àfrica, l'Amèrica del Sud i Àsia. Així, l'any 1994, un habitant dels EUA consumia per any 8 TEP; un de la Unió Europea, 3,7 TEP; un d'Espanya, 2,4 TEP; un de l'Índia, 0,2 TEP (el TEP o tona equivalent de petroli és la quantitat d'energia obtinguda per la combustió d'una tona de petroli. 1 TEP = $4,18 \cdot 10^{10}$ J).

En açò també hi ha grans diferències quant als tipus d'energia consumida entre el món desenvolupat i el tercer món. Un 30% de la humanitat (1.700 milions de persones) queda exclosa de qualsevol forma d'energia que no siga la que proporciona la biomassa (llenya, especialment). Hi ha 2.400 milions de persones que no tenen accés a l'electricitat. Per açò, en els percentatges de consum d'energia primària en el Tercer Món, la biomassa representa el 35% del total, el petroli el 26%, el carbó el 25%, el gas natural el 8%, etc. Per contra, a la Unió Europea el consum d'energies renovables només representa el 5,38% (Pro, 2009).

2. APROFUNDIMENT DELS CONCEPTES DE TREBALL I ENERGIA

Hem vist que treball és l'acte de transformar la matèria mitjançant l'aplicació de forces. No obstant açò, en física és necessari cercar definicions que permeten calcular el valor de la magnitud treball. Per a fer-ho, cal saber com depèn d'altres magnituds.

A.14. Limitant-nos al domini de les transformacions mecàniques, proposa una definició de treball basada en el concepte qualitatiu que acabem d'establir.

A.15. La unitat de treball en el sistema internacional és el joule (J). Proposeu-ne una definició.

La definició operativa $W = F \cdot d$ que els alumnes proposen (i que convé acceptar inicialment, malgrat les seues indubtables limitacions) apareix ara com a conseqüència del concepte qualitatiu i així ha de ser verbalitzat per l'alumnat, almenys pel que fa a la inclusió de tots dos factors (la força F i el desplaçament d). Però la idea d'una proporcionalitat directa d'ambdós factors és una simple hipòtesi en la qual s'ha d'aprofundir i evitar així respostes memorístiques. Es pot plantejar, amb aquest fi, que analitzen altres expressions i raonen si poden ser considerades com a definicions operatives correctes de la magnitud treball, per exemple, $W = F/d$ o $W = F + d$ (Calatayud *et al.*, 1988). A continuació s'ha d'insistir en la necessitat d'evitar definicions del tipus "1 N x 1m" mancades de tot significat. En fer-ho, els alumnes arriben a proposar una definició més física com el "treball que es realitza quan una força d'1 N es desplaça 1 m".

A.16. Proposeu exemples de treball donant una estimació del seu valor en unitats internacionals.

A.17. S'ha de pujar un tonell a un camió des del terra. Considera qualitativament quan es realitza més treball: en elevar directament el tonell o en utilitzar un pla inclinat.

Aquestes activitats de “materialització” són molt convenients per a familiaritzar els alumnes amb estimacions reals. Situacions com el treball realitzat en elevar una maleta a una altura donada o un ascensor a un pis determinat poden, a més, preparar l'alumne per a entendre la relació del treball amb l'energia potencial.

En la següent activitat els alumnes responen habitualment que es fa menys treball pujant el tonell pel pla inclinat, amb la qual cosa es posa en evidència la confusió treball/esforç i es pot així insistir de nou en el concepte qualitatiu de treball (“Que la transformació assolida no ha sigut la mateixa?”) i en l'error de considerar la variació d'un únic factor (“menys força, menys treball”) oblidant l'altre (“més desplaçament”). També es pot proposar alguna activitat quantitativa del tipus: “S'eleva una massa de 50 kg a una altura de 12 m amb una velocitat constant. Quin treball hem realitzat? Quin treball ha fet la força pes? Quin és el treball realitzat per la força resultant?”.

2.1. Mesura de l'eficàcia en la realització de treball

En la vida quotidiana no interessa tant el treball com l'eficàcia amb què aquest es realitza, especialment quan parlem de màquines (un cotxe, una grua, etc.). Abordarem aquesta qüestió en les següents activitats:

A.18. Proposeu una definició d'una magnitud que mesure la major o menor eficàcia amb què es realitza el treball.

A.19. La unitat de potència en el Sistema Internacional és el watt (w). Proposeu-ne una definició.

Encara que la major part dels grups parteixen de la idea que una màquina eficaç és la que realitza molt treball en poc temps (el que condueix directament a introduir la relació W/t com mesura de “l'eficàcia”), alguns alumnes o el mateix

professor poden fer referència al fet que es tracta d'un plantejament purament quantitatiu que deixa de costat l'aspecte "qualitat".

A.20 Doneu estimacions aproximades del valor de la potència per a alguns exemples reals (motor d'ascensor, persona pujant una escala, etc.).

A.21. El kw·h (quilowatt-hora) és una unitat de treball molt utilitzada. Doneu una definició de la mateixa i calculeu la seua equivalència amb el Joule.

A.22. Feu una estimació aproximada del consum elèctric d'un mes a la vostra casa (tenint en compte tots els electrodomèstics, bombetes, etc.) i compareu-les amb els kw·h que indiquen els rebuts de la companyia elèctrica.

Aquestes activitats són exemples de relacions de la ciència amb la vida quotidiana. Com el J és una unitat xicoteta d'energia, se sol utilitzar el kw·h=3.600.000 J.

Hem vist que l'energia és la capacitat d'un sistema per a realitzar transformacions de la matèria, en particular, per a realitzar treball. Com ja sabem, l'experiència ensenya que un cos dotat de moviment és capaç de realitzar treball. Aquest tipus d'energia l'anomenem cinètica. A continuació, hi aprofundirem en ella.

A.23. Assenyaleu, a títol d'hipòtesi, de quines magnituds dependrà l'energia cinètica d'un cos que es mou respecte d'altres. Assenyaleu, així mateix, alguns exemples de l'interès que pot tenir conèixer i controlar aqueixa energia.

A.24. Sobre un cos en repòs es realitza un treball per desplaçar-lo sobre una superfície horitzontal. Quina velocitat adquirirà?

A.25. Calculeu el treball necessari per a augmentar la velocitat d'un cos de 40 kg des de 25 a 50 m/s.

La primera activitat és una nova ocasió per a l'emissió d'hipòtesi. Condueix els alumnes a expressar l'energia cinètica en funció de la velocitat i de la massa. El professor ha de fer-los reflexionar sobre el fet que les conseqüències d'un xoc no són proporcionals a la velocitat, sinó al quadrat d'aquesta, trobant que $W = mv^2/2$. Aquests xocs, igual que els molins de vent i hidràulics, els ariets, etc., són els exemples usualment esmentats. La següent activitat també es

resoldre mitjançant consideracions qualitatives similars. L'última activitat és un exercici d'aplicació, sense dificultats, de la relació $W = \Delta E_c$.

En la pràctica ens trobem amb sistemes capaços de realitzar un treball, independentment del seu estat de moviment. Així, un arc en tensió, un moll comprimit, dos imants pròxims o un cos situat a una altura sobre la Terra. Aquests sistemes posseeixen una energia associada a la posició de les seues parts, que es denomina potencial i és deguda a l'existència de forces entre aquestes parts. De totes les formes d'energia potencial considerades, ens n'ocuparem únicament de l'energia potencial gravitatòria del sistema constituït per la Terra i un objecte pròxim a aquesta.

A.26. Indiqueu de quins factors cal suposar que dependrà l'energia potencial gravitatòria quan es té un cos en les proximitats de la superfície terrestre.

De vegades es parla de l'energia potencial d'un cos, però aquesta energia no és una propietat del cos (Martín i Solbes, 2001). En efecte, l'energia potencial es deu a la interacció del cos i de la Terra, és a dir, a la interacció del cos amb el camp gravitatori terrestre.

A.27. Sobre un cos situat a una altura determinada es realitza un treball. Com variarà la seua energia potencial?

Aquesta activitat és una ocasió de practicar, de nou, l'emissió d'hipòtesi. La següent pretén que els alumnes mateixos determinen la relació $W = F \cdot d = m \cdot g \cdot h$, és a dir, $W = \Delta E_p$. Poden comprendre que, si es realitza un treball sobre el cos, l'energia potencial gravitatòria augmenta i, per tant, la seua variació és positiva. Per contra, el treball realitzat per la força de la gravetat disminueix l'energia potencial. L'última permet als alumnes constatar el caràcter relatiu de les energies potencials (pel que fa al nivell pres com a origen d'altures) i el caràcter absolut de les variacions. Convé cridar l'atenció sobre l'error comès en ocasions pels alumnes, consistent a donar a g (en l'expressió $m \cdot g \cdot h$) valors negatius o positius "segons el sistema de referència". Aquest error prové, segurament, d'una fixació funcional adquirida en cinemàtica i que ací no té sentit.

3. LLEI DE CONSERVACIÓ I TRANSFORMACIÓ DE L'ENERGIA

En l'apartat anterior hem estudiat les transformacions que es produeixen quan modifiquem la posició d'un cos o canviem la seua velocitat. En cada cas hem establert que el treball realitzat sobre el cos suposava una variació d'energia potencial ΔE_p o cinètica ΔE_c , respectivament. En general, el treball sobre un cos podrà modificar alhora la posició i la velocitat del cos i, per tant, es compleix

$$W = \Delta E_c + \Delta E_p$$

A.28. Assenyalau què ocorrerà a l'energia d'un sistema que estiga aïllat de l'exterior, és a dir, que no intercanvia energia amb el seu entorn mitjançant treball o qualsevol altre procés de transferència.

Aquesta activitat permet deduir fàcilment que, en un sistema aïllat, es té que $W = 0$ i, per tant, haurà d'acomplir-se que $\Delta E = \Delta(E_c + E_p) = 0$. Si definim l'energia total $E = E_c + E_p$ es compleix $\Delta E = 0$ o també que la $E = \text{constant}$. En altres paraules, l'energia d'un sistema aïllat es conserva. Com que $E = E_c + E_p$, açò vol dir que l'energia potencial pot anar-se transformant en cinètica, com succeeix, per exemple, en una caiguda lliure o viceversa, en un llançament vertical. Per açò és millor enunciar-ho com a llei de conservació i transformació de l'energia.

Aquest resultat, aparentment senzill, per a ser conegut per tothom, ha sigut el fruit d'uns 150 anys de treball científic (Holton i Bruhs, 1976; Mason, 1985). Galileu (1564-1642), en el *Diàleg de dues noves ciències* (1638), es plantejava el problema de determinar si existeix alguna relació entre el desplaçament experimentat per un cos mentre hi actua una força i el canvi de velocitat que es produeix.

Un altre problema que es planteja és el de les variacions de moviment que tenen lloc quan uns cossos xoquen amb altres. Huygens (1629-1695) va proposar en 1669 que la suma de les masses pel quadrat de les velocitats de tots els cossos roman constant abans i després del xoc. A aquesta magnitud se li va donar el nom de *vis viva* i va ser utilitzada per Leibniz com a base de les teories mecàniques. La conservació de l'energia mecànica, no formulada clarament, és utilitzada per Huygens per resoldre el problema del pèndol i per Daniel Bernoulli (1700-1782) en el seu estudi dels fluids en moviment.

Calgué esperar quasi mig segle perquè J. L. Lagrange (1736-1813) establira la conservació de l'energia per a un sistema mecànic en la seua *Mecànica analítica*

(1788). Se sap que l'energia cinètica és $1/2$ de la *vis viva*, però encara no s'utilitza el concepte d'energia potencial E_p sinó la *funció de la força*.

A.29. Dissenyeu algun muntatge experimental per a contrastar la llei de conservació de l'energia mecànica en alguna situació particular de fàcil realització.

Els alumnes poden concebre muntatges experimentals relativament senzills, com, per exemple, la caiguda lliure, però com que aquesta és molt ràpida, poden plantejar-se la utilització del pla inclinat. No solen esmentar una corriola amb pesos a banda i banda (màquina d'Atwood).

Malgrat la senzillesa de les pràctiques, una anàlisi de la major part dels llibres de text, de laboratori i manuals dels equips de secundària, ens mostrarà que no existien pràctiques d'aquest tema (Tarín 2000). Inicialment pensarem que açò era a causa que els muntatges eren redundants amb cinemàtica i dinàmica. Ara bé, aquesta redundància és positiva perquè es poden emprar les mateixes dades per a diferents pràctiques.

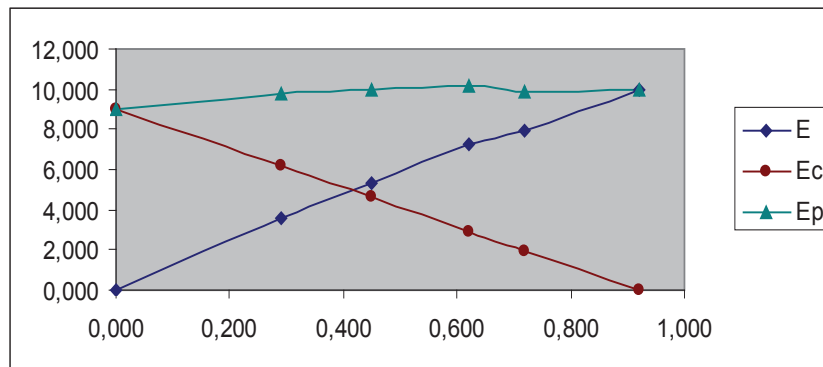
En conseqüència, pensarem que l'absència era deguda al fet que es tractava d'un treball experimental complex i subjecte a grans imprecisions, ja que, entre altres coses, als instituts no hi ha dispositius que mesuren velocitats instantànies. Per açò, quan s'utilitza el pla inclinat i cronòmetres per a estudiar el MRUA, és convenient usar barres llargues i acanalades de fusta o alumini (1,5 o 2 m). En aquest cas s'estudia la proporcionalitat entre l'espai i el quadrat del temps t^2 , ja que $e = \frac{1}{2} at^2$. I sempre que es tracta de proporcionalitats, les coses funcionen bé independentment del muntatge, com veurem més endavant.

Ara bé, quan s'intenta estudiar la conservació de l'energia, les proporcionalitats no són suficients; cal treballar amb igualtats i llavors tenim problemes. Determinar l'energia potencial E_p no presenta dificultats, ja que aquesta només depèn de l'altura, però per a determinar l'energia cinètica E_c cal obtenir el temps t per a diferents espais i calcular així la velocitat v . Però amb cronòmetres, encara que la caiguda siga gran, no hi ha suficient precisió. En conseqüència, cal veure què succeeix amb els cronòmetres de cèl·lules fotoelèctriques o sensors de moviment, que permeten cronometrar el temps de trànsit entre aquestes amb una precisió fins als ms, però els cronòmetres de cèl·lules no constitueixen la dotació usual de molts centres de Magisteri.

A.30. Realitzeu l'experiència de caiguda lliure.

Si l'edifici disposa de quatre o cinc plantes, es deixa caure una bola des de cadascuna d'aquestes. El qui cronometra la caiguda és qui solta la bola i para el cronòmetre quan sent l'impacte d'aquesta en terra. El principal inconvenient és que el temps de caiguda és molt breu, la qual cosa obliga a realitzar tres o més caigudes per a cada altura, però encara així, la precisió no és suficient. També es pot aprofitar per a deixar caure dues boles de la mateixa grandària i diferent massa, per a comprovar que arriben al mateix temps i que la caiguda és independent de la massa.

Si es disposa de suficients cronòmetres de cèl·lules fotoelèctriques o sensors de moviment, es pot realitzar la següent activitat al laboratori. Però com que açò no és habitual en Magisteri, es pot realitzar com un treball d'un o dos grups, que mostraran a la resta de la classe. Per a portar-ho a terme, s'utilitza un cronòmetre de cèl·lules fotoelèctriques. Cal deixar caure una piloteta de goma des de la cèl·lula superior (amb cura que $v_0 = 0$ m/s) i determinar el temps de trànsit en ms, repetint el procés tres vegades. En realitzar el cinquè mesurament apareix un nou obstacle: és molt difícil fer passar el cos per les dues cèl·lules fotoelèctriques amb forma d'U simultàniament, quan aquestes equidisten més d'un metre, la qual cosa limita el nombre de mesures\$. Es realitza l'experiència i els resultats obtinguts es poden tractar amb la calculadora o, millor, amb fulls de càlcul (Excel o openoffice.org-calc), per aprofitar la motivació que els estudiants manifesten per la informàtica i per familiaritzar els estudiants en l'ús científic d'aquesta i contribuir al que alguns autors (Echevarria, 2002) denominen alfabetització en les TIC. Com que s'ha realitzat una determinació acceptable del temps t , açò ens permet determinar la velocitat per a cada posició. Tenint en compte que $v = a \cdot t$, com que $e = at^2/2$, llavors $v = 2 \cdot e/t$ i $E_c = mv^2/2$.



A.31. *Analitzeu els resultats. A la vista d'aquests, es pot dir si es conserva l'energia? Què es pot fer per millorar-los?*

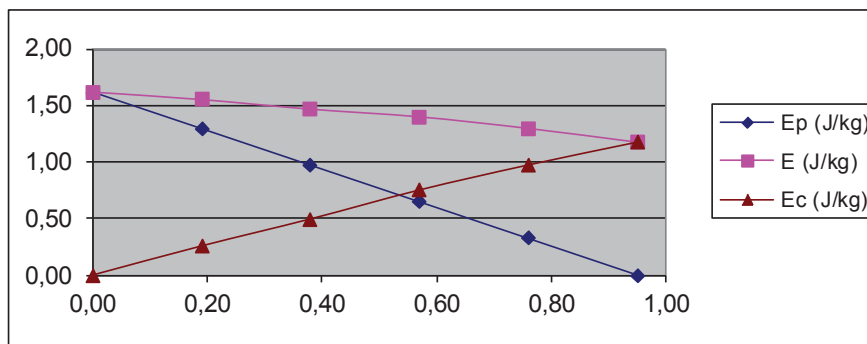
Es pot comprovar en la taula de resultats que, segons calia esperar, l'energia potencial disminueix linealment amb l'altura, l'energia cinètica augmenta linealment amb la distància recorreguda i l'energia total és pràcticament constant, però en aquest cas la precisió no és molt gran, encara que acceptable si es compara amb la que es pot obtenir amb cronòmetres convencionals.

Açò no descarta l'experiment, sempre que se n'acompanye d'altres. Es pot preguntar als estudiants què cal fer per millorar els resultats. És freqüent que proposen utilitzar tubs de vidre transparents per evitar que la bola impacte amb la cèl·lula inferior i poder prendre així més mesures. Evidentment, aquests resultats serien més precisos amb altres mitjans tècnics, com el sensor de moviments de Pasco que permet detectar posicions i velocitats instantànies, però el seu ús no és molt comú als instituts ni a les facultats de Magisteri del nostre país.

A.32. *Realitzeu l'experiència de caiguda per un pla inclinat.*

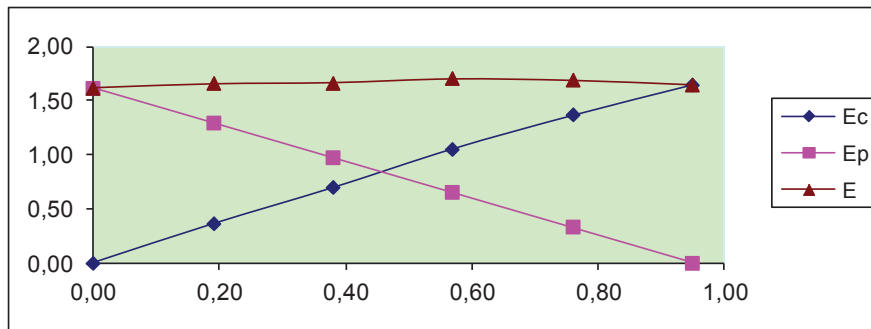
Es pot plantejar que tots els grups realitzen l'estudi de la caiguda per un pla inclinat amb una canal ampla, que fa més lenta la caiguda de la bola (aturant-la si l'amplada coincideix amb el diàmetre), o que algun grup ho faci per a la resta amb cèl·lules o sensors. Es podria esperar que, com que és més lenta, els

resultat seran millors, però en representar les dades, aparentment no es conserva l'energia (Solbes i Tarín, 2007 i 2008). Fins i tot, si no es realitza l'experiència, pot ser suficient presentar els resultats i plantejar-los la següent activitat:



A.33. Analitzeu els resultats. Es conserva l'energia? A què pot ser degut?

Els estudiants queden sorpresos pels resultats. En aquest cas, en què no hi ha hagut cap obstacle de tipus tècnic que pugui justificar-los, com succeïa en l'experiència anterior, els resultats obtinguts posen de manifest que l'energia no es conserva. No troben cap explicació, encara que algú fa notar que l'energia cinètica no creix al mateix ritme que decreix la potencial. El professor pot aprofitar aquest tipus de comentaris per a assenyalar que si els resultats experimentals són correctes, el problema pot estar en el model teòric utilitzat. Açò permet mostrar algunes estratègies usals de la ciència. En primer lloc, la necessitat de fer aproximacions per estudiar els sistemes. Açò es posa de manifest molt poques vegades en els llibres de ciència. La més important d'aquestes és utilitzar un model del sistema, que és una representació més simple i coneguda d'un sistema complicat o poc conegut. En segon lloc, la necessitat de canviar de model teòric quan aquest no és capaç de predir els resultats experimentals. Açò només es mostra en teoria (en tractar els models atòmics o el de la llum), però mai en els experiments que apareixen com a verificació de lleis. Encara que el sistema estudiat és senzill, potser les aproximacions realitzades el fan massa simple. Efectivament, els estudiants han considerat que l'energia cinètica és $E_c = mv^2/2$, com en el cas anterior. Però la bola no llisca sinó que roda i, en conseqüència, l'energia cinètica ha d'incloure, a més de la translació del CM, la rotació al voltant del mateix $E_c = mv^2/5$. Si s'utilitza la nova expressió de l'energia cinètica $E_c = 0,7mv^2$, amb les mateixes dades experimentals, obtenen:



A.34. Expliqueu les transformacions d'energia que tenen lloc en els següents processos: a) un cotxe xoca contra un moll que el fa rebotar; b) una llanterna que funciona amb piles; c) un micròfon; d) un molí de vent mou una sénia que puja aigua des d'una séquia a una altra de superior; i) un molí d'aigua mou una dinamo amb la qual s'alimenta una estufa elèctrica.

Finalment, és necessari mostrar les aparents limitacions de la llei de conservació de l'energia mecànica.

A.35. Considereu situacions en les quals parega que no es compleix el principi de conservació de l'energia.

La primera d'aquestes activitats permet que els estudiants realitzen cadenes de transformació d'energia. La següent mostra la potència del nou tractament. En l'última es consideren situacions en les quals intervé la fricció. Amb aquestes s'introdueix una aparent limitació a la idea de conservació. Es proposa la clarificació completa de la qüestió en l'estudi de l'apartat següent.

4. CONCEPCIÓ ACTUAL DE LA NATURESA DE LA CALOR: UNA TRANSFERÈNCIA D'ENERGIA

L'estudi fenomenològic de la calor és la calorimetria. Ens limitarem ací a una breu revisió. Un dels processos més simples d'aquells en què intervé la calor és el dels escalfaments i refredaments que tenen lloc en posar en contacte cossos a diferents temperatures.

A.36. Emeteu hipòtesi sobre els factors de què depèn la quantitat de calor que absorbeix o emet un cos en variar la seua temperatura.

A.37. Dissenyeu un muntatge experimental adequat per a contrastar les hipòtesis, indicant la forma de resoldre els problemes tècnics (forma de mesurar la quantitat de calor, etc.)

A.38. Realitzeu els experiments i analitzeu els resultats.

Aquestes activitats permeten la introducció de l'equació $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, on la constant de l'expressió obtinguda és la calor específica i representa la calor absorbida per la unitat de massa de la substància per a elevar un grau la seua temperatura. Si s'assigna a la calor específica de l'aigua el valor unitat, podem definir la unitat de calor o caloria com la quantitat de calor que absorbeix un gram d'aigua per a elevar un grau centígrad la seua temperatura. El seu símbol és Cal. El disseny exigeix determinar de forma relativa la quantitat de calor a partir del temps d'escalfament, mitjançant resistència, encenedor o bec de Bunsen, etc. També el control de les variables: escalfar una quantitat donada d'aigua i comprovar com augmenta la temperatura ($Q = k \cdot \Delta T$), escalfar diferents quantitats d'aigua fins a la mateixa temperatura i determinar el temps necessari ($Q = k' \cdot m$), etc.

Passem ara a estudiar què ocorrerà quan es posen en contacte dos cossos a diferent temperatura. Per estudiar aquests intercanvis situarem els dos cossos en un sistema aïllat o calorímetre, de manera que no puguin intercanviar calor amb l'exterior. El més semblant a aquest sistema és un dels termos dels que s'utilitzen habitualment a casa.

A.39. Què pot dir-se, sobre les variacions de temperatura i quantitats de calor implicades quan dos cossos entren en contacte?

A.40 A títol d'hipòtesi, formuleu una expressió matemàtica per obtenir la temperatura d'equilibri dels dos cossos que entren en contacte.

A.41. Dissenyeu un experiment senzill que permeti contrastar la hipòtesi proposada, realitzeu-lo i interpreteu-ne els resultats obtinguts.

Aquestes activitats permeten revisar l'intercanvi de calor entre dos cossos fins que s'igualen les seues temperatures per arribar fins a la introducció de l'equació $Q_1 + Q_2 = 0$, que, combinada amb $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, ens dóna la temperatura d'equilibri. Es pot comprovar fàcilment barrejant aigua a diferents temperatures. La relació establida pot utilitzar-se per a la determinació experimental de calors específiques. Aquestes activitats, juntament amb les anteriors, permeten superar la confusió entre calor i temperatura (Arnold, 1994).

A.42. Què ocorre, des del punt de vista tèrmic, quan els cossos es colpegen o freguen entre si?

Sabem que el fregament o el xoc dels cossos produeix el seu escalfament. En l'apartat anterior hem vist que aquests fenòmens estan vinculats a aparents limitacions del principi de conservació de l'energia. La resolució d'aquest complex problema, al principi del segle XIX, per Thomson, Mayer, Joule i altres, va permetre integrar l'estudi de la calor o calorimetria en el domini de la mecànica.

Thomson va escriure: "Estant encarregat [...] del trepant de canons a la fàbrica de l'arsenal militar de Munic, vaig quedar sorprès pel grau considerable de calor que adquireix, en un temps molt petit, una peça de llautó en ser perforada". La calor engendrada per fricció "semblava no esgotar-se mai. Era forçós, doncs, concloure que allò que un cos aïllat o sistema de cossos podia proporcionar de manera contínua, sense limitació, no podia ser una substància material, i em sembla extremadament difícil, si no impossible, imaginar alguna cosa capaç de ser produïda a la manera que ho és la calor en aquests experiments si no és el moviment".

A.43. Quina concepció de la calor posa en qüestió l'experiència de Thomson? Emeteu una nova hipòtesi sobre la naturalesa de la calor.

L'objectiu bàsic d'aquest apartat és aclarir el concepte de calor com a treball, eixint al pas dels errors habituals de considerar-lo com una substància (Albert, 1978; Erickson 1979, 1980) o una forma d'energia emmagatzemada en els cossos (Von Roon *et al.*, 1994). Aquesta activitat permet criticar la idea de calòric i que aparega la idea d'associar la calor amb l'agitació o moviment de totes les partícules del cos. Thomson va trobar dificultats per aconseguir que la seua idea fóra acceptada, entre altres raons, perquè no va poder donar resultats quantitius, igual que Mayer (Holton i Bruhs, 1976). Aquest jove metge, especulant sobre les relacions entre la calor animal i les reaccions químiques, estableix en el seu assaig "Observacions sobre les energies de la naturalesa inorgànica" (1842), que hi ha una força (*Kraft*) immaterial que pot canviar de forma i que es conserva en tots els processos naturals. Aquesta força és el que avui denominem energia i la calor era, segons Mayer, una forma d'energia. Aquest rebuig li va provocar desordres mentals, dels quals es va recuperar al final de la seua vida, de manera que pogué ser testimoni del triomf de les seues idees.

Les proves quantitatives, les obtingué Joule, un fabricant de cervesa que, entre 1843 i 1848, va dissenyar un seguit de muntatges experimentals per tractar d'establir l'equivalència entre calor i treball.

A.44. Dissenyeu algun muntatge experimental per tractar d'establir l'equivalència entre calor i treball. Realitzeu-ne algun.

Entre aquests podem esmentar l'estudi de la calor que desprèn un conductor recorregut per un corrent elèctric (amb aquesta experiència va obtenir el que es coneix com llei de Joule), mitjançant compressions i expansions de gasos i, sobretot, deixant caure pesos des d'una altura donada que produeixen, per fricció (a través d'un sistema de pales que fan girar els pesos en anar baixant) una elevació en la temperatura de l'aigua agitada. Fins a tal punt arribà la seua constància per a determinar aquest valor que en el seu viatge de nuvis a Suïssa, es dedicava a mesurar mitjançant un termòmetre l'increment de temperatura de l'aigua que es produïa en caure per una cascada des d'una determinada altura. La més factible és la de la llei de Joule, escalfant mitjançant una resistència durant un temps l'aigua continguda en un calorímetre i mesurant la temperatura inicial i la final. L'energia subministrada per la resistència s'obté multiplicant la potència pel temps $E = P \cdot t$ i la calor $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$. Els resultats obtinguts són bastant acceptables. Si es fa l'experiència en les condicions d'un laboratori de recerca es pot determinar l'equivalent mecànic de la calor, és a

dir, a quants J equival una caloria (es trobarà un valor molt pròxim als 4,18 J/cal acceptats actualment).

A.45. Enumereu canvis que pot produir la calor en els sistemes físics.

L'activitat permet mostrar la capacitat de la calor per produir transformacions com la dilatació de les substàncies, els canvis d'estat, etc. Convé detenir-se ací i, seguint, per exemple, Alonso i Finn (1971), deixar molt clar que no cal concebre la calor com una forma d'energia (error molt estès), sinó purament i simplement treball. Un treball associat al desplaçament de les partícules d'un cos i que no pot mesurar-se, per raons òbvies, de la forma habitual (cosa que obligaria a seguir el desplaçament de cada partícula i mesurar la força que actua en cada instant sobre cadascuna). La magnitud calor apareix així com una globalització estadística del treball realitzat sobre cada partícula. Un treball que es tradueix en variacions d'energia cinètica de les partícules (agitació que es mesura, també estadísticament, amb el concepte de temperatura). I no pot parlar-se de contingut en energia calorífica (malgrat que sol fer-se) com no pot parlar-se de contingut en energia "treballosa" (cosa que, afortunadament, ningú no fa). És a dir, el treball i la calor són formes de transferència d'energia que produeix transformacions en els cossos. La comprensió de la calor com a forma de treball obrí pas a l'establiment del principi de conservació de l'energia en una sèrie de processos en els quals semblava no complir-se.

Amb l'establiment de l'equivalència calor/treball, el principi de conservació i transformació de l'energia adquireix una validesa major. Mayer i Helmholtz van enunciar aquest principi d'una forma més general, denominada primer principi de la termodinàmica. Aquest principi ens diu que el contingut energètic o energia interna d'un sistema pot variar perquè es realitza un treball –pel sistema o sobre aquest– o perquè el sistema absorbeix o cedeix calor. D'aquesta forma, podem escriure:

$$Q - W = \Delta E$$

on Q representa la calor absorbida pel sistema; W , el treball realitzat per aquest i E , la seua energia interna.

Atès que aquests treballs van ser realitzats per Mayer en 1842, per Joule entre 1843 i 1848 i per Helmholtz en 1847, va haver-hi disputes de prioritat. En l'actualitat es reconeixen a Mayer les seues consideracions teòriques; a Joule, el

seu treball experimental i a Helmholtz, haver enunciat clarament el principi. A més, tots ells van aplicar el principi de conservació a múltiples fenòmens, no solament físics. Mayer, a la fisiologia i l'expansió dels gasos. Joule, a l'escalfament d'un líquid per fricció o per corrent elèctric. Helmholtz, a la fisiologia (l'oxidació dels aliments explica la calor corporal i l'acció muscular), les col·lisions inelàstiques, els fenòmens tèrmics i elèctrics (corrent, inducció electromagnètica), etc. Es va pretendre, fins i tot, constituir-lo com un principi de tota la ciència.

En resum, hem vist que si un sistema està aïllat la seua energia es conserva, encara que pot transformar-se o convertir-se d'unes formes a unes altres. També hem vist que quan el sistema no està aïllat, transfereix la seua energia a altres sistemes o viceversa i es produeix una variació de l'energia del sistema. Els dos mecanismes o formes de transferència d'energia que hem vist en aquest tema són el treball i la calor.

A.46. Enumereu situacions en les quals es propague energia d'un lloc a un altre, que no estiguen produïdes per un desplaçament net de matèria ni per una diferència de temperatures.

Aquesta activitat permet mostrar que, a més del treball i de la calor, existeixen altres formes de transferència d'energia, com les ones. Les acústiques i les radiacions electromagnètiques tenen una rellevància especial per la seua capacitat de transmetre informació. A més, aquestes últimes constitueixen el principal mecanisme de transferència en l'Univers. Els estels, com el Sol, irradien així la seua energia. Alguns autors consideren que la radiació ja està inclosa en la calor, però aquest mecanisme de transferència d'energia és a causa de la diferència de temperatures, la qual cosa només inclouria la radiació tèrmica i exclouria altres tipus de radiació, com la dipolar, sincrotró, de frenada, etc.

5. LA DEGRADACIÓ DE L'ENERGIA

El primer principi proporciona informació sobre les propietats de transformació, conservació i transferència de l'energia (Duit 1981 i 1984). Però amb aquestes no està completa la nostra descripció de l'energia, com podem veure en l'activitat següent.

A.47. En la naturalesa un objecte que llisca sobre una superfície acaba parant-se, una pilota que cau rebota a una altura menor, etc., però no s'observa que un objecte pesant comence a moure's o que una pilota rebote cada vegada més alta. Algun d'aquests processos incompleix la llei de conservació de l'energia?

Aquests processos no incompleixen la conservació de l'energia i no obstant açò no succeeixen en la naturalesa. Açò ens diu que el primer principi és incomplet, ja que no subministra gens d'informació sobre la possibilitat que el procés tinga lloc, és a dir, sobre les causes d'evolució d'un sistema en un determinat sentit i no en un altre.

A.48. Enumereu alguns exemples senzills de processos que tinguen lloc espontàniament en un sentit, però no en uns altres, és a dir, de processos irreversibles. Tracteu d'establir les causes de la seua evolució.

Alguns als quals ja hem fet referència són la caiguda d'una pedra, un objecte que llisca sobre una superfície acaba parant-se, una pilota que cau rebota a una altura menor o a la transferència de calor dels cossos calents als freds. Altres poden ser l'expansió d'un gas quan es connecta el seu recipient amb un altre de buit, la difusió del solut o la difusió de gasos inicialment separats i gran nombre de processos químics com combustions, atacs de metalls per àcids, etc. Com es pot veure, hi ha processos irreversibles en la majoria dels dominis: mecànica, difusió, termodinàmica, química, electricitat, etc.

Així, quan un cos que es mou per una superfície acaba parant-se, observem que es transforma una energia útil, capaç de realitzar treball (la cinètica) en altra que no és utilitzable (la interna, que només es pot utilitzar mentre la seua temperatura és superior a la de l'entorn). En aquest, com en la majoria dels processos abans esmentats, s'observa que l'energia tendeix a degradar-se

(enunciat qualitatiu del 2n principi). El concepte de degradació s'uneix als de transformació, conservació i transferència per caracteritzar l'energia.

Observem una asimetria en els processos irreversibles: succeeixen de manera espontània en un sentit, però el sentit invers ha de ser provocat, exigeix una despesa d'energia.

A.49. En alguns processos irreversibles no s'aprecia clarament la degradació de l'energia, per exemple, en la difusió de gasos inicialment separats o l'expansió d'un gas en un recipient buit. Què succeeix amb l'ordre en aquests?

El que tenen en comú és que els processos naturals tendeixen a evolucionar a un estat de major desordre, cosa que constitueix un enunciat qualitatiu del 2n principi. Així, una distribució desordenada, com la barreja de diversos gasos és més probable que la constituïda pels gasos separats.

Per tant, és evident que necessitem una nova magnitud el valor de la qual indique el sentit de l'evolució d'un procés, és a dir, una magnitud que cresca (o disminuïska) en el sentit d'evolució. Opcionalment, segons l'interès dels alumnes, es pot esmentar que Clausius en 1860 va introduir una nova magnitud anomenada entropia, que va definir com a $\Delta S = Q/T$, on Q és la calor transferida en el procés reversible a temperatura T . Com que es tracta d'una funció d'estat, el que importa són les seues variacions (com en el cas de l'energia interna). Així, l'entropia en un sistema aïllat sempre augmenta, és a dir, $\Delta S \geq 0$. Aquest és un enunciat quantitatiu del 2n principi. Amb major precisió, en els processos irreversibles $\Delta S > 0$ i en les transformacions reversibles, $\Delta S = 0$.

La tendència al creixement de l'entropia sols s'aplica a l'evolució, espontània o irreversible, de tot el sistema aïllat i no a una part del sistema. Per açò, si no es tractara d'un sistema aïllat, la variació d'entropia del sistema ΔS_s pot ser negativa, però si hi sumem la variació d'entropia de l'entorn ΔS_e , la variació de l'entropia total haurà de ser major o igual que 0, és a dir, $\Delta S = \Delta S_s + \Delta S_e \geq 0$.

A.50. Els éssers vius són organismes molt ordenats. El procés d'evolució que va des dels primers éssers vius fins a l'Homo sapiens és un procés d'ordre. També ho és el desenvolupament d'un òvul fins a una persona crescuda. Violen aquests processos el 2n principi de la termodinàmica?

És cert que, en el desenvolupament d'un òvul fins a una persona crescuda o en el desenvolupament d'una empresa disminueix l'entropia, però açò es fa a costa d'augmentar en major mesura l'entropia de l'entorn o ambient. Açò va permetre a l'economista Georgescu-Roegen (1971) escriure el llibre *La llei de l'entropia i el procés econòmic*, en el qual considera que si la producció econòmica no és més que una tremenda transformació de matèria i energia, haurà d'estar sotmesa a les lleis que sobre aquestes transformacions ha establert la física, en particular el 2n principi de la termodinàmica, afirmació que ha donat origen a la moderna economia ecològica.

Clausius, considerant que l'univers és un sistema aïllat (no intercanvia ni matèria ni energia amb l'exterior), va establir les dues lleis de la termodinàmica segons s'indica: primera, l'energia de l'Univers és constant; segona, l'entropia de l'Univers augmenta. Açò va fer que, al final del segle XIX, es desenvolupara la idea de "mort tèrmica" de l'Univers, idea que exercia una gran atracció en els escriptors de divulgació popular del moment alhora que encaixava amb el pessimisme de la fi de segle. Finalment, encara que l'entropia siga considerada per alguns autors com un concepte molt abstracte, assenyalarem que ens permet mesurar quantitativament la degradació de l'energia i la pèrdua d'ordre que acompanya els processos naturals que hem esmentat anteriorment.

6. DE LES MÀQUINES MANUALS A LES MÀQUINES TÈRMiques I ELÈCTRIQUES

A.51. Enumereu diferents màquines que s'hagen utilitzat al llarg de la història i els usos que se'ls ha donat.

És molt possible que, en parlar de màquines, l'alumnat se centre únicament en les actuals màquines elèctriques, sense tenir en compte les que, al llarg de la història, ha desenvolupat l'home i que tenien la força humana i d'animals com a font d'energia. Entre aquestes màquines hem de parlar de les palanques, politges, polispasts, plans inclinats o el caragol d'Arquimedes, per exemple, no sols utilitzats des de l'antiguitat sinó que continuen essent plenament vigents.

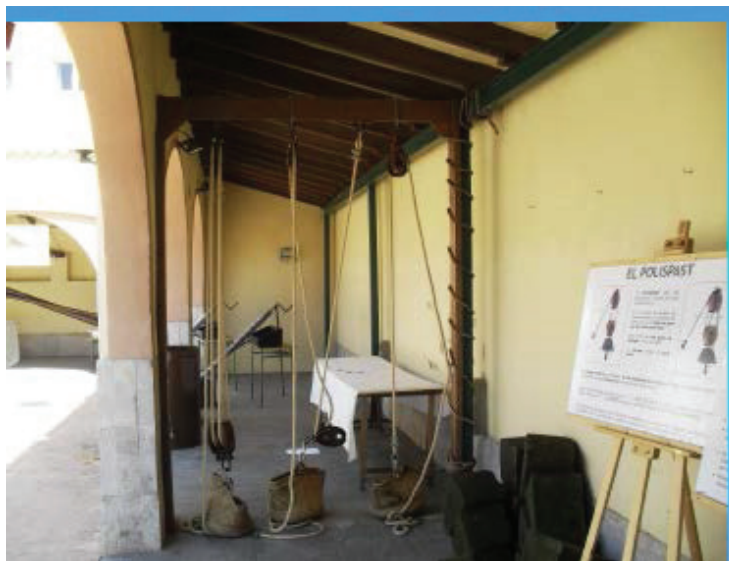
A més, podem complementar l'activitat amb la visita al taller de la ciència clàssica "Logos et Physis", integrat en els Ludi Saguntini (Domínguez i Guisasola, 2010), tallers que mostren en viu la cultura clàssica, des de la vestimenta o la cuina, als jocs o la construcció, passant, no cal dir-ho, per la ciència. Es tracta doncs, d'una activitat CTSA que mostra la importància d'unificar els coneixements i fer-los vius per a l'alumnat, alhora que ofereix un exemple de treball interdisciplinari i en equip per part de professorat de diferents departaments i centres.

El taller ofereix exemples de palanques, en què es pot apreciar com varia la força que cal realitzar en variar la longitud del braç de la palanca.



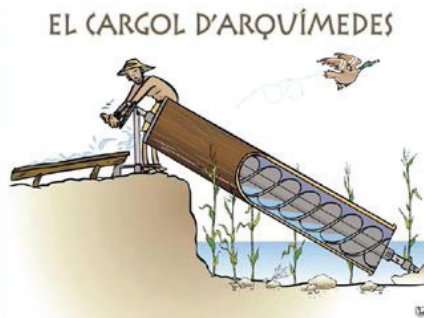


També ofereix una activitat amb polispasts, que permet experimentar la diferent força necessària per a alçar el mateix pes segons que s'utilitze una o més politges.





Al taller també es presenten uns caragols d'Arquimedes, màquina desenvolupada pel savi grec que, ajudada per un caragol sense fi, en girar, agafa l'aigua d'un nivell inferior i la puja a un nivell superior, i permet així elevar aigua de llocs difícils d'abastar, per regar els camps o omplir dipòsits.



Totes aquestes activitats ofereixen la possibilitat que l'alumnat veja que la ciència és una activitat en constant moviment i que el coneixement es va construint de forma contínua, desenvolupant uns conceptes a partir d'uns altres. Mentre hi hagué esclaus que pogueren moure les màquines, no calia investigar més, però en avançar el món i eliminat el llast de l'esclavitud, calia buscar noves fonts d'energia.

A.52. Quina importància té per a la nostra societat la producció de treball a partir de la calor?

És la base del funcionament de les màquines tèrmiques: inicialment les de vapor, després els motors de combustió interna (d'explosió o dièsel) i les centrals elèctriques tèrmiques (de carbó, fuel o gas).

La primera màquina de vapor que va funcionar amb èxit a partir de 1712 va ser la de Newcomen (1664-1729). La tornada del pistó era a causa de la pressió atmosfèrica. S'utilitzava per a extraure aigua de les mines.

La realització d'una màquina eficaç, accionada completament per vapor, va ser obra de James Watt (1736-1819), que, en reparar una màquina de Newcomen, va tenir en 1765 la idea d'introduir separat el condensador que romaní fred. Bàsicament, la màquina constava d'una caldera, el vapor de la qual entra en un cilindre metàl·lic i empenya el pistó cap a fora. El pistó es connecta a una roda per una biela que transforma el moviment alternatiu del pistó en moviment circular. Quan el pistó arriba a la posició més allunyada, es tanca la vàlvula d'entrada, obrint-se la d'eixida. La inèrcia de la roda fa que el pistó es moga i que el vapor isca per l'altra vàlvula cap al condensador i la caldera.

Les màquines de vapor s'utilitzaren en trens i vaixells, en la maquinària tèxtil, la metal·lúrgia, etc. Aquestes innovacions tècniques van possibilitar la Primera Revolució Industrial (1760-1870). Ara bé, els desenvolupaments tècnics són una de les causes de la Revolució Industrial, però en no són l'única o la determinant. Pensar el contrari, seria incórrer en determinisme tecnològic. Els autors, començant per Marx en la seua obra *El capital*, que han estudiat els orígens de la Revolució Industrial a la Gran Bretanya, esmenten múltiples canvis que la van afavorir. En primer lloc, les innovacions agrícoles del final del XVIII: la substitució del sistema de rotació triennal (blat, ordi o civada i guaret) pel quadriennal (blat, ordi o civada, naps i trèvol, que, en fixar el nitrogen, augmenta la productivitat de la terra), la introducció de noves arades i trilladores, l'ampliació de regadius, la generalització de l'ús d'adobs, l'encerclament i la concentració parcel·lària, etc. Es transforma així l'agricultura tradicional en agricultura de mercat i es produeix un augment de població i una disminució dels treballadors agrícoles, base de la mà d'obra industrial. Altres canvis són la millora en el transport (especialment el fluvial) i l'ampliació del comerç exterior i, en particular, la inversió del capital acumulat en la indústria, de manera que l'empresari passa a ser el propietari dels mitjans de producció i els organitza per obtenir el màxim benefici. Per açò, l'aparició del sistema fabril no és una revolució tecnològica sinó un canvi en el control social de la

producció; se substitueix el control de l'obrer en el treball a domicili pel control del capitalista a la fàbrica, on la disciplina i la supervisió aconseguen la reducció de costos (Solbes, 2002).

A.53. Fins a quin punt ha influït la ciència en aquests desenvolupaments? O, en altres paraules, quins desenvolupaments es produeixen en primer lloc; els científics o els tecnològics? Ha canviat aquesta situació en l'actualitat?

Els invents tècnics no van ser obra de científics sinó d'artesans que estaven al corrent dels procediments tècnics en ús i que coneixien per la pràctica el problema que havia de resoldre's. Així, Newcomen era ferrer i James Watt era constructor d'instruments de precisió. En resum, la construcció i la utilització de màquines tèrmiques és prèvia al desenvolupament de la termodinàmica. De la mateixa forma, les tècniques siderúrgiques, de blanqueig i tint de teixits, etc., són anteriors a la química. Però, al seu torn, plantegen problemes la solució dels quals va contribuir al desenvolupament d'aqueixes ciències. Fins a mitjan segle XIX, en ple desenvolupament de la Primera Revolució Industrial, els desenvolupaments tècnics segueixen precedint els científics.

Una bona prova de les escasses relacions entre ciència i tècnica durant aquest període és el fet que no existisca una correspondència estreta entre lideratge científic i industrial. La ciència anglesa va arribar a un estat de declivi en el segle XVIII postnewtonià, quan començava el seu decisiu lideratge en l'energia de vapor i en la indústria tèxtil, metal·lúrgica i minera. L'apogeu de la ciència francesa en el segle XVIII i principi del XIX, quan París era el centre científic del món, no va estar acompanyat d'un desenvolupament comparable a l'avanç industrial. Rússia va produir nombrosos científics i inventors durant el segle XIX, que exerciren un impacte insignificant en el desenvolupament econòmic del país. L'ascens dels Estats Units a una posició d'apogeu de creixement econòmic i lideratge tecnològic va ocórrer durant el segle XIX, període en el qual els assoliments nord-americans en la ciència bàsica van ser mínims.

En l'actualitat, açò no és així, i és produeix una relació més dialèctica entre ciència i tecnologia. Hi ha avanços científics que originen noves tecnologies i desenvolupaments tecnològics que plantegen nous problemes a la ciència o permeten construir nous instruments d'observació i experimentació que promouen nous avanços científics.

La mateixa asimetria detectada en l'estudi dels processos irreversibles fou trobada per W. Thomson (Lord Kelvin) i R. Clausius en el seu estudi sobre les màquines tèrmiques. Encara que s'observa que la conversió de treball (W) en calor (Q) és total, Kelvin enuncia en 1849 que no és possible que existisca una màquina tèrmica que transforme íntegrament en treball una quantitat de calor donada, denominada mòbil de 2a espècie, afirmació que constitueix una altra forma d'expressar el 2n principi de la termodinàmica.

En 1850, en l'article "Sobre la força motriu de la calor", Clausius enunciat els dos principis fonamentals de la termodinàmica. Respecte al segon va escriure: "és prou possible que en la producció de W es pugui consumir una certa part de Q , i que una part addicional siga transmesa d'un cos calent a un de fred: i ambdues parts poden guardar una certa relació definida per la quantitat de W produïda". És a dir, que una màquina tèrmica extrau calor Q_1 d'un focus calent (o caldera), produeix un W i cedeix calor Q_2 al focus fred, de manera que es compleix $Q_1 = W + Q_2$.

A.54. Determineu el rendiment d'una màquina tèrmica.

Es tracta del quocient entre el treball produït i la calor subministrada. És a dir, $W/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1$. Per açò, totes les màquines i motors tenen rendiments inferiors al 100%. Així, el rendiment d'un tren a vapor és del 10%; el d'un motor de gasolina, del 25% (com el del cos humà); el d'un motor dièsel, del 30%; el d'una turbina d'aigua d'una central hidroelèctrica, de 85% i el d'una bicicleta, del 95%. Açò ens ofereix una nova bona ocasió per a reflexionar sobre l'estalvi energètic i, per tant, sobre la disminució de gasos d'efecte hivernacle, que comporta l'ús de la bicicleta o del transport públic i del que es podria aconseguir si els estats donaren un suport decidit (via reducció d'impostos) a l'ús de cotxes híbrids (amb motors tèrmics i elèctrics) (Ballesteros, 2006; Deutch i Moniz, 2006; Gibbs, 2006; Hawkins et al., 2006; Heywood, 2006; Jochem, 2006; Kammen, 2006; Odgen, 2006; Socolow i Pacala, 2006; Stix, 2006).

Més importància ha tingut i té l'electricitat.

A.55. Què passa quan una ciutat es queda sense corrent elèctric?

Atès el paper tan gran que té la electricitat en les nostres vides (comunicacions, motors, il·luminació, dispositius informàtics, electrodomèstics, internet, etc.), podem garantir una situació de caos.

A.56. Què és un electroimant? Quins avantatges té sobre un imant natural? Suggestiu-ne aplicacions.

En aquesta i en les següents activitats és convenient que l'alumnat manipule electroimants, motors i generadors. Si no n'hi ha suficients a la facultat, que el professor o un grup d'alumnes realitze les experiències davant de la classe.

Ampère (1775-1836) va establir que tota càrrega mòbil (ja siguin càrregues lliures, imants o corrents naturals) crea al seu voltant un camp magnètic, va inventar el solenoide (filferro enrotllat al voltant d'un cilindre) i va comprovar que es comporta com un imant. Aquests estudis estan lligats al problema de l'obtenció de camps magnètics d'intensitat controlable que substituïsquen els imants. Això ho va aconseguir en 1820 Arago (1786-1853), que va comprovar que si es col·loca dintre d'una bobina un tros de ferro dolç, es converteix en un imant, però l'efecte només dura mentre circula el corrent. Inventava així l'electroimant. Si es col·loca una peça d'acer, queda imantada permanentment, i, d'aquesta manera es produeixen els primers imants artificials sense necessitat de fregar-los amb magnetita. El camp magnètic es mesura en Tesles (T) i els seus valors difereixen en molts ordres de magnitud. Així, en una sala blindada magnèticament, 10^{-14} T (és a dir, no es pot anul·lar completament el camp magnètic); en l'espai interestel·lar, 10^{-10} T; el camp magnètic terrestre, 10^{-4} T; imants potents, 0,1-0,2 T; grans electroimants industrials, 1-2 T; imants superconductors, 5 T; i en la superfície d'una estrella de neutrons, 10^8 T. A més dels electroimants, un altre dispositiu el funcionament del qual es pot explicar és l'altaveu. La sortida elèctrica d'una ràdio o d'un televisor està connectada interiorment a una bobina de fil unida al con de l'altaveu, el moviment del qual origina compressions i enrariments alterns de l'aire adjacent i es produeixen ones sonores.

A.57. Com funciona un motor elèctric?

Ampère va comprovar que els camps magnètics creats pels imants i corrents exerceixen la seua acció sobre altres càrregues en moviment, és a dir,

exerceixen forces magnètiques. Així, dos fils rectes recorreguts per corrents que circulen en el mateix sentit s'atrauen i si els corrents van en sentit contrari, es repel·leixen. Per això, dos anells paral·lels s'atrauen si circulen per aquells corrents en el mateix sentit i es repel·leixen en cas contrari. L'estudi de l'acció d'un camp magnètic sobre una espira és un dels casos d'interacció entre imants i corrents de major interès, ja que hi estan basats els instruments de mesura (galvanòmetres, amperímetres, voltímetres). Així, el funcionament d'un galvanòmetre es pot explicar tenint en compte que sobre el quadre d'espires situat a l'entreferro d'un imant actua un parell de forces quan passa un corrent per les espiras, que les fa girar fins a un angle. Perquè no continue girant aquest parell, es compensa amb el parell recuperador d'uns molls. L'angle girat és proporcional a la intensitat I . El motor funciona basant-se en el mateix principi que el galvanòmetre, amb la diferència que la bobina és major i està muntada sobre un cilindre anomenat rotor o induït i no existeixen molls que impedeixin la rotació

A.58. Com es pot produir corrent elèctric sense piles?

El 1831, Faraday i Henry, treballant independentment, van establir les lleis qualitatives i quantitatives per les quals es crea corrent elèctric a partir d'un camp magnètic. Van observar que, en aproximar i allunyar l'inductor (imant o electroimant) a l'induït (bobina) en repòs, o en moure l'induït deixant l'inductor en repòs, es genera un corrent a la bobina. També si es deixen en repòs tant la bobina com l'electroimant, modificant el camp magnètic B mitjançant la variació de la intensitat que recorre l'electroimant. Segons aquestes experiències, Faraday i Henry van concloure que els corrents induïts són produïts a la bobina per la variació del flux magnètic que la travessa. Aquesta llei presenta un gran interès des del punt de vista pràctic, ja que permet la producció de corrent elèctric per mètodes diferents de les piles, és a dir, mitjançant generadors de corrent. El generador, igual que un motor, consta d'una bobina, enrotllada sobre un nucli de ferro que pot girar en un camp magnètic. Segons vam veure, un motor gira sobre el seu eix quan rep un corrent elèctric. En un generador es fa girar l'eix per mitjans mecànics i s'indueix un corrent en la bobina giratòria. Aquest corrent varia sinusoidalment amb el temps, és a dir, partint de zero, arriba a un valor màxim, disminueix fins a 0 i continua fent-ho fins a un valor mínim (igual i de signe oposat al màxim) a partir del qual augmenta fins a 0 i es repeteix el cicle. Per això el corrent generat es denomina altern.

El mitjà mecànic utilitzat per a fer girar les bobines serveix per a denominar les centrals elèctriques existents, tant les més usuals (tèrmica, hidroelèctrica, nuclear) com les alternatives (mareomotrius, geotèrmiques, eòliques, solars). En les tèrmiques es crema un combustible (ja sigui aquest carbó, petroli o gas natural), per fer bullir aigua i produir vapor a gran pressió que fa girar una turbina, connectada a un generador que transforma l'energia mecànica de rotació en energia elèctrica. Encara que es tracta de centrals conegudes, perquè ja estan més d'un segle entre nosaltres i han estat millorades, es basen en el consum dels denominats combustibles fòssils. Aquests són recursos no renovables, s'esgoten (ja hem passat el pic del petroli) i, a més, la seua combustió produeix diòxid de carboni, que incrementa l'efecte hivernacle. Com que es tracta de màquines tèrmiques, el seu rendiment està limitat entorn del 30% i cal construir-les al costat de rius, mars o amb torres de refrigeració, per refredar el vapor, cosa que produeix contaminació tèrmica en l'entorn. En darrer lloc, la combustió del carbó i petroli, especialment en els de baixa qualitat, produeix òxids de sofre i nitrogen, que, en combinar-se amb el vapor d'aigua de l'atmosfera, provoquen pluja àcida i boirum (*smog*). La nuclear, com les tèrmiques, també es basa en l'escalfament d'un líquid per reactors nuclears. També comporta problemes per la producció de residus radioactius de gran durada i, en conseqüència, de difícil emmagatzematge i la possibilitat d'accidents nuclears de gran magnitud. La hidroelèctrica utilitza l'energia potencial dels salts d'aigua per fer girar les turbines. És una energia renovable i neta, però com que també té un segle d'existència, als països desenvolupats queden ja molt pocs llocs on construir noves preses i, majoritàriament, es tracta d'espais protegits pel seu elevat valor ecològic. La geotèrmica fa girar les turbines mitjançant el vapor procedent de la Terra, especialment de zones volcàniques, per la qual cosa té molt ús en països com Islàndia. A Espanya només sembla factible a les illes Canàries, on se n'estan realitzant investigacions. L'eòlica utilitza l'energia cinètica del vent que, mitjançant molins, fa girar les bobines dels generadors. Inicialment només s'utilitzava per subministrar electricitat directament a granges o llogarets retirats i en l'actualitat, com que se n'ha augmentat la potència, hi ha parcs eòlics que subministren energia a la xarxa elèctrica. Finalment, les centrals termosolars concentren els rajos solars amb miralls per produir elevades temperatures en grans forns solars, que escalfen un fluid que acciona turbines i generadors.

7. PROBLEMES ASSOCIATS A L'ÚS DE L'ENERGIA I POSSIBLES SOLUCIONS

Una vegada estudiat el tema de l'energia podem abordar els principals problemes lligats al creixement del seu consum, que han donat lloc a l'anomenada crisi energètica.

A.59. Expliqueu quins són els principals problemes associats a l'obtenció i consum d'energia.

Aquesta activitat permet reflexionar sobre el fet que en el món desenvolupat es malbarata energia d'una forma difícilment tolerable i les seues principals conseqüències: l'impacte ambiental, l'esgotament de combustibles (i, en general, de recursos, perquè la utilització de la fusta està produint desforestació en molts països) i el manteniment de la desigualtat (ja que el consum d'energia és diferent als diferents països, com hem vist en l'apartat 1) (Solbes, 2002; Vilches i Gil, 2003).

Quant a l'impacte ambiental, podem esmentar (Furió i Solbes, 2008): les mareas negres; l'efecte hivernacle, generat pel CO₂ i altres substàncies produïdes majoritàriament en la combustió de combustibles fòssils, que contribueixen a l'augment global de la temperatura del planeta i al canvi climàtic; la pluja àcida, deguda als òxids de sofre i nitrogen, que es produeixen en la combustió i que poden desplaçar-se grans distàncies abans de combinar-se amb l'aigua i precipitar-se en forma d'àcids (sulfúric, nítric, etc.), que fan que el problema creat a les zones industrials d'uns països (per exemple, a la conca alemanya del Ruhr) siga patit als països veïns (a Suècia, Noruega, etc), on s'acidifiquen llacs i rius, es destrueixen boscos o es deterioren monuments famosos. Per exemple, la Unió Europea emet a l'atmosfera 2,8.10⁹ tones de CO₂, el 13% de la producció mundial, un 80% de les quals prové de la producció, la transformació i el consum d'energia, que són al seu torn responsables de 67% de les emissions de SO₂ i del 27% de NO_x.

A continuació passarem a aprofundir breument en aquests problemes.

A.60. S'estima que el consum anual de petroli és $2,9 \cdot 10^9$ TEP, el de carbó $2,4 \cdot 10^9$ TEP i el de gas natural $1,6 \cdot 10^9$ TEP i que les reserves de petroli són de $122 \cdot 10^9$ TEP, les de carbó de $535 \cdot 10^9$ TEP i les de gas, $97 \cdot 10^9$ TEP. Calculeu en quants anys es produirà l'esgotament dels combustibles fòssils suposant que el consum es mantinga constant. Quina validesa penseu que tindrà aquesta suposició?

L'activitat mostra que les reserves de petroli poden durar uns 40 anys; les de gas, 60 i les de carbó, uns 140 anys. Hi ha previsions que allarguen el termini del petroli uns 10 o 20 anys més, perquè consideren que n' existeixen més reserves. Ara bé, aquestes previsions suposen que el consum d'energia es mantindrà constant, cosa poc probable si es té en compte el major desenvolupament de països com la Xina, l'Índia o alguns de Llatinoamèrica. Però el problema no són les reserves, sinó el pic petroler (*peak oil*), el moment en què s'aconsegueix el màxim de producció, a partir del qual la demanda excedisca l'oferta, fet que alguns observadors assenyalen que es pot produir en aquesta dècada (Rogers, 2004).

A.61 Quines són les possibles solucions als problemes vists en les activitats anteriors produïts per l'obtenció i consum mundial d'energia?

En vista d'aquests problemes, qualsevol mesura que tinga com a objectiu disminuir l'excés hauria de ser benvinguda. Però també és cert que, fins i tot si el consum d'energia es reduïra considerablement als països rics, el problema principal de la majoria de la població sobre el planeta és la manca i no l'excés d'energia, crucial per a la satisfacció de necessitats vitals. S'entén, en aquest context, la preocupació per la superpoblació que afligeix principalment els països més pobres. L'excés de població es converteix en una pressió permanent sobre els recursos naturals, que contribueix a esgotar-los, al mateix temps que afavoreix la misèria i l'escassetat.

Així, resulta difícilment concebible una disminució en el consum global d'energia, tot i que siga imperiós un canvi en la seua distribució. La qual cosa implica que cal considerar les diferents fonts d'energia disponibles avui i en el futur, les seues possibilitats i l'impacte ecològic que generen, per tal d'aconseguir un equilibri entre el benestar material dels pobles i el dany mediambiental que la manipulació energètica comporta necessàriament.

No és raonable confiar en miracles o en solucions simplistes (les fonts d'energia meravelloses, com la fusió freda) i encara menys la il·limitada confiança en els mecanismes del mercat, normalment insensibles als problemes del deteriorament mediambiental a llarg termini o de falta d'equitat en el gaudi dels recursos naturals.

Resulta urgent avançar més en el coneixement científic del problema energètic, fomentant la investigació en totes les disciplines que s'hi relacionen. Només una combinació de mesures polítiques i socials (tendents a evitar els excessos i a posar fi a les desigualtats) i de mesures científiques i tecnològiques (tendents a posar a punt noves fonts d'energia més netes i segures i tecnologies amb major rendiment energètic) servirà per a progressar vàlidament.

Entre aquestes mesures cal insistir en la reducció de la contaminació quan s'usa energia (mitjançant l'eliminació d'impureses en el carbó utilitzat en les centrals tèrmiques, l'ús de catalitzadors en els cotxes, ecopetrolers de doble buc, etc.), en la utilització d'energies renovables i no contaminants (solar, eòlica, geotèrmica, etc.). Però en el fons, la millor energia és la que no es consumeix i, per tant, cal insistir en l'augment d'eficiència en l'ús de l'energia. En el llibre *Factor 4* (Von Weizsacker *et al.*, 1997), publicat com a informe en el Club de Roma, podem trobar fins a 30 exemples d'eficiència energètica i en transport. Entre els més coneguts per als estudiants es poden esmentar les bombetes de baix consum, transport públic, bicicletes en lloc de cotxes, etc. Cal insistir en la importància de les "petites" accions individuals (a casa, a l'institut) que responen al plantejament de pensar globalment i actuar en un nivell local. Referent a açò és molt instructiu el llibre *50 coses senzilles que tu pots fer per salvar la Terra* (original anglès: The Earth Works Group, 1992; publicat per l'editorial Blume el 2006).

A.62. Enumereu les fonts renovables d'energia que conegueu i assenyeleu quins avantatges i inconvenients presenten enfront de les no renovables.

Són energies que no esgoten recursos i que tenen un baix impacte ambiental. Les més utilitzades en l'actualitat són la biomassa i la hidroelèctrica. La hidroelèctrica utilitza l'energia potencial dels salts d'aigua i mitjançant turbines i generadors la transforma en energia elèctrica. La biomassa és la matèria orgànica que directament o sotmesa a un procés de transformació pot ser utilitzada com a font d'energia. Molts autors inclouen en aquest concepte la llenya utilitzada com a combustible. Però cal no oblidar que els arbres tenen un

cicle de renovació llarg i que algunes tècniques d'exploració forestal (com les talses o tallades arreu, que consisteixen a talar tots els arbres comercials d'una zona determinada en la qual no queda una coberta arbòria significativa) impedeixen aquesta renovació. D'altres inclouen només la biomassa destinada directament a aplicacions energètiques (plantacions de canya de sucre, sorgo, etc.) i la biomassa residual, que inclou residus forestals i agrícoles, ramaders (fem), residus sòlids urbans orgànics, aigües residuals, etc. S'utilitzen directament com a combustible i adob. Per fermentació anaeròbica es pot se'n obtenir biogàs (60% de metà i 40% de diòxid de carboni) o bioalcohol, a partir de la canya de sucre. El Brasil ha desenvolupat un pla de bioalcohol com a combustible substitutiu de la gasolina. La Xina i l'Índia són els majors productors de biogàs.

Menys utilitzades són l'energia geotèrmica, eòlica o solar. La geotèrmica es basa en la calor procedent de la Terra, especialment de zones volcàniques. Se n'estan realitzant investigacions a les illes canàries. L'eòlica utilitza l'energia cinètica del vent que, mitjançant molins, turbines i generadors, es transforma en energia elèctrica. S'utilitzen per a subministrar electricitat directament a granges o llocs retirats i, quan la potència augmenta, per a abocar energia a la xarxa elèctrica. Espanya és un dels grans productors mundials d'aquesta energia, després d'Alemanya i Dinamarca, amb parcs eòlics a La Muela (Saragossa), Manzanares, As Pontes (Galícia), etc. Fins i tot hi ha comunitats autònomes com Navarra que estan a punt d'aconseguir que tota la seua energia elèctrica siga d'origen eòlic.

El concepte d'energia solar és confús perquè inclou gran quantitat de dispositius que només tenen en comú la utilització directa de la llum del Sol. Podem esmentar els panells solars (que subministren aigua calenta per a ús domèstic); l'arquitectura solar (que permet reduir sensiblement el consum d'energia en calefacció, refrigeració i il·luminació de les cases simplement mitjançant el disseny i la construcció adequada d'aquestes); els forns solars (que concentren els rajos solars amb espills per produir elevades temperatures); les centrals electrosolars (grans forns solars, que calfen un fluid que acciona turbines i generadors); les cèl·lules solars fotovoltaïques, construïdes a partir de semiconductors, com el silici, que permet transformar directament la llum del Sol en electricitat. S'utilitza en satèl·lits espacials, habitatges, fars, antenes i altres dispositius distants de la xarxa elèctrica. Però les cèl·lules fotovoltaïques tenen un gran futur situades a les teulades infrautilitzades de cases i edificis (millor per als propis constructors, la qual cosa abaratiria costos) i connectades a la xarxa elèctrica, cosa a què s'han oposat les

empreses elèctriques espanyoles fins que recentment una llei de la UE ha obligat a col·locar-les. Malgrat açò, encara plantegen dificultats.

A.63. Els partidaris de les energies convencionals sostenen que les alternatives són incapaces de solucionar les nostres necessitats i que el seu rendiment és molt baix. Valora críticament aquesta afirmació.

Aquestes afirmacions respecte al fet que són incapaçes de solucionar les nostres necessitats, que el seu rendiment és molt baix o que són més cares poden respondre a interessos particulars, que no tenen en compte els costos derivats de l'emmagatzemament dels seus residus o del tractament dels problemes ambientals que provoquen, és a dir, oculten o "externalitzen" costos que paga l'Estat i, si no hi ha altre remei, tots els contribuents. Si aquests costos s'inclogueren, s'equipararien i fins i tot algunes energies convencionals podrien resultar més cares. La veritat és que les energies renovables (eòlica, solar, etc.) no podrien respondre als pics de demanda, pel seu caràcter variable, però evidentment no és aquest el problema, ja que no es tracta de produir tota l'energia elèctrica amb cèl·lules solars, molins, etc. sinó de diversificar una oferta molt concentrada en el petroli, que s'esgota i incrementa l'efecte hivernacle, com hem dit anteriorment. D'altra banda, alguns autors sostenen que l'electricitat així obtinguda hauria d'incrementar-se per produir hidrogen, que podria utilitzar-se com a combustible de les piles d'hidrogen de vehicles molt diversos (Sapiña, 2004; Ballesteros, 2006; Deutch i Moniz, 2006; Gibbs, 2006; Hawkins et al., 2006; Heywood, 2006; Jochem, 2006; Kammen, 2006; Odgen, 2006; Socolow i Pacala, 2006; Stix, 2006).

Les empreses elèctriques s'han inclinat per l'energia eòlica molt recentment i no es mostren molt partidàries de la fotovoltaica, contra la qual utilitzen les alegacions anteriors, afegint-hi que els acumuladors són contaminants. Però la veritat és que s'aconsegueixen rendiments superiors al 15% (les centrals tèrmiques estan entorn del 30%), que els costos s'abarateixen si augmenta la producció i que les cèl·lules es poden connectar a la xarxa elèctrica, connexió a la qual, com hem dit, s'han oposat les companyies elèctriques i que ara està permesa per la legislació europea. I aquest és el problema real, les empreses prefereixen les grans unitats centralitzades i consumidors passius, a petites unitats descentralitzades amb usuaris que produeixen i consumeixen alhora. Aquest rebuig de l'energia solar és molt preocupant i més en països com el nostre, amb gran insolació, de la qual patim els efectes (elevades temperatures, sequera), sense gaudir-ne dels avantatges energètics.

A.64. Quina importància té l'energia que ens arriba del Sol?

La quasi totalitat de l'energia del nostre planeta procedeix del Sol. Aquesta energia es determina a partir de la constant solar, definida com la potència per unitat de superfície de la llum del Sol que arriba a l'atmosfera terrestre. El seu valor és d'uns $1,395 \text{ kw/m}^2$. Per tant, el valor de l'energia solar interceptada per la superfície il·luminada de la Terra durant un segon és de $173 \cdot 10^{12} \text{ kw}$. Representa el 99,9% de l'energia en la superfície terrestre. Hi ha una mínima part del total que no és d'origen solar i procedeix de l'energia de la calor interna de la Terra (volcans, fonts calentes, etc.), de l'energia de les mareas (deguda a la interacció gravitatòria de la Lluna, la Terra i el Sol) i de l'energia nuclear (causada per la desintegració de substàncies radioactives).

Si la Terra només absorbira la radiació solar, la seua temperatura estaria augmentant contínuament, però açò no succeeix així perquè la Terra també irradia energia a l'espai. En efecte, aproximadament un 30% de la potència solar incident és reflectida directament a l'espai, mentre que el 2% és absorbit en la capa d'ozó. Un 45% és absorbit per l'atmosfera, la superfície terrestre i els oceans i convertit en calor, que és radiada de nou (especialment, durant la nit) com a infraroig. El 23% és consumit en el cicle hidrològic (evaporació, precipitació i circulació superficial de l'aigua). Un 0,2% produeix vents, ones i corrents oceànics. Finalment, el 0,02% és utilitzat en la fotosíntesi. Per fer-nos una idea del que açò suposa, assenyalem que l'energia elèctrica consumida a Espanya en 1994 va ser 12.490 kTEP.

A.65. Tenint en compte les hores d'insolació, la nuvolositat, etc., podem considerar una potència per unitat de superfície de 220 w/m^2 (al nivell del mar). Si aquesta s'arreplega en unes cèl·lules fotovoltaïques amb un 10% de rendiment, quina superfície seria necessària per a produir l'energia elèctrica consumida al nostre país? Quin tant per cent de la superfície espanyola representa? (Superfície d'Espanya = 504.750 km^2)

Unes estimacions realitzades en 1995 indicaven que es podria produir tota l'energia elèctrica consumida a l'Estat espanyol amb 750 km^2 de cèl·lules fotovoltaïques amb un rendiment del 10%, quan la superfície espanyola és de 504.750 km^2 , és a dir, les superfícies no són tan grans i hi ha molts km^2 de teulades en aquest país. Per açò resulta paradoxal que es proposen complexes

centrals fotovoltaïques a gran escala basades en grans satèl·lits de cèl·lules solars en òrbita, que transmetrien l'energia elèctrica produïda mitjançant microones arreplegades per antenes terrestres. Resulta més pràctic situar-les a la Terra, però es diu que són necessàries grans extensions de terreny, la qual cosa, com hem vist, no és cert.

A.66. Feu propostes per resoldre les necessitats humanes que permeten un desenvolupament sostenible.

El concepte de desenvolupament sostenible, que s'aborda en aquesta activitat, va ser introduït en l'informe Brundtland *El nostre futur comú* (1987), que intenta fer compatibles desenvolupament i ecologia. Aquest informe es basa especialment en una ecologia de la pobresa, és a dir, en una sèrie de mesures internacionals per a afavorir el desenvolupament sostenible del Tercer Món. Entre aquestes mesures es poden indicar l'augment de l'ajuda econòmica dels països avançats (el 0,7% del seu PIB), la transferència de tecnologies modernes i eficients energèticament (en lloc de les tecnologies contaminants i obsoletes que es transfereixen en l'actualitat), canviar el deute exterior del Tercer Món (que absorbeix bona part dels seus recursos) per mesures ecològiques; substitució dels monocultius, controlats per les multinacionals, per cultius propis, etc. Aquestes mesures s'han de complementar amb altres per als països avançats: reforma dels sistemes de comptabilitat perquè incloguen el minvament de capital natural, fer pagar a les empreses el cost de restauració de l'aire, aigua, sòl, etc. que deteriorenen, és a dir, internalitzar les externalitats mitjançant un impost o taxa ecològica; elaboració de lleis que incentiven les empreses i els ciutadans a fer ús d'energies renovables, a utilitzar més eficientment l'energia i els recursos propis, a limitar la contaminació, a reciclar els residus, a protegir els espais naturals i a recuperar els degradats, etc. No n'hi ha prou amb mesures proteccionistes o conservacionistes. Es necessiten també canvis en el model econòmic del Primer Món. Cal reduir la producció i el transport (reduir, reciclar, reutilitzar), consumir menys, etc. També és necessari que tot açò no es faci a costa dels més febles (per exemple, incrementant l'atur) sinó distribuint més equitativament el treball i els beneficis.

Capítol 3.

LA TEORIA ATOMICOMOLECULAR DE LA MATÈRIA

La capacitat per a utilitzar la gran diversitat de materials del món que ens envolta ha tingut un paper molt important en el desenvolupament de la humanitat. Així, els metalls i els aliatges han configurat el curs de les civilitzacions, com s'aprecia en la denominació dels primers períodes de la història: edats del coure, del bronze i del ferro. La simetria i la bellesa dels grans cristalls que es presenten de forma natural han captivat la imaginació de l'ésser humà.

A.1. És possible idear una estructura unitària per a tots els materials que pugui explicar el seu comportament dispar?

Aquesta és la pregunta que orientarà tot el tema. Actualment tothom accepta que la matèria no és contínua, sinó que està formada per partícules. Però és una acceptació acrítica, basada en l'autoritat del professorat i dels mitjans de comunicació, que l'alumnat és incapaç de justificar. I açò no hauria de ser així, perquè l'atomisme és, segons Feynman (1971), una de les idees més importants de la ciència. Per açò sosté que "si en algun cataclisme fóra destruït tot el coneixement científic i solament passara una frase a la generació següent de criatures", la que "contindria el màxim d'informació en el mínim de paraules" seria "totes les coses estan formades per àtoms, petites partícules que es mouen amb moviment perpetu".

Una de les primeres especulacions filosòfiques de la història fa referència a la constitució de la matèria. Durant molts segles es considerà que la matèria era contínua, ja que l'experiència ens indica que podem tallar, per exemple, una tela o un full de paper amb les mans o unes tisores tantes vegades com ens permetia l'instrument. Però aquests instruments són insuficients, i arriba un punt en què ja no podem seguir subdividint els trossos de tela o el paper. Aquesta experiència simple ens fa pensar que la matèria és contínua i que per molt que es dividisca, aquesta seguiria sent la mateixa matèria.

No obstant açò, la imaginació ens permet suposar l'existència d'una partícula tan ínfima que, a partir d'aquesta, siga impossible dividir més. Efectivament, la hipòtesi que la matèria ordinària està constituïda per àtoms i buit va ser

formulada en l'antiguitat pels grecs Leucip, Demòcrit i Epicur i la seua escola. Utilitzaren la denominació *àtom* (de la paraula grega *àtomos*, que significa 'indivisible') per anomenar les partícules més petites i indivisibles. "Les úniques coses que existeixen són els àtoms i l'espai buit; tota la resta és simple opinió", deia Demòcrit. Aquestes idees van ser arrellegades posteriorment pel romà Lucreci en el seu poema *De rerum natura*.

Plató, Aristòtil i la majoria dels pensadors de l'època rebutjaren l'atomisme per diverses raons. La principal per a no admetre l'existència de partícules era que comportaven la idea del buit. No es concebia que entre partícula i partícula no hi haguera res, ja que les observacions usals no permetien endevinar espais buits en els materials. Aristòtil deia que la naturalesa avorreix el buit (ja que el buit és el no-res i el no-res no pot existir) i les seues idees van prevaldre durant l'edat mitjana. A més, es considerava que l'atomisme afavoria l'ateisme, ja que el comportament de la matèria i els fenòmens s'explicaven pel comportament dels àtoms i no pels designis d'un Creador omnipresent.

A.2. Escriviu arguments a favor de la hipòtesi de l'existència de matèria formada per partícules.

La idea d'una matèria discontinua, formada per corpuscles, ve fonamentada pels canvis que s'observen en les substàncies i que troben una explicació en les reordenacions d'aquests corpuscles. També en el comportament dels gasos. Podem començar utilitzant l'estat gasós per a elaborar un model de matèria perquè té un comportament físic més simple, menys diversificat que el dels sòlids o els líquids, fins al punt que resulta difícil reconèixer diferències entre dos gasos diferents. Posteriorment, es pot generalitzar aquest model als altres estats de la matèria.

Van haver de passar segles perquè alguns científics, com Galileu, Gassendi o Newton, ja en el segle XVII, parlaren en els seus escrits d'una matèria formada per partícules. Però açò eren meres hipòtesis sense cap predicció contrastable.

En aquest capítol revisarem les bases físiques i químiques en què es fonamentà Dalton per enunciar la seua hipòtesi atòmica. Aquestes bases corresponen als dos grans apartats del tema. En primer lloc, veurem els estudis sobre el comportament dels gasos, iniciats per Boyle en 1660. En segon lloc, l'estudi empíric de les substàncies. Ambdues van permetre el procés d'elaboració de la teoria atòmica, des de Dalton fins a l'aprofundiment realitzat per Avogadro,

basant-se en les experiències realitzades per Gay-Lussac amb gasos. Consegüentment, desenvoluparem el tema amb el següent fil conductor:

1. Contribució de l'estudi dels gasos al model atòmic de la matèria
 - 1.1. Propietats dels gasos
 - 1.2. Construcció d' un model corpuscular per als gasos
 - 1.3. Generalització del model corpuscular per als tres estats de la matèria
2. La introducció del concepte de substància i l'estudi de les reaccions químiques
 - 2.1. Revisió dels conceptes macroscòpics de substància simple i compost i de mescla
 - 2.2. Les reaccions químiques i les lleis ponderals
3. La teoria atòmic molecular de Dalton
4. Els combustibles fòssils: usos i conseqüències
 - 4.1. Contaminació atmosfèrica
 - 4.2. Boirum (*smog*) fotoquímic
 - 4.3. Pluja àcida
 - 4.4. Increment de l'efecte hivernacle
5. La quantitat de substància i el mol (Opc)

1. CONTRIBUCIÓ DE L'ESTUDI DELS GASOS AL MODEL ATÒMIC DE LA MATÈRIA

La història de la ciència ha mostrat que l'estudi dels gasos va ajudar molt a la comprensió de la naturalesa de les substàncies i aportà proves que la matèria estava formada per partícules. Començarem estudiant les propietats dels gasos.

1.1. Propietats dels gasos

Com que els gasos ni es veuen ni es poden tocar, passen inadvertits, llevat que es troben en moviment (Séré, 1986). Exemples d'experiències que es poden proposar i s'han de realitzar, per la seua senzillesa i, en conseqüència, aplicabilitat a la primària, sense oblidar els efectes motivadors en els futurs professors, són:

- Enfonsar un got de cap per avall en un recipient o pica amb aigua i veure que l'aigua no omple el got. Al seu torn permet mostrar l'eixida de l'aire girant lentament el got.
- Tractar d'enfonsar a pressió l'èmbol d'una xeringa de plàstic tancada a la flama.
- Acoblar un embut a una botella de manera que el tancament siga hermètic i afegir aigua a l'embut.

Els gasos tenen volum, com els sòlids i els líquids, però s'assemblen més a aquests últims per la facilitat que tenen per a fluir. Per açò els líquids i els gasos, són denominats habitualment fluids. La propietat dels gasos d'ocupar tot l'espai disponible del recinte que els conté està relacionada amb la seua tendència a fluir, a "escapar-se". Aquesta característica dels gasos complica tant la seua recollida com la mesura del volum que ocupen.

En relació amb la qüestió de recollida de gasos es pot proposar la següent activitat de relació CTS: "Una de les qualitats importants dels atletes és la capacitat pulmonar (el volum màxim d'aire que pot introduir una persona en els

pulmons i expulsar en cada inspiració i expiració). Com podríem mesurar aquest volum d'aire i, per tant, la capacitat pulmonar d'una persona?" Es pot arreplegar l'aire amb un tub colzat introduït en una proveta calibrada i invertida que estiga plena d'aire.

A.3. Suggeriu algun experiment que mostre que els gasos pesen.

La transparència i la baixa densitat dels gasos fan pensar a l'alumnat que aquests no tenen massa. A més, quan creuen veure'ls, per exemple, en el cas del fum, ascendeixen, la qual cosa sembla confirmar la seua idea. Es poden suggerir experiències com omplir un globus d'aire i pesar-lo amb una balança de precisió abans i després o agafar un parell de globus plens d'aire i penjar-los d'una vareta subjecta d'un fil de manera que s'equilibren. En punxar-ne un la vareta es desequilibra. No obstant açò, la idea que no pesen és persistent (Furió *et al.*, 1987).

Una vegada acceptat que els gasos pesen, podem relacionar aquesta idea amb el pes de l'aire atmosfèric que ens envolta i suggerir que, vista l'enorme altura de la capa d'aire que hi ha per damunt nostre --aproximadament, 34 km-- cal esperar que el seu pes siga molt gran. L'estudi del pes de l'aire i, per tant, de la pressió atmosfèrica és un exemple històric molt interessant per a mostrar que el coneixement científic s'ha anat construint intervenint debats i controvèrsies i no per la simple acumulació de les idees. Evangelista Torricelli i Blaise Pascal, amb la finalitat d'explicar l'efecte de la pressió atmosfèrica, compararen la situació de l'aire en l'atmosfera amb la de l'aigua en el mar i consideraren l'existència del "mar d'aire".

A.4. Proposeu proves que mostren que l'aire atmosfèric exerceix una gran pressió.

Algunes propostes són:

- Omplir completament una botella amb aigua i invertir-la al mateix temps que se submergeix en un recipient ple d'aigua, observant que el líquid no cau. Açò és una experiència similar a la realitzada per Torricelli (1608-1647) per mesurar el valor de la pressió atmosfèrica. Va omplir de mercuri un tub d'1 m de llarg i el va col·locar verticalment en un recipient que contenia

també mercuri. Comprovà que el mercuri del tub descendia fins a arribar als 760 mm. Va considerar que, en aqueix instant, el pes de la columna de mercuri per unitat de superfície era equivalent a la pressió que exercia l'aire sobre el mercuri del recipient. Així va esbrinar el valor de la pressió atmosfèrica, mesurant el pes de la columna per unitat de superfície. L'experiència de Torricelli va servir també per a generar el buit i superar la idea filosòfica "d'horror al buit". Aquesta era una de les idees que durant molts segles havia impedit que s'admetera la teoria defensada per Demòcrit segons la qual entre els àtoms hi havia el buit.

- Estrènyer una ventosa sobre una rajola on queda pegada o la realització a petita escala (mitjançant dues ventoses) de l'experiment de Von Guericke dels *hemisferis de Magdeburg*.
- Altres experiències possibles que es poden realitzar són intentar alçar una regle cobert per un full de periòdic ben estès sobre una superfície llisa o emplenar totalment un got amb aigua, tapar-lo amb un paper i comprovar que, en invertir-ho, l'aigua no cau.

La massa i el volum són propietats comuns de la matèria. Per açò, per descriure el comportament físic dels gasos, cal elaborar un model que justifique el conjunt de propietats que els caracteritzen.

Ja hem vist que tant els gasos com els líquids es caracteritzen per posseir una certa mobilitat, per la qual cosa es denominen fluids. Ara, existeixen diferències notables entre tots dos tipus de fluids en comprimir-los (augmentant la pressió) i descomprimir-los (en disminuir la pressió).

A.5. Per què diem que els gasos són fluids compressibles mentre que els líquids, els anomenem fluids incompressibles? Proposeu alguna experiència que mostre aquesta diferència.

L'experiència és molt senzilla i consisteix a omplir una xeringa amb aigua i una altra amb aire i comprimir-les. La facilitat dels gasos per a disminuir de volum o bé augmentar-lo amb ajuda d'una pressió externa no ens ha de fer oblidar que

també aquests actuen fent pressió sobre l'agent que els pressiona. Així, en estrènyer l'èmbol d'una xeringa que conté aire i tapar-ne l'eixida, es comprova que es va fent més resistent i difícil disminuir el volum de l'aire. Si deixem solt l'èmbol, s'observa que aquest retrocedeix fins a la seua posició inicial. Es pot plantejar als estudiants la següent qüestió sobre aquest tema: Com explicaríeu la resistència de l'aire a comprimir-se més i el fet que l'èmbol recupere la posició inicial en deixar-lo lliure? Açò els permetrà comprendre que l'aire dins i fora de la xeringa exerceix una pressió i l'equilibri s'estableix sempre que ambdues pressions tinguen el mateix valor.

Tot seguit estudiarem una altra de les propietats més conegudes dels gasos: la variació de volum (dilatació o contracció) i de la pressió (augment o disminució) que experimenten quan s'escalfen i es refreden.

A.6. Comenteu situacions de la vida ordinària en què es pose de manifest el fenomen de la variació de volum d'un gas amb la temperatura.

A.7. Esmenteu altres experiències que mostren la variació de pressió en variar la temperatura.

Els estudiants proposen experiències com aproximar un globus a un focus de calor, però en aquestes situacions la pressió també varia. Per aconseguir que només varie el volum cal pensar en una xeringa. Quant a la segona activitat, cal pensar en recipients rígids, perquè no es produïsquen variacions de volum, com una pilota de futbol quan es trau del gimnàs i està una hora al sol o la pressió manomètrica de les rodes d'una bicicleta abans i immediatament després d'un llarg recorregut. Es pot realitzar l'experiència de tapar una botella buida amb una moneda lleugera (per assegurar el tancament hermètic es banya el coll de la botella). En envoltar la botella amb les mans, la moneda comença a fer botets.

En relació amb aquest tema també se'ls pot proposar la següent activitat: "Observeu el que ocorre amb una llanda d'oli o una botella d'aigua buida i destapada, si les cal fem i les tornem a tapar i les deixem refredar després, a poc a poc. Interpreteu-ho a partir dels coneixements adquirits fins ara". En calfar el gas, es dilata i una part és expulsada fora. En tancar-la i refredar-la, la pressió exterior és major que la interior i la llanda d'oli s'arruga.

L'estreta relació de la variació de volum o la pressió dels gasos (o ambdues) amb els canvis de temperatura és de gran utilitat. La podem aprofitar per a construir termòmetres de gas i per a explicar fenòmens naturals coneguts, com l'origen de les brises marines diürnes i nocturnes.

Finalment, veurem la propietat dels gasos coneguda com a difusió, és a dir, la capacitat de barrejar-se amb molta facilitat.

A.8. Com podríem comprovar que els gasos es barregen molt fàcilment entre ells?

Els estudiants solen proposar algun tipus d'experiència relacionada amb el fum. Cal tenir en compte que el que es veu en aquest cas no és un gas, sinó micropartícules (cendres), que ascendeixen gràcies a l'aire calent que les impulsa. Per tant, es poden utilitzar essències volàtils d'olors agradables.

En resum, la gran compressibilitat unida a la capacitat de dilatació i la facilitat de difondre's són les característiques particulars dels gasos. Aquest comportament, comú a tots els gasos, ha de ser explicat mitjançant un model general vàlid per a tots ells.

1.2. Construcció d'un model corpuscular per als gasos

Ara que hem estudiat el comportament físic dels gasos, ja podem afrontar el repte de formular una hipòtesi de treball que expliqui de forma coherent les seues propietats.

A.9. Proposeu una hipòtesi sobre com han d'estar formats els gasos que siga capaç d'explicar el conjunt de propietats descrites fins ara, és a dir: la facilitat amb la qual es difonen i barregen amb altres gasos; la gran compressibilitat que posseeixen, la facilitat per a expandir-se i les variacions de volum que experimenten amb els canvis de temperatura.

La major part de l'alumnat suggereix un model corpuscular que no té els mateixos atributs que el model cinètic dels gasos dels científics. De vegades presenten un model de partícules sense grans buits entre si i que no explica el seu moviment (Novick i Nussbaun, 1981; Furió i Hernández, 1983). Però aquestes idees no són concepcions alternatives estables sinó construccions temptatives puntuals (Benarroch, 2001; Oliva *et al.*, 2003). De fet, no és fàcil elaborar el model, com podem comprovar també recordant la història de la ciència.

En el segle XVII, molts científics com Galileu, Gassendi o Newton parlen en els seus escrits d'una matèria formada per partícules. Però, com hem dit, açò eren meres hipòtesis sense cap predicció contrastable. De fet, sembla que aquestes sorgiren dels estudis sobre el comportament dels gasos, iniciats per Boyle en 1660, en establir que, per a una determinada quantitat de gas tancada en un atuell a temperatura constant, tota disminució de volum implica un increment de pressió i viceversa. Però açò es pot explicar amb dos models diferents: el dinàmic, basat en partícules que es mouen en el buit, de tan petita grandària, segons va afirmar Daniel Bernouilli en 1738, que el seu nombre era quasi infinit, i l'estàtic, amb partícules en contacte l'una amb les altres i compressibles. Llorens (1988) ha posat de manifest que els estudiants mostren idees similars.

Però com que els gasos poden expandir-se indefinidament, en la hipòtesi estàtica, açò implicava àtoms capaços de créixer sense límit. Per açò Boyle i Newton van optar per corpuscles que es repel·lien, força que no podien explicar, perquè llavors només es coneixien les gravitatòries que són atractives. Aquestes repulsions van ser atribuïdes per Dalton i altres a una atmosfera de calòric que envoltava cada àtom i alguns identificaven aquest calòric amb una classe particular d'èter (Holton i Brush, 1976).

Malgrat tots els precursors, la teoria corpuscular dels gasos no quedà ben establerta fins als anys 1850-1860. Prèviament, John Heraphat, sense conèixer el treball precursor de Daniel Bernouilli, proposà en 1820 una teoria semblant, la publicació de la qual va ser rebutjada per la Royal Society de Londres, i malgrat una llarga i amarga lluita, que es va perllongar més d'una dècada, no va aconseguir el reconeixement de la seua teoria. Aquest començà quan Helmholtz, en 1847, descrigué l'energia interna d'un gas real com la suma de l'energia cinètica de totes les partícules que el constitueixen i l'energia potencial deguda a les interaccions entre totes les molècules (si el gas és ideal, solament té energia cinètica). També Joule, seguint Heraphat, assenyalà en 1848 que la pressió sobre les parets és deguda als xocs. En 1857 Clausius, en l'article "Sobre la naturalesa del moviment que anomenem calor" establí que la

pressió d'un gas és, a volum constant, proporcional a l'energia cinètica de translació de les molècules. A més, proposà l'explicació molecular sobre els estats sòlid, líquid i gasós i els canvis entre aquests.

Amb una formulació moderna les hipòtesis del model cinètic dels gasos són les següents:

- a) Els gasos consten de partícules en moviment continu.
- b) Les dimensions de les partícules són indiciblement petites, tant que el volum de cadascuna és negligible en comparació amb l'espai que hi ha entre aquelles.
- c) El nombre de partícules dels gasos és molt gran. A temperatura ordinària, en cada centímetre cúbic hi ha uns 30 trilions de partícules. Així, en un cm^3 d'aigua hi ha, aproximadament, $5'5 \cdot 10^{21}$ partícules.
- d) No existeixen forces entre les partícules, per açò aquestes es mouen a l'atzar i no tenen direccions privilegiades, de manera que xoquen entre si i contra les parets del recipient que conté el gas.
- e) La pressió interna del gas ve donada per les forces que es produeixen en xocar les partícules contra les parets del recipient. En aquests xocs no es produeixen pèrdues d'energia.

La pressió, igual que la temperatura, és una magnitud estadística. Es denomina pressió interna la que exerceix el gas sobre l'exterior i externa, la que fa l'exterior sobre el gas.

Tot seguit, comprovarem que el model elaborat permet establir unes lleis amb capacitat per a predir el comportament dels gasos. El model, basat en el moviment de les partícules, justifica que la pressió interna siga conseqüència del xoc d'aquestes sobre les parets del recipient que les conté.

A.10. A partir del model proposat, emet hipòtesi sobre les variables de les quals depèn la pressió interna d'un gas, i del tipus de dependència.

En l'emissió d'hipòtesi els estudiants plantegen tot tipus de dependències entre la pressió P i variables macroscòpiques (volum V , temperatura T i massa m del

gas) i microscòpiques (nombre de partícules N , velocitat, etc.). El professor ha de reformular les respostes fent veure que la velocitat està inclosa en la temperatura del gas i que si es pren en consideració el nombre de partícules, ja no té sentit incloure la massa. S'arriba al fet que $P = f(N, T, V)$. Més concretament: P augmenta amb N i T i disminueix en augmentar el V . Es controlen variables, $P = \text{const} \cdot N$ (per a V i T constants); $P = \text{const} T$ (per a N i V constants) i $P = \text{const}/V$ (per a N i T constants). En ajuntar-les totes, arribem a la llei dels gasos perfectes: $P \cdot V = N \cdot k \cdot T$

En realitat, es tracta d'un model, és a dir, d'una representació simplificada que s'usa per a justificar i entendre una realitat molt més complicada. Un model és millor com més senzill siga i com major capacitat de predicció tinga. En conseqüència, tot model té limitacions. En el model elaborat per als gasos, es considera que no existeixen forces d'interacció entre les partícules i que, quan xoquen, el xoc és elàstic i, per tant, no produeix pèrdues d'energia. Per açò, aquest model rep el nom de "model de gas ideal". Existeixen altres models més pròxims a la realitat, però el seu estudi es deixa fora d'aquest curs.

A.11. Plantegeu una experiència que permeta contrastar la relació entre el volum d'un gas i la pressió. Feu-la de forma pràctica i analitzeu-ne els resultats.

Una simple xeringa de plàstic amb l'extrem fos pot servir per a aquest propòsit (UNESCO, 1975). És suficient col·locar pesos iguals sobre l'èmbol disposat verticalment per obtenir valors relatius de la pressió, mesurar el volum en cada cas i construir una taula de valors P - V . La gràfica obtinguda és una hipèrbola, però com que aquesta representació ofereix dubtes, se'ls indica que han de representar $P = \text{const} \cdot x$, on $x = 1/V$.

Per eixir al pas del problema de la fricció, es pot utilitzar un lubricant o pressionar amb la mà l'èmbol lleugerament i ràpidament i comprovar que torna a la mateixa posició. Per evitar que els alumnes pensen que n'hi ha prou amb uns pocs resultats obtinguts per un laboratori escolar per a donar per verificada o falsada la hipòtesi --i donar així una imatge distorsionada del treball científic (Hodson 1985)--, el professor ha de fer que es comparen els resultats obtinguts pels diferents grups d'estudiants, comentar les investigacions de Boyle i Mariotte, etc. Els resultats obtinguts són bastant acceptables.

A.12. Proposeu un altre disseny experimental per contrastar la relació entre volum i temperatura.

A.13. En una experiència realitzada amb la finalitat d'esbrinar la relació entre el volum i la temperatura s'obtingueren els resultats de la taula següent. Analitzeu-los i extraieu-ne conclusions pel que fa a la relació entre volum i temperatura.

$T (^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30	40	50	60
$V (\text{cc})$	9.100	9.430	9.770	10.100	10.400	10.800	11.100

Per comprovar la relació de V amb T , els estudiants suggereixen a vegades escalfar al bany maria la xeringa, però com que les variacions són minúscules i amb molt d'error, es pot fer ús de taules de resultats obtingudes en experiments realitzats per científics.

1.3. Generalització del model corpuscular per als tres estats de la matèria

L'estudi del comportament dels gasos ens ha portat a concebre un model corpuscular per als gasos. Ara veurem en quina mesura podem fer-lo extensible als sòlids i als líquids. No oblidem que el nostre objectiu era, des de l'inici de l'estudi, cercar una estructura comuna a tota la matèria, independentment de la seua forma o estat físic.

Intentarem provar la validesa de la hipòtesi corpuscular amb la finalitat d'interpretar el comportament dels estats condensats de la matèria, és a dir, els estats líquid i sòlid. En primer lloc parlarem de les possibilitats de transformació dels gasos en líquids i sòlids. Si poguérem concloure que qualsevol substància pot passar de gas a líquid o a sòlid i viceversa, podríem pensar que també els líquids i els sòlids estan formats per partícules. Per açò, la importància d'aquest estudi és òbvia. Abordarem qüestions que semblen inversemblants, per exemple, veure si és possible obtenir aire sòlid o ferro gasós o si en els líquids i els sòlids encara existeixen buits i se'n mouen les partícules.

Quan fem un llenguatge col·loquial, normalment solem dir que l'aire és un gas, l'alcohol un líquid i el ferro un sòlid, i classifiquem els materials i les substàncies en un d'aquests tres estats físics. A més, sabem que l'aigua passa

fàcilment a l'estat sòlid i es converteix en gel, o a l'estat gasós en forma de vapor, segons les condicions a les quals la sotmetem. Però... aquests canvis d'estat que ocorren en l'aigua poden ser atribuïts de qualsevol altra substància?

A.14. Proposeu exemples, presos de la vida quotidiana, de substàncies que puguin trobar-se en els diferents estats: sòlid, líquid i gasós.

Els alumnes poden parlar d'una indústria siderúrgica en la qual s'observa ferro colat, de les botelles de gas líquid (encenedors, butà, etc.) o de la condensació del vapor d'aigua en una superfície freda. El fet essencial de l'estudi dels canvis d'estat és establir la vinculació entre els gasos i les altres formes d'existència de la matèria. Una vegada verificada aquesta vinculació, es tracta de veure com poden explicar-se els canvis d'estat amb l'ajuda del model corpuscular.

A.15. Expliqueu, amb l'ajuda del model corpuscular dels gasos, com té lloc el pas de gas a líquid.

En l'activitat anterior hem vist que els gasos poden liquar-se per refredament directe o comprimint-los a temperatura ambient. Ambdues formes poden explicar-se amb ajuda del model de partícules, si s'introdueixen forces d'unió entre si, que en els gasos no s'aprecien a causa de la gran distància entre les partícules i a les seues elevades velocitats. Refredar suposa disminuir la velocitat fins al punt que les forces atractives no siguin negligibles enfront de l'agitació de les partícules, que arriben a enllaçar-se. La compressió disminueix el volum i afavoreix la interacció entre les partícules, que arriben també a unir-se i formar el líquid.

Ens detindrem, finalment, a determinar la validesa de l'estructura corpuscular que proposem per tal d'explicar algunes propietats dels sòlids i els líquids.

Els canvis físics que hem vist relacionen els diferents estats d'agregació de les substàncies. En tots ells hem utilitzat el mateix model de partícules ideat en l'estudi dels gasos, lleugerament retocat en admetre que les partícules interaccionen i poden arribar a unir-se quan les condicions de temperatura i pressió ho permeten. Ara continuem aplicant qualitativament el model corpuscular dels gasos per veure si és capaç d'interpretar, també, les propietats

dels sòlids i els líquids com la dilatació, la difusió de líquids miscibles, la dissolució de sòlids en líquids, etc.

A.16. Proposeu algunes experiències que recolzen la hipòtesi que en els sòlids i líquids segueix havent-hi partícules en moviment i buits en les seues estructures.

A.17. Sabeu que, en escalfar els sòlids i líquids, es dilaten i, per contra, en refredar-se, es contrauen. Aquesta dilatació o contracció sol ser molt menuda (de l'ordre d'un 0,5 % de la seua grandària per cada 100 °C d'increment de temperatura). Expliqueu aquesta propietat amb l'ajuda del model corpuscular de la matèria.

Es poden proposar experiències de difusió en barrejar líquids, un dels quals acolorit (per exemple, tinta o llet, que es deixen caure sobre l'aigua amb comptagotes). També es poden dissoldre petits cristalls de sòlids molt acolorits, com el permanganat o el dicromat de potassi. Per explicar la dilatació dels sòlids i líquids, l'alumnat recorre a arguments relacionats amb l'augment de les vibracions de les partícules que produeix un petit augment del volum. Una altra experiència que es pot realitzar és la següent: "Barregeu 50 ml d'aigua amb 50 ml d'alcohol. Comproveu que s'obté un volum de líquid inferior a 100 ml. Justifiqueu la reducció del volum mitjançant el model corpuscular".

2. LA INTRODUCCIÓ DEL CONCEPTE DE SUBSTÀNCIA I L'ESTUDI DE LES REACCIONS QUÍMIQUES

L'establiment de l'estructura atòmica és el resultat de l'estudi del comportament dels gasos i de la informació química macroscòpica que hi havia acumulada en l'època de Dalton.

2.1. Els conceptes macroscòpics de substància simple i compost i de mescla

Aquesta informació química estava associada al domini de tècniques bàsiques de laboratori i a l'elaboració de conceptes macroscòpics (empírics) com mescla, substància simple i composta, etc.

A.18. De la següent llista, indiqueu quina o quines espècies són substàncies i quines mescles: nitrogen, maionesa, ferro, amalgama de mercuri (utilitzada en els empastaments dentals), sal de taula iodada, niló, or de 14 quirats, gasolina, llet, aigua de mar, ciment, aire, carboni, sal comuna i fusta. Classifiqueu les substàncies indicades en la llista anterior en simples i compostes i les mescles en homogènies i heterogènies, i indiqueu el criteri utilitzat en la classificació.

En el món que ens envolta hi ha matèria no substancial, com els plasmes, els camps electromagnètics o fins i tot, la matèria fosca de l'Univers, que no són tractades en aquest capítol. La química tracta de l'estudi de matèria substancial formada per una única substància o per una barreja de diverses. Els filòsofs mecanicistes com Boyle i els químics del XVIII com Lavoisier arribaren a classificar-la en tres tipus de sistemes: mescles, cossos perfectament sense mescla (substàncies simples actualment) i cossos perfectament mesclats (substàncies compostes de l'actualitat).

Una substància és una forma de matèria que té propietats físiques i químiques característiques. Les propietats físiques són aquelles que poden ser detectades quan aquesta substància s'estudia aïllada de la resta (com la densitat, punts de fusió i ebullició, conductivitat, etc.). Les propietats químiques són les que es comproven quan una substància reacciona amb d'altres en unes condicions determinades.

Les mescles de substàncies poden ser heterogènies i homogènies. Les heterogènies són aquelles la composició i propietats de les quals no resulten uniformes. Una mescla homogènia o dissolució és aquella que presenta propietats uniformes en tota la mostra. En tots dos casos es poden separar les seues parts constituents per procediments físics, com filtracions, destil·lacions, etc.

Boyle, en la seua obra *El químic escèptic*, denominada així perquè critica la doctrina aristotèlica dels 4 elements i l'alquímia, defineix les substàncies simples com aquelles que no poden separar-se en diferents components per cap mitjà. Al mateix temps afegeix que, en una mescla, cadascun dels components que hi intervé conserva les seues propietats i són fàcils de separar uns d'uns altres, mentre que en un compost els components que el constitueixen perden les seues propietats i són inseparables per procediments físics.

Lavoisier denominà substàncies simples aquelles que no podien ser descompostes en altres de més senzilles mitjançant els procediments químics coneguts. D'aquesta forma, la noció era operativa i relativa a les tècniques experimentals disponibles. En el seu *Tractat elemental de química* classifica com a substàncies simples la llum, el calòric, l'oxigen, l'hidrogen, el nitrogen, però també els òxids de calci, magnesi, bari, alumini i silici (Llorens, 1991).

Algunes investigacions assenyalen la confusió, corrent en l'alumnat, entre compost químic i mescla (Hierrezuelo i Montero, 1989; Bullejos i Furió, 1989). També s'identifiquen les propietats macroscòpiques d'una substància amb la dels àtoms que la formen (Ben-Zvi *et al.* 1986; Lloréns, 1991). Així, en un bon nombre de textos poden llegir-se expressions com "la molècula és la part més petita que conserva totes les propietats del compost", o que "l'àtom és la part més petita d'una substància simple que conserva totes les propietats d'aquesta", afirmacions que suposen admetre, per exemple, que una molècula té color, és dura, posseeix un punt d'ebullició, etc. Fins a tal punt arriba la confusió que en moltes taules periòdiques apareixen barrejades les propietats de la substància simple com la densitat, punts de fusió i ebullició amb les de l'àtom, com l'estructura electrònica, el potencial de ionització (en eV), estats d'oxidació, massa atòmica (en uma), etc. Açò pot contribuir a la confusió entre els conceptes de substància simple (concepte macroscòpic i operatiu) i element químic (concepte microscòpic teòric). En general, resulta molt difícil per a l'alumnat comprendre els conceptes de substància i compost (Domínguez-Sales i Furió, 2007). És per això que en aquest treball hem intentat tenir en compte totes les dificultats dels estudiants per a comprendre els conceptes de substància, substància simple i compost, essencials per a entendre després les reaccions químiques i les lleis ponderals, tant a escala macroscòpica com microscòpica (Furió *et al.*, 2012)

Malgrat que la recerca en didàctica de les ciències s'ha fet ressò repetidament dels problemes d'aprenentatge de la reacció química, substància simple i compost, l'ensenyament continua sense tenir-los massa en compte, tant pel

que fa a les idees del professorat com per les carències que es deixen veure en els llibres de text (Furió i Domínguez, 2007).

Són molt poques les substàncies que es troben pures de forma natural. Una substància pot ser la component principal d'una mostra donada; no obstant açò, quasi sempre, la mostra n'inclou d'altres en menor proporció, que són anomenades impureses. El grau de puresa s'indica en percentatge.

Al laboratori es treballa amb substàncies i com que aquestes es presenten en la naturalesa barrejades amb d'altres, cal procedir prèviament a separar-les. Aquesta separació es basa en la diferència de propietats dels components de la mescla i constitueix l'objecte d'algunes tècniques essencials de la química experimental. Tot seguit en revisarem algunes.

A.19. Suggestiu procediments per a separar els components de les següents barreges i realitzeu-ne alguns al laboratori.

a) Alcohol del vi.

b) Tinta de bolígraf o els pigments d'una fulla d'espínacs.

c) Hidrogencarbonat de sodi, NaHCO_3 , i clorur d'amoni, NH_4Cl , si sabem que el NaHCO_3 és bastant soluble en aigua calenta però poc en aigua freda, mentre que el NH_4Cl és molt soluble en aigua fins i tot freda.

d) Sal comuna, arena i iode, basant-vos en les següents propietats:

<i>Substància</i>	<i>Solubilitat</i> (g solut/ 100 g aigua)	<i>T. fusió</i> (°C)	<i>Aspecte</i>
Clorur de sodi	35	801	cristalls blancs
Diòxid de silici SiO_2	insoluble	1600	cristalls blancs
Iode, I_2	0,0956	113	cristalls negres

Cal utilitzar substàncies i no confondre-les amb els productes quotidians que, en general, són barreges. Per exemple, utilitzar clorur de sodi, indicant que és la

substància que majoritàriament forma la sal comuna i quars en pols, que sol ser el component majoritari de l'arena.

Es pretén que l'alumnat revise alguna de les tècniques més conegudes de separació de mescles (la destil·lació, la cromatografia, la cristal·lització, etc.). Per a la tinta es pren un paper de filtre i en la seua part inferior es col·loca una petita taca de tinta. La tira s'introdueix en una proveta que conté l'eluent (etanol i aigua al 50 %) i que es cobreix amb un vidre de rellotge, per afavorir el desplaçament uniforme del dissolvent. A causa del caràcter absorbent del paper, el líquid ascendeix per aquest i arrossega en el seu recorregut els colorants de la tinta que, com que es mouen a diferents velocitats, es visualitzen separats.

En el cas de la separació de l'hidrogencarbonat de sodi, es dissol la mescla en una mínima quantitat d'aigua calenta, es refreda la dissolució en gel, de manera que es formen cristalls de la substància menys soluble i se'n separen aquests cristalls per filtració.

2.2. Les reaccions químiques i les lleis ponderals

A.20. *Esmenteu exemples de canvis químics que siguin interessants per les seues possibles aplicacions i assenyaleu la diferència entre canvi físic i canvi químic.*

La primera part és una activitat CTS que permet mostrar que la química és una ciència relacionada amb tot el que ens envolta: en els objectes que utilitzem o la roba amb la qual ens vestim, en els aliments que ingerim, etc. Les substàncies que manegem diàriament són producte de les reaccions químiques, actuals o remotes, espontànies o provocades. Les transformacions químiques que tenen lloc contínuament en la naturalesa, en els processos vitals i en el nostre metabolisme són, també, objecte d'estudi de la química. Una de les tasques del químic és dissenyar reaccions que convertisquen alguns productes naturals en substàncies o barreges que satisfacen les necessitats de l'ésser humà. Per exemple, per a les computadores es necessiten transistors de silici, però el silici no es troba com a tal en la naturalesa (el que hi ha és sílice, que es troba en l'arena de les platges); se cerquen medicaments eficaços contra les malalties; es vol trobar un sistema que reduïska la contaminació produïda per la combustió diària de milions de litres de combustible dels automòbils. Els químics han de

donar resposta a les necessitats de la societat estudiant les transformacions i els factors que governen les reaccions químiques.

A més, l'activitat permet definir la reacció química des d'un nivell macroscòpic com aquell canvi en el qual unes substàncies es converteixen en unes altres, cosa que no ocorre en el canvi físic (per exemple, és diferent escalfar o cremar alcohol).

L'estudi de les reaccions químiques proporcionà a Lavoisier, Proust, etc., la informació necessària per a establir relacions entre la massa dels reactius i la massa dels productes de la reacció, cosa que va portar a la formulació d'uns principis coneguts amb el nom de lleis ponderals, les més importants de les quals són la llei de la conservació de la massa i la llei de les proporcions definides.

A.21. Justifiqueu que s'acompleix la llei de conservació de la massa en els següents processos:

- a) Quan es crema un tros de fusta, les cendres pesen menys que la fusta.*
- b) En cremar un metall com el magnesi, les cendres obtingudes pesen més que el magnesi original.*

L'estudi d'aquestes i altres reaccions va permetre a Lavoisier establir la llei de conservació de la massa en les reaccions químiques en 1785. Aquesta llei diu que "En una reacció química, la suma de la massa de totes les substàncies abans d'una reacció és exactament igual a la suma de la massa de totes les substàncies produïdes després de la reacció".

En el primer cas, és suficient tenir en compte els gasos despresos, per a la qual cosa cal treballar amb un sistema tancat. Açò es va veure facilitat perquè per aquestes dates ja s'havien separat diversos gasos: Van Helmont havia aïllat el diòxid de carboni; Scheele, el nitrogen; Priestley, l'oxigen, i Cavendish, l'hidrogen.

És interessant cremar a l'aula un tros de cinta de magnesi, prenent les precaucions adequades i comentar que va significar un pas molt important: va ajudar a bandejar teories errònies que s'havien mantingut fins a aquell moment, com la del flogist. Als inicis del segle XVIII, la química ja estava implantada com a ciència experimental; no obstant açò, li faltava una teoria

unificadora que donara resposta als fenòmens químics en conjunt. La teoria del flogist, emesa per justificar la combustió, ho va aconseguir.

Segons aquesta teoria, els elements combustibles ho són perquè contenen una substància, anomenada flogist, responsable de les propietats físiques de color i olor, i que aquests elements emeten quan cremen. El flogist es desprèn en el moment de la combustió, durant la qual, la substància que es crema es converteix en altra, de propietats diferents. Aquesta teoria va ser capaç, durant un temps, de donar resposta als fets experimentals observats en la combustió. Encara que el flogist no es podia aïllar, tampoc no es podien aïllar el magnetisme, l'electricitat o la gravetat i no per això se'n posava en qüestió l'existència.

La primera observació contrària a la teoria del flogist tingué lloc en va comprovar-se que, quan es calcinava un metall, la substància calcinada pesava més que la substància sense calcinar, la qual cosa, en principi, contradia l'essència del flogist, ja que, quan es desprèn en la combustió, se separa de la substància que el contenia i, per tant, aquesta ha de pesar menys una vegada cremada. Per justificar aquesta contradicció, alguns van dir que les partícules ígnies del foc s'introduïen en el metall.

La interpretació que va fer Lavoisier d'una experiència feta per Priestley suposà el descobriment de l'oxigen i l'abandó de la teoria del flogist. L'experiència consistí en escalfar fortament les cendres roges del mercuri (l'òxid de mercuri) i comprovar que es formava un gas amb una capacitat de combustió major que la de l'aire i que deixava, com a residu, mercuri. El resultat d'aquesta experiència era contrari als resultats d'experiències anteriors, en les quals, quan s'escalfava un metall, la mescla del gas que es desprenia amb l'aire disminuïa la capacitat de combustió d'aquest.

Lavoisier considerà que el gas alliberat en l'escalfament de les cendres de mercuri era un component de l'aire, l'oxigen, responsable dels processos de combustió, així com també de l'augment o la disminució de pes dels residus de la combustió.

Ja no calia pensar en un principi "estrany", com el flogist, o en les partícules de foc com a causants de l'augment de pes de les substàncies resultants de la combustió d'alguns materials. A partir d'aquesta interpretació de Lavoisier, la química va tenir un ràpid avanç, en el qual els descobriments i les interpretacions se succeïen a un ritme vertiginós, i va entrar en una de les èpoques més prolífiques de la història de la seua evolució.

A.22. Si a una dissolució de carbonat de calci (marbre) s'hi afegeix àcid clorhídric (salfumant), se'n desprèn un gas. Proposeu una experiència, fàcil de fer al laboratori, que demostre que la massa es conserva.

Resulta interessant que el matràs es tape amb un globus, ja que llavors els estudiants perceben l'augment del seu volum pel gas després, alhora que en la balança no s'observa cap modificació. També es pot realitzar alguna activitat quantitativa del tipus: "Cremem 0,81 g de magnesi i arrebpleguem 1,34 g d'òxid de magnesi. Quina massa d'oxigen ha reaccionat amb el magnesi?".

L'anàlisi de les masses de productes i reactius també va aportar dades per a establir la llei de les proporcions constants, atribuïda a Louis Proust. Aquest químic francès va desenvolupar una gran part de la seua obra a Espanya, contractat pel rei Carles III. L'enunciat d'aquesta llei diu: "Quan dues o més substàncies reaccionen per donar lloc a una altra ho fan sempre en la mateixa proporció en pes".

A.23. En analitzar mostres d'un gas compostos de carboni i oxigen s'han obtingut els següents resultats:

Massa C (g)	7,46	12,31	14,05	24,62
Massa O (g)	17,08	28,19	32,17	50,29

L'activitat anterior ens permet veure que aquesta llei s'aplica també als elements obtinguts per descomposició d'un compost, on la proporció entre les masses dels elements és sempre constant. L'aplicació d'aquesta llei permet predir resultats quantitius a partir de dades prèvies, com es pot comprovar mitjançant la següent activitat numèrica, que serveix, a més, per a consolidar aquesta llei: "2,43 g de magnesi reaccionen totalment amb 1,60 g d'oxigen per formar òxid de magnesi. Si disposem de 3 g de magnesi, quina quantitat d'oxigen podrà reaccionar? Quant òxid de magnesi obtindrem?"

A.24. *Què succeeix amb la ciència espanyola durant la Il·lustració? Coneixeu algun científic d'aquest període?*

Una activitat CTS perquè els estudiants coneguen els desenvolupaments científics que s'han produït al nostre país, en aquests moments en què es produeix una disminució dels estudiants de ciències, com hem vist en el capítol 2, és important. Encara que alguns alumnes, pel seu coneixement de la Il·lustració, pensen que va ser un bon període, són incapaços d'anar més enllà i com a màxim esmenten Cavanilles. Han de saber que la contractació de Proust va ser només la punta de l'esforç realitzat en la Il·lustració per a incorporar Espanya a Europa promovent l'activitat científica i tecnològica. Aquesta promoció va tenir el seu moment culminant durant el regnat de Carles III i va consistir a lluitar contra l'aïllament, amb la contractació de científics estrangers (Proust i Chabaneau) i amb la concessió de beques per a l'estranger i el finançament d'institucions (observatoris astronòmics, jardins botànics, etc.) i de viatges científics.

Les contribucions majors es van produir en el camp de la química. Destaquen Fausto de Elhuyar (1755-1833), professor del Seminari Patriòtic de Vergara, on va descobrir, juntament amb el seu germà Juan José, el wolframi. Andrés del Riu (1764-1849), que va treballar durant quasi 50 anys a l'escola de mines de Mèxic, on va descobrir en un mineral mexicà el vanadi l'any 1801. Antonio de Ulloa (1716-95), guàrdia marina, que va participar amb Jordi Joan i altres científics francesos en l'expedició al Perú per a mesurar l'arc del meridià terrestre, d'on va portar mostres de platí i va contribuir així al descobriment d'aquest element.

En física destaca Jordi Joan, més conegut com a Jorge Juan (1713-73), de Novelda, autor de les *Observaciones astronómicas y físicas* (1748), fruit del viatge al Perú. En 1752 va ser nomenat director de l'Acadèmia de Guardamarines de Cadis, on va fundar l'observatori astronòmic més important d'Espanya. Va ser un dels científics més destacats del nostre país, membre de les societats científiques europees més prestigioses, com la Royal Society de Londres i les Reals Acadèmies de Berlín i París.

El valencià Antoni Josep Cavanilles (1745-1804) tenia estudis de filosofia i teologia, però en 1777 va marxar a París, on va completar la seua formació botànica, amb Jussieu. En tornar a Madrid, l'any 1789, va rebre l'encàrrec del govern d'estudiar la flora de la Península. Començà els seus viatges pel País Valencià i el resultat fou el llibre *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia* (1795-97). Va

participar en la fundació, en 1799, de la revista *Anales de Ciencias Naturales*. En 1801 va ser nomenat director del Jardí Botànic de Madrid.

Gabriel Císcar (1760-1828) fou director de l'Acadèmia de Guardiamarines de Cartagena de 1788 a 1798, any en què va ser nomenat representant d'Espanya en la reunió convocada per l'Institut de França sobre el nou sistema mètric decimal, que introduí a Espanya. En tornar Fernando VII, Císcar fou empresonat i confinat a Múrcia, Cartagena i Oliva, fins a l'alçament liberal de 1820. En restablir-se el poder absolut en 1823, el rei el va condemnar a mort, condemna de la qual se salvà refugiant-se a Gibraltar.

A.25. A la vista del que s'acaba d'esmentar, es pot sostenir la frase d'aquell ministre d'educació que va afirmar que "les ciències són estudis propis de les gents del nord".

Evidentment, no. Sempre que la societat espanyola s'ha interessat i ha invertit en la ciència (com en el Renaixement, la Il·lustració, des de la Restauració a la II República, en la dècada dels 80) aquesta ha florit i ha aconseguit un nivell internacional. També és cert que els tres primers períodes es van veure truncats per persecucions de científics per motius polítics i/o religiosos, en el regnat de Felip II, en el de Ferran VII i en la primera dècada del franquisme, que produeixen col·lapses de l'activitat científica espanyola, que són molt costosos de superar. En el cas que ens ocupa, després de la Il·lustració i la guerra del Francès, les causes de l'escapçament de la ciència van ser un país econòmicament arruïnat i unes classes dirigents dividides en conservadors, que consideraven un greu error l'esforç d'uropeïtzació del segle XVIII, i els liberals. En 1814, després de la restauració de Ferran VII, i en 1823, en acabar el Trienni Liberal, es produeixen períodes de repressió, que obliguen a l'exili de molts liberals. Per defensar aquestes idees, patiren postergació, persecució i desterrament molts dels nostres millors científics, com Císcar. També literats o pintors, més coneguts, com Goya, Moratín, Blanco White, etc. Els observatoris astronòmics i altres institucions van desaparèixer o van deixar de funcionar.

És lògic que després d'aqueixos tres moments de la nostra història la ciència s'haja esmorteït. Es produeixen el que alguns historiadors (López Piñero i Navarro, 1995) denominen períodes intermedis, durant els quals és necessari, en primer lloc, aprendre els nous coneixements i mètodes; en segon, difondre'ls (escrivint textos i ensenyant bàsicament) per formar les noves generacions i, en tercer lloc, començar a investigar. És curiós que en cap dels països del nostre

entorn europeu no s'haja produït una situació similar, una singularitat tan amarga. Ni als anglogermànics, amb predomini o fortes minories protestants, que obliguen a un major diàleg religiós, però tampoc als mediterranis, com França i Itàlia, amb predomini catòlic, com el nostre. Açò fa que molts científics i historiadors es plantegen quina pot ser la causa de la denominada qüestió de la ciència espanyola. Els molts partidaris de l'aliança del tron (o la dictadura o el poder públic) i l'altar? La deficient industrialització del nostre país?

La veritat és que tot açò sembla haver generat una actitud d'escassa estima a la ciència al nostre país (Solbes, 2002). Bona prova n'és l'anterior frase del ministre o el conegut exabrupte d'Unamuno "Què inventen ells!". En les enquestes es comprova que els espanyols no estan gens familiaritzats amb la història de la ciència del nostre país i els escassos científics que coneixen són tots estrangers (excepte Ramón y Cajal). Aquesta escassa estima sembla que subsisteix en l'actualitat, quan es comprova que al nostre país és freqüent parlar de ciència i de cultura com si es tractara de coses diferents i es pot presumir de culte sense posseir un coneixement suficient dels avanços científics i tecnològics dels quals depèn la nostra vida quotidiana. Referent a açò té interès veure la gran diferència de criteris amb què es jutja la incultura científica respecte a altres àmbits en les notícies de premsa. Hi ha una gran preocupació per no incórrer en errors ortogràfics o de vocabulari, amb la qual, evidentment, estem d'acord. Quan apareixen, provoquen merescudes reaccions irades en els lectors. No obstant açò, no existeix la mateixa cura (i, per descomptat, les mateixes reaccions) quan els errors corresponen als conceptes científics. Açò permet que s'escriguen disbarats com, per exemple: "elements químics com els òxids de nitrogen". O quan els mitjans de comunicació transmeten persistentment des de 1995 la idea que les humanitats estan sent desplaçades en l'ensenyament secundari de la LOGSE per les matèries científiques i tecnològiques.

Aquesta afirmació, que és manifestament falsa, perquè les matèries científiques tampoc no han eixit molt ben parades en el nou sistema educatiu, planteja la relació entre humanitats i ciències com una controvèrsia, com la vella pugna entre "les dues cultures".

3. LA TEORIA ATOMICOMOLECULAR DE DALTON

John Dalton (1766-1844) fou l'autor de la primera teoria atòmica, que constituí la base fonamental per a la química actual. Aquesta teoria va ser el resultat d'un procés complicat, amb errors i encerts, que es va alimentar de les contribucions de molts altres científics. En 1808, Dalton publicà el llibre *Nou sistema de filosofia química*, en què exposava amb detall la seua teoria atòmica. Ell mateix reconeixia la similitud entre les seues teories i les de Demòcrit, motiu pel qual, anomenà àtoms les partícules constituents de la matèria. No obstant açò, mentre que les idees de Demòcrit eren especulacions filosòfiques formulades per a explicar l'estructura de l'Univers, les teories de Dalton es fonamentaven en segle i mig d'experimentació i eren una resposta a observacions concretes. La teoria de Dalton parteix d'un model de matèria que permet la caracterització i la descripció de les substàncies a escala atòmica, i estableix el concepte de canvi químic com la redistribució dels àtoms. Bàsicament, consta de les següents hipòtesis:

1. La matèria està formada per partícules diminutes i indivisibles que anomenà àtoms.
“La matèria, encara que divisible en un grau extrem, no és infinitament divisible. És a dir, ha d'haver-hi un punt més enllà del qual no podem anar en la divisió de la matèria”.
2. Els àtoms són immutables; és a dir, es mantenen inalterables en tot procés químic.
Els àtoms dels diferents elements “mai no poden transformar-se els uns en els altres”.
3. Els àtoms d'un mateix element químic són idèntics entre si en massa i volum, però són diferents als de qualsevol altre element.
Existeixen tantes classes diferents d'àtoms com a elements. “Els àtoms d'un element són perfectament semblants en pes, figura, etc.”.

4. Els àtoms de diferents elements poden unir-se per formar molècules, i sempre ho fan en una relació de nombres enters i senzills.

Les molècules són les partícules constitutives dels compostos, cadascuna de les quals té una fórmula. El compost més estable és aquell les molècules del qual responen a una relació entre àtoms d'1:1.

A.26. Apliqueu la hipòtesi de Dalton per explicar els següents principis:

- a) La matèria no és divisible fins a l'infinit.*
- b) La massa de les substàncies de les reaccions químiques es conserva.*
- c) La llei de les proporcions definides es compleix en tots els compostos.*

La conservació de la massa en les reaccions químiques es compleix perquè el nombre d'àtoms abans i després de la reacció és sempre el mateix, independentment de com estiguen agrupats.

Com que els àtoms d'un mateix element tenen la mateixa massa, amb Dalton comença a afermar-se el concepte d'element químic com a tipus d'àtom (Llorens, 1991). En 1913 Moseley estableix experimentalment el concepte de nombre atòmic com la càrrega elèctrica del nucli. Des del punt de vista de la teoria de l'estructura electrònica dels àtoms, un element químic es defineix com "una substància constituïda per àtoms que tenen el mateix nombre atòmic" (Real Acadèmia de Ciències Exactes, Físiques i Naturals, 1990). Pauling (1970) defineix l'element com "una classe de matèria que consta d'àtoms els nuclis dels quals tenen tots la mateixa càrrega elèctrica" i "una substància elemental és la formada exclusivament per àtoms d'un sol element". Així, existeixen substàncies diferents constituïdes pel mateix element, tal és el cas de l'oxigen (O₂) o l'ozó (O₃), ambdues són varietats al·lotròpiques de l'element oxigen. Segueix Pauling, "un compost és una substància que conté dues o més elements diferents, els quals es presenten en una relació numèrica definida, ja que els compostos es caracteritzen per tenir una composició definida", és a dir, dues o més classes d'àtoms combinats en proporcions fixes, explicant així la llei de Proust.

Tot seguit estudiarem com es va desenvolupar la hipòtesi de Dalton. Una de les aportacions més interessants de Dalton va ser la d'assignar una massa diferent a cada classe d'àtoms, cosa que va obrir una línia d'investigació dirigida a conèixer la massa de cada classe d'àtom o massa atòmica.

A.27. Justifiqueu per què no es podien mesurar masses atòmiques en l'època de Dalton.

El valor tan indiciblement menut de la massa d'un àtom feia que les unitats convencionals utilitzades fins llavors no foren efectives. Açò va obligar a definir una nova unitat molt menor, de l'ordre de les masses dels àtoms. En principi, es va escollir com a unitat la massa de l'àtom d'hidrogen, que és l'àtom menys pesant, de manera que, per a esbrinar la massa d'altres àtoms, sols s'havia de comparar un nombre concret d'aquests àtoms amb l'àtom d'hidrogen. Ara bé, no es podia establir aquesta relació si no es coneixia la fórmula del compost. Dalton aplicava la hipòtesi de la màxima simplicitat, segons la qual els compostos binaris més probables són compostos als quals correspon la relació més senzilla entre el nombre d'àtoms d'un tipus i el nombre d'àtoms de l'altre en les molècules, és a dir, la relació 1:1.

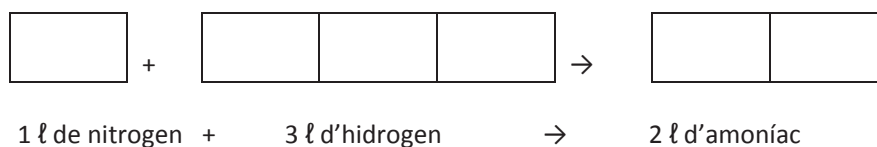
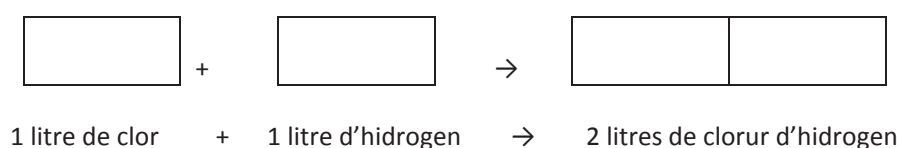
Posteriorment, la unitat de massa atòmica (uma) es va modificar, i es va triar l'àtom de carboni. Ara, vist que l'àtom de carboni és 12 vegades més pesant que el d'hidrogen, es va considerar la unitat de massa atòmica la dotzena part de cada àtom respectivament, de manera que els valors no patiren modificacions.

A.28. En descompondre aigua, comprovem que la proporció entre la massa de l'hidrogen i la de l'oxigen és 1:8. Apliqueu les idees de Dalton per a proposar la massa atòmica de l'oxigen.

Amb la hipòtesi de màxima simplicitat i prenent la massa de l'àtom d'hidrogen com a unitat, la massa atòmica de l'oxigen és 8. Es poden determinar les masses d'altres àtoms que formen compostos amb l'àtom d'oxigen i dels altres elements si es coneixen les fórmules dels compostos, però aquestes no es coneixien, perquè les fórmules empíriques es determinen a partir de l'anàlisi química si coneixem les masses atòmiques.

Com ja hem comentat, les idees científiques acceptades en un moment poden modificar-se posteriorment. La teoria atòmica és un clar exemple d'aquest caràcter temptatiu i inacabat de les teories científiques, sempre sotmeses a revisió. Els treballs i les idees d'alguns científics com Gay-Lussac i Avogadro aportaren noves dades que modificarien la teoria de Dalton.

Gay-Lussac, per exemple, es dedicà a mesurar les relacions volumètriques que s'establien en les reaccions químiques entre gasos. Alguns dels resultats de les seues experiències foren els següents: quan un volum de gas clor reacciona amb el mateix volum del gas hidrogen, en les mateixes condicions de pressió i temperatura, s'obté el doble de volum d'un únic gas, el clorur d'hidrogen. En canvi, un volum de nitrogen reacciona amb tres d'hidrogen per donar dos volums d'amoníac.



A partir de l'estudi de les relacions entre el volum dels gasos i el nombre de partícules, Avogadro enuncià la següent hipòtesi:

“Un volum de qualsevol gas, en les mateixes condicions de pressió i temperatura, conté sempre el mateix nombre de partícules.”

En realitat, aquesta hipòtesi també es dedueix de l'aplicació del model dels gasos, segons el qual les variables que determinen l'estat d'un gas són la pressió, el volum, la temperatura i el nombre de partícules:

$$f(P, V, T, N) = 0$$

Per tant, si es mantenen constants P i T , s'establirà una relació entre el volum i el nombre de partícules. Quan s'aplica el model, es dedueix fàcilment que aquesta relació ha de ser directament proporcional, és a dir, $V \approx N$, relació entre el volum i el nombre de partícules. Llavors podem determinar la quantitat de partícules a partir del model de gas, independentment del que siga.

Les investigacions d'Avogadro permeteren donar solució al problema, perquè considerà la possibilitat que les partícules constitutives d'elements com el clor o l'hidrogen no foren àtoms aïllats, sinó molècules formades per àtoms de la mateixa classe.

A.29. *Mitjançant el dibuix de les partícules, proposeu un esquema que justifique la relació volumètrica establerta experimentalment per Gay-Lussac.*



1 litre de clor + 1 litre d'hidrogen → 2 litres de clorur d'hidrogen

En utilitzar aquestes representacions icòniques no podem oblidar que la representació d'una sola partícula és una simplificació, ja que sempre n'hi ha un nombre molt elevat.

Aquests resultats obligaren a rebutjar la idea de la màxima simplicitat i, consegüentment, a revisar la fórmula dels compostos.

A.30. *Deduïu les fórmules de l'aigua i de l'amoníac, a partir de les següents relacions volumètriques entre gasos (en les mateixes condicions de P i T):*

"2 volums d'hidrogen reaccionen amb 1 d'oxigen i se n'obtenen 2 d'aigua."

"3 volums d'hidrogen reaccionen amb 1 volum de nitrogen i se n'obtenen 2 d'amoníac."

A.31. *Justifiqueu per què, una vegada aplicada la hipòtesi d'Avogadro, Dalton no va acceptar les relacions volumètriques de Gay-Lussac.*

Aquestes idees foren rebutjades per Dalton i Berzelius (autor de l'actual nomenclatura química), perquè implicaven que alguns elements (oxigen, hidrogen, nitrogen) eren binaris en estat gasós i que no es complia la regla de màxima simplicitat. Aquestes objeccions i l'escepticisme de molts químics sobre

l'existència d'àtoms va fer que aquests oblidaren la hipòtesi d'Avogadro i, per tant, no pogueren determinar les fórmules dels compostos durant quasi 50 anys. Açò va poder resoldre's en 1860, en el primer congrés internacional de química de Karlsruhe, on Cannizzaro recuperà aquesta hipòtesi, que aquesta vegada els químics estaven més preparats per a acceptar. No obstant açò, va haver-hi antiatomistes fins als darrers anys del segle XIX.

Una primera conseqüència de la modificació de les fórmules dels compostos va ser revisar la taula de masses atòmiques elaborada per Dalton. Recordem que la massa atòmica d'un element es determinava mesurant la relació entre les masses dels dos elements que formaven el compost, sempre que se'n coneguera la massa atòmica d'un i la fórmula del compost.

La comprensió d'aquests conceptes es pot completar amb senzilles activitats quantitatives com, per exemple:

“Calculeu la massa atòmica de l'oxigen, a partir de la relació entre l'hidrogen i l'oxigen, si tenim en compte la fórmula de l'aigua”. Com que reacciona 1 g de H per cada 8 g de O, llavors la massa atòmica del O són 16 uma.

“Quan cremen 5 g de sofre, s'obtenen 10 g de diòxid de sofre. Determineu la massa atòmica del sofre, si sabem que la fórmula del compost diòxid de sofre és SO_2 ”. Si 5 g de S reaccionen amb 5 g de O_2 , com que la massa atòmica del O són 16 uma, la del S seran 32 uma.

A.32. Exposeu la vostra opinió sobre la validesa actual de la teoria de Dalton.

Si analitzem les hipòtesis de Dalton a la llum dels coneixements actuals, constatarem que cap de les que va formular no és acceptable avui dia. No obstant açò, aquestes hipòtesis van ser necessàries per a construir, després, una teoria que és en la base del coneixement de la química... Una vegada més, comprovem que la ciència evoluciona a partir d'hipòtesis considerades correctes en principi, posteriorment rectificades i substituïdes per altres. En aquesta ocasió, les noves idees que van substituir la hipòtesi enunciativa per Dalton no suposaven una ruptura sinó un aprofundiment en el coneixement. Comprovem-ho amb aquesta anàlisi d'alguns dels principis de Dalton:

1. Els àtoms són indivisibles. Protó, neutró i electró són tres de les denominacions que reben algunes de les nombroses partícules que constitueixen els àtoms.
2. Els àtoms es mantenen inalterables en tot procés químic, per la qual cosa no poden transformar-se els uns en uns altres. Les reaccions nuclears han posat en evidència la possibilitat que alguns àtoms es transformen en uns altres.
3. Els àtoms d'un mateix element són tots iguals entre si. Els isòtops són àtoms d'un mateix element que es caracteritzen per posseir masses diferents. L'hidrogen, el deuteri i el triti són tres isòtops que es troben en diferents proporcions en la substància elemental que anomenem hidrogen.

A.33. Quins són els elements més abundants a l'escorça terrestre? I en l'Univers? Citeu alguns elements que formen part dels nostre cos.

A.34. Enumereu les substàncies simples que es coneixien en l'antiguitat clàssica i indiqueu els usos que se'ls donava.

L'atmosfera és una barreja de gasos que es manté vora la superfície de la Terra per l'acció de la gravetat. Tots els gasos essencials per a la vida es troben a la part més baixa de l'atmosfera. Aquesta capa inferior és denominada habitualment aire i té una composició que es manté pràcticament constant. L'aire pur i sec està format majoritàriament per nitrogen i oxigen (78 % i 21 %, en volum, respectivament). També té altres components en menor quantitat, fonamentalment els gasos nobles (heli, neó, argó...) i diòxid de carboni. El nitrogen és l'element més abundant en l'atmosfera. No obstant això, l'element més abundant de l'escorça terrestre considerada en el seu conjunt (l'escorça està formada per litosfera, hidrosfera i atmosfera) és l'oxigen. L'element que segueix en abundància és el silici (en roques i minerals). Els deu elements més abundants són: oxigen, silici, alumini, ferro, calci, sodi, potassi, magnesi, hidrogen i titani, en l'ordre indicat. Aquests elements constitueixen el 99,2 % en massa de l'escorça terrestre.

Els elements es formaren als estels a partir de protons, neutrons i electrons. En primer lloc s'haurien format l'hidrogen i l'heli, i a partir d'aquests es degueren formar els altres elements més pesants al nucli dels estels. L'hidrogen i l'heli són els elements més abundants quan es considera l'Univers com un conjunt.

La majoria d'elements es presenten en la naturalesa combinats. Els elements coneguts en l'antiguitat eren ferro, carboni, or, plata, mercuri, estany, coure, plom i sofre. D'aquests, solament el ferro es troba, com veiem, entre els primers deu elements més abundants. La major part d'aquests es troben a la Terra en estat natural, no com a compostos químics, sinó com a substàncies simples. Aquesta podria ser una raó per la qual aquests elements es troben entre els primers que la humanitat va conèixer.

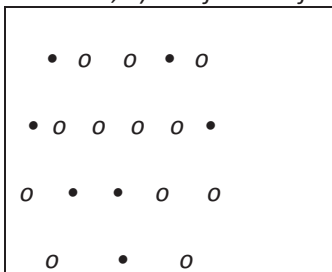
La comprensió de la química s'aconsegueix quan els científics arriben a interpretar el comportament macroscòpic experimental a partir d'explicacions microscòpiques basades en models predictius. Per completar l'estudi del canvi químic, utilitzarem el model atòmic.

Els canvis físics es poden interpretar utilitzant el model corpuscular però, com poden interpretar-se els canvis químics a partir del mateix model? Aquesta és la qüestió de què tractarem tot seguit.

A.35. Generalitzeu el model de reacció de les substàncies que reaccionen per a donar lloc a altres substàncies i descriu la diferència entre canvis físics i químics a escala corpuscular.

Es generalitza el model de reacció considerant aquest com un trencament i formació de noves partícules que es produeixen com a conseqüència dels xocs que pateixen les partícules en el seu moviment caòtic.

A.36. Supposem que el carboni (•) reacciona amb l'oxigen (o), en quantitats com les indicades en el dibuix. Representa el nombre de partícules que es formarien en els dos casos següents: a) si el compost format tinguera la fórmula CO; b) si la fórmula fóra CO₂.



Com que hi ha 7 partícules de C i 12 de O, aquesta situació els portarà en els dos casos al fet que queden algunes partícules sense reaccionar, la qual cosa suposa introduir la idea de reactiu en excés.

4. ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS: USOS I CONSEQÜÈNCIES

A.37. Esmenteu els combustibles fòssils que conegueu i expliqueu-los breument.

Es tracta bàsicament del carbó, el petroli i el gas natural. El carbó és una roca sedimentària molt rica en carboni. S'origina per descomposició de vegetals terrestres, coberts d'aigua i protegits, així, de l'aire. Existeixen diferents tipus de carbons minerals en funció del grau de carbonificació que haja experimentat la matèria vegetal originària. Aquests es classifiquen atenent al major contingut en carboni fix i major poder calorífic, mentre que en disminueixen la humitat natural i la quantitat de matèria volàtil. Atenent aquesta classificació, van des de l'antracita a la torba, passant per l'hulla i el lignit.

Entenem per gas natural la gran quantitat de gasos que, de vegades, encara que no sempre, acompanyen el petroli líquid. El desenvolupament de l'ús del gas natural s'ha produït amb posterioritat a l'ús del petroli, ja que al principi es cremava a l'eixida del pou com un residu més. La composició del gas natural depèn del seu origen i està formada principalment pels primers alcans, i el percentatge disminueix en augmentar el pes molecular. Així, el metà representa generalment entre el 75 i el 95 % del volum total de la mescla. L'età, el propà i el butà apareixen sempre en proporcions menors. Pot contenir altres gasos, com vapor d'aigua, hidrogen, nitrogen, sulfur d'hidrogen i diòxid de carboni.

El petroli brut o cru, tal com ix dels pous, té molt poques aplicacions. El petroli, inicialment, arrossega gasos, quantitats variables d'aigua salada, fangs i trossos de roca; per açò, abans de transportar-ho a les refineries, ha de patir els processos de canalització, a través de cicles per a eliminar fangs i trossos de roca, i d'estabilització, amb la finalitat de separar els gasos que s'han absorbit i les fraccions lleugeres. Com que en el petroli hi ha hidrocarburs que contenen des d'un àtom de carboni fins a 40 o més, és necessari procedir a un procés de destil·lació fraccionada, que separe les diferents fraccions del petroli: gasós (d'1 a 4 carbonis), gasolines (de 5 a 10), querosè (de 10 a 16), gasoli (de 16 a 25), fuel (de 20 a 40), residus lleugers (de 18 a 22) i residus pesants (de 30 a 40). La gasolina és la fracció del petroli de major consum com a combustible per als motors, però tan sols un 20 % aproximadament del petroli està format per

fraccions de baixa temperatura d'ebullició que poden utilitzar-se com a gasolines, i amb açò no n'hi ha prou per a la demanda existent. Per aquest motiu s'han realitzat nombrosos estudis destinats a transformar les fraccions pesants en altres de més lleugeres, així com a millorar-ne la qualitat. Açò s'aconsegueix amb el craqueig, procés que consisteix en el trencament de molècules d'hidrocarburs (a elevada pressió i temperatura en absència d'aire o amb catalitzadors i pressions i temperatures més reduïdes) d'elevada massa molecular, per a obtenir molècules menors que contenen de 5 a 8 àtoms de C.

A.38. Justifiqueu l'interès que existeix en l'actualitat pel petroli des del punt de vista tècnic, social i econòmic.

La importància dels hidrocarburs en les societats desenvolupades, com a fonts d'energia, en la indústria, com a matèries primeres en farmàcia, insecticides o fibres artificials, és de tal grau que és impossible imaginar la vida quotidiana sense el seu ús. El gas natural s'utilitza principalment com a combustible pel seu gran poder calorífic, perquè la combustió és fàcilment regulable i poc contaminant i com a matèria primera per a la fabricació d'amoníac (producte bàsic en la indústria dels adobs) i també del metanol (per a la fabricació de plàstics i proteïnes sintètiques) i d'altres matèries bàsiques en la indústria petroquímica com l'etilè, propilè, butadiè, etc.

Avui en dia coneixem més de 3.000 productes que s'obtenen a partir del petroli i el gas natural. Això ha propiciat l'aparició d'indústries petroquímiques d'elaboració i transformació d'aquests materials, per a l'obtenció de productes com plàstics, pintures, fibres acríliques, pneumàtics, manufactura del cautxú, detergents, perfumeria, dissolvents, colorants, productes farmacèutics, plaguicides, adobs, explosius, essències, etc. Amb la finalitat de poder fer front a la demanda creixent d'aquests productes, la indústria petroquímica ha hagut de passar de la simple recuperació dels productes de les refineries a operacions de producció específiques, basades en la utilització de tres matèries primeres fonamentals: a) gasos de síntesi; b) olefines; c) hidrocarburs aromàtics, obtinguts a partir del refinament del petroli.

A.39. Quins problemes creieu que planteja l'enorme desenvolupament de les indústries derivades del petroli?

El principal d'aquests problemes és l'esgotament, que els mateixos productors xifren en un termini de menys de 40 anys. Però cal no oblidar que aquestes estimacions es realitzen a partir de les dades de consum actual, sense tenir en compte el gran increment de consum que s'està experimentant en països com l'Índia o la Xina. D'altra banda, abans de l'esgotament es produiran problemes d'escassetat i encariment que poden produir crisis econòmiques com la del petroli de 1973.

Un altre problema és que estem utilitzant majoritàriament com a combustible el petroli, és a dir, el cremem, quan és una matèria primera crucial per a la fabricació de productes sintètics. No obstant açò, ens bevem l'alcohol, que és un combustible excel·lent per als motors, com es pot apreciar en molts vehicles del Brasil.

Finalment, cal assenyalar que els camps petrolífers es troben habitualment en zones allunyades dels punts de consum, per la qual cosa el petroli es transporta des dels jaciments per mitjà d'oleoductes i petrolers fins a les refineries. Entre els desastres més recents es troben l'enfonsament de l'*Exxon Valdez* a Alaska (1989), l'incendi dels pous petrolífers de Kuwait pel govern de l'Iraq en la Primera Guerra del Golf (1991), la greu pèrdua de petroli per oleoductes trencats a la tundra russa (1994) o el molt recent enfonsament del *Prestige* a les costes espanyoles.

Altres problemes de gran impacte ambiental són els que mostrem a continuació, seguint Furió i Solbes (2008).

4.1. Contaminació atmosfèrica

La contribució de l'activitat humana a la contaminació de l'atmosfera no és nova i té una llarga prehistòria que s'inicià quan es va començar a utilitzar el carbó com a combustible en el segle XIV. L'augment de consum dels combustibles per a la indústria, a les grans concentracions humanes de les ciutats i per l'aparició dels vehicles de motor, ha empitjorat el problema any rere any. Qualsevol substància que, afegida a l'atmosfera, produïska un efecte apreciable sobre la població i el seu entorn es pot qualificar de contaminant. Estudiarem la pol·lució de l'aire fent referència a les fonts principals de contaminació i als efectes sobre el medi ambient produïts per aquesta.

A.40. *Esmenteu alguns contaminants de l'aire.*

Els gasos produïts per una societat industrial i alliberats a l'atmosfera es coneixen com a contaminants primaris de l'aire. Els contaminants secundaris de l'aire són aquells que es produeixen mitjançant reaccions químiques entre els contaminants primaris o amb altres components de l'atmosfera. Els principals contaminants primaris de l'aire són: òxids de sofre, òxids de nitrogen, monòxid de carboni, hidrocarburs i macropartícules.

1r. Macropartícules. A més dels contaminants gasosos, l'aire pot tenir partícules de sòlids i líquids suspeses i disperses. A les macropartícules es deu l'aspecte nebulós i bromós de l'aire contaminat. Algunes d'aquestes prenen la forma de vertaders aerosols i apareixen com a boira o rosada, i altres adquireixen la forma de fums sòlids, pols o cendres. Estan constituïdes per una gran varietat de substàncies formades per ions dels elements Al, Ca, Fe, Pb, Mg, Na combinats amb ions nitrat, sulfat i clorur; algunes també contenen compostos orgànics, àcids sulfúric i nítric. La major part de Pb en macropartícules prové dels additius d'alquil de plom que s'afegeix a les gasolines per millorar-ne l'índex d'octans. La combustió de carburants fòssils i, sobretot, del carbó a les plantes d'energia elèctrica emet una gran part de macropartícules. També procedeixen d'incendis forestals, de la fabricació de ferro i acer, la producció de ciment, l'extracció i la producció de roques i minerals, l'elaboració de polpa i paper.

2n. Òxids de sofre (SO_2 i SO_3). La major font d'òxids de sofre la constitueix la combustió de carbó (lignits) i petroli a les plantes generadores d'electricitat. Tots dos materials contenen petits percentatges de sofre, en gran part en forma de minerals. Els processos siderúrgics constitueixen una altra font principal d'òxids de sofre. La major part del SO present en l'aire contaminat es converteix en SO_3 . Els òxids de sofre s'eliminen de l'aire mitjançant la seua conversió en àcid sulfúric i sulfats. En aquesta forma es dipositen sobre la terra o al mar a causa de la pluja o sedimenten en forma de macropartícules.

3r Òxids de nitrogen (NO i NO_2). Es produeixen, principalment, als motors de combustió interna, on s'aconsegueixen elevades temperatures i així es facilita la reacció entre el nitrogen i l'oxigen abundants en l'aire. En l'aire el NO produït s'oxida lentament a NO_2 . Els mitjans de transport (camions, cotxes i avions, entre altres) són font important d'òxids de nitrogen; també es produeixen en els incendis forestals i les cremes agrícoles. La majoria d'aquests òxids es converteixen en àcid nítric i nitrats. En aquesta forma es dipositen sobre la terra o el mar a causa de la pluja o sedimenten com a macropartícules.

4t. Hidrocarburs. La principal font de contaminació per hidrocarburs són, també, els vehicles de transport. La major producció d'aquests es deu a les activitats de la indústria petrolera. Els automòbils, a través del tub d'escapament, aboquen quantitats d'hidrocarburs volàtils, com l'etilè o el propilè que hi ha en el combustible i no arriben a cremar-se.

5è. Monòxid de carboni. Es produeix quan el carbó o altres combustibles orgànics pateixen una combustió incompleta per falta d'una bona ventilació. Més del 90 % del monòxid de carboni que hi ha en l'atmosfera prové dels automòbils. Altres fonts de CO són els incendis forestals i d'edificis, la combustió de deixalles sòlides i les cremes agrícoles.

A.41 Quins efectes tenen aquests gasos i macropartícules en els éssers vius i en les ciutats?

Se sap que la contaminació de l'aire té un paper molt important en els trastorns cardíacs i pulmonars crònics. Certs gasos (entre els quals el SO_2 , O_3 , NO_2) ataquen directament els teixits del pulmó. Els òxids de sofre i nitrogen poden inhibir el creixement de plantes i ser letals per a algunes. Les fulles es moren i s'assequen quan les plantes hi queden exposades durant llargs períodes. Els nivells de contaminació amb macropartícules es relacionen directament amb malalties respiratòries.

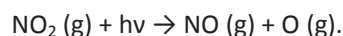
El CO actua reduint la capacitat de la sang per a transportar oxigen a través del cos. En efecte, el CO forma un complex molt més estable amb l'hemoglobina que el format amb l'oxigen. Concentracions no gaire altes poden causar maldecaps, fatiga, estat de coma i fins la mort (400-500 ppm). Des de 1975, el principal mètode per a reduir l'emissió de CO ha sigut la instal·lació de convertidors catalítics als cotxes. Els cotxes equipats amb aquests convertidors han d'utilitzar gasolina sense tetraetilplom (gasolina sense plom), ja que aquest producte pot enverinar el catalitzador i deixar-lo inactiu.

L'efecte advers dels contaminants sobre els materials de construcció és evident quan s'observa que els edificis es cobreixen de sutge i que les estàtues de les ciutats a tot el món (en particular, les de marbre i de pedra calcària) es van corroint per l'atac dels àcids que hi ha en aquests ambients contaminats. Aquest darrer efecte es coneix com el *mal de la pedra*.

4.2. Boirum (*smog*) fotoquímic

A.42. Què enteneu per boirum?

Molts dels contaminants que entren a l'atmosfera pateixen reaccions subseqüents que produeixen espècies encara més perjudicials. Un exemple important el constitueix la seqüela de reaccions involucrada en la formació del boirum (*smog*) fotoquímic. La formació del boirum s'inicia per la descomposició fotoquímica del NO₂ segons la reacció:



La major part dels àtoms d'oxigen produïts reaccionen amb molècules d'oxigen per produir ozó, un dels components principals del boirum fotoquímic. Les molècules d'ozó, els àtoms d'oxigen i les molècules d'òxid nítric reaccionen amb els compostos orgànics existents en l'aire i produeixen els components del boirum: òxids de nitrogen, monòxid de carboni, ozó, hidrocarburs, aldehyds, cetones i una gran varietat de compostos orgànics. Aquest boirum de tipus fotoquímic es forma en dies assolellats, quan els contaminants s'acumulen durant una inversió de temperatura. La inversió es produeix quan una capa d'aire tebi queda atrapada entre la massa d'aire fresc i l'aire encara més fresc de les altures.

L'altra classe de boirum és l'anomenat "tipus Londres", que es forma quan els contaminants, especialment macropartícules i òxids de sofre, s'acumulen en masses d'aire fresc, humit i estancat, característiques del temps hivernal.

A.43. Expliqueu quins poden ser els efectes del boirum.

La contaminació de l'aire afecta directament els sentits de la vista, de l'olfacte i del gust. La reduïda visibilitat provocada per l'absorció i la difusió de la llum per les partícules suspeses és, potser, l'efecte més obvi. La irritació dels ulls és una característica familiar del boirum fotoquímic. S'han identificat diverses substàncies lacrimògenes (acroleïna, formaldehid, nitrat de peroxiacetil). Aquests i altres compostos orgànics també poden produir l'olor d'acre i la sensació de cremat en els òrgans del gust, que acompanya el boirum i el fum. Les collites de productes que van des dels enciams fins a les faves i les taronges

pateixen perjudicis per certs components del boirum, notablement per l'ozó i pel nitrat de peroxiacetil.

4.3. Pluja àcida

A.44. Un dels problemes dels països industrialitzats és el de la pluja àcida. Expliqueu a què es deu aquest fenomen i escriviu, almenys, dues de les reaccions químiques que tenen lloc en l'atmosfera quan es produeix aquest fenomen.

La pluja no és mai neutra. És una solució aquosa en equilibri amb els gasos atmosfèrics, en particular amb el diòxid de carboni, segons les següents reaccions:



En condicions normals, predomina la reacció (1) i fixa el pH de la pluja en un valor de 5,6. L'acidesa de l'aigua de pluja comença a ser preocupant quan el pH és inferior a aquest valor. Llavors parlem de pluja àcida. En general, s'admet que aquesta acidificació es deu a l'oxidació del SO_2 i dels òxids de nitrogen i posterior reacció amb l'aigua produint àcids sulfúric i nítric. La importància relativa de la contribució de cadascun d'aquests àcids al contingut de la pluja àcida (que sol ser de 70 % d' H_2SO_4 i 30 % de HNO_3) no és constant. Els òxids de sofre i nitrogen poden desplaçar-se a considerables distàncies abans de combinar-se amb l'aigua i precipitar-se en forma d'àcids i fan que el problema creat en uns països siga patit també en països veïns.

La pluja àcida és la responsable de l'acidificació dels llacs i rius. Aquest fenomen es va detectar inicialment fa unes dècades en alguns llacs de països escandinaus que van perdre la seua fauna piscícola a causa de la pluja àcida de grans masses d'aire contaminat per la combustió del carbó procedents de la conca del Ruhr a Alemanya. Una cosa semblant pot dir-se d'algunes parts del Canadà i els EUA. Sembla que el dany en aquells llacs va ser a causa de la solubilització produïda pels àcids de cations metàl·lics tòxics (especialment d'alumini) existents al sòl. Per exemple, els ions H^+ de la pluja àcida poden reaccionar amb compostos d'alumini insolubles (silicats) i produir Al^{3+} en dissolució. Aquests ions no solament se suposa que són perjudicials per als arbres i els animals aquàtics que els absorbeixen sinó que, com que són espermicides, van fent que desaparega

la vida en aquests llacs contaminats. Quant als boscos, els primers símptomes de problemes en els arbres es van detectar als boscos d'Europa Central.

Les aigües àcides poden desprendre el coure de les canonades. Hi ha xiquets del sud-oest de Suècia que han contret diarrea pels alts nivells de coure en l'aigua acidificada emprada per al consum. A més, la pluja àcida ha causat danys directes a estructures arquitectòniques i ha provocat el deteriorament de monuments tan famosos com el Partenó i el Taj Mahal.

A.45. La majoria de les estàtues de marbre exposades al medi ambient estan deteriorades a causa de la pluja àcida. Expliqueu el procés que hi té lloc.

A.46. L'emissió de SO_2 en una central termoelèctrica és de 5 t/h. Suposant que aquest SO_2 es transforme completament en àcid, quantes tones d'àcid sulfúric, (H_2SO_4), s'obtindran en un dia de funcionament d'aquesta central?

4.4. Increment de l'efecte hivernacle

A.47. Què succeeix amb la radiació del Sol que incideix sobre la superfície terrestre?

Pràcticament la totalitat de l'energia del nostre planeta procedeix del Sol, uns $1395 \text{ J/s}\cdot\text{m}^2$ (com hem vist en el tema anterior). Si la Terra només absorbira la radiació solar, la seua temperatura estaria augmentant contínuament, però açò no succeeix així perquè la Terra també irradia energia a l'espai.

El balanç entre la potència absorbida i la potència emesa per la Terra ens permet calcular la temperatura mitjana de la Terra. En els anys 80 els científics van descobrir que la temperatura mitjana del planeta s'havia incrementat quasi en un grau l'últim segle i que el nivell del mar havia pujat entre 10 i 15 cm en el mateix període.

A.48. A què pot ser degut l'increment de la temperatura mitjana de la Terra des de 1800?

La principal causa d'aquests problemes es deu al fet que, amb la Revolució Industrial, la concentració de diòxid de carboni (CO_2) en l'atmosfera ha

augmentat en un 25 %, des de 280 parts per milió en volum (ppmv) l'any 1800 a 360 ppmv en l'actualitat. Aquest increment és fruit de l'activitat humana, especialment a través de les reaccions de combustió de petroli, carbó i gas natural utilitzades com a combustibles en les indústries, els automòbils, avions, les centrals elèctriques tèrmiques, etc., sense oblidar la que procedeix dels incendis forestals, que han augmentat espectacularment en els últims anys. Açò contribueix a incrementar el problema, atès que els boscos i els oceans absorbeixen unes 1.500 milions de tones de CO_2 a l'any. Però la humanitat produeix uns 6.000 milions de tones a l'any, que cal afegir als 170.000 milions de tones acumulades des de la Revolució Industrial.

La contribució del diòxid de carboni a l'escalfament global s'explica de la forma següent. La Terra rep energia procedent del Sol. Aquesta energia cobreix un ample espectre de longituds d'ona, que van des de l'ultraviolat (UV), passant pel visible fins a l'infraroig (IR). Una part d'aquesta energia es reflecteix i una altra s'absorbeix per la Terra, que torna a emetre-la en forma de radiacions IR. Part d'aquesta radiació és absorbida per l'atmosfera abans d'eixir a l'espai exterior. El CO_2 absorbeix radiació IR i actua com els vidres o els plàstics d'un hivernacle impeding la pèrdua de calor a l'exterior. En aquest procés s'acumula energia i com major és la quantitat de CO_2 , major és l'energia atrapada, per la qual cosa aquest fenomen se'l denomina *efecte hivernacle*. A més de CO_2 , hi ha altres gasos que contribueixen a aquest efecte hivernacle, com el metà, els clorofluorocarbonis, que també produeixen la disminució de la capa d'ozó, i els òxids de nitrogen.

Aquestes investigacions han posat de manifest que el present canvi climàtic es pot atribuir a l'activitat humana, que se suma a la variabilitat natural del clima, deguda, entre altres causes, a l'increment de la radiació solar.

A.49. Quines poden ser les conseqüències de l'increment de l'efecte hivernacle?

S'ha predit que, si continuen les tendències actuals, el nivell de CO_2 a l'atmosfera es duplicarà en 50 anys. Açò donaria com a resultat un augment global de la temperatura del planeta entre 1,5 °C i 4,5 °C, segons prediuen diferents models científics, abans d'arribar a la meitat d'aquest segle. Aquest canvi produiria la fusió de la capa de gel de les zones amb gels perpetus (a l'Antàrtida, Groenlàndia, glaceres de la muntanya, etc.), amb la consegüent elevació del nivell de la mar, que podria inundar o submergir moltes ciutats costaneres del món i illes del Pacífic. També està causant un increment en el

nombre d'huracans (per l'escalfament dels oceans, la qual cosa, unida al desglaç, també està afectant els corrents oceànics), pluges torrencials, inundacions, sequeres i altres canvis, que poden colpir àrees agrícoles productives, amb el perill de manca d'aliments.

L'opinió pública i els mitjans de comunicació solen atribuir la responsabilitat del canvi climàtic, i de la contaminació en general, a la ciència i la tècnica. Però, com hem vist abans, la ciència ha contribuït a observar el canvi climàtic i a tractar d'explicar-lo, així com denunciar els efectes que pot produir i a proposar-hi solucions. Abans de la cimera de Kyoto (1992), 1.500 científics de renom de 63 països, entre els quals 98 premis Nobel de Ciències (només n'hi havia 171 vius) van signar un manifest en el qual demanaven als líders polítics de tot el món que es limitara l'emissió de diòxid de carboni dels seus països per tal de prevenir les conseqüències devastadores de l'escalfament global. En aquest manifest es deia que en 25 anys faria falta millorar molt l'eficiència energètica i substituir els combustibles fòssils per energies renovables, com la solar i l'eòlica. Però, com vam poder comprovar en aquella reunió de Kyoto, els polítics del primer món, especialment dels Estats Units que, amb un 5 % de la població mundial, són responsables de l'emissió d'un 25 % del CO₂ (uns 1.400 milions de tones anuals), no van estar disposats a fer cas ni als científics ni a les organitzacions ecologistes. I aquests polítics es comporten així perquè les grans empreses transnacionals dels seus països (especialment les petroleres i automobilístiques) pensen que la reducció d'emissions de CO₂ perjudica els seus interessos a curt termini.

5. LA QUANTITAT DE SUBSTÀNCIA I EL MOL (Opc)

Un dels problemes bàsics de la Química és saber quina massa de reactius és necessària per a obtenir una massa predeterminada de producte; o, al contrari, esbrinar quina massa de producte s'obté a partir de la massa dels reactius. Com que les reaccions químiques són combinacions entre partícules, la massa de les substàncies que intervenen en una reacció dependrà, lògicament, del nombre de partícules; per açò, conèixer aquesta dada és imprescindible. Ara bé, vista la grandària infinitesimal d'aquestes partícules, la seua comptabilitat directa resulta impossible, per la qual cosa s'ha d'introduir una nova magnitud, la quantitat de substància (i la seua unitat, el mol) que permetrà explicar macroscòpicament les partícules (àtoms, molècules, etc.).

A.50. *Imagineu que tenim un sac amb boles de plàstic totes igual de menudes. Expliqueu el procediment més ràpid de comptar-les.*

A.51. *Ara disposem de boles minúscules, les unes, blanques; les altres, grogues. Si la massa de les boles blanques és el doble que la massa de les grogues, contesteu què haurem de fer per disposar de:*

- a) el mateix nombre de boles blanques que grogues;*
- b) el doble de boles grogues;*
- c) el doble de boles blanques.*

Es realitzen aquestes activitats perquè alguns estudis (Novick *et al.*, 1976; Cervellati *et al.*, 1982; Duncan *et al.*, 1973) revelen que els principals errors dels estudiants són considerar el mol com una certa massa, com un nombre determinat de partícules de gas.

La resolució del problema del coneixement del nombre de partícules que intervenen en les reaccions es pot realitzar microscòpicament mitjançant $m=N \cdot Ar$, on m és la massa de la substància, N el nombre de partícules i Ar , la massa atòmica o, macroscòpicament, $m=n \cdot M$, on n és la quantitat de substància i M , la massa molar (d'un mol de partícules).

La IUPAC (Unió Internacional de Química Pura i Aplicada) va definir el mol en 1967 així: "Mol és la quantitat de substància d'un sistema que conté tantes entitats elementals com a àtoms hi ha en 0,012 kg de ^{12}C ".

A.52. *Determineu el nombre de mols que hi ha en:*

- a) 10 g d'àtoms d'hidrogen;*
- b) 10 g d'hidrogen gasós (H_2);*
- c) 20 g de ferro (Fe);*
- d) 2 g d'amoníac (NH_3).*

El nombre d'entitats que corresponien al mol es va determinar per diversos procediments i es va obtenir el valor $6,023 \cdot 10^{23}$ partícules/mol, nombre que rep el nom de constant d'Avogadro. Aquest nombre és enormement gran i per açò l'alumnat té problemes per a comprendre'l, igual que li succeeix amb les escales espacials o temporals de l'Univers (o del sistema solar), sobre les quals s'han realitzat activitats en el tema 1 o amb el temps geològic, que s'abordarà en el tema 4. Se'n pot facilitar la comprensió veient que es necessiten 75 anys, una vida humana mitjana, per a comptar (a un ritme d'una partícula per segon)

2.400 milions. En tota la història del gènere *Homo* (uns 2 milions d'anys), només es podrien haver comptat 4.800 bilions ($4,8 \cdot 10^{15}$ s). Un nombre d'Avogadro no es podria haver explicat ni amb tot el temps de l'Univers (42.574 trilions de segons, és a dir, $4,3 \cdot 10^{22}$ s). Les potències de 10, la notació científica, ens faciliten el treball amb aquests nombres. Aquest nombre permet comprendre la menudesa de l'àtom: en 12 g de grafit (la mina d'un llapis) hi ha $6,023 \cdot 10^{23}$ àtoms de C. Per açò és convenient exercitar-se realitzant activitats com les següents:

A.53. Indiqueu el nombre d'entitats elementals contingudes en un ml d'aigua.

Capítol 4

EL CANVIANT PLANETA TERRA

Explicar l'edat, estructura i composició de la Terra així com la seua dinàmica, especialment la formació de valls i muntanyes o catàstrofes naturals com terratrèmols, volcans, etc. han sigut problemes que ha afrontat la geologia. El tema es pot plantejar des d'una perspectiva global per arribar a la local o viceversa (Alfaro, 2008). Seguint a diversos autors (Anguita *et al.*, 2008; Ganten *et al.*, 2004) optarem per la perspectiva global, però concretant en problemes o riscos (sismicitat, vulcanisme) locals (Pedrinacci, 2008; Alfaro, 2008). Els aspectes històrics es poden trobar en Gould (1992) i, més recentment, en Pascual (2003). El tema es desenvolupa amb el següent fil conductor:

1. Com sabem l'edat de la Terra?
2. Com coneixem l'estructura i composició de la Terra?
3. Teoria de la deriva continental
4. Expansió del fons oceànic
5. Teoria de la tectònica de plaques
6. Capes fluides de la Terra
 - 6.1. Atmosfera i meteorologia
 - 6.2. Hidrosfera
 - 6.3. Aigua dolça

1. COM SABEM L'EDAT DE LA TERRA?

Fins al segle XVII ha prevalgut en Occident, per raons religioses, l'opinió que la Terra és jove i que la principal catàstrofe geològica va ser el diluvi universal. A partir de la interpretació literal de la Bíblia, l'arquebisbe Usher va deduir en el segle XVII, calculant les generacions des d'Adam i Eva, que la Terra havia sigut creada el 24 d'octubre de 4004 a. de C.

A1. Quina edat creieu que té la Terra? Coneixeu algun mètode per a determinar-la?

En el capítol 1, "La Terra en l'Univers", s'ha vist l'edat d'aquesta i els estudiants poden deduir que l'edat de la Terra ha de ser menor. Però una cosa és conèixer una dada i una altra és comprendre-la. És el que es coneix com el problema del temps geològic, l'aclariment del qual va ser molt costós fins i tot per a la ciència mateixa (Gould, 1992). Per tot açò, en el transcurs de la història de la ciència hi ha hagut un fort debat sobre l'edat de la Terra (Holton i Brush, 1976; Jiménez-Aleixandre, 2005), relacionat amb els diversos mètodes per a estimar-la, que presentem tot seguit.

En el segle XVIII Buffon va considerar que la Terra va estar més calenta en els seus inicis. A partir d'experiències sobre esferes de ferro i altres substàncies, va proposar una edat d'uns 75.000\$ anys, però en 1751 va ser condemnat per la Facultat de Teologia de la Sorbona i obligat a retractar-se. James Hutton, en la seua *Teoria de la Terra* (1795), va afirmar que el foc subterrani havia existit des de la formació de la Terra i que encara continuava existint, la qual cosa li permetia explicar els volcans i altres fenòmens relacionats. Va proposar un esquema cíclic, amb períodes d'erosió de les muntanyes, seguits de la sedimentació i de la formació de noves muntanyes pels focs interns. Charles Lyell, en els *Principis de geologia* (1830), sosté que els fenòmens geològics han d'explicar-se utilitzant només els processos que ara poden observar-se, idea denominada uniformisme, que s'oposa als successos catastròfics com el diluvi universal. Això feia necessària una edat de la Terra de l'ordre de centenars de

milions d'anys, cosa en la qual coincidia amb Darwin, que els necessitava per a l'evolució.

El físic William Thomson (Lord Kelvin), autor del segon principi de la termodinàmica i de l'escala de temperatura que porta el seu nom, va calcular aquesta edat basant-se en la teoria de la conducció de la calor de Fourier. Afirmava que la Terra s'havia anat refredant des d'una situació inicial d'incandescència. A partir de l'augment de temperatura a mesura que s'aprofundeix a l'interior de la Terra (gradient geotèrmic, 1 °C cada 33 m) i de la conductivitat de l'escorça, i suposant que la temperatura de l'interior era la de fusió de les roques (de 4.000 a 6.000 °C), va calcular el temps que havia tardat a refredar-se, és a dir, la seua edat. Va obtenir un valor de 24 milions d'anys, que coincidia amb el temps que el Sol podia haver estat il·luminant la Terra, suposant que la seua font d'energia fóra la contracció gravitatòria (l'única coneguda possible en el segle XIX). Açò va fer que els naturalistes hagueren de reconsiderar el temps necessari perquè es formaren el relleu i els éssers vius, ja que Kelvin aportava dades i càlculs i la majoria va considerar que tenia raó.

El descobriment per Marie i Pierre Curie de la desintegració dels elements radioactius, que generen calor a l'interior de la Terra i que pot compensar la pèrdua per conducció, va modificar a l'alça els càlculs sobre l'edat del planeta. D'altra banda, les reaccions nuclears permeten que el Sol haja radiat energia durant milers de milions d'anys. Tots dos fets van acabar per donar la raó als naturalistes. Finalment, la radioactivitat ha proporcionat el mitjà per a calcular l'edat dels materials terrestres. Així, el potassi 40 (amb un període de semidesintegració de $1,26 \cdot 10^9$ anys) i l'urani 238 ($4,5 \cdot 10^9$ anys) amb semivides comparables a l'edat de la Terra (que avui dia s'estima en 4.500 milions d'anys), poden emprar-se per a establir l'edat de mostres geològiques. El carboni 14 (^{14}C), el període del qual és de 5.730 anys, s'empra per a mostres biològiques. Ja que els organismes vius intercanvien contínuament diòxid de carboni amb l'atmosfera, la seua proporció $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ és la mateixa que l'atmosfèrica. Però quan l'organisme mor, deixa d'absorbir ^{14}C , de manera que el quocient $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ disminueix contínuament a causa de la desintegració del ^{14}C . Per tant, una mesura de la velocitat de desintegració per gram de carboni ens permet el càlcul de l'època en què va morir l'organisme i datar així de forma absoluta restes orgàniques amb un marge d'error del 2 %.

A.2. Utilitzant un calendari, els dotze fulls del qual s'hauran distribuït en la paret de l'aula, marqueu-hi les eres geològiques i els seus períodes, i situeu-hi moments importants com: origen de la vida, plantes verdes, primers peixos, amfibis etc., la Gran Extinció del permíà, l'extinció dels dinosaures, els primers homínids.

L'objectiu d'aquesta activitat i de l'anterior és que l'alumnat treballi amb la idea del temps geològic, un concepte que presenta serioses dificultats d'aprenentatge, perquè implica processos que tenen lloc al llarg de milions d'anys, molt majors que l'escala de la vida humana. Es pot utilitzar qualsevol llibre en el qual apareguen les eres i la cronologia dels principals esdeveniments de la vida en la Terra. Encara que els noms dels períodes són difícils de recordar, hi ha una frase en anglès que ho facilita considerablement: “**Camels ordinarily sit down carefully, perhaps their joints creak**”. D'aquesta, n'ixen en ordre cronològic tots els períodes: càmbric, ordovicià, silúria, devonià, carbonífer, permíà (de l'era paleozoica) i triàsic, juràssic i cretàic (de la mesozoica).

Com que la Terra existeix des de fa 4.500 milions d'anys, es constata que un dia del calendari suposa 12,3 milions d'anys i una hora 0,51 milions d'anys. Els bacteris apareixen fa uns 3.500 Ma, és a dir, apareixen cap al 22 de març; les primeres cèl·lules nucleades existeixen fa 2200 Ma, en conseqüència, apareixen el 5 de juliol; els éssers pluricel·lulars fa 700 Ma, o siga, el 4 de novembre; *Homo habilis* es remunta a fa només 2 Ma, és a dir, apareix a les 20 hores del 31 de desembre. Com deia Sagan (2006), la història humana comença amb les campanades d'any nou. Açò ajuda a visualitzar la idea del temps geològic.

Altres autors (Jiménez-Aleixandre, 2005) proposen la visualització mitjançant una escala mètrica en paper sobre la paret, en la qual es poden situar eres i esdeveniments, la qual cosa suposa utilitzar l'espai com a representació o analogia del temps, però ja hem utilitzat escales espacials per a representar les distàncies del sistema solar en el capítol 5 i no convé reiterar les activitats.

2. COM CONEIXEM L'ESTRUCTURA I COMPOSICIÓ DE LA TERRA

Les primeres idees sobre l'estructura de la Terra provenen dels estudis de Cavendish sobre la densitat d'aquesta.

A.3. Calculeu la densitat mitjana de la Terra i compareu-la amb la del granit (2,2 g/cc), una roca molt comuna en la superfície de la Terra. ($R = 6370 \text{ km}$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$)

En el primer tema hem vist que la llei de gravitació universal és $F = GMm/r^2$. Si tenim en compte que en la superfície $r=R$ i $F=m \cdot g$ i com que $M=d \cdot V=d \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^3/3$, sent d la densitat mitjana de la Terra. Substituint, tenim que $d=3 \cdot g/G \cdot 4 \cdot \pi \cdot R$, en conseqüència, $d=5,5 \text{ g/cm}^3$. És fàcil deduir, doncs, que en l'interior de la Terra han d'existir altres materials més densos que els de la superfície i que, en conseqüència, el planeta no és homogeni (Anguita *et al.*, 2008).

A.4. És possible el Viatge al centre de la Terra que descriu Jules Verne, en el qual els protagonistes penetren per un volcà islandès, arriben a un mar interior en el qual subsisteixen dinosaures i isquen a l'exterior en una explosió del Vesuvi?

Encara que en l'època en què es va escriure la novel·la subsistia la idea d'una Terra amb grans cavitats, l'enderroc de les quals era la causa dels terratrèmols, el viatge és impossible, perquè es produeix un increment de temperatura amb la profunditat (Ganten *et al.*, 2004).

Però així com altres ficcions de Verne ja s'han realitzat, com el viatge a la Lluna o a les profunditats oceàniques, aquest no s'ha pogut portar a terme; només s'ha aconseguit, en les perforacions més profundes, arribar als 12 km de profunditat. Malgrat que els éssers humans no podem realitzar el viatge de Verne, sí que ho fan les ones sísmiques originades en els terratrèmols que travessen l'interior del planeta. Per a entendre com aquestes ens donen informació sobre les estructures internes de la Terra, convé comprendre aquestes ones.

A.5. Un model de moviment ondulatori ha d'explicar, en primer lloc, com es produeix i com es propaga una ona en un medi, com un moll o slinky. Suggestiu, a manera d'hipòtesis qualitatives, possibles respostes a aquests problemes. Com es poden moure les partícules del medi i com es mou la pertorbació?

Els alumnes indiquen que la pertorbació es pot propagar gràcies a la transmissió de les vibracions del focus a les partícules adjacents del medi que es posen també a vibrar. El procés continua i permet que la pertorbació originada en el focus es propague pel medi, necessari per a la transmissió de les ones mecàniques. La vibració pot ser paral·lela o perpendicular a la propagació, la qual cosa permet distingir les ones longitudinals i transversals.

A.6. Hem vist com en una ona no hi ha transport net de matèria. Què es propaga llavors?

A.7. Raoneu si les ones sonores, que es propaguen en un medi com l'aire, són longitudinals o transversals. En quin medi poden propagar-se i amb quina velocitat (recordeu l'exemple dels indis escoltant en els rails del tren)?

Es propaga la vibració, és a dir, energia. Com que el so es propaga en gasos, líquids i sòlids, es tractarà d'una ona longitudinal, és a dir, successives compressions i enrariments del medi. Les ones transversals necessiten un medi en què les partícules estiguen unides, perquè puguin transmetre la vibració, és a dir, no es propaguen en líquids o gasos. La velocitat del so és major en els sòlids, o siga, depèn de la densitat del medi (en l'aire, l'aigua i l'acer les velocitats són al voltant de 340, 1.500 i 5.000 m/s, respectivament).

A.8. En els terratrèmols, com es pot veure en la il·lustració, es propaguen dos tipus d'ones, les P o primàries (arriben abans als sismògrafs) i les S o secundàries (que arriben després). A més, tenim les ones superficials, que es propaguen només per la superfície i produeixen els efectes destructius. Es comprova que les S no es propaguen en el nucli de la Terra. Què ens prova sobre la naturalesa d'aquestes ones i l'estat del nucli?

A.9. En la gràfica de la segona il·lustració s'aprecia que la velocitat de les ones augmenta bruscament a uns 30 km, la qual cosa es coneix com a discontinuïtat de Mohorovicic, el seu descobridor. Què més s'observa en augmentar la profunditat? Què ens diu això sobre l'estructura interna de la Terra?

En la primera activitat podem provar que les ones sísmiques S són transversals i les P longitudinals, i la no-propagació de les primeres va permetre als geofísics descobrir que el nucli extern es trobava en estat de fusió. En la següent activitat veiem que la velocitat canvia a uns 670 km de profunditat, després que les P redueixen bruscament la velocitat a uns 2.900 km (discontinuitat de Gutenberg) i les S no es propaguen i, finalment, que a uns 5.100 km les ones P augmenten la velocitat (discontinuitat de Lehmann). Els canvis de velocitat ens indiquen que canviem de capa i que la densitat d'aquesta augmenta, perquè augmenta la velocitat.

La discontinuïtat de Moho indica la separació entre l'escorça i el mantell superior, el canvi de pendent a la separació entre aquest i el mantell inferior. La discontinuïtat de Gutenberg ens marca el canvi al nucli extern fos (a uns 3.500 °C i 140 GPa (unes 1.400.000 atm) i la de Lehmann, al nucli intern, possiblement sòlid, malgrat les elevades temperatures, per la grandíssima pressió que allí regna. El moviment d'ions de metalls al nucli líquid es considera la causa del magnetisme terrestre.

A més de la densitat de les capes obtinguda a partir de la velocitat de les ones, els meteorits poden servir-nos per a aprofundir en el coneixement de l'estructura interna de la Terra. En efecte, els meteorits es divideixen clarament en dos grups: els *ferrosos* i els *petris*; els ferrosos representen al voltant del 15 % del total; els petris es componen en la seua major part d'olivina.

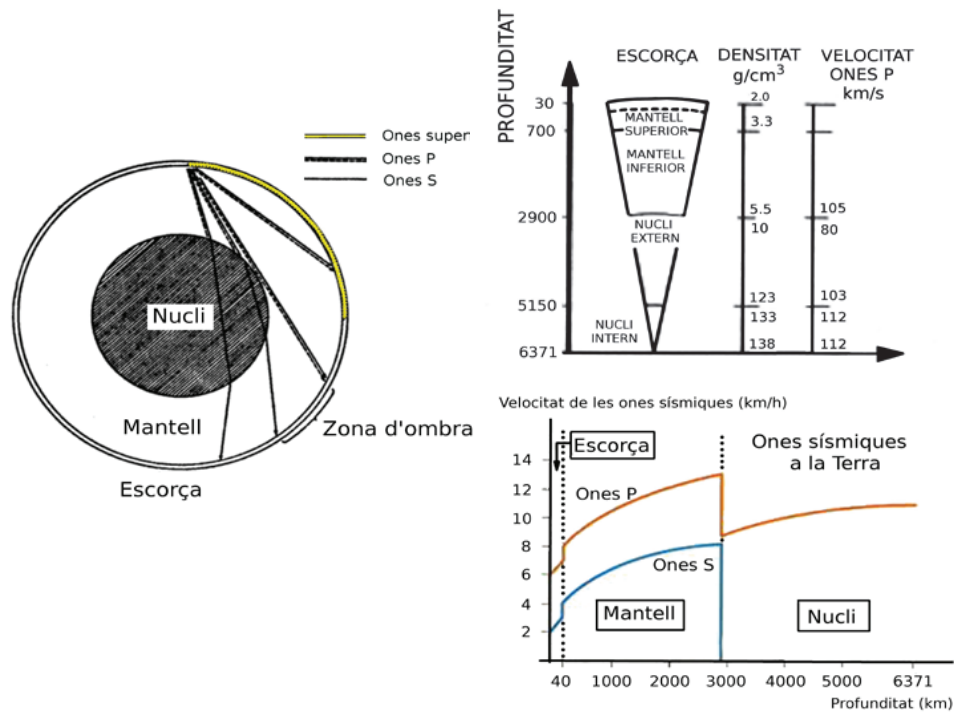


Fig. 1. Capes de la Terra i velocitat de les ones en les mateixes

A.10. Què proven els meteorits sobre la composició de les capes terrestres?

Si els càlculs assenyalen que la densitat mitjana de la Terra era de $5,5 \text{ g/cm}^3$ i que les roques de la superfície terrestre se situaven entre 2 i 3 g/cm^3 , és necessari suposar un nucli dens a la Terra. D'altra banda, si la Terra es va formar per accreió de meteorits, aquests són una bona mostra de les substàncies que formen els planetes. En conseqüència, gràcies als elements obtinguts dels meteorits i a la densitat de les capes calculada a partir de la v de les ones, s'ha pogut proposar un model de la Terra amb un nucli de ferro envoltat d'una capa de silicats de ferro i magnesi.

3. TEORIA DE LA DERIVA CONTINENTAL.

Al llarg de la història s'han proposat diferents teories per explicar els processos geològics, en particular, l'origen de les majestuoses muntanyes. A continuació es descriuen tres teories que han tingut influència en la història de les ciències. Malgrat que avui en dia les dues primeres estan descartades, han suposat aproximacions successives fins que s'ha arribat a la síntesi acceptada actualment.

1. Teoria fixista, que arranca de la interpretació literal de la Bíblia, segons la qual la Terra és estàtica i immutable. Les muntanyes i les valls són ací des del principi, que és recent.
2. Teoria contraccionista, que planteja que la Terra s'estava contraient en refredar-se i com a conseqüència de la contracció es produïen grans plegaments, a manera d'arrugues, en l'escorça.
3. Teoria mobilista amb dues línies, els verticalistes, que només accepten moviments en la vertical de l'escorça terrestre i els horizontalistes, que, a més, admeten desplaçaments horitzontals.

El principal partidari d'aquests moviments era el meteoròleg alemany Alfred Wegener, que va afirmar que els continents s'han desplaçat lentament fins a assolir la geografia actual i que els continents actuals són fragments de masses d'un supercontinent format ancestralment.

Aquesta atrevida hipòtesi és la deriva continental, desenvolupada en 1915 en el seu llibre *L'origen dels continents i oceans*.

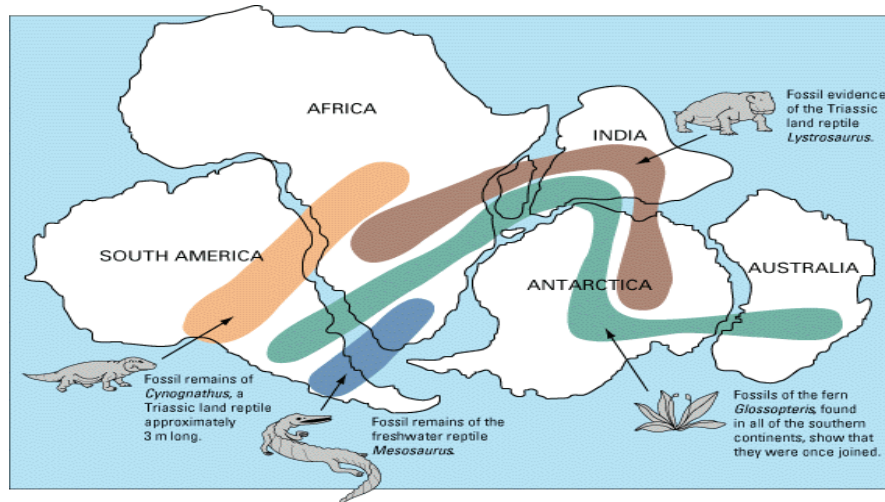


Fig.2. Teoria mobilista de la deriva continental

A.11. A partir de la il·lustració anterior, quines proves podeu trobar que justifiquen la deriva continental?

En la il·lustració trobem les següents proves: 1. Geogràfiques, en la manera en què semblen encaixar les formes dels continents a cada costat de l'oceà Atlàntic, com Àfrica i Sud-amèrica o també l'Antàrtida i Austràlia. 2. Paleontològiques. La semblança de la fauna fòssil als continents que abans es trobaven units formant Gondwana: *Cynognathus* i *Mesosaurus* apareixen a Àfrica i Sud-amèrica, el *Lystrosaurus* a Àfrica, Madagascar, l'Índia i l'Antàrtida i, finalment, les glossopetres en tots aquells i, a més, a Austràlia. 3. A banda d'això, Wegener, després d'estudiar les formacions geològiques i els sòls d'Àfrica i Sud-amèrica, va trobar analogies entre si. Són les proves geològiques, que no es mostren en la il·lustració.

Amb això va concloure que el conjunt dels continents actuals haurien estar units en el passat remot de la Terra (al final del carbonífer, fa 240.000.000 anys), formant un supercontinent, denominat Pangea (en grec significa 'totes les terres'). Aquest supercontinent es fragmentà en dos: Lauràsia, a l'hemisferi nord, i Gondwana, a l'hemisferi sud, que es van separar com dos grans icebergs,

que al seu torn es fragmenten en nous continents i originaren l'estructura actual. Aquesta teoria és considerada la precursora de la teoria de la tectònica de plaques.

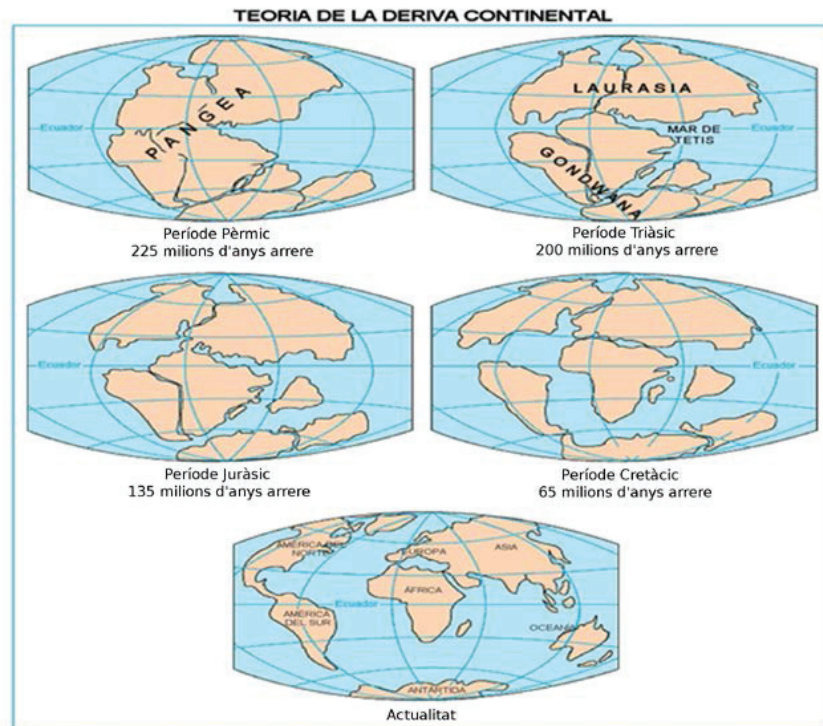


Fig. 3. Teoria de la deriva continental

Malgrat les proves aportades, els geòlegs de la seua època van rebutjar completament la teoria, perquè no podia explicar el mecanisme responsable del moviment dels continents. Proposà que la força del camp gravitatori que exerceix la Lluna sobre la Terra i origina les mareas també era la causa de la deriva continental. Altres científics van donar arguments a favor d'aquesta teoria. En 1937, el geòleg sud-africà Alexander Du Toit va proposar que els continents navegaven sobre el mantell terrestre, moguts per la força de l'enfonsament que produeix la sedimentació dels materials, que fan que es

desplace. Holmes donava suport a la mateixa teoria a partir de la teoria dels corrents de convecció en el mantell, causants del moviment dels continents.

A.12. En la il·lustració anterior podeu observar que la separació d'Àfrica i l'Amèrica del Sud s'inicia en el juràssic. Si actualment es troben aproximadament a uns 5.000 km de distància, a quina velocitat se separen els continents?

Com que $v = r/t = 500 \cdot 10^6 / 135 \cdot 10^6 = 3,7$ cm/any, aproximadament, perquè la velocitat de separació de les dorsals determinada mitjançant satèl·lit varia entre 1,1 i 7,3 cm/any.

4. EXPANSIÓ DEL FONS OCEÀNIC

En la Segona Guerra Mundial es va iniciar l'estudi dels fons marins, per on es movien els submarins amb ajuda d'ones acústiques (el sonar). Es van descobrir unes grans cadenes muntanyenques que travessen els oceans, les dorsals. Són el resultat de l'emissió de lava que conforma serralades a través d'una falla central. Un tall transversal d'una dorsal típica mostra que està formada per dues alineacions muntanyenques de centenars de quilòmetres d'amplària, separades per una fossa tectònica, denominat rift mediooceànic, que ocupa l'eix axial de la dorsal i que presenta una amplària de 20 a 50 km. Longitudinalment, les dorsals estan formades per segments rectilinis desplaçats els uns respecte als altres i separats per falles de transformació, de direcció perpendicular a la de la dorsal. Les dorsals oceàniques emergeixen en diversos punts i donen lloc a arxipèlags i illes de naturalesa volcànica. Per exemple, la dorsal medioatlàntica és el suport de diversos arxipèlags, com el d'Islàndia, el de les Açores, etc.

Són estructures relativament joves (uns 150 milions d'anys per a la dorsal atlàntica), ocupen posicions centrals als oceans, que els divideixen en dues meitats quasi simètriques. A banda i banda de la dorsal, els perfils magnètics mostren la successió, alternada, de bandes rocoses amb magnetització positiva i negativa. Atès que les bandes estan formades per roques d'igual o molt similar

composició, les anomalies de diferent signe no poden ser el resultat de l'heterogeneïtat de les roques. La majoria dels geofísics admeten que l'alternança en el signe de les anomalies deriva d'inversions de la polaritat del camp magnètic terrestre en els períodes en els quals es formaven les roques de les dorsals.

L'altre gran descobriment relatiu a la topografia dels fons oceànics ha sigut el de les grans fosses submarines: la fossa de les Tonga, la fossa de Java, la fossa Xile-Perú, etc. Aquestes fosses, que tenen alguns quilòmetres de profunditat, són de recent creació. No han tingut temps d'omplir-se de sediments o de laves.

A.13. Quines proves apareixen en el text sobre l'expansió dels fons oceànics?

A.14. Si en un planeta la superfície del qual no varia s'expandeix el fons oceànic, açò implica que en altres parts ha de produir-se una contracció. On?

Les principals proves provenen de l'exploració dels fons oceànics i són la relativa joventut d'aquest i el reconeixement d'anomalies magnètiques al fons oceànic. L'expansió dels fons oceànics ocorre a les dorsals oceàniques, on es forma nova escorça oceànica mitjançant activitat volcànica i el moviment gradual del fons que allunyen de la dorsal. Avui està comprovat que, paral·lelament al fet que les muntanyes oceàniques canvien a causa de les tensions, les fosses oceàniques són el resultat de compressions. Algunes parts del sòl oceànic són empentades cap avall, cap al mantell, i atrauen l'escorça al voltant seu (subducció). La idea que ens fem actualment dels fons oceànics és la d'un creixement continu al llarg de les dorsals i d'una desaparició en les fosses. L'expansió del fons oceànic, fou formulada per Hess en 1960 i ampliada per Vine i Matthews en 1963. A continuació podem apreciar un mapa del fons oceànic que permet distingir les principals plaques.

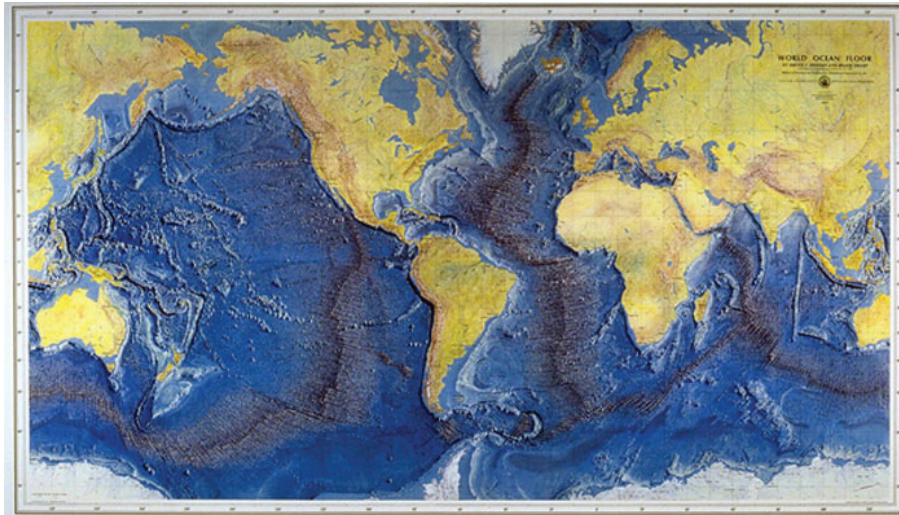


Fig. 4. Mapa del fons oceànic.

5. LA TEORIA DE LA TECTÒNICA DE PLAQUES

La teoria de la tectònica de plaques està fonamentada, per tant, en dues teories que la precediren: la teoria de la *deriva continental* de Wegener i la teoria de l'expansió del fons oceànic. És un model dinàmic (constant) de la Terra, segons el qual la litosfera està dividida en un nombre reduït de plaques (denominació de Tuzo Wilson) que es mouen. Aquestes plaques són rígides i comprenen l'escorça terrestre, tant continental com oceànica, i la part superior del mantell.

Aquesta teoria explica la formació de les cadenes muntanyenques (orogènesi). Així mateix, dóna una explicació satisfactòria de per què els terratrèmols i els volcans es concentren en regions concretes del planeta o de per què les grans fosses submarines estan al costat d'illes i continents i no al centre de l'oceà.

A.15. Tenint en compte les dorsals i fosses oceàniques cartografiades, s'han delimitat les principals plaques, que es classifiquen, per la seua grandària, en grans i mitjanes i, per la seua composició, en oceàniques, continentals i mixtes. Cerqueu exemples de totes en el mapa següent.

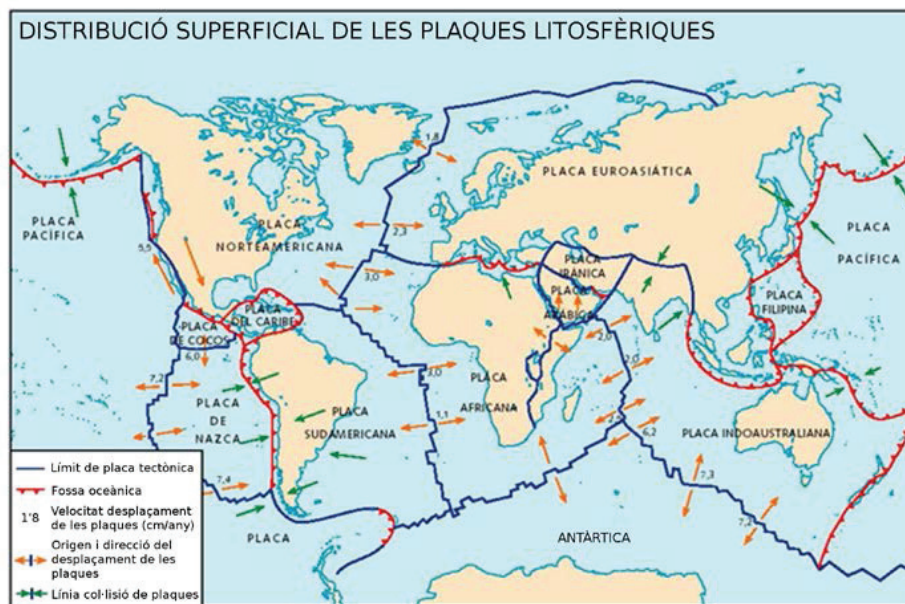


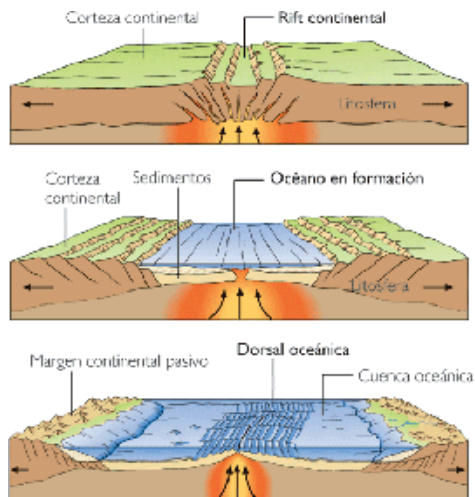
Fig.5. Distribució superficial de les plaques litosfèriques

Existeixen, en total, set plaques grans, com l'africana, antàrtica, indoaustraliana, euroasiàtica, del Pacífic, la nord-americana i la sud-americana. Hi ha vuit plaques mitjanes com l'aràbiga, irànica, de Cocos, del Carib, l'escocesa (*Scotia*), la filipina, la Juan de Fuca i la de Nasca. Aquestes, al costat d'un altre grup nombrós de plaques menors, es mouen les unes contra les altres. La majoria d'aquestes plaques són mixtes; algunes, com la de les Filipines, la del Pacífic, la de Nasca i la de Cocos, oceàniques i solament n'hi ha una de continental, la irànica.

La teoria sistematitza els tres tipus de límits de plaques: límits divergents, convergents i transformants.

1. Límits divergents

Als llocs on els límits de plaques són divergents, les plaques se separen i formen una nova escorça oceànica. En separar-se, aquestes plaques deixen un buit per on ascendeix el magma. Aquestes vores de plaques tectòniques coincideixen amb les dorsals i valls de rift.



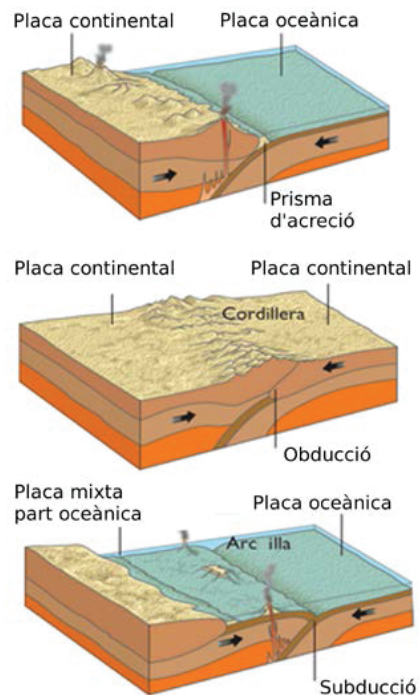
A.16. Les tres il·lustracions de la figura mostren les tres primeres fases de formació d'un oceà o cicle de Wilson.

- a) Expliqueu detalladament el que significa cadascuna d'elles.
- b) Esmenteu exemples a partir del mapa d'aquestes vores

El principal exemple de la primera fase és el Rift Valley africà; de la segona, el mar Roig i de la tercera, l'oceà Atlàntic.

2. Límits convergents

Són límits on hi ha col·lisió de plaques litosfèriques. A més, en aquestes zones es produeix una reincorporació de l'escorça oceànica al sistema escorça-mantell mitjançant un procés de subducció. Aquestes àrees també s'anomenen vores actives, marges



destructius o marges de subducció.

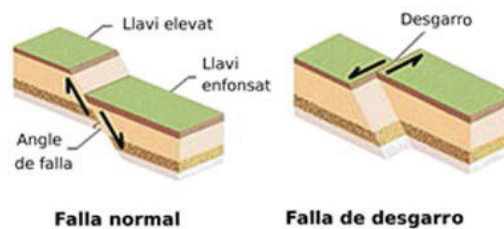
Segons el tipus de plaques que convergeixen, els límits originen diferents formacions:

- Quan xoquen una placa oceànica i una placa continental, com que l'oceànica és més densa, tendeix a enfonsar-se o subsidir.
- Quan dues plaques continentals xoquen, es formen extenses serralades, que formen una vora d'obducció.
- Quan dues plaques oceàniques xoquen, el resultat és un arc d'illes.

3. Límits transformants

Es produeixen pel lliscament lateral d'una placa respecte de l'altra. No es crea ni es destrueix litosfera, per això s'anomenen límits conservatius.

En el gràfic adjunt es poden observar els tipus de falles que s'originen segons el desplaçament de les plaques tectòniques.



A.17. On es localitzen en el mapa les falles transformants?

A.18. En quin tipus de límits es localitzen les grans serralades, els volcans i els terratrèmols?

Tenim la gran falla de San Andrés, a Califòrnia i, d'altra banda, les falles transformants que fracturen les dorsals oceàniques. La col·lisió de dues plaques continentals com l'índia i l'asiàtica va donar origen a l'Himàlaia i la de plaques oceàniques, com la pacífica i la de Nasca i altres continentals (nord-americana i sud-americana) originen les muntanyes Rocalloses i els Andes, respectivament. D'altra banda, a les dorsals com l'atlàntica i a les zones de subducció del Pacífic

(cinturó de foc del Pacífic) es localitzen els principals volcans. La causa principal dels nombrosos moviments sísmics radica en les interaccions entre límits de plaques.

A.19. Quines zones o formacions volcàniques coneixeu al nostre país?

Els estudiants esmenten habitualment el Teide i Lanzarote. Desconeixen l'existència de formacions volcàniques a la península com el cap de Gata o la comarca d'Olot (Catalunya). També tenim al País Valencià les illes Columbretes o el Cerro Negro o de Agraz, un antic cràter de Cofrents, zona de gran interès geològic, que inclou les coves de D. Juan i profunds barrancs excavats pel Xúquer i els seus afluents, on es pot organitzar una excursió. Un objectiu actitudinal important d'aquesta és que valoren les riqueses del medi ambient i, en particular, el del seu propi país, i per a açò és necessari prèviament conèixer-lo, fet que es tenia molt clar en la Institución Libre de Enseñanza (Giner de los Ríos, 1973) i és com segueixen recomanant prestigiosos autors actuals (Wilson, 2007). A més, per afavorir que el viatge contribuísca a la seua formació conceptual i constituísca un treball de camp, és convenient que algun grup elabore una guia didàctica, seguint models ja existents (Caballer *et al.*, 1993) i utilitzant informació d'Internet.

A.20. Es produeixen sismes al nostre país? Per què?

Els estudiants igualment desconeixen la sismicitat del nostre país. Per això és convenient que descarreguen mapes de sismicitat de la pàgina web de l'Institut Geològic Nacional (IGN) <http://www.ign.es/ign/es/IGN/SisMapasSismicos.jsp> de la Península i el nord d'Àfrica o presentar-los la taula dels principals terratrèmols que han causat víctimes mortals a Espanya (Alonso, 2008).

També és possible que coneguen, per les seues devastadores conseqüències i perquè va induir Voltaire a escriure *Càndid o l'optimisme*, el terratrèmol de Lisboa de 1755. El tsunami associat va destruir Lisboa i va produir 60.000 morts, dels quals 1.200 a Huelva i Cadis. La sismicitat, així com la gran quantitat de

mntanyes (que es perllonguen en altres sistemes del sud i centre d'Europa, com els Alps) de la Península són degudes a la seua posició en el límit de la placa euroasiàtica, a la convergència d'aquesta amb l'africana.

A.21. Com és possible que es formen illes en zones on no hi ha límits de plaques, és a dir, en les zones d'intraplaca?

Tuzo Wilson, quan estudiava l'origen de l'arxipèlag de Hawaii en 1973, va dir que, en els arxipèlags d'intraplaca el vulcanisme està produït per una font de magma anomenat *hot spot* o punt calent. Aquest es troba situat en un lloc fix del mantell terrestre, a major profunditat que les plaques litosfèriques. En produir-se l'ascens, s'expulsa a l'exterior i es forma una illa, que es va allunyant d'aquest focus d'emissió a causa del desplaçament de la placa pacífica d'oest a est. D'aquesta manera, s'anirien formant totes les illes de l'arxipèlag, que són més antigues com més allunyades es troben del punt calent. Suposadament aquests punts calents es mantenen actius durant milions d'anys i estan quiets respecte al mantell, mentre que l'escorça llisca sobre aquest. D'aquesta manera, es formen cadenes de volcans dels quals solament està actiu el que es troba en aqueix moment sobre el plomall de magma en ascensió.

Són deguts als corrents convectius dins del mantell terrestre que produeixen, de vegades, uns plomalls de magma més calent, que ascendeix fins a entrar en contacte amb l'escorça terrestre. Allí l'elevada temperatura fon aquesta i crea fenòmens ignis que, en cas d'arribar a la superfície, donen lloc a volcans de naturalesa més o menys basàltica.

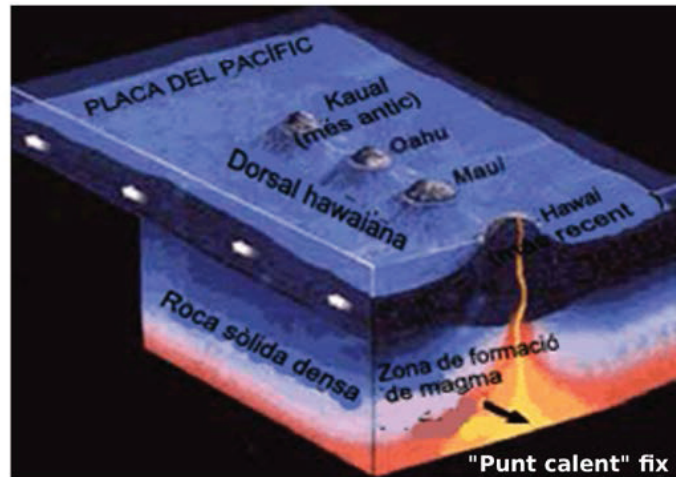


Fig. 6. Punt calent de les illes Hawaii

Els exemples clàssics són les illes Hawaii, en plena escorça oceànica (aquesta teoria també se suposa per a les illes Canàries, però no està tan clara); i en l'escorça continental, el punt calent que actualment alimenta el vulcanisme del parc Yellowstone, al qual estan associats diversos volcans apagats que es troben en línia.

6. CAPES FLUÏDES DE LA TERRA

La part sòlida de la Terra està envoltada per dos embolcalls fluids, l'un continu, l'atmosfera, constituïda per gasos, i l'altre discontinu, la hidrosfera, formada per aigua. Ambdós embolcalls són de vital importància per al nostre planeta i en determinen nombroses característiques físiques.

6.1. Atmosfera i meteorologia

L'atmosfera, o embolcall gasós que envolta la Terra, té una espessor aproximada de 1.000 km i una massa de $5,6 \cdot 10^{15}$ tones i exerceix sobre la superfície terrestre una pressió uniforme de 1.033 g/cm^2 . Està formada per una barreja de gasos, l'aire, dels quals el més abundant és el nitrogen, que constitueix el 78 % del volum total de l'atmosfera, seguit per l'oxigen, amb un volum del 21 % del total, i amb quantitats molt menors d'argó (0,93 %) i d'anhídrid carbònic (0,001 %). A aquests quatre components, que constitueixen el 99,9 % del volum de l'atmosfera, cal afegir el vapor d'aigua, la quantitat de la qual és variable amb l'altitud geogràfica i amb el temps atmosfèric, i es troba concentrat sempre en els primers 10 a 15 km d'atmosfera.

La composició i les condicions físiques de l'atmosfera no són uniformes en tota la seua espessor, sinó que varien de manera notable. Sobre la base d'aquestes variacions l'atmosfera es divideix en diverses capes: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera i exosfera.

- **Troposfera:** s'estén des de la superfície terrestre fins a una altura de 14 a 16 km en les zones equatorials i fins a uns 8 a 10 km en les zones polars, ja que en aquestes últimes zones les baixes temperatures provoquen la contracció dels components atmosfèrics. La troposfera comprèn les nou desenes parts de la massa de l'atmosfera i conté la quasi totalitat del vapor d'aigua d'aquesta, a partir del qual es formen els núvols. A la troposfera es produeixen la majoria dels fenòmens meteorològics. La temperatura decreix gradualment en la troposfera amb l'altura i assoleix l'índex més baix, $-63 \text{ }^\circ\text{C}$, a la tropopausa.
- **Estratosfera:** s'estén per damunt de la tropopausa, fins a uns 50 km d'altura de la superfície terrestre. Pràcticament no té núvols i el seu aire és menys dens que el de la troposfera. La composició de l'estratosfera és considerablement diferent de la de la troposfera; hi predomina l'ozó, originat per la dissociació de l'oxigen per acció dels rajos ultraviolats. A causa de la seua funció absorbent de les radiacions solars, la temperatura creix a l'estratosfera amb l'altura fins a arribar a un màxim de $17 \text{ }^\circ\text{C}$ en l'estratopausa.

- **Mesosfera:** s'estén des de l'estratopausa, aproximadament a 50 km de la superfície terrestre, fins als 80 a 85 km d'altura. En la mesosfera la temperatura disminueix novament fins a aconseguir mínims de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Des del punt de vista de la seua composició, la mesosfera conté una petita part d'ozó i vapors de sodi, que exerceixen un paper important en els fenòmens lluminosos de l'atmosfera.
- **Ionosfera o termosfera,** que s'estén des de la part superior de la mesosfera fins a una altura d'uns 500 km sobre la superfície terrestre. La característica essencial d'aquesta capa de l'atmosfera és que els seus constituents gasosos es presenten en forma d'ions. Açò es deu al fet que sobre la ionosfera es produeix un continu bombardeig de radiacions solars l'efecte principal de les quals és la ionització dels constituents gasosos d'aquella. El límit superior de la ionosfera es denomina termopausa.
- **Exosfera:** capa que s'estén sobre la termopausa fins a altures on la densitat de l'atmosfera és igual a la del gas interespacial que l'envolta.

A.22. Quines característiques de les diferents capes de l'atmosfera són de gran importància per a l'habitabilitat del nostre planeta?

Una primera missió de l'atmosfera és impedir tant un excessiu escalfament de la superfície terrestre durant el dia com un excessiu refredament durant la nit. En efecte, durant el dia l'atmosfera reflecteix i absorbeix gran part de les radiacions solars, que en cas d'arribar a la superfície terrestre, n'elevarien excessivament la temperatura. Durant la nit la calor radiant de la Terra és absorbida per les capes baixes de l'atmosfera, cosa que impedeix un excessiu refredament. La falta d'una atmosfera a la Lluna o Mart és la causa que les seues oscil·lacions tèrmiques siguen molt àmplies.

La capa d'ozó de l'estratosfera és de vital importància per als organismes de la superfície terrestre, ja que absorbeix la quasi totalitat dels rajos ultraviolats, que són letals per a aquells.

La ionosfera absorbeix les radiacions solars. Les seues capes inferiors exerceixen un paper molt important en les transmissions per radio i televisió, ja que reflecteixen algunes ones emeses des de la Terra i així possibiliten que les

capten les antenes receptores.

Certs constituents de l'atmosfera són essencials per al desenvolupament dels organismes. A partir del diòxid de carboni els vegetals sintetitzen (fotosíntesi) els compostos orgànics que seran el fonament de la cadena alimentària de la majoria dels organismes. Els animals, per la seua banda, necessiten l'oxigen atmosfèric per a l'oxidació dels compostos orgànics i l'obtenció d'energia.

Com que a les capes baixes de l'atmosfera es produeixen la gran majoria dels fenòmens meteorològics, que estudiarem a continuació, pot afirmar-se que aquests exerceixen un important paper en els processos erosius desenvolupats sobre la superfície terrestre. Per exemple, el vent és el principal agent de l'erosió en grans zones continentals; les oscil·lacions tèrmiques diürnes són causa important de la fragmentació de les roques.

A.23. Per què gran part de la humanitat viu prop del mar? Dibuixeu les cèl·lules convectives associades a les brises.

Les brises marines temperen la meteorologia litoral. El règim de brises marines és un exemple senzill de convecció, que facilitarà la comprensió d'uns altres més complexos. Durant el dia la terra es calfa amb més rapidesa que el mar i l'aire i l'aire situat sobre la Terra s'eleva i el seu lloc és ocupat per l'aire més fresc del mar. L'aire que puja es refreda en dilatar-se i després descendeix sobre la mar per substituir a l'aire que s'ha desplaçat. A la nit la direcció de l'aire s'inverteix perquè la terra es refreda abans. Els monsons són brises de mar i terra de gran escala, que es produeixen en el SE asiàtic, activats per canvis de temperatura estacionals, no diaris.

A.24. Què prediu el meteoròleg quan assenyala zones A i B de la figura 7?

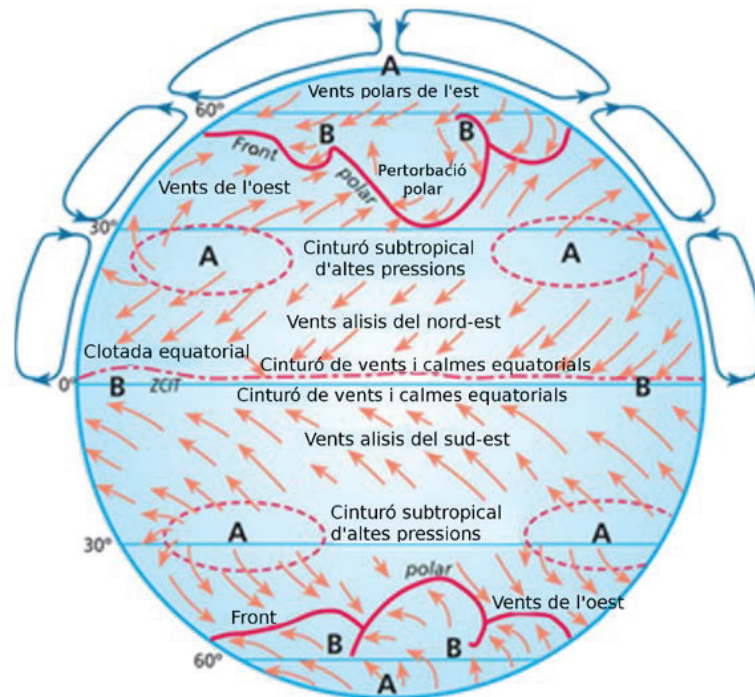


Fig. 7. Circulació general atmosfèrica

Normalment els alumnes tenen una idea superficial, en el doble sentit de la paraula, com zones d'altres i baixes pressions, i associen les primeres a bon temps i les segones a inestabilitat. No perceben que la circulació local també és un fenomen convectiu en altura, com les brises, de gran importància per al temps meteorològic. Així, en una zona on la pressió és baixa (un cicló) ascendeix l'aire, que n'atrau de les regions pròximes i que, a causa de la rotació terrestre, circularà al voltant del cicló en el sentit oposat a les agulles del rellotge (en l'hemisferi N). En aquestes zones ciclòniques hi ha convergència i contacte entre masses d'aire heterogènies i, en conseqüència, mal temps. Per contra, en una zona d'altres pressions l'aire descendeix i divergeix en superfície cap a les zones que tinguen pressió inferior, girant com les agulles d'un rellotge. No hi ha

contacte entre masses d'aire i, per tant, el temps és bo en general, amb nuvolositat d'altura superior, ja que si s'analitza el desenvolupament vertical, s'observen cèl·lules convectives i al moviment divergent inferior correspon un altre de convergent per dalt.

La convecció permet explicar molts fenòmens de la naturalesa a gran escala. Per exemple, la circulació general atmosfèrica, de tanta importància en la meteorologia i la climatologia. Limitant-nos a l'hemisferi N, observem que es formen tres cèl·lules convectives: la de Hadley (entre 0° i 30°), la de Farrel (entre 30° i 60°) i la polar (entre 60° i 90°).

A.25. En la il·lustració de la figura 7 podeu apreciar la circulació general atmosfèrica. Quina importància té en la meteorologia i en la navegació a vela?

S'hi aprecia, d'una forma no determinista (ja que apareixen pertorbacions), que l'aire ascendeix en les zones equatorials i es dirigeix cap al N (en realitat, per la rotació de la terra, cap al NE) i torna a la superfície cap als 30° de latitud, de manera que dóna lloc als vents alisis en direcció SO. En la zona d'altres pressions o calmes tropicals, on es produeix la divergència de masses d'aire, el vent de superfície es dirigeix cap al N, fins als 60° i és desviat per la rotació cap al NE, de manera que dóna origen als vents provinents de l'O en les latituds mitjanes. Són zones de molt baixa pluviositat, que produeixen els grans deserts.

Als casquets polars les masses d'aire fred es desplacen cap al S (per la rotació al SO) fins als 60° i donen origen al front polar. Aquesta circulació general que transporta calor de l'equador als pols determina el clima a llarg termini. En els dies de la navegació a vela era la circulació general la que establia les rutes oceàniques. Per exemple, els vents alisis permeteren a Colom descobrir Amèrica i, per tornar, aprofità els vents de l'O.

En la predicció del temps, els meteoròlegs usen molt el principi de conservació de l'energia o primer principi de la termodinàmica, vist en el capítol 2, ja que els canvis d'energia interna ΔU són proporcionals als canvis de temperatura ΔT , i el W efectuat sobre un gas és proporcional als canvis de pressió ΔP , tindrem: $\Delta T \approx Q + \Delta P$. És a dir, la temperatura de l'aire pot modificar-se agregant-hi o

extraient-ne calor, canviant la pressió o d'ambdues formes. Els processos en els quals la quantitat de calor transmesa pot considerar-se suficientment minúscula són adiabàtics i llavors $\Delta T \approx \Delta P$

A.26. Quin efecte produeixen les muntanyes o les bosses d'aire sobre masses d'aire que se'ls aproximen?

Les muntanyes interposades en el sentit del vent poden obligar l'aire a elevar-se. Si l'aire és sec, pot refredar-se 10 °C per cada km que s'eleva i l'ascens continuarà mentre es mantinga a major T (menor densitat) que l'aire circumdant. Si l'aire és humit, la disminució de la T fa que part del vapor d'aigua dissolt es condense i es precipite en forma de pluja. Així se solen formar núvols de pluja al costat de sobrevent i una zona seca al de sotavent. Per exemple, la serralada de l'Himàlaia obliga els vents humits del monsó a soltar la major part de la pluja sobre el N de l'Índia, mentre que l'altiplà tibetà roman sec.

Els fronts (regió límit o de separació entre dues masses d'aire diferents) actuen com a serralades mòbils. En un front fred aquest aire (més dens) s'introdueix com una falca per sota d'una massa d'aire càlid i humit i l'obliga a elevar-se ràpidament, amb la corresponent producció de núvols convectius de gran desenvolupament, acompanyats de pluges i tempestes. Per contra, en els fronts càlids l'aire calent ascendeix lentament sobre la massa de l'aire fred i dona lloc a núvols estratiformes, boires i pluges o ruixims. En resum, les bosses o masses d'aire en elevar-se, experimenten una expansió adiabàtica, deguda a la menor pressió existent al seu voltant, que té com a resultat un descens de la temperatura.

6.2. Hidrosfera

Es pot definir com el conjunt de les aigües superficials de l'escorça terrestre. La Terra és l'únic planeta del sistema solar que posseeix una gran quantitat d'aigua: un poc més del 70 % de la seua superfície està coberta per aigua, tant en estat líquid, que forma els oceans, les mars, els llacs i els rius, com sòlida, en les glaceres, i gasosa com a vapor d'aigua de les capes baixes de l'atmosfera. Les quantitats aproximades dels diversos tipus d'aigua que constitueixen la hidrosfera són les següents:

aigües oceàniques	$1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$
glaceres continentals	$2,3 \times 10^7 \text{ km}^3$
llacs	$2,5 \times 10^5 \text{ km}^3$
rius i aigües subterrànies	$2,4 \times 10^5 \text{ km}^3$
vapor d'aigua atmosfèric	$1,3 \times 10^3 \text{ km}^3$

Amb gran diferència, la fracció més important de la hidrosfera la constitueixen les aigües oceàniques, que cobreixen aproximadament el 65 % de la superfície terrestre amb una espessor mitjana aquosa de 4.000 m. La segona fracció en quantitat la constitueixen les glaceres continentals, que ocupen en l'actualitat una superfície d'uns 15 milions de km^2 . Si l'aigua immobilitzada en les glaceres es fonguera ràpidament i retornara als oceans, el fenomen provocaria un augment de 60 m en el nivell d'aquests.

A.27. Què enteneu per cicle de l'aigua?

Es coneix com a cicle hidrològic o cicle de l'aigua una sèrie de moviments i canvis d'estat als quals està sotmesa l'aigua de la hidrosfera. Els oceans són els grans dipòsits dels quals prové l'aigua del cicle i als quals retornarà per tancar-lo; en la seua superfície es produeix una contínua evaporació, de diversa intensitat segons la latitud, mitjançant la qual s'originen grans masses de vapor d'aigua que a les capes baixes de l'atmosfera formen els núvols. A partir d'aquestes i per condensació del seu vapor d'aigua, s'originaran les precipitacions, en forma de pluja, neu i granís, part de les quals cauen directament sobre el mar, una altra part sobre els continents (i així alimenta els rius i llacs, encara que finalment

torna als oceans), i una altra més s'infiltrarà al subsòl, on generarà les aigües subterrànies.

A.28. Quines característiques de la hidrosfera són de gran importància per a l'habitabilitat del nostre planeta?

Les especials característiques tèrmiques de l'aigua (alta calor específica, elevada calor d'evaporació, etc.) determinen que la hidrosfera siga un gran regulador de la temperatura superficial de la Terra. En efecte, l'aigua, per la seua alta calor específica (calor necessària per a elevar en 1 °C la temperatura d'1 g d'una substància) és poc sensible a les variacions tèrmiques, a causa de la qual cosa es calfa i es refreda menys ràpidament que els materials rocosos de la superfície terrestre de calor específica inferior. És fàcil comprovar que en ple estiu les roques, els asfalts dels carrers i carreteres, etc., es calfen més ràpid que les aigües marines, les fluvials o les d'una piscina. També els corrents oceànics, com el corrent del Golf, que representen una convecció natural a gran escala, contribueixen a millorar la temperatura de les costes atlàntiques europees.

Quasi amb tota seguretat la vida es va originar en un medi oceànic primitiu, on tingueren lloc les primeres etapes del seu desenvolupament. Fins a fases molt avançades en la seua evolució, nombrosos grups d'organismes van dependre totalment del medi aquàtic. D'altra banda, quasi tots els organismes existents presenten un elevat contingut en aigua, que arriba fins a un 97 % de la seua massa corporal en les meduses i que en l'ésser humà és de l'ordre del 65-75 %. Així mateix, és el medi natural que permet la realització dels processos metabòlics.

A més, és el principal agent del cicle geodinàmic extern, perquè, a causa del seu gran poder dissolvent, és el principal agent de la dissolució de les roques superficials de l'escorça terrestre. D'altra banda, les aigües continentals constitueixen el principal mitjà de transport dels materials detrítics resultants de l'erosió, mentre que les aigües oceàniques són el principal mitjà de la sedimentació de tals materials.

6.3. L'aigua dolça: un recurs escàs

L'aigua és fonamental per a la vida i el desenvolupament de les societats humanes. El 94,2 % de l'aigua del nostre planeta es troba als oceans i només el 4,1% es distribueix als continents com a aigües superficials o subterrànies. D'altra banda, l'aigua dolça, és a dir, l'aigua apta per a les activitats humanes, representa el 2,1% del volum total.

A.29. D'acord amb les dades mostrades en la figura 8, quin és el problema fonamental de la distribució de l'aigua dolça a la Terra?

La figura mostra que la major part de l'aigua dolça es troba a les glaceres en forma de gel. L'explotació d'aquest recurs per al consum i l'agricultura és difícil. L'aigua superficial, procedent de llacs i rius amb prou feines representa el 0,4% de l'aigua dolça. Atès que aquest tipus d'aigua és el que resulta més accessible per al consum i el reg, es presenta un greu problema a l'hora d'utilitzar-la. Si el consum és gran, els recursos d'aigua s'esgotaran amb rapidesa. Encara que les aigües subterrànies constitueixen el 30 % de les reserves d'aigua dolça, extraure-les resulta molt més car que l'aigua procedent de rius o llacs.

Aquesta activitat, a més, ens permet desenvolupar la interpretació d'una informació gràfica.

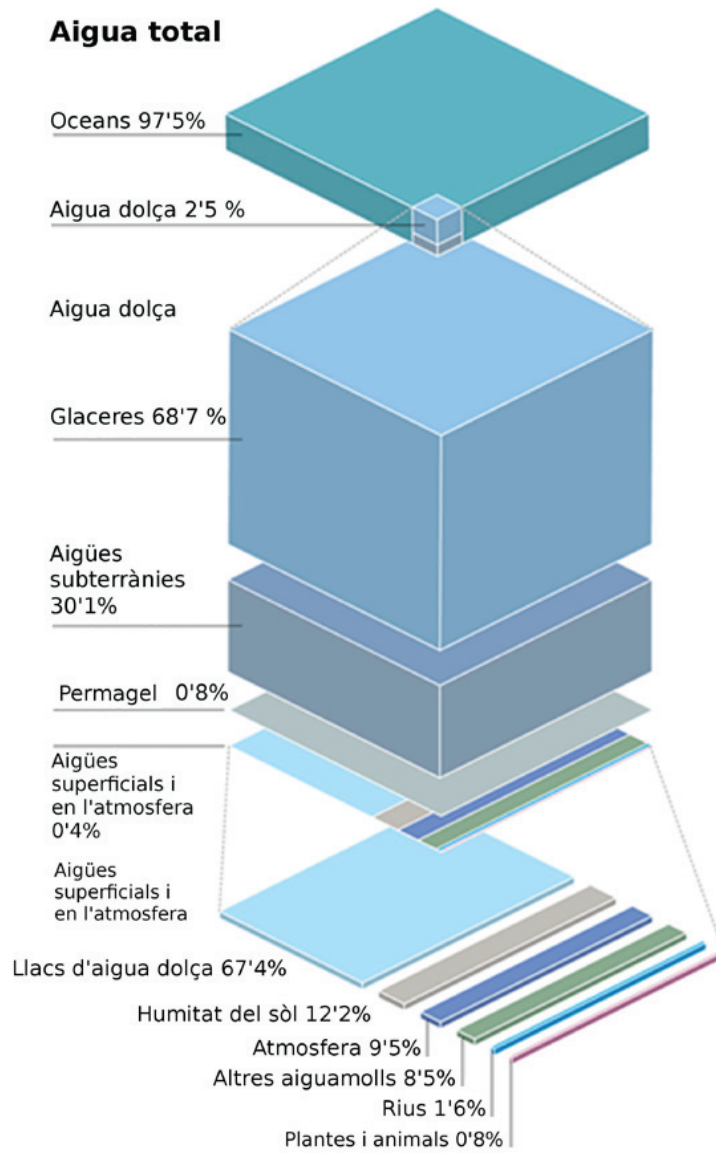


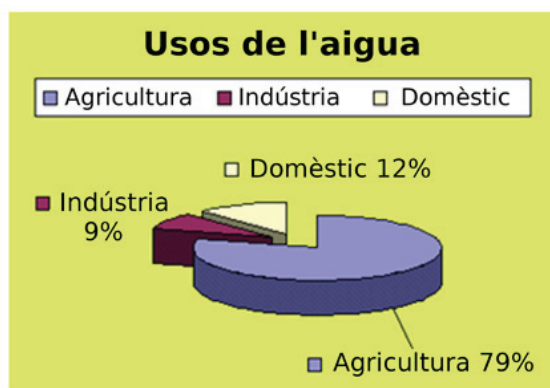
Fig. 8. Distribució d'aigua a la Terra

A.30 En la taula següent apareixen els recursos d'aigua dolça i la població distribuïda per continents. Quines conseqüències dedueix de les dades?

Continent	Recursos hídrics (%)	Població (%)
Europa	8	13
Àsia	36	60
Àfrica	11	13
Amèrica del Nord	15	8
Amèrica del Sud	26	6
Oceania	5	1

Les dades anteriors posen de manifest que la distribució de la població i dels recursos hídrics utilitzables és desigual. Mentre que a l'Amèrica del Nord i del Sud els recursos hídrics són suficients per a la població que hi habita, a Europa i a Àsia es presenta el cas contrari. Amb aquesta activitat, els estudiants realitzen una interpretació i una valoració d'un conjunt de dades expressades en forma de taula.

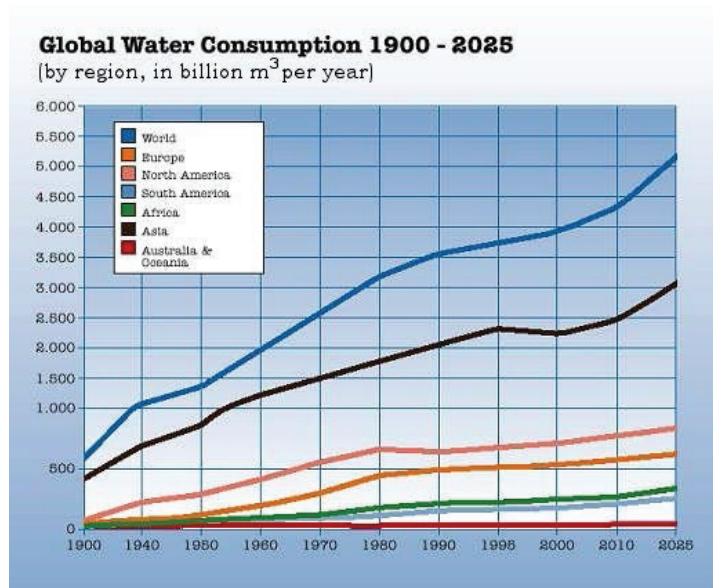
A.31 La figura que apareix a continuació mostra els sectors en els quals s'utilitza l'aigua. Indica els usos de l'aigua en algunes activitats de cadascun dels sectors indicats



L'aigua s'utilitza en nombroses activitats de les que desenvolupen les societats humanes:

- Consum domèstic. Neteja personal, neteja de la casa, rentada de la roba.
- Consum públic. Reg de jardins, neteja de carrers, fonts.
- Agricultura. Reg de camps.
- Ramaderia. Neteja de quadres i estables, alimentació d'animals.
- Indústria. Processos de fabricació.
- Mineria. Processos d'extracció d'elements.
- Energia. Producció d'energia elèctrica en centrals hidràuliques.

A.32. Les dades que apareixen en les gràfiques adjuntes posen de manifest un greu problema relacionat amb el consum d'aigua. Analitzeu-les, considereu quines causes poden explicar-les i doneu compte de les conseqüències que se'n dedueixen.



En aquesta activitat els estudiants han d'utilitzar la seua capacitat d'interpretació de dades a partir de la seua presentació gràfica. També han de cercar informació sobre un aspecte que s'indica.

Les dades indiquen un augment del consum d'aigua dolça a tot el món. A Àsia es produeix la major taxa de creixement en el consum. El desenvolupament d'aquesta activitat implica, per part dels estudiants, elaborar una interpretació d'un conjunt de dades expressades de forma gràfica.

Han de reflexionar sobre el fet que són diverses les causes que originen el creixement del consum:

- L'augment de la població mundial té com a conseqüència una necessitat de majors volums d'aigua en el consum domèstic i públic.
- El desenvolupament de l'agricultura i de la indústria requereix majors quantitats d'aigua.

A.33. Quines mesures es poden prendre per reduir el consum d'aigua

Per a disminuir la quantitat d'aigua utilitzada en agricultura és convenient:

- Realitzar un manteniment de les canalitzacions per a evitar les pèrdues d'aigua.
- Potenciar el reg gota a gota.
- Reciclar les aigües residuals urbanes per a reutilitzar-les en el reg.

En la casa es pot disminuir el consum d'aigua aplicant mesures molt senzilles:

- Reparar les aixetes per evitar els degotejos.
- Omplir la llavadora i el rentavaixelles.
- Utilitzar una cisterna de doble polsador.
- Dutxar-se en comptes de banyar-se i tancar l'aixeta mentre ens ensabonem.
- Tancar l'aixeta mentre ens raspellem les dents.
- Regar les plantes en fosquejar.

Com a mesures generals es poden indicar:

- Utilitzar dessaladores per a convertir l'aigua salada en aigua dolça.
- Protegir els aiguamolls.

- Plantar arbres en zones degradades per evitar l'erosió del sòl i afavorir la càrrega dels aqüífers.

A.32. *Llegiu el text següent i, a continuació, responeu a les preguntes. Què és la petjada ecològica? I la petjada hídrica? Què vol dir que necessitem tres Espanyes per a proveir-nos?*

En un informe elaborat per l'organització WWF/Adena, en col·laboració amb la Societat Zoològica de Londres (ZSL) i la Xarxa de Petjada Global (GFN), el planeta ha entrat en una crisi de crèdit ecològic. L'origen d'aquesta afirmació radica en el fet que l'augment de la demanda de la humanitat sobre el capital natural ja ha superat en un 30% la capacitat d'aprovisionament de la Terra. Des de 1998 aquest estudi s'ha convertit en un termòmetre precís de la capacitat de la Terra per a continuar sent un "planeta viu". Per emetre el seu informe, analitza tres paràmetres: d'una banda, l'índex planeta viu (IPV) reflecteix la situació de les espècies animals com a marcador de la biodiversitat. D'altra banda, mesura la petjada ecològica, és a dir, el que cada habitant necessita per a tenir cobertes les seues necessitats. Finalment, analitza l'estat de la petjada hídrica, és a dir, el volum total d'aigua usada globalment per a produir béns i serveis consumits pels ciutadans.

Pel que fa al nostre país, l'informe ofereix dades preocupants, ja que ocupa el número 12 del rànquing mundial. «Açò suposa que necessitaríem tres 'Espanyes' per a proveir-nos, i això és una barbaritat», assenyala Juan Carlos del Olmo, secretari general de WWF/Adena. En el cas de la petjada hídrica, la situació encara és pitjor: Espanya està en el cinquè lloc, principalment pel consum de productes que requereixen molta aigua (fruites, soia per a alimentar el bestiar, etc.).

D'acord amb l'Informe Planeta Viu (WWF/Adena 2008), "la petjada ecològica mesura la demanda de la humanitat sobre la biosfera en termes de l'àrea de terra i mar biològicament productiva requerida per a proporcionar els recursos que utilitzem i per a absorbir les nostres deixalles".

Amb aquesta activitat es pretén que els estudiants obtinguen una informació i fer-los reflexionar sobre el problema que es presenta quan el consum d'un país és major que la producció pròpia. La situació plantejada en el text implica que seria necessària una superfície de cultiu equivalent a tres vegades la d'Espanya perquè els recursos produïts cobriren les necessitats de consum. Es pot plantejar als estudiants com es resol el problema de proveïment de recursos. Arribaran a la conclusió que els recursos que no es produeixen a Espanya procedeixen d'altres països. Amb aquesta activitat es pretén que els estudiants elaboren una interpretació i reflexionen sobre el contingut del text.

WWF/ADENA (2008) Informe Planeta Viu

http://www.wwf.es/noticias/informes_y_publicaciones/informe_planeta_vivo_2008/

Capítol 5.

L'EVOLUCIÓ DELS ÉSSERS VIUS

Els éssers humans sempre s'han sentit meravellats (Gould, 1991) per la gran diversitat d'éssers vius i no solament per motius alimentaris, com en les societats caçadores. Des dels animals "rars" que col·leccionaven els reis de l'antiguitat, passant pels bestiaris medievals, fins a arribar a l'actualitat, en què els programes científics més vists de la televisió són els documentals sobre els éssers vius. També ha fascinat la gran adaptació d'aquests al medi i la gran varietat de mecanismes adaptatius. Per açò, des de l'antiguitat les diverses civilitzacions ens ofereixen mites que intenten explicar l'origen dels éssers vius i la seua gran varietat.

A.1 Com es pot explicar l'existència d'aquest gran nombre d'animals i vegetals diferents?

Aquesta és la pregunta clau del tema: com explicar la gran diversitat dels éssers vius. Les respostes de l'alumnat a aquesta qüestió són variades, però és probable que al voltant del 50 % ho expliquen utilitzant la idea de l'adaptació com una necessitat o costum (és a dir, explicacions "lamarckistes"). Altres donen explicacions finalistes i antropocèntriques, proposant que els organismes existeixen perquè uns altres, especialment l'ésser humà, ho necessiten (explicacions teleològiques) (Jiménez, 1991). Després de la revolució científica, molts naturalistes intenten explicar aqueixa diversitat, però la gran complexitat del problema fa que haja costat molt de temps aconseguir una teoria plausible i fructífera, com veurem a continuació.

Desenvoluparem el tema amb el següent fil conductor

1. La diversitat dels éssers vius
2. El problema de l'origen de la Terra i de les espècies
3. Els mecanismes de l'evolució
 - 3.1. Lamarck: l'ús i el desús i l'herència dels caràcters adquirits
 - 3.2. Darwin i Wallace: evolució per selecció natural
4. Proves i dificultats de la teoria de l'evolució
5. Les implicacions socials de la teoria de l'evolució
6. La teoria sintètica de l'evolució i nous descobriments que la confirmen
 - 6.1. L'estructura de l'ADN
 - 6.2. Investigacions sobre l'origen de la vida
 - 6.3. Canvi biològic en l'actualitat
7. Amenaces a la biodiversitat

1. LA DIVERSITAT DELS ÉSSERS VIUS

A.2. Discutiu sobre quins aspectes arreplegaríeu informació per a fer un estudi detallat d'algun ecosistema, per exemple, un parc natural valencià

Es pot iniciar el tema amb un treball de camp, però prèviament cal planificar-lo (Caballer *et al.*, 1993) per no incórrer en les visions empiristes, que comencen el treball amb l'observació.

L'objectiu de l'activitat és que els estudiants planifiquen la realització d'una relació dels éssers vius que habiten en aqueix medi. També es pot fer una relació d'aspectes de l'entorn que influeixen sobre els éssers vius i, viceversa, sobre quins aspectes de l'entorn (biòtop) influeixen els éssers vius (biocenosis). Açò posa de manifest que els éssers vius d'un medi i els elements no vius estableixen complexes interaccions i formen ecosistemes. Sobre els éssers vius influeixen dos tipus de factors: uns, que provenen d'altres éssers vius, els factors biòtics, i altres, que es deuen al conjunt de característiques fisicoquímiques del lloc, els factors abiòtics (Gavidia, 1987; Caballer *et al.*, 1993). D'altra banda, un altre objectiu actitudinal important és que valoren les riqueses del medi ambient i, en particular, el del seu propi país, i per això és necessari prèviament conèixer-lo, com deien en la Institución Libre de Enseñanza (Giner de los Ríos, 1973) i com segueixen recomanant autors actuals (Wilson, 2007).

L'elecció d'un parc natural és deguda al fet que facilita la realització de la relació d'éssers vius, perquè apareixen cartells amb el nom dels vegetals i animals, perquè sol haver-n'hi guies, etc. Proposaria en concret l'elecció del parc natural del Carrascar de la Font Roja d'Alcoi a causa que ens ofereix una magnífica representació del bosc mixt mediterrani. D'altra banda, l'orientació est-oest de la serra ofereix una clara distinció entre la solana i l'ombria i, encara que l'altura de la serra no és gran (el seu cim, el Menjador, només assoleix 1.352 m), s'hi observa una perfecta estratificació de les espècies vegetals (Nebot *et al.*, 1993). Aquestes observacions no es poden realitzar en les altres serres més altes d'Alacant i més impressionants des del punt de vista geològic i muntanyenc, com Aitana, 1558 m; el Puigcampana, 1.410 m; el Montcabrer (Mariola),

1.390 m i el pla de la Casa (la Serrella), 1.379 m, a causa de la seua elevada desforestació. Altres raons són l'existència d'una bona guia d'aquest, així com d'altres fullets més recents.

L'observació dels éssers vius ens permet adonar-nos de l'enorme diversitat de vida animal i vegetal, cosa que fa necessari que ens plantejem una forma de classificar-los. Per fer-ho cal establir criteris de classificació i, després, aplicar-los per anar agrupant els individus en successius conjunts.

A.3. Proposeu possibles criteris de classificació.

Com posen de manifest García i González (1993), els criteris triats pels estudiants poden variar des de la percepció sensible a criteris ecològics, econòmics i, fins i tot morfològics, però difícilment estructurals.

De fet, aquests criteris han anat variant al llarg del temps d'acord amb l'avanç produït en l'estudi dels éssers vius. Es distingeixen dos sistemes, els artificials o lògics, que classificaven les espècies orgàniques en grups discontinus i ben fitats mitjançant unes poques o fins i tot una sola característica, com la naturalesa dels òrgans reproductius. I, d'altra banda, els sistemes naturals que tractaven de reunir les diverses espècies en famílies naturals, on hi havia una continuïtat i s'estudien moltes característiques a fi d'establir l'afinitat dels éssers vius dins de la família.

Com una mostra de les relacions CTS es pot assenyalar que, al llarg dels segles XVI i XVII, el mètode de classificació artificial que subratlla la discontinuïtat i la gradació jeràrquica de les espècies era més popular als països catòlics, com és el cas de Cesalpino i Malpighi a Itàlia. El mètode natural, que subratllava la continuïtat i l'afinitat, resultava més popular als protestants, com Lobelius (nom llatinitzat de Matthias de L'Obel) als Països Baixos i Ray a Anglaterra. En el segle XVIII es van invertir aquestes preferències, quan el luterà suec Linné adaptà el mètode artificial i el naturalista francès Buffon, el mètode natural. Això fou degut al fet que el luteranisme assimilà elements de la vella teologia amb el seu concepte de jerarquia, mentre que els filòsofs francesos rebaixaven tots els fenòmens a la mateixa uniformitat mecànica (Mason, 1985).

Linné va classificar unes 18.000 espècies, establí les categories taxonòmiques de regne, tipus, classe, ordre, família, gènere i espècie i la nomenclatura binomial per a anomenar científicament cada espècie. El nom de cadascuna consta de 2 paraules, llatines o llatinitzades, la primera de les quals indica el gènere i s'escriu amb majúscula i la segona (amb minúscula), l'espècie, que és el criteri del parc.

A.4. Realitzeu fotografies dels éssers vius del parc natural.

Aquesta tasca es pot encarregar a un grup, que després les posarà en l'aula virtual, i ve considerablement facilitada perquè al peu de les diferents espècies vegetals està escrita la seua denominació científica i el seu nom comú en castellà i en català. Entre els vegetals (productors primaris), entre els 600 i 1.250 m de l'ombria trobem el bosc de carrasca (*Quercus ilex*), el freixe de flor (*Fraxinus ornus*) o l'auró (*Acer opalus*). Per sobre dels 1.250 m, als racons més ombrius, trobem petits boscos caducifolis de roure valencià (*Quercus faginea*), freixe de flor, auró, teix (*Taxus baccata*), etc. A la solana trobem coscolls dispersos i matoll, constituït per argelagues (*Genista scorpius*), ginebre (*Juniperus oxycedrus*), espècies aromàtiques com el timó (*Thymus vulgaris*), espígol (*Lavandula latifolia*), romaní o romer (*Rosmarinus officinalis*), etc., i gramínies com l'espart (*Stipa tenacissima*). (Conselleria de Medi Ambient, 1991). Respecte als animals (productors secundaris), només s'observen, si es camina silenciosament per les senderes del parc, alguns insectes, rèptils i aus. Els fullets del parc en faciliten la identificació.

A.5. Com expliqueu: a) la distribució estratificada de les espècies arbòries als vessants del Coscollar; b) les ales dels ocells i dels insectes del parc, òrgans que, malgrat tenir diferent estructura interna, exerceixen la mateixa funció, denominats òrgans anàlegs.

Tots aquests fets i molts altres més que es poden observar al parc, com les espines d'algunes plantes, o fora d'aquest, com per exemple, la forma fusiforme dels peixos, els dofins, els pingüins (Gavidia, 1987), s'expliquen perquè els éssers vius estan adaptats al seu medi: així, les poblacions arbòries varien amb

l'altitud (o latitud), amb la insolació, temperatura, humitat, etc. Encara que pertanyen a diferents classes d'animals, són semblants entre si, perquè les ales d'ocells i insectes estan adaptades al vol, com la forma fusiforme a l'aigua.

Convé distingir-los dels òrgans homòlegs, aquells que tenen la mateixa o similar estructura interna, malgrat que poden exercir funcions diferents, per exemple, les ales d'un ocell o les potes davanteres d'un gos, que posteriorment explicarem amb la teoria de l'evolució.

2. EL PROBLEMA DE L'ORIGEN DE LA TERRA I DE LES ESPÈCIES

Des de molt antic s'han cercat respostes a la qüestió de com s'ha arribat a la gran varietat d'espècies sobre la Terra. Les primeres explicacions a la varietat de la vida es recullen en nombrosos mites de creació en diferents cultures.

A.6. Quin ha sigut en la nostra cultura el text dominant sobre la creació durant molts segles? Procediu a llegir-lo. Com explica l'origen de la Terra i dels éssers vius, així com la gran varietat d'aquests?

Aquests materials van ser utilitzats inicialment en la Universitat dels Majors, perquè per als adults espanyols aquesta és la idea alternativa dominant sobre l'origen de les espècies. També és útil per als estudiants de Magisteri; en primer lloc, perquè molts d'ells no han cursat les ciències de 4t d'ESO, on s'imparteix evolució i, per tant, el creacionisme pot ser una idea difusa. En segon lloc, perquè el Gènesi és el primer llibre de la Bíblia i conèixer-lo ajuda a entendre els orígens de la nostra cultura. Com que la Bíblia es considera la paraula de Déu, gaudia de la màxima autoritat intel·lectual com a criteri de veracitat. Això va afavorir la seua interpretació literal, tan conflictiva per a la ciència, com ja hem vist en el capítol 1, en el debat sobre el lloc de la Terra a l'Univers.

En el Gènesi s'afirma que una Terra caòtica, coberta d'aigües, fou creada el primer dia, juntament amb la llum, cosa permet als autors separar el temps en dies. Curiosament els "llums del cel" (Sol, Lluna i estels), fonts d'aquella llum, van ser creades el quart dia, ja que el segon i el tercer dies els dedica a la Terra. El segon dia "Déu va fer la volta del firmament", que separa les aigües del cel (pluja) de les de la Terra i el tercer separà els continents del mar. També el tercer dia, en emergir la terra, "Déu digué: 'Que la terra produísca la vegetació: herba que done llavors i arbres fruiters de tota mena, que facen fruit i llavor a la terra'". El cinquè dia: "Déu digué: 'Que les aigües produïsquen animals [...], i que els animals voladors voletegen [...] sobre la terra'". El sisè dia: "Déu digué: que la terra produísca tota mena d'animals: cuques i tota mena d'animals domèstics i salvatges'". És a dir, les espècies van aparèixer totes al mateix temps, a l'inici de la història de la Terra. El mateix dia, però, com un cas a banda, "Déu digué: 'Fem l'home a la nostra imatge, semblança a nosaltres'" (convé fer notar a l'alumnat l'ús d'*home* per ésser *humà*, encara que en el segon relat de la creació, primer crea l'home i després, d'una de les seues costelles, la dona).

En aquest text, tant l'aparició de la Terra com la de les espècies es deuen a causes sobrenaturals, a la creació (per açò es denominen creacionistes). Aquestes espècies són les mateixes que tenim actualment, és a dir, no han canviat i s'han mantingut immutables, fixes (per aquest motiu els seus partidaris són denominats fixistes). I encara que en el món occidental només els creacionistes sostinguen literalment aquestes idees sobre l'origen de la Terra i les espècies, la veritat és que en la Bíblia després de la creació de l'ésser humà apareixen uns manaments divins que encara semblen vigents perquè tota la humanitat segueix entossudida a portar-los a la pràctica encara que qüestionen la sostenibilitat d'altres espècies i fins i tot la de la pròpia espècie humana: "Sigueu fecunds i multipliqueu-vos, pobleu la terra i domineu-la; sotmeteu els peixos, els ocells, les bèsties i totes les cuques que s'arrosseguen per terra".

A.7. Aquestes posicions van ser mantingudes per molts científics com Linné, etc.

A què crees que es deuen? Com explicaven aquests científics les adaptacions, els fòssils, etc.?

Les explicacions fixistes que seguien la creació narrada en el Gènesi van ser dominants durant molts anys, no sols a causa del poder social coercitiu de les diferents esglésies cristianes, sinó, com ja hem dit, del fet que la Bíblia és l'única dipositària de la Revelació i, per tant, tenia un gran poder dissuasiu, una gran autoritat intel·lectual. Lògicament, per sobre d'altres autoritats com Aristòtil o Plató i fins i tot dels denominats pares de l'Església (St. Agustí, St. Tomàs), que utilitzaven els autors medievals per justificar les seues afirmacions. Fins i tot durant la revolució científica, quan s'inicia realització d'experiments i observacions per a comprovar les hipòtesis, és a dir, com a criteri de veracitat, la tradició de les autoritats conservava tant de pes que algunes de les primeres experiències es realitzaven davant d'autoritats (regidors, canonges, jutges) que donaven testimoni dels resultats.

Per açò no és estrany que Linné, a qui, com hem vist, es deu el sistema de classificació dels éssers vius i la nomenclatura binomial, afirmara en el segle XVIII: "La Naturalesa compta tantes espècies com van ser creades des de l'origen". Açò suposava que no s'havien modificat des de llavors. El fixisme explica les característiques adaptatives dels organismes per un disseny intel·ligent, és a dir, per haver sigut dissenyades pel Creador per a aqueix fi, i argumenta que l'existència d'un rellotge suposa la del rellotger, com afirmava el teòleg del segle XVIII William Paley en la seua *Teologia natural*. Aquesta idea del disseny intel·ligent ha reviscut recentment als EUA, i oblida que la selecció natural és un procés automàtic, sense finalitat, però no aleatori i capaç de produir disseny (Dawkins, 1988).

Fins al segle XIX va persistir una classificació dels mamífers en la qual els éssers humans se situaven en un ordre a banda, *bimans*, i no inclosos en els primats, Segons va anar deixant-se de considerar l'espècie humana com a raó de tot l'existent, l'explicació que les altres espècies existeixen per ser útils a l'espècie humana va anar fent-se menys acceptable.

Des del descobriment d'Amèrica en 1492 es realitzaren gran nombre d'expedicions científiques, en les quals es van descobrir centenars de noves espècies animals i vegetals similars, però no idèntiques, a altres de conegudes, cosa que resultava cada vegada més difícil d'explicar amb les teories fixistes.

Però les dades més contradictòries amb el fixisme eren els fòssils o petjades d'éssers vius mineralitzats. En molts casos eren molt diferents de les espècies actuals emparentades amb aquells. Alguns partidaris del fixisme els consideraven “capritxos de la naturalesa”. Els catastrofistes pensaven que eren prova de cataclismes com el diluvi universal, que podia haver transportat éssers marins al cim de les muntanyes, i per això anomenaven *antediluvians* aquests organismes antics.

A.8. Penseu que pot haver-hi altres explicacions possibles de la gran diversitat d'éssers vius?

És important explorar les idees de l'alumnat, les seues explicacions sobre la diversitat, no tant perquè el professorat les conega, perquè probablement deuen ser similars a les detectades per la investigació, sinó sobretot perquè ells mateixos siguin conscients de quins models o idees estan emprant per explicar-ho, que és el primer pas necessari per al canvi conceptual.

Les explicacions evolucionistes proposen que les primeres espècies han anat canviant (evolucionant), i que les que existeixen ara són diferents i descendeixen d'aquelles poques espècies primitives. Per a les teories evolucionistes es deu a causes que tenen a veure amb fenòmens naturals, observables, que operen en l'actualitat (actualisme) i que procedeixen a un ritme lent i de forma repetida (gradualisme). Per a les teories evolucionistes, els mecanismes i les lleis de la naturalesa són els mateixos per a tots els éssers vius, inclòs l'ésser humà, que no es considera situat sobre els altres éssers vius.

Les explicacions evolucionistes de l'origen de les espècies es van veure refermades per les teories actualistes en geologia de Lyell, que suposen que els processos naturals han d'haver operat durant molts milions d'anys per a dur a terme efectes com la formació de valls i muntanyes, o transformacions en els éssers vius, com hem vist en el capítol 4, “El canviant planeta Terra”.

3. ELS MECANISMES DE L'EVOLUCIÓ

La idea del canvi o transformació de les espècies té precursors com Buffon, que en la seua *Història natural* (1749), exposà la possible existència de relacions de parentiu entre espècies diferents, i Erasmus Darwin, avi de Charles, que assenyalà en *Zoonomia* (1794) que els canvis que experimenten els animals i les plantes han de deure's a algun tipus de força interior, de tendència a la perfecció.

3.1. Lamarck: l'ús i el desús i la herència dels caràcters adquirits

Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) aconseguí una plaça d'ajudant de botànica al Jardí de Plantes de París en 1788. Quan la Convenció va reorganitzar el Jardí en 1793, transformant-lo en el Museu d'Història Natural, va crear dotze càtedres i va adjudicar a Lamarck la "d'animals inferiors", als quals va denominar invertebrats. L'estudi d'aquests li va fer qüestionar la immutabilitat de les espècies i defensar la transformació d'unes espècies en unes altres. Però, a més, va proposar un mecanisme per tractar d'explicar aqueixa transformació, com veurem a continuació.

A. Llegiu el següent text de Lamarck i expliqueu com justifica els canvis i la seua permanència: "Aquest animal [la girafa] viu en llocs en què la terra, quasi sempre àrida i sense herba, l'obliga a pasturar el fullatge dels arbres i a esforçar-se contínuament per aconseguir-ho. D'aquest costum resulta, després de llarg temps, en tots els individus de la seua raça, que les seues cames de davant s'han tornat més llargues que les de darrere, i que el seu coll s'ha allargat de tal forma que la girafa, sense alçar-se sobre les seues potes posteriors, eleva el seu cap i arriba als sis metres d'altura".

Encara que les idees de Lamarck no són acceptades actualment per la comunitat científica, és necessari introduir-les perquè els estudiants són, en certa forma, lamarckistes (Ayuso i Banet, 2002; Jiménez, 1991, 2004 i 2005).

Fins i tot Darwin mateix, com que no tenia clar el mecanisme de l'herència, va recórrer a l'ús i el desús per explicar l'evolució.

Es pot veure que Lamarck explicava la longitud de potes i coll en la girafa per l'ús, a causa de la necessitat o el costum. Inversament, atribuïa al desús la desaparició de potes de les serps. I suposava que aquestes característiques adquirides es transmetien a la descendència. En el capítol 7, "De la influència de les circumstàncies sobre les accions i els hàbits dels animals, i de les accions i els hàbits d'aquests cossos vivents com a causes que modifiquen la seua organització i les seues parts" de la seua *Filosofia zoològica* (1809), introdueix les dues següents lleis: "Primera llei. En tot animal que no ha traspasat el terme dels seus desenvolupaments, l'ús freqüent i sostingut d'un òrgan qualsevol el fortifica a poc a poc i li dóna una potència proporcionada a la duració d'aquest ús, mentre que el desús constant de tal òrgan l'afebleix i fins el fa desaparèixer. Segona llei. Tot el que la naturalesa va fer adquirir o perdre als individus per la influència de les circumstàncies en què la seua raça s'ha trobat col·locada durant llarg temps, i consegüentment per la influència de l'ocupació predominant de tal òrgan, o per la del seu desús, la naturalesa el conserva per la generació en els nous individus, sempre que que els canvis adquirits siguin comuns als dos sexes."

Una altra idea errònia que va sostenir Lamarck i que encara persisteix és l'escala lineal dels éssers vius, és a dir, que estan ordenats en una escala de menor a major complexitat o "perfecció". Com denuncia Gould (1991), encara se segueix aplicant a l'evolució humana, representada com una marxa cap al progrés que comença amb els micos i que finalitza amb l'ésser humà actual. Fins i tot els que sostenen que la següent anella de la cadena serà un "nan capgròs", com es veu en moltes pel·lícules de ciència ficció (*ET; Encontres a la tercera fase*, etc.), incorren en lamarckisme, perquè suposen implícitament que l'evolució està regida per l'ús i desús (una vida més sedentària i intel·lectual produeix desús de les cames i ús del cervell) (Arsuaga, 2001).

Altres motius per a introduir-lo són les implicacions socials del lamarckisme i el seu paper en l'evolució cultural. Respecte a les primeres cal assenyalar que les idees de Lamarck es van imposar en la URSS quan ja s'havia desenvolupat la

genètica. En efecte, Lysenko i els seus seguidors defensaven que els canvis produïts pel medi en les plantes es podien heretar, en oposició a la teoria acceptada pels genetistes del caràcter fortuït de les mutacions.

A.9. Com arribaren a convertir-se en dogma les idees de Lamarck?

Allò que no hauria sigut més que una típica controvèrsia entre científics es va convertir en una persecució, perquè Lysenko va rebre el suport de l'estat soviètic, que considerava que les mutacions a l'atzar s'oposaven al determinisme de l'evolució, més coherent amb les lleis del materialisme dialèctic. En conseqüència, a partir de 1939 Lysenko va substituir el genetista Vavilov en tots els seus càrrecs. Els genetistes van haver d'abandonar els seus llocs, fer confessions de culpabilitat i molts van ser bandejats, enviats a camps de concentració o simplement executats. Aquells que van poder continuar als seus laboratoris van haver de modificar les seues línies d'investigació per tractar de demostrar la correcció de les teories de Lysenko. En 1948 encara prosseguia la persecució i Dubinin, l'últim genetista de reconegut prestigi, va ser privat del seu laboratori. Encara que en 1953, a la mort de Stalin, 300 científics van sol·licitar la dimissió de Lysenko, aquesta no es va aconseguir fins a 11 anys després.

Actualment s'accepta que l'evolució cultural (Ruse, 1987; Dawkins, 1988), no solament dels éssers humans, sinó dels grans simis, etc., procedeix de forma anàloga a la proposta per Lamarck, la qual cosa explica la seua rapidesa, molt major que la de l'evolució biològica. Les noves adquisicions (fruit de l'assaig i error, del descobriment científic, l'invent tecnològic, la innovació artística, etc.) s'ensenyen als contemporanis, amb la qual cosa el seu aprenentatge es pot consolidar en tan sols una generació.

3.2. Darwin i Wallace: evolució per selecció natural

Charles Darwin (1809-1882), autor principal de la teoria de l'evolució per selecció natural, començà en 1825 els seus estudis de medicina a la Universitat d'Edimburg, abandonant-los en 1827, quan es traslladà a Cambridge per aprofundir en els seus interessos en ciències naturals. En acabar aquests estudis, va ser acceptat com a naturalista en l'expedició del vaixell *Beagle* al voltant del món entre 1831 i 1836. Un moment bàsic per a la ciència d'aquest viatge va tenir lloc quan va explorar l'arxipèlag de les Galápagos durant cinc setmanes, entre setembre i octubre de 1835. Allí observà espècies molt semblants, però diferents d'unes illes a altres.

A.10. Per què a l'arxipèlag de les Galápagos, s'hi troben diferents espècies de pinsà i tortuga, quan una illa està a una distància que es pot veure des d'altra? Per què s'assemblaven a les de Sud-amèrica?

Reflexionà durant molts anys sobre aquestes qüestions, alhora que realitzava observacions i recopilava proves. Va suposar que els seus avantpassats van arribar a les Galápagos des del continent i que devien haver evolucionat separats dels seus companys de les restants illes. El mecanisme mitjançant el qual s'havia realitzat aquesta evolució, li va vindre suggerit, d'una banda, per situacions pràctiques reals, com l'èxit de jardiniers i ramaders en la creació de races útils d'animals i plantes per selecció artificial i, de l'altra a partir de diverses lectures, com l'obra de 1798 Malthus *Un assaig sobre la població* (que plantejava el creixement de la població a major ritme que els recursos). Aquest mecanisme era la selecció natural deguda a la lluita per l'existència que permetia que les variacions favorables es preservaren i les desfavorables es destruïren, amb el resultat de la formació d'una nova espècie adaptada al medi. El temps necessari, li'l proporcionava Lyell, amb el seu marc actualista en el qual els canvis geològics es produïen a ritme molt lent. Encara que vint anys després encara no havia publicat les seues idees, observacions i proves, per temor als problemes socials i familiars que podrien produir-se, es va veure obligat a fer-ho en 1859, en el seu llibre *L'origen de les espècies mitjançant selecció natural o la*

conservació de les races afavorides en la lluita per la vida. La causa va ser un article enviat per Alfred Wallace (1823-1913), en el que exposava les seues idees, concebudes de forma independentment, en què fonamentava el model de selecció natural. Es tracta d'un clar exemple de descobriment simultani, bastant lògic, perquè els dos havien llegit Malthus i Lyell i, a més, tots dos havien fet viatges, en els quals tingueren l'oportunitat d'observar diferents espècies emparentades que vivien en llocs pròxims. Com hem vist, Darwin va fer la volta al món i Wallace va treballar a Malàisia.

Les idees centrals del model de selecció natural, acceptat avui dia per la comunitat científica són, segons Jiménez (2005):

1. Variabilitat hereditària en les poblacions: els mecanismes de l'herència biològica fan que no existisquen dos germans (excepte bessons idèntics) iguals entre si i que entre els individus d'una espècie hi haja moltes diferències,

A.11. Construiu un diagrama de barres on es represente gràficament l'alçària de les persones que hi ha a la classe. Elaboreu una llista d'aspectes qualitius que diferencien aquestes persones

La primera part ens permet realitzar una activitat característica del treball científic, la mesura i la representació de dades (Calatayud *et al.*, 1988). També es podia realitzar aquesta activitat amb el pes, però sembla menys adequat per problemes actitudinals, podria donar motiu a comparacions, a problemes d'autoestima, etc. Quant a les qualitatives, podem esmentar, per exemple, en els humans el color de pell, cabell i ulls, el grup sanguini, la capacitat de percebre sabors o olors o per a suportar calor, fred o altres condicions ambientals, etc. Algunes d'aquestes diferències són molt visibles i han donat peu a la classificació dels éssers humans en diferents races i, per tant, a justificar el racisme i l'esclavitud de les suposades races inferiors. Fins i tot en països com el nostre en què les característiques exteriors són molt similars, se n'han utilitzades altres, com el grup sanguini (Rh negatiu), per a justificar suposades diferències. Però la veritat és que aquestes diferències són mínimes al costat de les semblances, com ja va posar de manifest Shakespeare en *El*

mercader de Venècia en boca de Shylock: “És que un jueu no té ulls? És que un jueu no té mans, òrgans, proporcions, sentits, afectes, passions? És que no està nodrit dels mateixos aliments, ferit per les mateixes armes, subjecte a les mateixes malalties, guarit pels mateixos mitjans, calfat i refredat pel mateix estiu i pel mateix hivern que un cristià? Si ens punxeu, no sagnem? Si ens pessigollegeu, no riem? Si ens enverineu, no ens morim?”. La ciència contemporània confirma aquestes observacions, ja que, des del punt de vista genètic, la humanitat és molt uniforme. Els trets externs més visibles depenen de molt pocs gens i mostren fonamentalment l'adaptació climàtica dels grups humans (Cavalli-Sforza, L. i F., 1996; Lalueza, 2001).

2. Excessiva descendència: la majoria dels éssers vius tenen un enorme nombre de descendents dels quals només uns pocs arriben a l'edat reproductiva. Les plantes produeixen centenars o milers de llavors, els peixos ponen milions d'ous. Darwin va calcular que en 700 anys els descendents d'una parella d'elefants podrien arribar a 19 milions si tots sobrevisqueren. Per a animals molt prolífics com les rates, els descendents d'una parella arribarien a 20 milions en només tres anys, si tots sobrevisqueren.

A.12. Per què no sobreviuen tots?

Per la selecció natural, és a dir, perquè no hi ha suficient aliment o territori (com assenyalava Malthus) o perquè són menjats pels depredadors. Segons Darwin i Wallace, els que sobreviuen són els que, en nàixer, presenten alguna característica que els resulta avantatjosa.

L'estudi dels canvis que tenen lloc en una població al llarg del temps per les relacions dels organismes entre si i amb l'entorn ve modelitzat per una equació molt senzilla, proposada per Robert May (2004), professor de zoologia i president de la Royal Society, denominada equació o mapa logístic:

$$X_{\text{següent}} = a \cdot X_{\text{inicial}} \cdot (1 - X_{\text{següent}})$$

On a és la taxa de creixement de la població. Si $a < 3$, tenim una població estable; si a està comprès entre 3 i 3,57, la població oscil·la entre dos valors;

finalment, si $\alpha > 3,57$, la població fluctua, en aparença sense ritme ni motiu, de forma totalment impredecible. Es tracta de l'exemple més senzill de caos o comportament caòtic, de tanta importància en múltiples dominis de la ciència, des de l'activitat elèctrica del cor o el cervell, els fluids turbulents, la meteorologia (i el conegut efecte papallona), el degoteig d'una aixeta, el cinturó d'asteroides del sistema solar i un llarg etcètera.

3. Supervivència diferencial: en altres paraules, no és que un individu canvie per sobreviure millor en un ambient donat, sinó que queden vius –o tenen més descendents– els que presenten determinat caràcter, és a dir, augmenta la seua proporció en la població. El mecanisme proposat per Darwin i Wallace suposa que canvien les poblacions, lentament, i que en dos ambients diferents els descendents d'avantpassats comuns poden, amb el temps, arribar a ser molt diferents.

El model de selecció natural requereix pensar en termes de *poblacions*, no pas d'*individus*, ja que no es tracta que canvien els individus, sinó que la supervivència d'individus amb certs caràcters hereditaris i no amb uns altres porta a canvis en la població (avui diríem en les freqüències de gens, o al·lells, en la població). Al llarg de molt de temps, una altra condició crucial, les diferències entre dues poblacions originalment pertanyents a la mateixa espècie, poden arribar a ser tan grans que es convertisquen en espècies diferents.

A.13. Com explicaríeu amb la selecció natural de Darwin el coll de les girafes?

A la majoria dels pollets de les gallines de granja són de color groc o blanquínos. Les cries d'aus de la mateixa família que viuen en llibertat són marrons, clapejades i tacades. Tenint en compte que tots tenen els mateixos avantpassats, com explicarien Darwin i Wallace que els de granja tinguen color groc o clar?

No es tracta que les girafes estiren el coll per a aconseguir aliment, sinó que el medi selecciona les que tenen el coll més llarg, que tenen més descendència. Com assenyala Jiménez (2005), la segona activitat és més interessant, perquè és més difícil interpretar un cas en el qual no s'aprecia l'avantatge del color groc.

És probable que una part de l'alumnat ho explique pel color de l'aliment (dacs groga) o per influència del color de l'ambient (palla groga), la qual cosa no tindria sentit, perquè a la granja no ofereix avantatge camuflar-se de possibles depredadors. Precisament aqueixa absència de depredadors i la disponibilitat d'aliment és el que permet que sobrevisquen pollets de colors clars i llisos, que en el camp serien massa visibles. Animals amb aquest caràcter arriben a tenir descendents i així la població a les granges arriba a tenir una alta proporció d'aqueixos colors. Una vegada més, no canvien els individus sinó les poblacions en successives generacions.

4. PROVES I DIFICULTATS DE LA TEORIA DE L'EVOLUCIÓ

En 1859 Darwin va publicar *L'origen de les espècies*. La majoria dels seus 14 capítols (Darwin, 1982) es dediquen a presentar proves sobre l'evolució. Com assenyalava Glick (1986), Darwin no era únicament un col·leccionista de dades espigolades de llibres sinó que realitzà també alguns experiments. Aquest autor esmenta els següents: mesurar la supervivència dels brots d'herba; el paper de les abelles en la fecundació de les plantes (capítol III); els experiments d'encreuament de varietats (capítol IV); experiments amb fesols per a provar les lleis de variació (capítol V); l'experiment de la cel·la de l'abella. Però es se'n poden trobar altres en el llibre, com per exemple, la determinació del temps de supervivència de llavors en l'aigua, per comprovar que podien passar del continent a les illes. També assenyalava Glick (1986) que Darwin era propens a usar experiments imaginats, com Einstein, com quan demana que imaginem una espècie transportada sobtadament a un lloc nou (capítol III) o visualitzar canvis en les normes de depredació (capítol IV).

Les proves o dades que en l'època de Darwin refermaven la teoria de l'evolució són el registre fòssil (capítols XI i XII), la distribució biogeogràfica d'animals i plantes (capítols IX i X); l'embriologia, que mostra semblances entre els embrions d'espècies pròximes (capítol XIII) o les homologies. Diversos autors (Ruse, 1987; Jiménez, 2005) plantegen alguns problemes que mostren a continuació i que s'expliquen clarament amb la teoria de l'evolució:

A.14. Darwin va observar en la seua volta al món en el Beagle que les plantes i els animals de diferents països són molt diferents, i fins i tot dins d'un determinat país. Quin paper hi tenen les barreres geogràfiques?

Açò és la base de la biogeografia, l'estudi de l'adaptació dels éssers vius en les diferents regions del globus i, en conseqüència, a la seua diferent distribució. En aquesta es considera que la unitat bàsica de la biologia evolutiva és la població o conjunt d'individus d'una mateixa espècie que es troben en un enclavament geogràfic determinat. Una barrera biogeogràfica (la distància és un de les més efectives, però també un accident geogràfic: serralada, braç de mar, etc.) pot impedir no solament l'expansió d'una espècie, ja que actua com un límit a la seua àrea de dispersió, sinó també com a agent d'aïllament geogràfic que interromp el contacte entre individus de poblacions d'una mateixa espècie i que pot donar lloc a l'aparició d'altres de noves, com veurem seguidament. Les barreres biogeogràfiques (que poden ser així mateix artificials, com una autopista, per exemple) poden provocar també l'extinció de poblacions preexistents, ja que impedeixen l'intercanvi genètic entre els individus que la componen o limiten per sota del nombre crític la grandària de població.

Segons la teoria clàssica, l'aïllament geogràfic és imprescindible per a l'especiació, és a dir, el procés pel qual els diminuts canvis evolutius que es produeixen en una població culminen en l'establiment de noves espècies. Podem definir una espècie com un conjunt de poblacions que comparteixen un mateix genoma i mantenen una comunicació reproductora mitjançant encreuaments. No obstant açò, quan dues poblacions queden reproductivament aïllades entre si de manera que no es produeix flux genètic, poden arribar a aïllar-se dues espècies diferents (com observà Darwin en les Galápagos). Si l'aïllament és geogràfic, es parla d'especiació al·lopàtrica. També pot donar-se especiació simpàtrica, sense necessitat d'aïllament geogràfic i afavorida per altres tipus d'aïllament: per èpoques diferents de fecunditat de les poblacions (aïllament estacional); per determinants genètics que estableixen incompatibilitat reproductora entre dues espècies (aïllament reproductor); per diferències en els hàbits d'emparellament entre espècies diferents (aïllament sexual) (Arsuaga, 2001).

A.15. Com explica Darwin que els éssers vius estiguen adaptats al seu medi? I els òrgans anàlegs?

Les teories fixistes expliquen l'adaptació pel disseny. Per a Darwin i Wallace es tracta que sobreviuen millor els que presenten algun caràcter que millora la seua adaptació i deixen més descendents. Segons l'ambient, pot resultar millor adaptat un caràcter (per exemple el pelatge blanc a la neu) o un altre (el pelatge fosc en un bosc). Això pot canviar amb el temps, en canviar el medi. Així, les arnes dels bedolls, que abans de la revolució industrial eren predominantment blanques, ja que el seu color es camuflava millor en aquests troncs i fosques després de la industrialització, una vegada que els trocs s'havien embrutat de sutge.

Com hem vist, es denominen anàlegs als òrgans o estructures orgàniques que no presenten cap comunitat d'origen però que exerceixen funcions semblants. Així, les ales dels insectes i les de les aus són òrgans anàlegs adaptats al vol, encara que la seua estructura i origen siguen diferents. Açò és explicat pels evolucionistes com a conseqüència d'un procés de convergència evolutiva, és a dir, l'adopció de formes anatòmiques o etològiques similars entre línies d'organismes no emparentades, com a conseqüència d'haver-se adaptat a un mateix medi. La convergència és un fenomen relatiu entre dues o més formes o grups. Presenten convergència, respecte als peixos, els cetacis, que, sent mamífers, han adquirit una forma similar a la dels peixos en adaptar-se de nou al medi aquàtic.

A.16. Per què existeixen isomorfismes entre els ossos dels braços i les mans d'un ésser humà, les potes davanteres del cavall, les ales de l'ocell i de la ratapinyada o les aletes de la balena? Per què ocorre açò, malgrat els molt diferents usos en què s'empren aquests membres?

A.17. Per què els embrions del gos i de l'ésser humà són pràcticament indistingibles, si els adults són tan diferents?

Els òrgans homòlegs són el mateix òrgan en diferents animals, situat en la mateixa posició respecte a uns altres, encara que la seua funció i fins i tot la seua forma siguen diferents. Eren una prova a favor del fixisme, una mostra que el Creador havia dissenyat un arquetip o model ideal, del qual, per exemple, els diferents vertebrats serien variacions. En canvi, per a l'evolucionisme, si les espècies foren creades de forma independent, no tindria sentit que posseïren els mateixos ossos o estructures. Els òrgans homòlegs són una prova de l'evolucionisme, que diferents espècies procedeixen d'un avantpassat comú. Darwin argumenta que la coincidència en les peces de l'extremitat (o altres òrgans) amb diferent funció s'explica millor pel fet de procedir d'un avantpassat comú.

També la indistingibilitat dels embrions de gos i home, en les primeres setmanes, posen de manifest que tots dos tenen un origen comú.

A.18. Com s'expliquen els fòssils o la diversitat actual dels éssers vius?

Queda explicat fàcilment amb l'única il·lustració de *L'origen de les espècies*, *l'arbre genealògic de la vida*. "Aquesta tendència dels grups nombrosos a seguir augmentant i a divergir en els seus caràcters, unida a la circumstància quasi invariable d'una considerable extinció, explica la disposició de les formes vivents en grups propis subordinats entre si" (Darwin, 1982). És a dir, la ramificació en l'evolució explica la diversitat i les extincions, els fòssils.

Des d'aquest punt de vista, la classificació dels éssers vius deixa de ser una mera taxonomia i adquireix un caràcter sistemàtic, que constitueix una prova més de la teoria de l'evolució, ja que posa de manifest relacions de filiació entre els éssers vius. Per exemple, d'alguna espècie de peix van sorgir els amfibis, d'alguna d'aquests, els rèptils i d'alguna espècie de rèptil, els mamífers i d'una altra, les aus.

A.19. Pots esmentar dificultats de la teoria de la selecció? Com s'hi poden explicar òrgans tan perfectes com l'ull?

Darwin mateix era perfectament conscient de les dificultats de la seua teoria i dedicà dos capítols de la primera edició de *L'origen*, el VI "Dificultats en la teoria", i el IX, "La imperfecció del registre geològic", a eixir del pas d'aquests entrebancs. Un és el de l'ull: "Podem creure que la selecció natural ha produït [...] òrgans d'una estructura tan meravellosa com l'ull, del qual, amb prou feines podem comprendre del tot la seua perfecció inimitable?" (Darwin, 1982). Els creacionistes qüestionen l'evolució de l'ull a partir d'estructures incipients sense quasi visió. Però, com assenyala Dawkins (1988), és millor un cinc per cent de visió que la ceguesa total (què ho diguen a persones que han anat perdent-la per retinitis degenerativa pigmentària!) i, en conseqüència, és possible una evolució primer amb cèl·lules sensibles a la llum, que després se situen en un buit (que confereix direccionalitat a la visió), que es tanca amb un cristal·lí (guanya nitidesa), etc., i amb cadascun d'aquests passos augmenten les possibilitats de supervivència de l'organisme. Un altre argument també molt utilitzat pels creacionistes és la perfecció del disseny de l'ull, però la veritat és que aquest és una bona prova del "bricolatge de l'evolució", que treballa a partir del que té a mà (Jacob, 1982). Així, en contra de qualsevol disseny racional, en l'ull dels vertebrats les connexions passen per sobre dels cons i bastons, fins que s'enfonsen en la *taca cega*.

Però el principal problema de la teoria de Darwin era que no explicava per què sorgeixen variacions hereditàries entre organismes i com es transmeten aquestes de generació en generació. Les teories de l'herència que prevalien en aquells anys sostenien que les característiques dels progenitors es barregen en els fills. Però si açò és així, és difícil explicar com es mantenen les característiques favorables sense diluir-se en el transcurs de les generacions. Calgué esperar que es difonguera la teoria de l'herència de Mendel per a resoldre aquest problema, com veurem més endavant.

Les crítiques que va rebre *L'origen* van ser tan fortes, que en les cinc edicions posteriors del llibre, Darwin va atenuar alguns dels seus arguments per fer-los front. Per això, alguns editors contemporanis (com, per exemple, Penguin Books o Edicions 62) prefereixen oferir la primera edició, que presenta d'una forma més clara i amb més força la teoria darwiniana sobre l'origen i l'evolució de les espècies. Veurem a continuació altres dificultats, ideològiques, contra la teoria.

5. IMPLICACIONS SOCIALS DE LA TEORIA DE L'EVOLUCIÓ

La teoria de l'evolució fou la de major impacte social en el segle XIX.

A.20. Quines implicacions socials tingué i encara continua tenint la teoria de l'evolució? Per què penseu que ofereix tanta resistència l'acceptació d'aquesta teoria?

Aquesta idea va experimentar una gran oposició ideològica perquè s'oposava a l'origen de les espècies per creació divina i despullava l'espècie humana del seu lloc privilegiat, com Copèrnic havia desallotjat la Terra del centre de l'Univers. També l'evolució a l'atzar qüestiona la intervenció contínua de Déu en la naturalesa viva (com Laplace l'havia qüestionat en el sistema solar) i sobretot el finalisme, és a dir, el funcionament segons lleis establides pel Creador i dirigides a una finalitat, o el que és el mateix, l'existència d'un pla preconcebut pel Creador.

La controvèrsia començà ja un any després de publicat *L'origen de les espècies* entre Wilberforce, bisbe d'Oxford, i el científic Huxley. El primer continuava utilitzant la interpretació literal de la Bíblia contra les teories científiques de Darwin sobre l'evolució i l'origen de l'home defensades pel segon. I açò ha prosseguit fins a l'actualitat en països protestants, especialment als EUA. En alguns estats es va prohibir l'ensenyament de la teoria de l'evolució, cosa que va provocar el "judici del mico" en 1925 a Tennessee, contra un professor que va fer cas omís de la prohibició i va ser condemnat per aquest motiu. A Arkansas i Louisiana (EUA) la llei obligava a concedir el mateix temps d'ensenyament a la teoria de l'evolució i a les tesis creacionistes fins a dates tan recents com el 1987 i a Kansas, el 1999. L'elecció de Georges W. Bush reforçà les postures dels fonamentalistes protestants, que consideren la teoria de Darwin com una hipòtesi no provada i exigeixen que es dedique el mateix temps al creacionisme.

En països catòlics, com Espanya, les restriccions ideològiques de l'última dècada del regnat d'Isabel II van impedir la divulgació del darwinisme (Josep Ortola va ser separat de la seua càtedra en 1867) fins a la Revolució de 1868. En la Restauració de 1875, un reial decret prohibí als professors realitzar

manifestacions contra la monarquia i la religió i els obligava a seguir els llibres imposats des del ministeri. Uns 39 catedràtics van protestar i 19 van ser apartats de les seues càtedres; cinc,3 detinguts i tres, bandejats (Salmerón, Azcárate i Giner de los Ríos). Odón de Buen va publicar llibres per difondre Darwin, que foren condemnats per la Sagrada Congregació de l'Índex en 1895, que demanà al mateix temps la destrucció de les obres i la retractació de l'autor. Aquests fets provocaren manifestacions estudiantils.

Pius XII, en la *Humani generis*, (1950) continua plantejant l'evolució com una teoria no demostrada i, per fi, Joan Pau II accepta la teoria de l'evolució, ja que aquesta "Ha sigut acceptada progressivament pels investigadors com la continuació d'una sèrie de descobriments en diversos camps del coneixement. La convergència, que no és cercada ni inventada, dels resultats de treballs que s'han realitzat de manera independent és en si mateixa un raonament significatiu a favor de la teoria". Accepten l'evolució biològica fins i tot per als éssers humans, però sostenen que Déu infon l'ànima en el mateix instant de la fecundació, cosa que els porta a negar qualsevol possibilitat d'avortament, sense distingir entre embrió i fetus, com feien alguns pares de l'Església (Sagan, 2000) o qualsevol possibilitat d'investigació amb cèl·lules mare embrionàries.

També tingué conseqüències en el pensament polític i econòmic a través de filòsofs com Spencer, que van ampliar la teoria de la selecció natural a la societat humana veient en la competència entre les empreses i en el comerç lliure la selecció dels més aptes. Aquesta doctrina es va denominar darwinisme social i, segons aquesta, la lliure empresa i l'individualisme es converteixen en una llei natural i inevitable i continua actualment present en el neoliberalisme dominant en els nostres dies. Aquestes idees van ser esteses per militaristes com Bagehot i racistes com Chamberlain a la lluita entre nacions i races, en la qual les més fortes conquistarien les més febles, i així es justificava l'esclavitud i l'imperialisme militar dels EUA, el Japó i diversos països europeus. Els biòlegs mateixos no eren molt inclinats a aquestes interpretacions. Així, Darwin veia en l'evolució de la humanitat el creixent domini dels instints cooperatius. Wallace defensava que en la lluita social ningú no hauria de tenir un avantatge injust en

riquesa o educació: tots haurien de tenir igualtat d'oportunitats. Huxley s'expressava contra la idea que l'evolucionisme donara al govern una excusa per a passar les seues responsabilitats a la naturalesa. Aquestes altres versions de la teoria van ser recollides per alguns socialistes i anarquistes, com Kropotkin, en suport del principi d'ajuda mútua.

La teoria de la selecció natural també va influir en l'eugenèsia de Galton, Pearson i Davenport, és a dir, en la idea d'una millora planificada de la raça humana mitjançant l'esterilització dels individus menys aptes. Açò, unit a l'aplicació sistemàtica en l'exèrcit del test d'intel·ligència de Binet (que posaven de manifest la suposada inferioritat de negres i immigrants recents), van portar als EUA a adoptar en 1924 lleis restrictives de la immigració i a la fi dels anys 20, una dotzena d'estats nord-americans van adoptar lleis eugenistes sobre esterilitzacions, la constitucionalitat de les quals va ser ratificada pel Tribunal Suprem en 1927. A Alemanya, a partir de 1933, es publicà una llei eugenista que va provocar l'esterilització de centenars de milers de persones i va obrir el camí als camps de la mort.

Aquests conflictes són una mostra més de les relacions CTS, més concretament, del paper de la ciència en l'evolució de les idees filosòfiques, religioses, artístiques, en la legislació i en altres aspectes de la vida social.

6. LA TEORÍA SINTÈTICA DE L'EVOLUCIÓ. NOUS DESCOBRIMENTS QUE LA CONFIRMEN

La crisi del darwinisme es produeix perquè aquest no explicava com s'heretaven les variacions, cosa que s'entengué quan es difongué la genètica de Mendel. Aquest va realitzar les primeres experiències d'hibridació en 1856 i va publicar els resultats obtinguts en 1866, en *Experiments sobre els híbrids vegetals*. Les seues experiències, realitzades creuant diverses varietats i espècies de pèsols, li van permetre establir les lleis bàsiques de l'herència. Mendel va descobrir que els gens, els quals va denominar factors, ja que en desconeixia l'existència física, determinen l'herència dels caràcters. No obstant açò, encara que els va exposar

en cercles científics (per exemple, a Nägeli i a Darwin mateix, la qual cosa posa de manifest que aquest no estava molt preocupat pels mecanismes de l'herència), els seus descobriments van ser oblidats fins a 1900, any en què tres altres naturalistes, H. de Vries, C. Correns i E. Tschermak von Seysenegg, van redescobrir, treballant independentment, aquestes lleis. El terme *genètica* va ser usat per primera vegada pel biòleg britànic W. Bateson en 1906.

Clàssicament, els estudis de genètica han consistit en la realització d'encreuaments experimentals, especialment dissenyats per a després estudiar la descendència. En un primer moment, es van usar plantes o animals superiors. Prompte es van comprendre els avantatges d'utilitzar organismes menuts, de cria fàcil i econòmica. La introducció de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) per Morgan cap a 1925 va permetre importants avanços. Més endavant, en abordar la naturalesa química del material hereditari, va resultar encara més adequat l'ús de bacteris, i especialment l'*Escherichia coli*.

Després del redescobriments del treball de Mendel, el desenvolupament de la genètica es va accelerar ràpidament: els biòlegs es van adonar que els factors mendelians semblaven coincidir en el seu comportament durant la reproducció amb els cromosomes que acabaven de ser estudiats detalladament. Les mutacions naturals o artificials exerceixen també un paper important en aquests estudis. Sutton i Boveri, van proposar en 1904 la denominada teoria cromosòmica de l'herència, segons la qual els factors hereditaris, que es van denominar gens, es troben en els cromosomes.

El neodarwinisme o teoria sintètica és la teoria de l'evolució que actualitza la hipòtesi darwinista amb l'aportació dels coneixements de la genètica mendeliana. Els seus principals creadors són el genetista Theodosius Dobzhansky, amb el seu llibre *La genètica i l'origen de les espècies* de 1937, el zoòleg Ernst Mayr amb la seua *La sistemàtica i l'origen de les espècies* de 1942 i el paleontòleg George Gaylord Simpson amb el seu *Temps i manera en evolució* de 1944. Va ser J. Huxley el que va encertar a denominar en 1942, arran del Congrés de Princeton, la nova teoria *neodarwinisme* o *síntesi moderna de l'evolució* (Arsuaga, 2001). Com hem vist, el neodarwinisme recull aportacions (a més de la genètica i l'ecològica) de moltes altres branques de la història

natural, especialment de la botànica i zoologia sistemàtiques i de la paleontologia.

A.21. Què enteneu per mutació? Quin paper pot tenir en l'evolució?

Aquesta teoria afirma que l'evolució es deu a l'acció conjunta de diferents factors (mutacions, recombinació genètica, selecció, aïllament). La mutació provoca un canvi molt petit en la dotació genètica de l'individu, que per recombinació passa als descendents i que la selecció s'encarrega de fer viable o no. L'aïllament de les poblacions afavoreix la perpetuació d'aquells canvis que tornen més apte l'individu enfront de les condicions del medi. El resultat d'aquest procés és, com hem vist anteriorment, l'especialització.

Eldredge i Gould van proposar en 1970 (Gould, 1991) la teoria de l'equilibri puntuat, amb períodes curts (a escala dels temps geològics) d'aparició de noves espècies i llargs períodes en què aquestes espècies no varien. Tot açò ha tornat a posar d'actualitat la vella polèmica sobre si tota l'evolució respon a un únic mecanisme o si es pot distingir entre l'anomenada microevolució o evolució intraespecífica, que es produeix a l'interior d'una mateixa espècie i que dóna origen a noves races i varietats, per a originar més tard subespècies; i la macroevolució o evolució supraespecífica, que afecta els taxons superiors a l'espècie i dóna lloc a noves línies filogenètiques (Arsuaga, 2001).

6.1. L'estructura de l'ADN

En 1944, Avery, McLeod i McCarty, van aconseguir identificar el material genètic en l'àcid desoxiribonucleic o ADN. El següent avanç notable va ser el descobriment, en 1953, de l'estructura tridimensional d'aquest ADN.

A.22. Quin paper han tingut la física i la química en el desenvolupament de la biologia?

El paper de la química és més evident, per la seua contribució a la superació del vitalisme, doctrina que separava els éssers vius dels inanimats, ja que els primers funcionaven mitjançant un "principi vital" no sotmès a les lleis fisicoquímiques. El primer pas en aquesta superació el va donar Whöler en 1828 amb la síntesi de la urea, existent en l'orina, a partir de l'isocianat de metil (compost inorgànic inexistent en els organismes vius). Però encara es van necessitar molts anys i els treballs de molts químics orgànics com Kolbe, Liebig, Bunsen, Kekulé, per a fer insostenible el vitalisme i generar una nova ciència bàsica per a l'estudi dels éssers vius, la bioquímica.

La física ha tingut un paper important, que sovint s'oblida. Aquest s'inicia en el segle XIX quan Mayer i Helmholtz utilitzen la llei de conservació de l'energia (vegeu el capítol 6) en la fisiologia i expliquen la calor corporal i l'acció muscular a partir de l'oxidació dels aliments. Però una aportació decisiva no es produeix fins a ben entrat el segle XX. Es basa en la utilització dels rajos X, descoberts per W. K. Röntgen en 1895, i la primera aplicació dels quals és la realització de radiografies en 1896. En 1912 Laue va suggerir que la distribució regular dels àtoms dins del cristall podia actuar com una xarxa de difracció dels rajos X, ja que aquestes ones eren del mateix ordre de magnitud que l'espaiat dels àtoms d'un cristall (0,1 nm).

En 1913 William Lawrence Bragg (1890-1970) i son pare William Henry Bragg (1862-1942) utilitzaren la difracció de rajos X per a la determinació de l'estructura de substàncies com el diamant, la fluorita (CaF_2), la pirita (FeS_2) i la calcita (CaCO_3), treball pel qual reberen el premi Nobel de Física de 1915. W. L. Bragg va ser designat per succeir Rutherford com a director del Cavendish Laboratory en 1938. Allí va treballar Max Perutz, un jove químic austríac, que va plantejar determinar l'estructura de l'hemoglobina, fet que obria una nova línia d'investigació, la biologia molecular. Ho va aconseguir molts anys després, en 1953, per la gran dificultat que planteja la interpretació dels diagrames de difracció. Per açò se li va concedir el premi Nobel de Química en 1962, juntament amb John Kendrew, que va determinar la de la mioglobina. També treballaven al Cavendish James Watson i Francis Crick. Watson era un jove biòleg nord-americà que va arribar al Cavendish per fer investigació postdoctoral i Crick era un físic, la carrera del qual es va veure interrompuda per la Segona Guerra Mundial, i que es va inclinar a realitzar la seua tesi doctoral en

biologia molecular inspirat pel llibre de Schrödinger *Què és la vida?* (original de 1944; traducció catalana de 1984). Utilitzant les dades de la difracció de rajos X de l'àcid desoxiribonucleic (ADN) de Maurice Wilkins i Rosalind Franklin van desenvolupar el model de doble hèlix per a l'ADN. Tot açò està narrat en forma molt entretinguda en els llibres de Watson (1994) i Crick (1989), dels quals es poden extraure textos per a la lectura dels estudiants.

També cal esmentar el paper de la instrumentació física: l'espectrògraf de masses, el microscopi òptic i l'electrònic, la radiació sincrotró, la tomografia assistida per computador (TAC), la ressonància magnètica nuclear (RMN), la tomografia per emissió de positrons (TEP o PET), les fonts i isòtops radioactius i un llarg etcètera. O l'aportació d'alguns físics que van canviar el seu camp d'investigació (com Crick, Delbrück, Rotblat, Szilard, etc.) o que van aportar idees com Schrödinger, sobre la vida, o Gamow i von Neumann, sobre el codi genètic. O el paper d'una nova disciplina com la biofísica. Encara que actualment existeix molta prevenció i desinterès dels estudiants de ciències de la naturalesa i la salut respecte de la física, cal no oblidar que les ciències avancen juntes i que existeix una fecundació encreuada entre aquestes (es plantegen problemes, s'aporten idees, etc.).

A.23. *Què sabeu sobre l'ADN?*

L'ADN és un filament allargat (encara que en els cromosomes està enrotllat com un cabdell) d'una certa longitud, format per dues fibres paral·leles, enrotllades sobre un eix imaginari en forma helicoidal a manera d'una escala o doble hèlix. Cada braç està compost per una cadena o successió de molècules o bases nitrogenades que formen seqüències: adenina, timina, citosina i guanina (identificades com a *A*, *T*, *C* i *G*, respectivament). Cada base de cadena s'aparella de forma precisa amb la base d'enfront de l'altra cadena: *A-T*, *T-A*, *C-G* o *G-C* (per tant, no és possible, per exemple, la correspondència d'un parell de bases *A-G*, i, en cas de produir-se, ens trobaríem davant un error o mutació). És així que si coneixem la base d'un costat podem deduir la base de l'altra cadena. Per això, es diu que aquestes cadenes són complementàries; a més, cada cadena aporta

per si sola tota la informació de l'ADN. Si s'alinearen estirades i de forma consecutiva tots els cromosomes, l'ADN de l'ésser humà tindria una longitud de prop de dos metres, en els quals hi ha aproximadament uns tres mil milions de parells de bases.

La successió d'un nombre variable de bases configura els gens, que són fragments d'ADN distribuïts en els cromosomes. Els gens constitueixen la unitat física i funcional de l'herència; per tant, la unitat d'informació. Aquesta informació l'aporten quan s'expressen o "activen", partint del fet que no s'expressen tots els gens en tot moment de la vida ni en tot lloc de l'organisme de l'ésser viu de què es tracte. En expressar-se, la informació que contenen els gens dóna lloc a la producció o síntesi de proteïnes i d'altres molècules (àcid ribonucleic, ARN). Cada gen té una grandària diferent i, doncs, pot estar format per milers o per milions de bases. Es calcula que en l'ADN de les cèl·lules de l'ésser humà hi ha uns trenta mil gens, encara que pel caràcter "escollit" que s'atribueix a l'espècie humana, se n'esperaven uns vuitanta mil. No obstant això, no tot l'ADN està integrat per gens, ja que aquests constitueixen, aproximadament, tan sols un 10%. Per tant, hi ha seqüències que exerceixen altres funcions no vinculades directament amb l'expressió de l'herència, o almenys es desconeix quina pugui ser la seua funció. Per tal motiu, se l'ha denominat a voltes *ADN brossa* o *escombraria*, encara que avui es reconeix la seua importància i, en conseqüència, l'inadequació de l'apel·latiu. Per això, aquest ADN és conegut com a *ADN no codificant*, el qual revesteix una gran importància forense com a element d'identificació individual en un procés judicial, atesa l'enorme variabilitat que presenta en els individus.

El codi genètic és la clau amb la qual es transmet la informació genètica durant la síntesi de les proteïnes. Consisteix en la combinació de les quatre bases orgàniques que es troben en l'ADN de tres en tres (triplets o codons).

A.24. Representeu tots els triplets possibles que comencen per adenina (A).

Els triplets o codons donen lloc així fins a 64 combinacions diferents, de les quals una quarta part, és a dir, 16 comencen per adenina (si són capaces de representar-les, poden comprendre fàcilment les altres). Aquestes combinacions es corresponen amb els aminoàcids que constitueixen les proteïnes, però aquests són només 20 en total. Açò significa que triplets diferents poden codificar un mateix aminoàcid, és a dir, el codi genètic és degenerat (diversos triplets codifiquen un mateix aminoàcid, la qual cosa és una assegurança contra possibles mutacions i, a més, hi ha un triplet d'iniciació i tres triplets de parada). Les altres característiques principals del codi són: universalitat (els mateixos triplets codifiquen les mateixes proteïnes en tots els organismes vius) i especificitat (un triplet només codifica un aminoàcid). Fent ressaltar el caràcter de codi, es parla de les bases com a lletres;, els triplets, com a paraules i el gen, com a frase.

A.25 Per què l'existència d'un codi genètic universal, és a dir, que el mateix triplet de bases de l'ADN codifiqui el mateix aminoàcid en tots els éssers vius, és alguna cosa difícilment explicable per un model diferent a l'evolucionista?

La semblança entre proteïnes o bases de l'ADN en espècies pròximes pot considerar-se un cas especial d'homologia, i la universalitat del material genètic, ADN i del codi genètic, el mateix per a tots els éssers vius, siguin bacteris, insectes, plantes o humans, és potser l'homologia més important. Resulta difícil explicar que tots els éssers el compartisquen si no és per un origen comú, perquè descendeixen d'avantpassats comuns. Si les diferents espècies hagueren sigut creades separadament, no seria esperable que compartiren el codi genètic. Per això abordarem a continuació les teories actuals sobre l'origen de la vida.

6.2. Investigacions sobre l'origen de la vida

*A.26 Quines condicions ha de reunir un planeta o satèl·lit per a albergar vida?
Per què alguns científics diuen que hi ha (o va haver-hi) possibilitats per a la vida a Mart o a Europa (satèl·lit de Júpiter)?*

La primera és que orbite al voltant de l'estrella adequada. No totes ho són. Han de ser de segona generació, ja que les de primera es formen a partir del H i He primordials i no tenen elements complexos. Són les reaccions nuclears del seu interior les que generen elements més complexos, com C, O, N, S, P, etc., que, en explotar, ixen a l'exterior i fan que les estrelles de segona generació els incorporin. En aqueix sentit, com diu Sagan, "som fills de les estrelles". Però fins i tot, no totes les estrelles de segona generació són adequades. No són adequades per a la vida les gegants blaves o blanques, perquè desprenen molta energia i viuen poc, sense donar-li temps ni possibilitats suficients a la vida. Tampoc les nanes marrons, poc energètiques. També les estrelles dobles o triples semblen excloure's, perquè afavoreixen el caos en les òrbites planetàries. Les estrelles grogues com el nostre Sol semblen les més adequades, i poden representar menys d'1/10 del total.

Sembla que els planetes rocosos, també anomenats tel·lúrics (amb superfícies sòlides i/o líquides) amb una determinada grandària per a retenir atmosfera són més adequats que els gegants gasosos. També és convenient una distància a l'estel ni molt curta ni molt llarga, perquè la temperatura no siga, respectivament, ni molt alta ni molt baixa per a la vida. Una atmosfera protegeix de la radiació còsmica i estabilitza les temperatures entre la part del planeta il·luminada i no il·luminada (cosa que produeix diferències de centenars de graus), però sembla adequat que no siga ni tan densa com la de Venus (que provoca efecte hivernacle) ni tan poc densa com la de Mart (que no serveix per a estabilitzar les temperatures i impedir l'evaporació de l'aigua). D'altra banda, si l'atmosfera no posseeix molècules que absorbisquen la radiació UV (capa d'ozó en el nostre cas), l'aigua pot exercir aqueixa funció, a més d'afavorir les reaccions químiques, per la qual cosa es pensa que Europa, que sembla disposar

d'aigua, pot tenir possibilitats i que Mart les tingué (quan disposava de més atmosfera i aigua líquida). En el nostre sistema solar açò suposa un poc més d'1/10.

A.27 Com es pot originar vida a partir de la matèria inert?

Com totes les qüestions sobre orígens, resulta extraordinàriament complexa (Oparin 2006). Oparin i Haldane van plantejar la possibilitat que, en determinades circumstàncies, es produïra vida a partir de la matèria inert. L'experiència de 1952 de Stanley Miller ho va fer plausible. Va col·locar en un matràs els gasos de l'atmosfera primitiva (metà, amoníac, hidrogen, vapor d'aigua i un poc de diòxid de carboni), ho va calfar i va fer saltar espurnes elèctriques en el seu interior, i obtingué en el fons una substància vermella que contenia aminoàcids, les molècules que formen les proteïnes i àcids nucleics. Joan Oró, científic català que investigava als EUA, va ser capaç de sintetitzar adenina, una de les quatre bases de l'ADN i l'ARN, a partir del cianhídric HCN. Anys després, treballant amb Miller, van sintetitzar una altra base, la guanina, a partir del formaldehid HCHO.

Amb aquestes molècules orgàniques: aminoàcids, àcids grassos, precursors dels lípids, cianhídric HCN i formaldehid HCHO, dissoltes en aigua, possiblement en basses superficials, molt de temps i argila (que catalitza la formació de petites cadenes d'àcids nucleics, proteïnes i lípids), es va produir una química prebiòtica que va acabar per desembocar en la formació de petits glòbuls (ja que les proteïnes se separen de la dissolució), que Oparin denominà coacervats. Fases necessàries d'aquesta química són l'establiment d'un interior (membranes semipermeables), els mecanismes productors d'energia (és a dir, un metabolisme per fermentació o fotoquímica, etc.) i, a més, mecanismes reproductors (inicialment basats en l'ARN, que pot autoreproduir-se i és més senzill que l'ADN). El final d'aquest procés el constituí l'aparició de les primeres cèl·lules sense nucli, les algues blauverdes i els bacteris.

El químic Svante Arrhenius proposà la idea que la vida va arribar al nostre planeta en un meteorit. Aquesta proposta reapareix recurrentment. En l'actualitat es defensa perquè en les nebuloses de la galàxia s'han detectat les

molècules orgàniques anteriorment esmentades, però això només prova la universalitat de les lleis químiques. Aquesta hipòtesi no resol el problema de l'origen de la vida, simplement el desplaça a un altre lloc. D'altra banda, els meteorits, en travessar l'atmosfera terrestre, arriben a la incandescència per fricció, amb temperatures que no semblen molt favorables per a la supervivència de bacteris.

A.28 A partir del calendari sobre l'edat de la Terra i del que se sap sobre l'origen de la vida, què podem dir sobre la probabilitat de vida, de vida intel·ligent i que aquesta aconseguisca una tecnologia espacial? Què ens diu sobre l'existència d'ovnis?

Unint tots aquests ingredients, Drake va plantejar una equació sobre la probabilitat d'una civilització tecnològica en la galàxia $N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$. On R és la taxa de formació d'estels com el Sol a la galàxia; f_p , la probabilitat que tinguin planetes; n_e és el nombre mitjà de planetes habitables; f_v , la probabilitat que hi haja vida en aquests; f_i és la probabilitat de vida intel·ligent; f_c és la probabilitat d'una civilització tecnològica (amb radiotelescopis que li permeten comunicar-se amb nosaltres) i, finalment, L , la vida mitjana d'aquesta civilització. I, en conseqüència, N seria el nombre de planetes que poden tenir vida amb tecnologia avançada. En les seues estimacions, Sagan (2006), Drake i altres partidaris del programa SETI (Search of Extraterrestrial Intelligence), basat en la idea que la forma més probable de comunicació amb civilitzacions extrasolars siga la detecció amb radiotelescopis d'ones electromagnètiques emeses per aquestes, van trobar per a N valors compresos entre 10^3 i 10^5 . R és el quocient entre 10^{11} (estels en la galàxia) i 10^{10} anys (vida de la galàxia), multiplicat $1/10$, que són els estels tipus Sol, és a dir, $R = 1$. f_p val entre $1/2$ i $1/5$ i n_e , entre 1 i 5 . Van considerar que tots els planetes habitables produeixen vida i vida intel·ligent, és a dir, que $f_v=1$ i $f_i=1$, però que només un de cada 10 aconsegueix civilització tecnològica, $f_c=0,1$. Finalment, el factor més imprevisible i, d'altra banda, el més interessant, ja que indica la probabilitat de pervivència de la nostra espècie, és L , al qual van assignar valors entre 10^4 i 10^6 .

Encara que els primers valors, els astronòmics, són bastant acceptables, pensem, com molts biòlegs, que la probabilitat de vida, de vida intel·ligent i de civilització tecnològica semblen clarament sobreestimades. En primer lloc, a partir del que podem observar a la Terra (perquè fins avui tota la biologia és terrestre). La Terra existeix des de fa 4.500 milions d'anys (Ma). No sembla que la vida siga tan difícil, ja que els bacteris existeixen des de fa uns 3.500 Ma. Però la vida complexa és més difícil i més si tenim en compte el paper de l'atzar en l'evolució dels éssers vius (recordem l'extinció dels dinosaures). Així, les primeres cèl·lules nucleades existeixen des de fa uns 2.200 Ma i els éssers pluricel·lulars, des de fa 700 Ma. Molt més difícil sembla l'aparició de vida intel·ligent, com l'*Homo habilis*, que es remunta a fa només 2 Ma i encara més que aquesta assolisca una tecnologia "espacial", que té només uns 50 anys. En segon lloc, perquè generalitzar açò a la Galàxia encara és més complex. En efecte, hi ha molts supòsits implícits (terrícoles) sobre la vida: el seu origen en la química del carboni, el paper de l'ADN i el codi genètic i un llarg etcètera. La física i la química són universals i només el carboni és capaç de produir els milions de compostos que requereix la complexitat de la vida, però per què l'ADN? Fins i tot a la Terra mateixa hi ha altres molècules que es poden replicar, com l'ARN.

És a dir, amb totes les reserves de les dades i les consideracions obtingudes a partir d'una única mostra (la biologia terrestre), el valor de N ha de ser molt menor que el suggerit per Sagan i altres partidaris de la vida intel·ligent extraterrestre. Possiblement açò els decebrà, però també permet extraure importants conseqüències. En efecte, pot fer que ens adonem de com de rara i valuosa és la vida i, encara més, la vida intel·ligent i, per tant, que cal cuidar-la i no posar-la en perill amb carreres armamentistes, desenvolupaments insostenibles, etc.

D'altra banda, encara que el nombre de civilitzacions fóra de l'ordre sobreestimat per Drake o Sagan, si es té en compte la grandària de la Galàxia (10^{11} anys llum), el caràcter límit de la velocitat de la llum i la necessitat d'una certa coincidència temporal (que no s'haja extingit una civilització quan l'altra ni tan sols ha sorgit), açò posa de manifest que la probabilitat del fenomen ovni tendeix a zero (i no el milió d'albiraments que s'han produït segons els ufòlegs), com ja suggeria el premi Nobel de Física Fermi en preguntar irònicament: "On

dimonis es troben?”. Curiosament, la majoria dels albiraments es produeixen als EUA i no a Europa i tots els casos estudiats als EUA han resultat fenòmens naturals incorrectament interpretats per l'observador, avions soviètics o avions experimentals nord-americans, globus, llums, etc. Tan convençuda estava la comunitat científica que no hi havia res extraterrestre en els ovnis que, quan el president Carter va sol·licitar a la NASA un estudi exhaustiu sobre aqueixos fenòmens, aquest organisme es va negar a realitzar-lo. Finalment, cal assenyalar que el programa SETI, després de molts anys de funcionament, encara no ha aconseguit resultats positius.

6.3. Canvi biològic en l'actualitat

Recentment s'ha detectat la resistència a molts antibiòtics de determinats bacteris. També s'observa resistència als insecticides i plaguicides dels insectes que transmeten malalties (anomenats vectors), per exemple, els mosquits que transmeten la malària, les puces o les paneroles. Un cas preocupant és el DDT, que, després de la Segona Guerra Mundial, s'utilitzava per a combatre la malària. En 1962 Rachel Carson va denunciar en el llibre *La primavera silenciosa* els seus efectes nocius:

Hi ha residus d'aquests productes químics que romanen als sòls als quals han sigut aplicats una dotzena d'anys abans. Han penetrat i s'han instal·lat en els cossos de peixos, ocells, rèptils i animals domèstics i salvatges tan universalment que els científics que duen a terme experiments amb animals troben quasi impossible localitzar animals lliures de tal contaminació [...]. Aquests productes químics estan ara emmagatzemats en els cossos de la vasta majoria dels éssers humans. Apareixen en la llet materna, i probablement en els teixits de l'infant que encara no ha nascut.

Malgrat les pressions de la indústria agroquímica nord-americana, deu anys després se'n va prohibir l'ús a Occident, però va continuar utilitzant-se al Tercer Món, on es va comprovar que nombroses poblacions de mosquits no eren afectades per aquest insecticida.

A.29 Quina explicació té el fet que fa anys als insectes i bacteris els feren efecte els insecticides i els antibiòtics i ara no?

Si aquesta qüestió es planteja en una investigació o a l'inici del tema (Jiménez, 1991), només una petita proporció (menys del 10 %) d'estudiants de secundària o batxillerat expliquen la resistència amb el darwinisme, mentre que la majoria (més del 60 %) ho explica "perquè s'han anat acostumant a aqueix verí", "per processos genètics d'immunització progressiva", és a dir, utilitzant la idea d'adaptació com a procés i l'herència dels caràcters adquirits. Uns altres donen explicacions finalistes "les espècies han millorat amb el pas del temps". Però cal suposar que si es plantegen al final del tema, com correspon històricament, els estudiants seran capaços d'aplicar el model de selecció natural, per la supervivència diferencial dels que han resistit els insecticides o antibiòtics, dels quals s'ha produït un ampli i molt sovint inadequat ús en una varietat d'aplicacions.

Això últim explica la preocupació de la Unió Europea (UE) per alguns organismes genèticament modificats (OGM), és a dir, aquells en els quals s'altera l'ADN de cèl·lules germinals, es transmeten els canvis a la descendència, cosa que ha permès la producció d'animals i plantes transgènics. Com que l'espècie humana ha estat realitzant manipulacions de plantes i animals, els científics europeus només qüestionen cinc categories de gens: els que produeixen resistència a insectes, a certs herbicides (el Roundup de Monsanto o el Basta, d'AgrEvo) o a antibiòtics, els que provoquen esterilitat de les llavors (la famosa tecnologia Terminator) i els que en redueixen altres al silenci. El problema és que aquests gens es transferisquen a altres plantes o bacteris. Per exemple, els marcadors que codifiquen la resistència a antibiòtics s'han utilitzat només per facilitar la detecció de les cèl·lules en les quals el gen desitjat ha sigut introduït, però poden transformar-se i expressar-se en bacteris infecciosos. Açò ha produït una moratòria en la UE, en aplicació del principi de precaució, a més de conflictes comercials amb els EUA que han invertit molt capital de risc en OGM i es neguen a etiquetar els aliments o productes que els contenen, apel·lant al Tractat de Lliure Comerç, mentre que la UE exigeix aqueix etiquetatge des de 1998. Aquesta activitat és una mostra més de la importància de les relacions CTS.

Un altre exemple clàssic, molt present en els mitjans de comunicació dels darrers anys, és el virus de la grip, que produeix epidèmies amb regularitat anual, causades per una deriva de la soca, infectant prèviament a la població humana. També ha de prendre's en consideració que molts virus mostren una alta capacitat de mutació i que poden ràpidament generar noves variants. Aquest canvi genètic es tradueix en una variant d'una proteïna, amb la qual cosa l'antigen així alterat no és reconegut pel sistema immunitari de la població exposada. Cal igualment considerar que l'evolució de noves variants pot donar com a resultat l'expressió d'una nova malaltia.

7. AMENACES A LA BIODIVERSITAT

Segons Wilson (2007), la meitat de la flora i fauna terrestres es podria extingir abans d'acabar el segle. Ho compara amb les cinc extincions catastròfiques de les eres geològiques, en particular, amb les dues més greus, l'extinció P/T (permià/triàsic) i la K/T (cretaci/terciària), possiblement deguda a la col·lisió d'un asteroide amb la península de Yucatán, la qual cosa provoca una barreja de pols i vapor que enfosqueix el Sol. Sense llum, les plantes no poden realitzar la fotosíntesi i els animals queden sense aliment, especialment, els dinosaures (Ganten *et al.*, 2004). Segons diversos estudis, actualment estan amenaçades d'extinció un 32,5 % de les espècies d'amfibis, un 23 % de les aus, un 23 % dels mamífers i un 12 % dels rèptils.

A.30 Quines poden ser les causes?

Wilson apunta cinc factors múltiples que es poden resumir en l'acrònim HIPPO: *H*, pèrdua de l'hàbitat, incloent-hi la deguda al canvi climàtic; *I*, espècies invasores; *P*, pol·lució; *P*, superpoblació humana, causa principal dels altres quatre, i *O*, sobreexplotació (*overharvesting*) dels recursos naturals. Afirmat textualment que ens hem convertit en "una força geofísica", "hem modificat l'atmosfera i el clima de la Terra" i "estem a punt de quedar-nos sense aigua potable".

Però, com indica Wilson, per a alguns això no és un problema,³ ja que s'ha fet seguint els interessos de la humanitat (o, millor, d'alguns humans) i quan s'esgota un recurs, la nostra ciència i tecnologia ens en proporcionaran un altre.

A.31 Com convenceríes aquestes persones que estan equivocades?

En primer lloc, cal mostrar que sí que és un problema, perquè “devem la nostra existència a les plantes verdes, igual que a legions de microorganismes i de minúsculs invertebrats”. Si desaparegueren els insectes, desapareixerien les plantes amb flors privades dels seus pol·linitzadors i, amb aquestes, les aus i altres vertebrats. A més, la biodiversitat de la naturalesa ens proporciona serveis com el tractament de les aigües, el control de la contaminació i l'enriquiment del sòl (Wilson, 2007). Finalment, relaciona la naturalesa amb l'home, mostrant com el nostre cervell ha evolucionat en la naturalesa i, per tant, tenim pors (de les serps però no dels ganivets) i preferències innates per l'entorn. Entre aquestes cal esmentar, per la seua importància per a l'urbanisme, que “volem viure a una certa altura”, “mirar la llunyania”, contemplar “arbres i petits boscos espaiats” i “estar a prop de l'aigua”.

A més, no és raonable confiar, com Don Hilarión, en el fet que “les ciències avancen que és una barbaritat” (fa 30 anys es deia que en aqueix període de temps es controlaria la reacció de fusió i actualment es continua afirmant el mateix) i encara menys comptar amb les empreses, insensibles als problemes de la deterioració mediambiental i a la falta d'equitat en el gaudi dels recursos naturals, o en els polítics, insensibles al llarg termini.

A.32. Que es pot fer per salvar la biodiversitat?

Segons Wilson (2007), la primera cosa que cal fer és conservar ja els 34 punts crítics, en què s'ha detectat que, amb el 2,3 % de la superfície de la Terra, representen el 42 % de les espècies de vertebrats i el 50 % de les plantes amb flor. Els primers són Madagascar, les illes del Carib, el bosc atlàntic del Brasil, l'arxipèlag de la Sonda (Indonèsia), les muntanyes de l'est africà, el Cap sud-africà i el sud de Mèxic amb l'Amèrica Central. S'ha estimat que aquesta conservació costaria 30.000 milions de dòlars. Crear una xarxa de reserves que

cobriria un 25 % de la superfície dels oceans costaria uns 12.000 milions de dòlars anuals, menys que les subvencions a la indústria pesquera.

També cal compartir els coneixements de la biologia amb la gent, la qual cosa planteja el problema de com ensenyar-la. Wilson dóna els següents principis:

- Ensenyeu de dalt a baix, plantejant una pregunta bastant àmplia, mostrant per què els pot interessar i és important, veient la resposta i com podem comprovar-la, relacionant-la amb les seues repercussions econòmiques, polítiques, socials i culturals; sabent que els temes tractats per la ciència – l'origen de l'Univers, el canvi climàtic, l'evolució de la vida, el significat del sexe, les malalties hereditàries, etc.– els fascinen, però el pensament quantitatiu, les matemàtiques, els espanten.
- Transcendiu els límits de la biologia, fins a les ciències socials i les humanitats –amb qüestions com l'origen i evolució de la vida, la naturalesa humana, el perquè de la mort, els orígens de l'ètica i la religió, etc.–.
- Centreu-vos en la solució del problema, posant menys accent en la matèria i més en les disciplines que el solucionen. Aprofundiu-hi i arribareu lluny. La millor pauta la dóna la lletra T, on el traç vertical representa l'aprofundiment en una matèria i l'horitzontal, una àmplia formació humanista, però sempre segueix el que us dicte el cor.
- Comprometeu-vos amb passió per l'ensenyament i pel tema.
- Cal considerar l'infant com un petit naturalista. Són col·leccionistes innats i comencen cercant minerals, papallones, etc. És necessari que visiten zoològics o aquaris, que entren en grups d'observadors d'aus. Atès que els naturalistes són pocs, cal implicar als ciutadans aficionats en *bioblitz*, activitat realitzada per determinades institucions amb l'objectiu de trobar i identificar el major nombre d'espècies possibles en un lloc determinat durant un període de 24 hores.

Hem referit amb detall les idees de Wilson sobre l'ensenyament, perquè són tremendament coherents amb les aportacions de la investigació en didàctica de les ciències.

Però no deixa de ser preocupant que no esmenten entre les solucions el necessari control de la natalitat, quan esmenta com a causa principal la superpoblació. La raó és que, malgrat el seu declarat escepticisme, com altres científics abans que ell –i, en particular, Carl Sagan (1982), un altre reconegut escèptic–, tracten de promoure una aliança entre la ciència i la religió, amb la finalitat de salvar la naturalesa, aprofitant el gran impacte popular de les religions i és sabut que totes les religions majoritàries solen ser refractàries, quan no obertament hostils, a tot el que sone a control de natalitat. D'altra banda, no es tracta només d'un problema de superpoblació, sinó de la creixent polarització en aqueixa població entre riquesa i pobresa. Així, l'augment de la misèria dels més pobres els obliga a talar més arbres per a poder conrear les corresponents terres. Açò produeix una disminució en l'absorció de diòxid de carboni (i, per tant, efecte hivernacle), disminució de la pluja en la zona desforestada (i, en conseqüència, reducció de les aigües potables), erosió dels sòls sense arbres (és a dir, desertificació) i, com a final del procés, més misèria. També produeix l'esgotament de recursos com l'aigua per sobreexplotació i per contaminació, amb el consegüent agreujament dels problemes de pobresa, fam, malalties infeccioses, com la febre aftosa, que es traslladen al Primer Món, per emigracions massives, guerres, etc.

Capítol 6.

SALUT I QUALITAT DE VIDA

Potenciar la salut, la capacitat de desenvolupar el propi potencial personal responnent als reptes de l'ambient, és un objectiu que es treballarà al llarg d'aquesta unitat didàctica, tant conceptualment com actitudinal. Tant l'entorn com nosaltres mateixos podem influir poderosament a millorar les nostres conductes. Es pot potenciar la salut adoptant uns determinats comportaments, uns hàbits que en molts casos depenen de nosaltres mateixos. No obstant açò no cal responsabilitzar únicament l'individu, perquè existeixen problemes de salut que depenen de factors socioambientals.

Per comentar aquests factors, desenvoluparem el tema amb el següent fil conductor:

1. Concepte de salut
2. Factors que influeixen en la salut d'una persona
3. Gens o entorn?
4. Estils de vida saludables
 - 4.1. Alimentació, nutrició i exercici físic
 - 4.2. Hàbits d'higiene i vacunació
 - 4.3. Equilibri personal
4. Agressions ambientals a la salut
5. L'accés a la sanitat

1. CONCEPTE DE SALUT

Què significa per a vosaltres aquesta paraula que s'afegeix ara a tantes coses, aliments, sensacions, relacions humanes, etc.?

A.1. Contesteu, individualment, a aquestes quatre preguntes:

- a. *Què és per a tu la salut?*
- b. *Què perjudica la salut?*
- c. *Què afavoreix a la salut?*
- d. *És important la salut per a tu? Per què?*

Aquest tema permet treballar amb moltes perspectives diverses. En primer lloc, la que s'ha impulsat en el currículum de Ciències per al Món Contemporani, molt centrat en la genètica i en avanços mèdics (Anguita *et al.*, 2008; Solbes *et al.*, 2010), més centrat en la malaltia que en la salut. Un altre enfocament és un tractament de la salut, juntament amb aspectes anatòmics i fisiològics del cos humà (Banet i Nuñez, 1992; Ganten, 2004), però això allarga considerablement el tema i no té molt en compte el canvi d'actituds en salut (Gavidia i Rodes, 1999). La posició que hem triat és la que s'utilitza en educació per a la salut (Gavidia, 2002; Fuster, 2008), tenint, a més, en compte la sostenibilitat (Gavidia, 2004).

En les anteriors qüestions, els alumnes assenyalen que la salut és: "No tenir malalties", "Sentir-se bé per dins", etc. És a dir, abasten les condicions físiques i psíquiques de la salut. Per a la pregunta "Què perjudica la salut?" solen assenyalar tots els factors de risc de la societat actual, no consideren la persona com un individu aïllat sinó dins d'un context, ja que remarquen la contaminació i el deteriorament ambiental, la falta d'amics, a més de les deficiències en la higiene i la mala alimentació. En la tercera pregunta, "Què afavoreix la salut?", proposen solucions als problemes abans assenyalats: tenir amics, les relacions sexuals, la netedat personal, etc. incloent-hi els medicaments. La quarta pregunta no sol tenir un gran ventall de respostes i es concentra en unes poques com "Sense salut no es podria viure", etc. Aquesta és la contestació que

està menys interioritzada, perquè la salut solament és valorada quan n'hi ha una manca, ja que es considera com un estat de benestar.

A.2 Compareu les vostres idees amb les definicions de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) sobre el concepte de salut: "La salut és un estat complet de benestar físic, mental i social, i no consisteix solament en l'absència de malalties i invalideses" (1948). "La salut és la capacitat de desenvolupar el propi potencial personal i respondre de forma positiva als reptes de l'ambient. Es considera com un recurs per a la vida, no com l'objecte d'aquesta" (1985).

D'aquestes dues definicions destaquem, d'una banda, l'existència de tres dimensions de la salut: la física o biològica, la psíquica o mental, i la social o solidària, i, d'altra banda, que ens permet entendre la salut com un procés, com una conquesta personal i social, no com un estat, de salut o malaltia, sinó com una contínua evolució. Allò que és més important és destacar la salut com una capacitat de poder funcionar per a fer front als continus problemes que l'ambient i la vida ens reporten.

Els joves no es comprometen amb una visió de la salut entesa com a absència de malaltia, sinó amb el benestar, que és un element clau en l'educació per a la salut. La joventut té una visió consumista de la salut, pensen que disposen d'un gran potencial de salut i que, per tant, no se n'han de preocupar-se encara. Però és fàcil, reflexionant sobre la nostra forma de vida, establir l'estreta relació que existeix entre benestar, qualitat de vida i salut.

Hi ha dades experimentals en promoció de salut que ens informen que, incrementant únicament els coneixements sobre els riscos de certes conductes no s'aconsegueixen canvis d'actituds i de comportaments (Escámez, 2002; Gavidia, 1994). Igualment, tampoc és adequada una estratègia en la qual es prescriuen models de vida. Els instruments per a promoure estils de vida saludables en els joves han de ser l'autoreflexió i l'autocrítica, treballar els substrats bàsics de la personalitat com l'autoestima i l'autoconfiança, millorar la resistència a les pressions socials, tan importants en els adolescents, desenvolupar habilitats personals en la presa de decisions; en suma, augmentar

els coneixements sobre la diversitat de possibles actuacions, perquè siguin l' alumne o alumna mateixos els qui puguin triar.

A.3. L'OMS, en la seua constitució, assenyalava que “el gaudi del grau màxim de salut que es puga aconseguir és un dels drets fonamentals de tot ésser humà”. Què penseu que significa? Es compleix aquest dret universal?

Aquesta activitat inicial pretén que l'alumnat comence a reflexionar sobre la situació de la salut com un problema global, que no pot comprendre's des d'una perspectiva regional o nacional. Seria interessant destacar la situació dels països subdesenvolupats amb problemes en l'accés a la sanitat perquè compregueren que encara falta molt per aconseguir la situació ideal: que tots els éssers humans puguin gaudir del millor estat de salut possible.

Incloure l'afegitó “que es puga aconseguir” en l'expressió fa referència a les malalties no previsible de l'ésser humà, com aquelles d'origen genètic. És interessant una mínima reflexió sobre els condicionants de la salut, els que podem controlar i els que no. Així estarem introduint alguns dels conceptes que desenvoluparem més endavant.

2. FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA SALUT D'UNA PERSONA

A.4. De quins factors depèn la salut d'una persona?

Si es té en compte l'àmplia definició de salut que dona l'OMS, aquesta dependrà, segons Lalonde (1974), bàsicament de quatre tipus de factors:

Estil de vida individual. S'entén per estil de vida individual el conjunt d'activitats, comportaments i/o actituds característiques d'un individu o d'una col·lectivitat. L'adopció d'un o un altre estil de vida comporta diferents graus de risc sanitari, i modifica també el tipus de malalties als quals s'ha d'enfrontar una persona. És fàcil d'entendre que, per exemple, els esports extrems representen

per a qui els practica un major risc d'accidents, i que una dieta rica en greixos facilita l'aparició d'una malaltia cardíaca.

Factors genètics. La informació continguda en els gens determinarà en bona part l'estat general de la salut de l'individu. Si els gens presenten alteracions en la seua estructura, es pot manifestar alguna patologia.

Factors ambientals. Poden ser factors molt diversos i influir en els individus de forma diferent. Inclouen tant caràcters d'àmbit biològic (virus, bacteris) i fisicoquímic (fums, partícules, radiacions, tant de caràcter natural com produïts per l'activitat humana) com també de l'àmbit psicològic (estrès, conflictes familiars, etc.) i de l'àmbit social, com la situació laboral, la integració social i la seguretat enfront dels riscos (assetjament escolar o *bullying*, robatori, inseguretat ciutadana, corrupció, etc.).

Factors d'assistència sanitària. Comprenen tota la infraestructura, l'organització i els recursos de què la societat disposa per fer front als problemes derivats directament de la pèrdua de la salut (hospitals, farmàcies, centres de salut, col·legis de metges, veterinaris, indústries de medicaments, etc.).

3. GENS O ENTORN?

A.5. Actualment s'atribueixen algunes malalties de les societats avançades (càncer, cardiovasculars, etc.) a predisposicions genètiques. Què opineu sobre aquest tema? Penseu que es deuen a factors o a l'entorn (incloent-hi factors ambientals i estil de vida)?

L'eterna pregunta és si el càncer apareix per alguna predisposició en els nostres gens o es deu a l'efecte de l'entorn i dels estils de vida sobre el nostre ADN. La tendència actual és creure que els factors ambientals manifesten un paper més important que els genètics. Per tant, actualment l'estratègia més eficaç per a controlar el càncer és allunyar-se dels següents factors de risc.

a) *Tabac*

Al món, el consum de tabac és la causa de càncer més fàcil d'evitar. A la major part de països desenvolupats, el consum de tabac causa fins al 30 % de les morts per càncer. Més del 80 % dels casos de càncer de pulmó en els homes, i el 45 % dels casos en dones són causa de l'hàbit de fumar. El tabac produeix càncer en molts altres òrgans, entre els quals el de gola, boca, pàncrees, bufeta de l'orina, estómac, fetge i ronyó. Estar exposat al fum que generen els fumadors (fumador passiu) augmenta en un 20 % el risc de desenvolupar càncer de pulmó entre les persones que no fumen.

Si tots els fumadors deixaren el tabac, podria evitar-se quasi un de cada tres càncers al món, molt més del que podria aconseguir-se amb el millor fàrmac. Entre un 50 % i un 70 % dels fumadors acaben amb càncer, cosa que és l'equivalent a jugar a la ruleta russa amb dues o tres bales en el carregador d'un revòlver de sis tirs. Resulta difícil de justificar.

El consum de tabac és un problema de salut pública i justifica que la societat en el seu conjunt s'interesse per combatre'l. A més, el cost econòmic del tabac, inclòs el tractament de les malalties que produeix i la menor productivitat en el treball, derivades de les malalties que ocasiona, és major que els ingressos fiscals que genera.

b) *Dieta*

Als països desenvolupats es relaciona amb una alimentació inadequada i un estil de vida poc saludable un nombre de casos de càncer tan important com l'atribuïble al tabac. El sobrepès i l'obesitat s'associen amb una alta incidència de càncer de còlon, mama, úter, esòfag i ronyó. Un consum excessiu d'alcohol augmenta el risc de càncer de la cavitat bucal, faringe, laringe, esòfag, fetge i mama. En alguns tipus de càncer el risc augmenta quan la persona fuma. La incidència del càncer d'esòfag ha baixat a causa d'una menor ingesta de sal i millors condicions de vida.

c) Infeccions

Al món, una cinquena part dels casos de càncer es deu a les infeccions cròniques, especialment pel virus de l'hepatitis (fetge), els virus del papil·loma humà (coll uterí), l'*Helicobacter pylori* (estómac), els esquistosomes (bufeta), la fasciola hepàtica (via biliar) i el virus de la immunodeficiència humana (sarcoma de Kaposi i limfoma).

El virus del papil·loma humà és un virus que es transmet molt bé per via sexual i normalment no dóna cap tipus de símptoma en els homes. De les dones infectades, un nombre molt reduït acabarà desenvolupant el càncer d'úter. Per aquesta raó l'any 2007 es va comercialitzar la primera vacuna que evita la infecció. Cal rebre la vacuna abans d'iniciar la vida sexual.

d) Radiacions

Un altre factor de risc conegut és l'exposició al sol. Per desgràcia, la moda ens ha portat a potenciar el to bru que s'aconsegueix a les platges. Com a conseqüència, en les últimes dècades certs tipus de càncer de pell, que se sap que estan directament influenciats pels rajos ultraviolats del sol, s'han convertit en un problema de salut important. Protecció i moderació en aquest sentit podrien evitar un gran nombre de casos, sobretot en les races que tenen la pell clara.

La majoria de càncers de pell solen ser benignes, tenen un fàcil diagnòstic i són fàcils d'eliminar per cirurgia. Només els melanomes, els càncers de pell més agressius, tenen mal pronòstic, per la seua gran capacitat per a produir metàstasi.

Encara que hi ha una controvèrsia sobre si el melanoma està relacionat amb les radiacions, sí que hi ha un consens entre la comunitat científica: cremar-se al sol durant la infància incrementa notablement el risc de melanoma.

En resum, un elevat percentatge de les morts per càncer es deuen al tabac, la dieta, les radiacions i les infeccions. Ací ha de quedar clar que el fet que cada

individu siga diferent als altres es deu a dos factors: a l'herència que rep dels seus pares i a l'efecte de l'ambient on es desenvolupa. No podem fer prevaldre un factor sobre l'altre. El gran genetista Dobzhansky arriba a dir "l'herència no és un estat sinó un procés". I Richard Lewontin (1984) afirma que "Tot organisme està en continu desenvolupament durant tota la seua vida, sota la influència d'allò que ha heretat i l'ambient on es desenvolupa".

Cal recordar que els organismes són sistemes oberts que incorporen nou material i energia procedent de l'exterior. Açò es tradueix en les dues regles següents:

- 1) Cada organisme està sotmès a un desenvolupament continu durant tota la seua vida.
- 2) L'organisme en desenvolupament es troba en tot moment sota la influència de la mútua interacció entre allò que ha heretat i l'ambient on es desenvolupa.

Per això Lalonde assenyala que la genètica humana intervé en un 10 %; el sistema sanitari, en un 20 %; el medi ambient, en un 30 % i l'estil de vida, en un 40 %. No obstant açò, els recursos que es destinen a cadascun d'aquests factors són inversament proporcionals a la seua importància sobre la salut, és a dir, un 82 % es dedica a l'assistència sanitària; el 10 %, a la genètica humana; el 5 %, al medi ambient i únicament el 3 %, als estils de vida. Un bon exemple d'això és el fet que al món el consum de tabac és la causa de càncer i malalties cardiovasculars més fàcil d'evitar (Fuster, 2008). A la major part de països desenvolupats, el consum de tabac causa fins al 30 % de les morts per càncer. Més del 80 % dels casos de càncer de pulmó en els homes, i el 45% dels casos en dones es deuen a l'hàbit de fumar.

Reduïda la importància dels factors genètics, dedicarem un apartat a cadascun dels tres restants factors de Lalonde: estils de vida, ambient i assistència sanitària.

4 ESTILS DE VIDA SALUDABLES

La persona que més pot influir sobre la teua salut present i futura està ara mateix llegint aquestes línies. Ets tu. Moltes de les coses que fas diàriament tenen una repercussió sobre el teu cos i depèn de tu mantenir-les o canviar-les. Fins i tot és probable que ni tan sols en sigues conscient d'algunes. En aquest apartat reflexionarem sobre algunes d'aquestes conductes perquè decidis què és millor per a cadascun de vosaltres.

A.6. Definiu amb les vostres paraules els hàbits d'una persona que porte un estil de vida saludable. Compareu-los amb els que planteja l'OMS.

Amb aquesta activitat volem que l'alumnat genere un model ideal en el qual pugui reflectir-se. Creant aquest model se cerca la confrontació entre la vida que porten i la que podria considerar-se ideal.

Serà habitual que els alumnes creen personatges poc versemblants que siguen fins i tot quasi hilarants, però aqueix model també resulta vàlid aclarint que, portant els models a un nivell més realista, hi ha moltes pautes senzilles que podem canviar per millorar la situació actual.

La llista següent compendia els hàbits de vida saludable que recomana l'OMS:

1. Vacunar-se

Cal seguir els plans de vacunació determinats per les organitzacions sanitàries, per evitar patir i transmetre malalties infeccioses.

2. Anar amb compte en l'alimentació

Una alimentació correcta ha de complir certes condicions, com poden ser la regularitat en les menjades i el seguiment de dietes variades i equilibrades, que s'adaptin a l'activitat física que es desenvolupa.

3. Realitzar exercici físic

Realitzar un grau mínim d'activitat física, per mantenir el pes adequat i evitar l'obesitat.

4. Evitar el consum de drogues

No consumir cap tipus de substància addictiva, siga legal o no.

5. Controlar l'estrès

Mantenir un equilibri entre les responsabilitats de feina i la vida personal, i reservar temps per gaudir de l'oci i el descans adequat.

6. Conèixer els propis cossos i els seus riscos

Conèixer l'historial sanitari personal i els antecedents familiars de malalties.

7. Mantenir una vida afectivosexual sana

Evitar les pràctiques sexuals amb risc per a la salut i les situacions en les quals és possible la transmissió de malalties per via sexual.

8. Adoptar mesures de seguretat i de protecció

Seguir les mesures de protecció adequades per a cada situació, com les de seguretat laboral, les de seguretat vial o tenir cura enfront de factors agressius del medi com, per exemple, la radiació solar intensa.

9. Practicar hàbits d'higiene

Ocupar-se de la netedat corporal ajuda a prevenir les infeccions. En un sentit ampli, inclou mesures més generals com, per exemple, vestir de manera adequada a les condicions del medi i a l'activitat que es desenvolupe.

10. Donar prioritat a les conductes preventives

Cal recordar que la millor política de salut no és la que se centra en la curació de les malalties sinó la que procura evitar-les mitjançant l'adopció de conductes preventives.

Òbviament és impossible desenvolupar adequadament aquests deu hàbits en el temps disponible d'una unitat didàctica com aquesta. Per açò, considerant que els estils de vida són el factor més important en l'educació de la salut, ens centrarem en tres grans apartats: "Alimentació, nutrició i exercici físic", que fan referència als hàbits 2 i 3, "Hàbits d'higiene i vacunació" (el 9 i l'1) i "Equilibri personal", que se centra en els hàbits 4 i 5. Per a la selecció d'aquests hàbits s'han tingut en compte, en gran part, les recomanacions de Fuster (2008), encara que en el seu llibre, centrat en el Primer Món, no apareix gens de preocupació per les infeccions. L'hàbit 8 es tractarà en l'apartat agressions ambientals.

4.1 ALIMENTACIÓ, NUTRICIÓ I EXERCICI FÍSIC

L'alimentació inadequada és un dels problemes més greus de salut als quals s'enfronta actualment el món. No obstant això, si realitzem una anàlisi del problema, ens topem amb una gran paradoxa, una gran contradicció. Un 40 % de la població mundial pateix de **subalimentació** i rep una quantitat d'aliments menor que l'imprescindible per a mantenir la salut, alhora que un 10 % pateixen fam crònica.

Tanmateix, als països industrialitzats, un 40 % de les persones presenta problemes, no per a aconseguir suficients aliments, sinó per seleccionar-los correctament. Pateixen una alimentació amb carències parcials, ja que els falten en la dieta determinades substàncies nutritives necessàries, com vitamines, substàncies minerals o fibra vegetal. En alguns casos fins i tot el problema és la **sobrealimentació**, és a dir, l'excés d'aliments en relació amb el tipus de vida que porten.

A.7. Valoreu els fets que acabem de comentar.

El tema de l'alimentació és un dels grans problemes del nostre temps, que posa de manifest les desigualtats sagnants entre Primer i Tercer Món. D'altra banda, l'alimentació, juntament amb el creixement exponencial de la població, pot constituir una de les principals amenaces a la sostenibilitat de la nostra espècie a mitjan segle XXI, quan la població arribe als 10.000 milions de persones, màxim sostenible estimat pels experts.

Però l'alimentació és més que el procés fisiològic de la nutrició. És el resultat de la cultura d'un poble, de la forma i costums de comprar, emmagatzemar, cuinar i presentar un conjunt d'aliments. Menjar no és només satisfer les necessitats nutritives de l'organisme. És també una sensació plaent, una forma de relacionar-nos amb els altres, un conjunt de ritus i tradicions culturals. Per això és tan difícil variar els costums alimentaris, els hàbits que s'han anat adquirint al llarg de la història personal de cada ésser humà, en una família i un ambient sociocultural determinat.

A.8. Assenyeu de manera individual en la següent fitxa el temps que dediqueu diàriament a cadascuna de les activitats esmentades.

Taula 1	<i>Matí</i>	<i>Migdia</i>	<i>Vesprada</i>	<i>Nit</i>	<i>Total</i>
<i>Neteja personal</i>					
<i>Jugar</i>					
<i>Dormir</i>					
<i>Menjar</i>					
<i>Veure TV</i>					
<i>Estudiar</i>					
<i>Esport</i>					

Quina activitat desenvolupeu més vegades al dia? Quant de temps, en hores, inverteiu cada dia a menjar? Quant de temps al cap d'un any heu dedicat a la vostra alimentació? Calculeu el temps que heu passat menjant al llarg de la vostra vida. Realitzeu a continuació una posada en comú d'aquestes qüestions i traieu el valor mitjà de tota la classe. Feu a continuació un debat sobre el tema.

En aquest apartat, tractarem fonamentalment de fer ressaltar la importància que té adquirir certs hàbits alimentaris en la promoció d'un estil de vida saludable.

Està exhaustivament demostrada la relació directa entre alimentació equilibrada i salut. La nutrició és un procés fisiològic, involuntari i inconscient, sobre el qual directament no podem actuar, però l'alimentació, sí que és voluntària, sí que podem influir perquè la nutrició siga equilibrada. I no podem oblidar que, tractant-se d'actes conscients, poden ser modificats mitjançant una educació per a la salut, sense oblidar que és molt més fàcil desenvolupar nous hàbits positius que bandejar costums alimentaris erronis ja adquirits. Per això és tan important actuar en edats primerenques, quan s'estan fixant en els xiquets les pautes de conducta que constituïran la seua vida adulta.

Menjar no solament és una necessitat fisiològica sinó sovint una forma de relació social o un plaer en el qual es barregen aspectes físics i psicològics. És també un senyal d'identitat cultural. Cada poble ha generat en la seua cultura uns usos alimentaris tradicionals. L'ésser humà no tria els seus aliments de forma espontània ni d'acord amb les seues necessitats fisiològiques sinó sobretot d'una forma fixada al llarg de la seua vida, per hàbits socials.

L'objectiu d'aquesta activitat és subratllar el fet que alimentar-nos té una gran importància en els nostres hàbits quotidians i que ocupa ran part de la nostra activitat diària. És sobretot fonamental que els estudiants reflexionen sobre el fet que l'alimentació està present en les nostres vides, diverses vegades al dia i durant tots els dies de la nostra vida, formant part de la nostra cultura quotidiana. Seguirem a continuació la seqüència establerta en el programa d'activitats de Cristina Furió (2009).

A.9. Què és un aliment i quines poden ser les funcions bàsiques dels aliments en els éssers vius?

En aquesta activitat serà necessari que els estudiants recorden –o, millor revisen– que un aliment és un conjunt de nutrients i altres materials que serveixen per a cobrir les necessitats vitals d'un ésser viu. És a dir, l'alimentació ha de servir per mantenir l'activitat normal de les persones com, per exemple,

conservar la temperatura a 36,5 °C, realitzar el treball físic quotidià necessari per a viure (caminar, córrer, etc.) o aportar substàncies per al seu creixement. Convindrà en aquesta revisió definir i diferenciar entre aliment i nutrient. També serà important recordar que els principals nutrients d'un aliment són barreges de compostos químics orgànics molt variats, constituïts principalment per lípids (greixos), glúcids (hidrats de carboni) i proteïnes. Aquests aliments són els productes que, juntament amb l'oxigen de l'aire respirat, intervenen en els processos de nutrició dels éssers vius. En aquest sentit caldrà recordar que els aliments cobreixen principalment tres funcions en els éssers vius: la funció energètica de facilitar l'energia necessària per a viure, tal com ja s'ha dit adés, i on els lípids i glúcids són importants; la funció estructural, amb la finalitat de regenerar les cèl·lules que es van morint, així com la creació de nou teixit en el creixement de la persona, activitat en què les proteïnes tenen un paper fonamental, i la funció catalítica, d'aportació de tots aquells enzims que inhibeixen o acceleren els processos químics que es desenvolupen al cos de l'ésser viu.

Pel que fa a la funció energètica dels aliments, que serà un punt bàsic a desenvolupar en aquest apartat, serà fonamental debatre com calcular l'aportació energètica de cada aliment en la nutrició dels éssers vius amb la finalitat de veure si és més que suficient.

A.10. Com podem esbrinar l'aportació energètica d'un aliment específic?

Resoldre aquesta qüestió requerirà que els estudiants es plantegen, d'una banda, saber quina és la composició dels principals nutrients de l'aliment en qüestió, és a dir, de la massa de glúcids, de lípids i de proteïnes que té i, d'altra banda, conèixer l'energia mitjana per gram que poden aportar les molècules d'aquestes substàncies bàsiques en reaccionar amb l'oxigen dissolt en la sang del cos. En aquest assumpte caldrà proporcionar una taula com la següent:

Taula 2. Aportació energètica per gram dels principals nutrients	
Massa d'1 gram de:	Energia aportada a l'organisme (kcal)
Glúcids	4
Lípids	9
Proteïnes	4

Es pot donar la composició en nutrients de diferents aliments coneguts pels estudiants i que calculen, per exemple, l'aportació energètica de 100 g d'aquests amb la finalitat que comparen les quantitats obtingudes. A títol d'exemple es donen, a continuació, els resultats que poden calcular en 4 aliments, com la mantega, l'arròs, la tonyina i les xulles de porc (taula 3).

Taula 3. Energia total que pot aportar la ingesta de 100 g de 4 aliments		
Tipus d'aliment	Composició massica (g)	Energia total aportada (kcal)
100g de mantega	82 g de lípids 0,6 g de proteïnes 0,0 g de glúcids	740,4
100 g d'arròs	0,8 g de lípids 7,0 g de proteïnes 61 g de glúcids	279,2
100g de tonyina	5,0 g de lípids 21 g de proteïnes 5,2 g de glúcids	149,8
100 g de xulles de porc	35 g de lípids 13 g de proteïnes 0,0 g de glúcids	367,0

En aquest punt es pot introduir una activitat optativa per aprofundir sobre quines són les condicions d'una dieta saludable. En aquest cas, el professor pot aportar informació del que aconsella l'OMS sobre les quatre condicions d'una dieta saludable: *a)* ha de ser *suficient*, en el sentit de cobrir les necessitats energètiques; *b)* també ha de ser *completa*, de manera que continga els nutrients específics i necessaris per a cadascú; *c)* ha de ser *equilibrada* en una proporció convenient dels aliments que cal prendre i *d)* cal que siga *segura*, és a dir, que no tinga substàncies nocives o perjudicials per a l'organisme.

Una vegada que s'ha discutit l'aportació energètica d'alguns exemples d'aliments, es pot proporcionar una taula de dades energètiques més extensa perquè puguin posteriorment –en una altra activitat– recordar cadascú personalment què ha menjat el dia anterior i determinar quina és l'aportació energètica de la seua dieta alimentària.

Finalment, es pot esbrinar quines són les necessitats energètiques per a cada persona, entrar a analitzar l'aportació energètica de la dieta i extraure'n conclusions. Açò ho farem en l'activitat següent.

A.11. Com sabem si la dieta alimentària d'una persona és suficient o no des del punt de vista energètic?

En primer lloc, caldrà aportar informació de quines són les necessitats energètiques quotidianes de les persones, la qual cosa dependrà, en general, del gènere, ja que, habitualment les dones tenen menys pes que els homes i requereixen menys energia en la seua activitat ordinària i, també, de l'edat de la persona, perquè, per exemple, els joves necessitaran menys energia que els adults. Es poden proporcionar dades normalitzades de necessitats habituals com les de la taula 4.

Taula 4. Necessitats diàries d'energia de xiquets, joves i adults	
Tipus de persona	Energia diària (en kcal)
Xiquets	1.800
Joves:	
Xic	2.900
Xica	2.500
Adults:	
Home	3.000-4.000
Dona	2.200-3.000
Embarassada	2.550

Amb aquesta informació podran comparar la quantitat d'energia aportada per la seua dieta alimentària del dia anterior amb la que, per terme mitjà, necessitaria una persona de la seua mateixa categoria i poder concloure si s'estan sobrealimentant. Com que la dieta dels estudiants d'una classe pot ser molt variada, caldrà que el professor o la professora dispose d'una taula de dades amb els aliments més habituals del medi local i dels nutrients que conté cadascun. Els estudiants també hauran d'estimar el pes aproximat que han menjat de cada aliment aquell dia per a fer un càlcul estimatiu.

Es pot aprofundir en aquesta temàtica eixamplant l'estudi, per veure si l'alimentació setmanal de la persona, a més de ser suficient des del punt de vista energètic, també ha sigut completa, és a dir, si ha estat variada en nutrients segons el que aconsellen els experts. Aquesta pot ser una perspectiva perquè hi treballen posteriorment els estudiants.

Malgrat la gran quantitat d'aliments que tenim a la nostra disposició, ja hem vist que tots estan formats per un reduït grup de substàncies nutritives. El que diferencia un aliment d'un altre és la diferent proporció en la qual es troben aquests nutrients. No existeix cap aliment complet, que continga tots els nutrients necessaris en la quantitat i en la proporció adequades. Per això, per

tenir una correcta alimentació, hem de conèixer bé els aliments, i escollir i combinar cada dia aquells que siguin més adequats a les nostres necessitats.

Per fer una correcta elecció dels aliments i assegurar una dieta equilibrada, realitzarem tot seguit una classificació.

A.12. Trieu, entre tota la classe, 50 aliments d'ús quotidià, per a elaborar la nostra classificació atenent el criteri de "riquesa en nutrients". Formarem així una roda de set sectors, El grup I serà 'ric en proteïnes, però també en calci'; el II tindrà aliments rics en proteïnes; el IV i el V tenen la seua riquesa en vitamines i minerals, però el V conté els aliments que solen prendre's crus i posseeixen un major contingut en vitamina C; en el VI s'inclouen els aliments rics en glúcids, i en el VII, els que contenen abundants lípids. Finalment, el III és un grup mixt que conté un poc de tot. Cada grup escollirà 7-8 aliments dels 50 seleccionats i, consultant en les taules la seua riquesa nutritiva, situarà cada aliment en la gran roda de set sectors que anirem construint entre tots.

Per a elaborar de la classificació, podem usar molts criteris, com ara l'origen animal o vegetal, el color, el sabor, el medi del qual procedeixen, si ha patit processos de transformació etc. Però per aconseguir el nostre objectiu prendrem el criteri de riquesa en nutrients.

Mitjançant aquesta activitat es pretén que els alumnes construïsquen una classificació funcional dels aliments. Si l'objectiu és conèixer per a què ens serveix un determinat aliment, i segons açò incorporar-lo a la dieta, hem de tenir en compte quins nutrients conté que li confereixen un valor determinat i quina és la funció d'aquest nutrient. Es tracta, en suma, de fer ressaltar la substància nutritiva majoritària en un aliment, ja que quasi totes hi estaran presents, però en quantitats no significatives per a les nostres necessitats dietètiques.

Després de la classificació efectuada, que els permetrà enfrontar-se amb els conceptes més rellevants d'aquesta, presentarem la roda dels aliments més utilitzada a Espanya, la roda dels set sectors. És fàcil ara saber si una dieta és

equilibrada, bastarà amb comprovar si cada dia es consumeix almenys una ració d'aliments de cadascun dels set sectors.

És molt preocupant la sobrealimentació que es dona en països desenvolupats i que està generant una població infantil i adolescent amb problemes d'obesitat.

A.13. En què consisteix l'obesitat i quins en són les possibles causes?

L'obesitat infantil i dels adolescents constitueix un greu problema en els països més desenvolupats; així, per exemple, als EUA, més del 20 % de la població escolar de primària té un sobrepès preocupant. Més encara, fa uns anys l'Organització Mundial de la Salut (OMS) va presentar resultats que mostraven que més de 94 països tenen una població amb un elevat sobrepès. Les possibles causes d'aquesta malaltia que citen els experts són principalment: en primer lloc, una alimentació poc saludable basada en aliments on abunden nutrients constituïts per lípids (en particular, greixos saturats o insaturats trans) i hidrats de carboni (en particular, sucres), que s'acumulen en l'organisme als teixits adiposos. Una altra causa important de l'obesitat és que, cada vegada més, anem cap a un estil de vida bastant sedentari i, al mateix temps, més estressant, en el qual l'activitat física de l'ésser humà va disminuint i és substituïda per altres hàbits que no consumeixen quasi energia, com, per exemple, veure la televisió durant hores. Llavors caldrà esbrinar o diagnosticar, primerament, com podem saber si estem o no malalts d'obesitat sense adonar-nos-en .

A.14. Com saber si una persona està obesa?

Fer un diagnòstic personal respecte a l'obesitat requereix saber si, tenint en compte les característiques idiosincràtiques de la persona, com són el gènere, l'altura o talla, té el pes que li correspon dins d'un interval considerat estàndard, o, per contra, té sobrepès. És a dir, encara que cada persona tinga unes característiques peculiars i diferents al d'altra, com és el cas del pes, es pot trobar un patró per a poder comparar si és obesa o no. L'OMS introdueix una variable estàndard, l'índex de massa corporal (IMC), que es defineix empíricament com una relació entre el pes, P , mesurat en kg, i la talla, T , mesurada en m , i ve determinada per la següent expressió:

$$\text{IMC} = P \text{ (en kg)} / T^2 \text{ (en m}^2\text{)}$$

Aquesta variable s'ha mesurat per a dues distribucions normals de poblacions amb dones i homes de menys i de més de 35 anys i s'ha obtingut una taula de valors com la que es mostra a continuació, que s'utilitza com a patró per a veure si una persona té el pes normal:

Taula 5: Distribució normal de l'índex de massa corporal per edats (IMC) en homes i dones, segons l'OMS						
Menys de 35 anys			Més de 35 anys			
	Defecte de pes	Pes normal	Sobrepès	Defecte de pes	Pes normal	Sobrepès
Homes	< 20	20-25	> 25	< 22	22-27	> 27
Dones	< 19	19-24	>24	< 21	21-26	> 26

4.2. HÀBITS D'HIGIENE I VACUNACIÓ

A.15. *Què anomenem malalties infeccioses? Com es distribueixen pel món? Sempre ha sigut així?*

Anomenem malalties infeccioses aquelles causades per microorganismes patògens, que poden ser virus, bacteris, fongs o protozous. De la immensa varietat de microorganismes existents només un grapat són perjudicials per a nosaltres i alguns només ens poden atacar quan s'afebleixen les nostres defenses. Al món desenvolupat amb prou feines tenen incidència en la mortalitat (un 4,7 % a Espanya, com es pot veure en el quadre adjunt), però en canvi, als països del Tercer Món són, amb diferència, la principal causa de mortalitat (un 62,1 % al Senegal).

Causes de mort (en %) segons l'OMS (2005)			
	Espanya	Mèxic	Senegal
Malalties cardiovasculars	33,6	23,2	12,2
Malalties cròniques	30,9	38,4	9,9
Càncer	26,6	12,3	5,4
Malalties infeccioses	4,7	15,3	62,1
Ferides	4,3	10,6	10,5

Però convé recordar que això no ha sigut sempre així. En el passat algunes pandèmies van ser realment devastadores per a la població europea. Així, la pesta negra que assolà Europa en el segle XIV matà entre el 30 i el 60 % de la població. I un dels problemes que planteja el canvi climàtic és l'aparició de malalties tropicals infeccioses en latituds en què actualment no existeixen.

A.16. Diferencieu entre virus, bacteris, fongs i protozous

Dels quatre tipus de microorganismes, són els virus i els bacteris els que més malalties causen a l'ésser humà. Molta gent els confon, però en realitat són dos organismes molt diferents. Els bacteris són organismes unicel·lulars, o siga, que només consten d'una cèl·lula i no tenen nucli, però són capaços de reproduir-se per si mateixos (procariotes). Destruïxen teixits vius propers i alguns són capaços de produir substàncies tòxiques. Els virus no són una forma de vida; només posseeixen una coberta de proteïnes que recobreix el seu material genètic. No són capaços de reproduir-se, llevat que envaïsquen una cèl·lula que els ajude a fer-ho. En multiplicar-se, afebleixen o destrueixen la cèl·lula hoste i d'aquesta manera generen les malalties.

Els protozous són cèl·lules amb nucli (eucariotes), que formen part del regne dels protists, en el qual també s'inclouen les algues i els fongs mucilaginosos. Els fongs són éssers vius del regne *Fungi*. Estan formats per una part vegetativa (miceli) que es troba a l'interior del substrat del qual s'alimenten, i produeixen

fructificacions que denominem fongs o bolets. Els fongs, a diferència del regne vegetal, no tenen clorofil·la; per tant, no poden sintetitzar el seu propi aliment i necessiten obtenir-lo ja elaborat. Per aconseguir-lo, s'alimenten d'altres organismes vivint en simbiosi amb altres plantes, que subministren al fong fonts de carboni procedents de la fotosíntesi, mentre aquest, al seu torn, els subministra major absorció d'aigua i nutrients minerals. A més, els fongs també poden parasitar plantes o animals o viure a partir de matèria orgànica en descomposició.

Diàriament entrem en contacte amb multitud de microorganismes bacterians, ja que viuen pràcticament en tot el que ens envolta. Sent així, ens hauríem de posar malalts amb certa regularitat, però aquesta no és la realitat. A més de les defenses que el nostre cos posseeix, hi viuen dins una gran quantitat de bacteris que, a banda de no causar-nos malalties, eviten que altres bacteris perillosos puguin instal·lar-se amb facilitat a l'interior del nostre organisme.

A.17. Quines malalties produeixen els bacteris?

Fins ara no hem esmentat malalties infeccioses concretes. Algunes importants causades per bacteris són la salmonel·losi, la gonorrea i el còlera. Per contra, la grip, les hepatitis A i B i les galteres són causades per virus. En el reduït grup de les causades per fongs trobem el peu d'atleta i la candidiasi i en el grup de les malalties responsabilitat dels protozous destaca la malària, una de les malalties que més preocupen en alguns països africans.

A.18. Hi ha bacteris beneficiosos? Enumereu les parts del cos on penseu que viuen habitualment.

Aquesta activitat aprofundeix en el món dels bacteris. És important transmetre que no tots els bacteris ens perjudiquen; de fet, sense alguns no podríem viure. S'espera que els alumnes reconeguen la boca i l'intestí com a possibles respostes, però, a més, podem afegir-hi tota la pell del cos, així com les parets vaginals.

A.19. Quines pràctiques i hàbits s'han desenvolupat al Primer Món que han reduït tan considerablement les malalties infeccioses?

La vacunació, la higiene personal i les xarxes de proveïment d'aigua potable i de clavegueram per a les aigües residuals. El cas de Semmelweis, un dels ítems de coneixement científic del Programa PISA (2005), és un bon exemple de les dificultats que va haver-hi a Europa per a impulsar hàbits d'higiene personal entre els mateixos metges. Abordarem a continuació amb més deteniment la vacunació.

El nostre cos disposa d'un sistema de defensa enfront de possibles atacs externs, el sistema immunitari. El componen els glòbuls blancs de la sang i els anticossos. El sistema immunitari és capaç d'aprendre a combatre malalties quan ja s'hi ha enfrontat una vegada. Aquest efecte ens és molt útil per a prevenir algunes malalties mitjançant la vacunació.

A.20. En nàixer, els bebès reben una sèrie de vacunes que els prevenen de l'aparició de malalties potencialment mortals. Durant els primers anys de vida continuen rebent-ne algunes, que prevenen i eviten molts problemes de salut.

- a) Cerqueu informació sobre la vida Edward Jenner i digueu quina creieu que és l'origen de la paraula vacuna\$.*
- b) Louis Pasteur va investigar el comportament d'alguns microorganismes patògens. Definiu amb les vostres paraules quin dels seus descobriments va contribuir a la creació d'algunes vacunes.*

Aquesta activitat pretén mostrar un gran avanç científic del qual encara no ha acabat el desenvolupament. Edward Jenner va obtenir la primera vacuna efectiva que es coneix, la de la pigota. En 1796, Pasteur va crear vacunes per atenuació de la virulència d'alguns microorganismes a la fi del segle XIX i en l'actualitat se segueixen cercant vacunes efectives contra, per exemple, la sida.

L'experiència de Jenner mostra amb claredat el desenvolupament del mètode científic per a la resolució d'una situació problemàtica. Pot trobar-se una descripció detallada del seu treball en la web de l'Associació Espanyola de Vaccinologia (vacunas.org). Un treball addicional interessant podria ser l'anàlisi del mètode científic en els treballs de Semmelweis o Jenner.

A.21. Llegeix el següent text sobre la malària i contesta les preguntes:

La malària és una malaltia infecciosa comuna, potencialment mortal. Es transmet per la picada de mosquits Anopheles infectats. Aquests mosquits són portadors de paràsits que, dins de l'organisme humà, es multipliquen al fetge i infecten posteriorment els glòbuls rojos sanguinis. Pocs dies després de la picada apareixen els símptomes: febre, cefalea i vòmits. Si no es tracta, pot provocar la mort en poc de temps. Actualment afecta més de 100 països d'Àfrica, Àsia i l'Amèrica Llatina. S'estima que cada any 250 milions de persones pateixen malària aguda. Moltes moren, sobretot xiquets i dones embarassades. Per això es diu que el mosquit de la malària és l'animal més perillós del món. Campanya Tots Contra la Malària, UNICEF.

- a) Al món viuen actualment 6.800 milions de persones, aproximadament. Quin percentatge resulta infectat cada any de malària?*
- b) La malària es transmet a través de la picada d'un mosquit. Com poden traslladar-se els protozous pel cos fins a instal·lar-se al fetge?*
- c) Proposeu mesures que podrien prendre els països més afectats per reduir el nombre de contagis.*

Es pretén fer ressaltar amb aquesta activitat la malària com a malaltia típicament causada per protozous. Aquesta malaltia, una de les primeres causes de mort en països en vies de desenvolupament, és una mostra més del salt qualitatiu entre la medicina dels països rics i la dels països pobres. Mentre que en uns posseïm medicaments efectius contra la malaltia i mètodes preventius, altres no hi poden accedir pel seu elevat preu i són condemnats a morir. L'activitat pretén reflectir, una vegada més, que la salut és un problema global

que ens afecta a tots i que encara existeixen grans reptes que la ciència ha d'afrontar. Així mateix, en demanar-los que proposen mesures, podran adonar-se que el problema no té una solució senzilla que no requereisca grans quantitats de diners.

Les malalties es classifiquen com a endèmies, epidèmies o pandèmies, segons el seu radi d'acció. Aquests termes s'empren, sobretot, per a designar malalties infeccioses. Mentre que una endèmia afecta només una regió concreta de forma estable al llarg dels anys, una epidèmia suposa un augment brusc dels casos d'una malaltia en un àrea geogràfica. Tots dos tipus fan referència a malalties locals que rares vegades s'estenen a altres països.

Quan una malaltia apareix en dues o més regions separades del món, l'OMS la classifica com a pandèmia. El fet que una malaltia pertanga a aquesta categoria no vol dir necessàriament que provoqui una mortalitat molt elevada ni que siga difícil trobar-li una cura.

L'última pandèmia reconeguda per l'OMS que va afectar Espanya va ser la grip A (virus H1N1) que va tenir la seua major incidència durant 2009. A causa de l'alarma generada, el Govern va comprar més de 10 milions de dosis d'un antiviral, encara que finalment la malaltia va remetre i les dades van mostrar que la mortalitat de la grip A no era significativament superior a la de la grip estacional.

A.22. Debat amb els teus companys si les autoritats es deixen portar per les alarmes o si la prevenció està justificada per la impossibilitat de saber l'evolució de la malaltia.

Aquesta activitat planteja un altre debat que torna periòdicament als mitjans de comunicació. L'alarmisme que genera que l'OMS qualifique una malaltia de pandèmia es deu en primer lloc al desconeixement, ja que la categoria no guarda cap relació amb la gravetat de la malaltia i, en segon lloc, perquè algunes pandèmies en el passat van ser realment devastadores per a la població. Recordem la grip de 1918-19, que va produir 40 milions de morts al món.

Un aspecte que pot ser interessant comentar és l'efecte que té sobre la propagació d'aquestes malalties la facilitat i freqüència del transport de viatgers a escala mundial. Aquesta grip es va estendre ràpidament a altres països a causa del tràfic aeri de persones contagiades. És per això que cada vegada seran més freqüents aquest tipus de malalties, ja que algunes de les que abans quedaven recloses i controlades en una regió concreta poden estendre's amb facilitat a regions molt apartades del globus.

4.3. EQUILIBRI PERSONAL

Una de les decisions amb les quals ens enfrontem quotidianament és a dir sí o no al consum de determinats productes que a curt o a llarg termini tindran una influència negativa sobre la nostra salut. Ens referim, entre altres, a determinades substàncies que actuen sobre el sistema nerviós i provoquen problemes tant mentre s'estan consumint com quan es deixa de fer-ho. Parlem de les anomenades drogues, com la nicotina, l'alcohol, la cocaïna, etc.

En certes ocasions, integrar-nos i formar part d'un grup suposa adoptar certes conductes en les quals sembla necessari prendre aquestes o altres substàncies. És important saber quins són els riscos del seu consum, analitzar-los i valorar-los, per decidir lliurement. I sobretot, per mantenir l'equilibri personal, no les consumisques si en realitat tu vols dir que no!

Aspirar el fum que es produeix en cremar un cigarret és un dels hàbits més estesos en la nostra societat. Per açò paga la pena detenir-nos a pensar-hi.

Són nombroses les substàncies que componen el fum del tabac i de moltes se sap que són tòxiques i fins i tot que tenen efectes cancerígens. Entre els components més tòxics, és a dir, més perjudicials podem citar el quitrà, el monòxid de carboni, la nicotina i els òxids de nitrogen.

Per comprovar la toxicitat d'algunes de les substàncies contingudes en el fum del tabac, com els òxids de nitrogen, podem produir-los artificialment i observar l'efecte que exerceixen sobre els teixits vius, per exemple, sobre una planta.

A.23. Obteniu òxids de nitrogen, fent reaccionar en un tub d'assaig un poc d'àcid nítric amb fils de coure. Immediatament després de posar el coure, situem una fulla tendra d'un vegetal a la boca del tub d'assaig i la deixem exposada a l'acció dels vapors durant el temps que dura la reacció. Després, observem en la fulla afectada el resultat de l'exposició. Quines conclusions podem obtenir d'aquesta experiència?

Aquesta activitat s'ha de fer amb molta cura perquè la reacció genera calor i l'àcid és corrosiu. El primer exercici tracta d'observar els efectes nocius dels òxids de nitrogen. La producció artificial d'aquests vapors és molt espectacular, i depèn de la quantitat de coure que afegim a l'àcid nítric. Atès que els vapors són tòxics, hem de procurar tenir l'aula-laboratori amb bona ventilació.

Experiència

Situem una fulla d'una planta en equilibri sobre la boca del tub d'assaig on es duu a terme la reacció, perquè reba tots els vapors que s'emeten. Després observarem que la fulla està cremada i la reflexió consisteix que si aquests vapors sobre la fulla, que posseeix un teixit protector, han pogut cremar-la, què poden fer sobre els pulmons, molt més delicats que una fulla?

A continuació, recollirem el fum produït per la combustió del tabac, que és el que inhala la persona fumadora, en un recipient per comprovar posteriorment la presència d'alguns d'aquests productes. Amb aquesta finalitat omplim una botella d'aigua d'1,5-2 litres de capacitat, la col·loquem sobre un recipient pla d'uns 3 litres de capacitat, ajustem la tetina a la boca d'aquella, en la qual prèviament haurem acoblat un cigarret, i en el moment d'encendre'l, practicarem un forat prop de la base de la botella perquè l'eixida de l'aigua produísca l'aspiració del fum que es forme. Una vegada esgotat el cigarret, traiem la tetina, tanquem la botella amb el tap i, posant un dit al forat fet, l'agitem fins que tot el fum es dissolga en l'aigua.

A.24. Què observem llavors? Quina relació trobeu entre la "botella fumadora" i els pulmons?

Veiem que l'aigua adquireix una tonalitat groga per la nicotina present. Aquest exercici es pot ampliar per detectar la presència de quitrà i òxids de nitrogen en el fum recollit. Amb aquest fi situarem una mica (molt poc) de cotó en la tetina i subjecte a aquesta, la vareta indicadora dels òxids de nitrogen (Merckquant 10.002, test de nitrits). El quitrà quedarà impregnant el cotó i la vareta, que en el seu extrem porta un indicador assenyalarà la presència dels vapors d'òxid de nitrogen.

Els fumadors no solament introdueixen el fum amb totes aquestes substàncies als seus pulmons i vies respiratòries, sinó que, en expulsar-lo a l'exterior, contaminen l'aire que comparteixen amb totes les persones que els envolten.

A més, durant la combustió d'un cigarret, s'ocasionen dos tipus de corrent: el corrent principal, produït per l'aspiració des d'un extrem (situat a la boca de la persona fumadora) i que travessa tot el cigarret, i el corrent secundari, resultat de la combustió directa de la zona ígnia, on es troba la brasa i que es desprèn des d'allí.

A.25. Segons investigacions científiques, el corrent secundari del fum del tabac, és a dir, el que reben tant els fumadors com els no fumadors, posseeix compostos químics nocius en una quantitat superior al corrent principal. El corrent secundari posseeix, pel que fa al corrent principal:

- *Entre 1,3 i 3,0 vegades més quantitat de monòxid de carboni.*
- *1,7 vegades més quantitat de quitrà.*
- *2,5 vegades més quantitat de nicotina.*
- *3,6 vegades més quantitat d'òxids de nitrogen.*
- *30 vegades més quantitat de anilina.*
- *96 vegades més quantitat d'amoníac.*

Quins comentaris se us ocorren en vista d'aquestes dades?

Hem de saber que la quantitat de nicotina que es detecta en la persona no fumadora que ha passat una jornada de treball habitual, en un ambient moderadament carregat de fum, és la similar a la que tindria si haguera fumat

7-8 cigarrets. Les dades que s'ofereixen són suficientment eloqüents per a constatar que el fum del corrent secundari és més nociu que el del principal.

Les activitats anteriors tracten d'aportar dades a un debat sobre l'hàbit de fumar i la situació dels fumadors passius.

A.26. Doneu la vostra opinió de manera justificada sobre la utilitat de les següents mesures:

- Incloure en els paquets frases com aquestes: “El tabac és molt addictiu, no comence a fumar”, “Fumar escurça la vida”, “Fumar obstrueix les artèries i causa atacs al cor”.
- Incloure fotografies en els paquets que mostren pulmons amb càncer.
- Incrementar el preu dels paquets.
- Prohibir la venda de tabac a menors de 18 anys.
- Prohibir fumar en espais públics (bars, discoteques, centres de treball, etc.).

Aquestes activitats tracten molts aspectes d'interès sobre el consum de tabac, un problema realment greu entre la població adolescent. Alguns estudis (Morón, 2002) assenyalen que al voltant del 95 % de consumidors habituals de tabac va començar en l'adolescència. Cadascun de nosaltres pot tenir una opinió més o menys formada sobre aquest tema, però no es tracta de debatre sobre els efectes nocius del tabac, sobre els quals existeix un ampli consens en la comunitat mèdica, sinó de debatre propostes com la recentment llançada pel Ministeri de Sanitat, sobre la qual podeu recollir informació de premsa, revistes etc.

En connexió amb el preu se'ls pot plantejar una activitat com: “Feu una estimació de quants diners gasta a l'any un fumador que consumisca 3 paquets setmanals. Una vegada que ho hàgeu fet, penseu quines coses us agradaria comprar si disposàreu d'aqueixos diners”.

Finalment, entre els molts efectes negatius del tabac, s'ha remarcat la importància de la despesa que representa mantenir un consum habitual. Si prenem un preu estàndard per als paquets entorn de 3,5 €, la despesa anual

estimada supera els 546 €, una quantitat molt elevada per al pressupost mitjà dels adolescents. Aquesta simulació pretén generar un impacte sobre les repercussions a tots els nivells que pot tenir prendre la decisió de començar a fumar.

Entre els desequilibris personals que més preocupen en l'actualitat hi ha els trastorns de l'alimentació: l'anorèxia nerviosa i la bulímia.

A.27. Digueu si penseu que les següents afirmacions són vertaderes o falses i expliqueu la vostra resposta. Si necessiteu informació addicional, se'n pot trobar en <http://www.anaymia.com/>

- *Aquests trastorns afecten només xiques joves.*
- *L'anorèxia i la bulímia són malalties greus.*
- *Aquestes malalties només generen problemes físics, que es poden tractar.*
- *La societat té una responsabilitat en l'aparició d'aquestes malalties.*

Amb aquesta activitat pretenem que els alumnes verbalitzen les seues opinions sobre els trastorns alimentaris. Aquest tema és especialment important, perquè la seua incidència és elevada en el grup d'edat al qual pertanyen els alumnes.

Existeixen molts mites sobre aquests trastorns i gaudeixen d'una certa credibilitat entre els joves, perquè basen en bona mesura la seua autoestima en l'aspecte físic i en les seues relacions socials. En el web que s'esmenta en l'activitat, creada per l'associació Protégeles, amb el suport del Defensor del Menor de la Comunitat de Madrid, es pot trobar molta informació sobre aquests trastorns expressada en un registre que els alumnes poden comprendre i amb un clar objectiu de desmuntar els mites que s'expliquen en webs que fomenten l'anorèxia i la bulímia.

Des de la posició d'educadors, l'única cosa que podem fer sobre aquest tema és informar-los tan bé com siga possible sobre la qüestió i com han d'actuar si en coneixen algun cas. La idea més important que l'alumne ha de rebre és que el factor clau per a la recuperació d'un d'aquests trastorns és l'atenció mèdica especialitzada.

5. AGRESIONS AMBIENTALS A LA SALUT

Tots nosaltres estem en contacte directe amb el medi ambient que ens envolta i no podem evitar interaccionar-hi constantment. Per aquesta raó és important reflexionar sobre tot el que el nostre cos necessita de l'exterior, perquè per les mateixes vies que introduïm el que necessitem entraran també altres substàncies que poden comportar un risc per a la nostra salut.

A.28. Comenteu els principals tipus de contaminació que conegueu i poseu-ne un exemple de cadascuna. Tenen algun efecte sobre la nostra salut?

Aquestes activitats aborden l'aspecte de la repercussió en la salut de la contaminació ambiental, un tema de vital importància sobretot en nuclis urbans a partir d'unes determinades grandàries. Es pretén mostrar la relació entre les diferents vies d'entrada al nostre cos i els contaminants que existeixen, per exemple, les restes de fàrmacs, plaguicides o metalls pesants, en els aliments o la contaminació atmosfèrica per òxids de sofre i de nitrogen, que hem vist detalladament en el tema "Teoria atómico-molecular de la matèria". És possible que els alumnes troben dificultats per a identificar alguna substància que absorbim a través de la pell, però podem orientar-los dient-los que determinades substàncies, com les cremes i medicaments d'ús tòpic, s'absorbeixen a través dels porus.

Caldrà remarcar també alguns tipus de contaminació que els alumnes obliden amb freqüència, com són la contaminació acústica o la produïda per radiacions, de la qual parlarem en l'activitat següent. La contaminació acústica és un punt necessari que cal tractar, ja que la societat espanyola hi està escassament sensibilitzada.

A.29. Quines són les principals fonts de contaminació acústica a les zones urbanes? I en els centres de treball?

En l'activitat s'indicaran les múltiples fonts de contaminació urbana: el trànsit, els mitjans de transport (els avions, el ferrocarril, etc.), les obres públiques o la construcció, les indústries pesants al nucli urbà, els locals amb música estrident, els nous equips portàtils de música, etc. En la indústria són les mateixes màquines o defectes d'aquestes, no esmenats per negligència. Totes aquestes fonts han sigut assenyalades com a causants de pèrdua de l'oïda a edats primerenques.

A.30. Indiqueu els efectes perniciosos de la contaminació acústica en la salut humana i la forma de combatre'ls.

L'activitat permet assenyalar que la falta de sensibilitat al nostre país, si es compara amb els països més avançats, potser és deguda al desconeixement dels efectes del so en la salut i en la qualitat de vida. També a una falta de consciència cívica que caldria desenvolupar en el col·lectiu de l'alumnat, bastant aficionat al soroll: motocicletes, música estrident, etc. Entre els efectes perniciosos cal esmentar: la sordesa de les persones, especialment, els treballadors sotmesos a nivells elevats de soroll durant anys, i les interferències en el son (per exemple, el 30 % de les persones de València el veu pertorbat per índexs de soroll elevats).

Altres efectes menys coneguts són l'augment del ritme cardíac i de l'activitat elèctrica muscular, la hipertensió, les alteracions del sistema nerviós (en un de cada tres pacients), etc. La forma de combatre'ls és l'adopció de mesures per a protegir a la població d'aquest tipus de contaminació: barreres de protecció de so a les autopistes, control de tubs d'escapament, insonorització de locals, limitació del volum de la música, etc. És a dir, no es tracta només d'una legislació adequada sinó de vigilar-ne el compliment. El mateix succeeix en la indústria, en què es poden utilitzar plafons acústicament aïllants, instal·lació d'amortidors i suports antivibratoris, el recobriment de parets o sostres amb plafons absorbents, els equips protectors personals, etc. (García 1988).

A.31. Els nivells d'intensitat sonora rellevants són els següents:

120 dB: Soroll insuportable. Llindar de dolor. Avió enlairant-se.

110 dB: Molt perillós. Protectors auditius. Mascletada.

100 dB: Perillós i molest. Interior discoteca.

90 dB: Risc exposicions perllongades. Rotatives, telers.

80 dB: Risc a llarg termini. Camió a 10 m.

70 dB: Bastant sorollós. Carrer amb trànsit intens.

60 dB: Sorollós. Zones comercials.

50 dB: Poc sorollós. Tràfic lleuger. Conversa.

40 dB: Tranquil. Probables interferències del son .

30 dB: Calma. Nivell adequat per al son .

20 dB: Silenciós. Zones rurals.

10 dB: Silenci. Estudi aïllat acústicament.

0 dB: Llindar d'audibilitat. Cambres anecoiques.

Assenyaleu, a partir de la taula, a quins nivells esteu exposats al llarg del dia.

Compareu les respostes amb les recomanacions dels experts: no superar els 50-55 dB durant el dia i durant la nit el màxim acceptat és 30-35 dB.

Però el principal objectiu d'aquesta activitat resideix en la sensibilització sobre la contaminació acústica, a mostrar que la major part del dia estem exposats a nivells sonors superiors als recomanats pels experts. Els sonòmetres no professionals tenen preus competitius que permeten adquirir-los. La seua utilització permet familiaritzar l'alumne amb l'escala de decibels i dona un caràcter més experimental a aquesta part de l'acústica. També es pot utilitzar un oscil·loscopi i un micròfon, però aquests dispositius resulten més cars que el sonòmetre.

Existeix un tipus de contaminació molt difícil de detectar, perquè no es pot veure, ni fa olor de res ni es nota. És la contaminació per radiacions, a la qual ens enfrontem cada vegada que eixim al carrer. A més de les radiacions ultraviolades del Sol, hi ha altres fonts, tant naturals com artificials (alguns minerals, residus radioactius, etc.), però per descomptat és el Sol la font de radiació més habitual.

A.32. Cerqueu informació sobre la relació entre els rajos ultraviolats solars i l'aparició de problemes en la pell. Investigueu també quin efecte tenen les cremes amb protecció solar i per què són capaces de frenar aquests rajos.

Aquesta activitat pretén remarcar la importància de la contaminació radiant i, més concretament, dels riscos de l'exposició perllongada al Sol. Aquesta activitat es planteja com una petita investigació sobre preguntes concretes i definides. Seria interessant demanar als alumnes que citen les fonts que han emprat en l'elaboració de les seues respostes, remarcant que no és negatiu fer ús d'Internet per fer aquestes cerques, sempre que tracten d'extraure informació de llocs fiables. Finalment, es tracta el tema de les cremes de protecció solar, perquè el ús d'aquestes encara no s'ha aconseguit integrar per complet en la nostra conducta. Remarcant-ne la importància es pretén afavorir actituds de prevenció enfront de possibles causes de malaltia, en aquest cas, taques i tumoracions cutànies.

6. L'ACCÉS A LA SANITAT

Encara que hem après molt sobre la salut, no podríem diagnosticar amb seguretat una malaltia ni receptar un medicament. Aquestes són tasques dels professionals de la sanitat: metges, infermers, ATS, cirurgians, anestesistes i un llarg etcètera.

D'altra banda, és evident que no tots els països ni totes les regions tenen la mateixa facilitat per a accedir a aquests serveis. Com major és la dificultat d'accés, major és la dificultat per a tractar eficaçment els problemes de salut, cosa que repercutirà en la vida de les persones. En aquest apartat estudiarem algunes situacions que es donen respecte de l'accés a la sanitat. Els serveis sanitaris que necessita una persona al llarg de la seua vida costen molts diners. L'instrumental que s'utilitza i el personal altament qualificat suposen una despesa que no tots poden pagar-se. És per això que molts països del que s'ha convingut a anomenar Tercer Món pateixen greus mancances en els seus

sistemes sanitaris, posseeixen pocs hospitals i l'instrumental i els fàrmacs imprescindibles per a poder actuar. Veurem quines conseqüències té açò en la població.

A.33. Elaboreu una llista de tot el que hauríeu de fer des del moment en què us sentiu mal i penseu que necessiteu atenció mèdica fins que us visita el metge, si estiguéreu en cadascuna de les situacions següents:

- *Vius en una ciutat que disposa de diversos hospitals.*
- *Vius en un poble petit o un llogaret que no disposa d'hospital, encara que un metge hi acudeix una vegada per setmana.*
- *Vius en un poblat de Kenya a 100 km de l'hospital més proper i no tens telèfon.*

En tots els casos suposarem que no disposeu de vehicle propi (ni cotxe ni moto ni bicicleta).

Aquesta activitat pretén reflectir d'una manera senzilla les diferents traves que pots trobar per a rebre atenció mèdica depenent d'on et trobes. Com que serà l'alumne qui les redactarà, comprendrà millor les diferents situacions. Per a realitzar l'activitat és indiferent la causa per la qual calga acudir a l'hospital. Si es tracta d'alguna cosa no massa greu, podem suposar que la persona acudirà per si mateixa a l'hospital i si es tracta d'un accident, suposarem que en els dos primers casos podrien recórrer a una ambulància, però en el tercer, no.

Si es desitja que tots arriben a un resultat similar, el problema es pot delimitar tant com es vulga, encara que es recomana deixar la situació al més oberta possible per veure quines qüestions tenen en compte els alumnes i quines passen per alt.

Després de la realització d'aquesta activitat, es pot iniciar un breu col·loqui en classe sobre la situació sanitària en països en desenvolupament que entronque posteriorment amb l'activitat següent.

A.34. Una dada que reflecteix bé la realitat d'un país és la seua esperança de vida. Reflecteix la mitjana dels anys que viurien un grup de persones nascudes a la mateixa regió en el mateix any, tenint en compte l'accés a la sanitat, les guerres i molts altres factors que afecten a la mortalitat de la població. A continuació veureu l'esperança de vida en alguns països per al conjunt de la població i posteriorment separada per sexes expressats en anys, segons un estudi de Nacions Unides.

- Representeu en un diagrama de barres les dades d'esperança de vida del conjunt de la població de cada país, analitzeu-los i extraieu-ne conclusions.
- Citeu alguns factors concrets que cregueu que influeixen per a rebaixar l'esperança de vida d'un país.
- En general, les dones viuen més anys que els homes, a quins factors penseu que es pot deure?

País	Lloc en el rànquing	Esperança de vida del conjunt de la població	Esperança de vida (homes)	Esperança de vida (dones)
Japó	1	82,6	79,0	86,1
Suïssa	4	81,7	79,0	84,2
Espanya	6	80,9	77,7	84,2
Cuba	37	78,3	76,2	80,4
Síria	69	74,1	72,3	76,1
Brasil	92	72,4	68,8	76,1
Índia	139	64,7	63,2	66,4
Etiòpia	168	52,9	51,7	54,3
Moçambic	194	42,1	41,7	42,4
MÓN	-	67,2	-	-

Aquesta activitat pretén fer que l'alumne reflexione sobre tots els aspectes que influeixen en el benestar i el desenvolupament d'un país i la transcendència de residir en una regió o en una altra. La majoria de nosaltres som conscients de la gran correlació entre la prosperitat d'un país i el benestar de la seua població.

Lògicament, un país on l'accés a aigua corrent i a medicaments siga un problema tindrà una població en males condicions de salut.

Es pretén també una breu reflexió sobre la distribució de la riquesa a escala mundial, perquè resulta bastant evident que els últims llocs de la taula els ocupen majoritàriament països africans i del sud-est asiàtic, regions empobrides històricament. És important que els alumnes compreguen que els problemes es troben estretament relacionats i que la solució ha d'idear-se en un marc global.

L'última reflexió parla sobre la diferent esperança de vida per sexes. Aquesta activitat pot deixar aflorar algunes idees sexistes que estiguen latents en els alumnes. El tema és complex, atès que també hi ha diferències de mortalitat per classe social, nivell d'estudis, treball exercit, etc. Així, la probabilitat de caure malalt depèn del rang laboral i hi ha estadístiques sobre aquest tema en Lewontin (1984) i Punset (2008) i la distància temporal entre tots dos llibres posa de manifest que aquest fet no ha variat en molts anys. Si es fa una anàlisi de tot el segle XX, s'observa una major mortalitat de les dones fins a la Segona Guerra Mundial, a causa del nombre de morts en el postpart. L'actual diferenciació en la mortalitat per sexes reflecteix la reducció d'aquella mortalitat postpart i encara no recull la mortalitat deguda a causes laborals per la tardana incorporació de la dona al món del treball fora de casa. A més, la població masculina està més exposada a la mort per accidents d'automoció i laborals, a estils de vida no saludables (tabac, alcohol, etc.). Caldrà analitzar estadístiques de d'ací a alguns anys que vagen incloent la incorporació de la dona al treball remunerat abans de poder afirmar que la població masculina sembla ser biològicament més feble que la femenina.

Es treballa també en aquest exercici el tractament de dades i la confecció de diagrames. Així mateix, es demana que s'analitzen les dades una vegada reflectides en el gràfic. D'aquesta manera treballarem un dels objectius generals de l'assignatura. Cal destacar que no tots els alumnes estaran familiaritzats amb aquestes tasques, cosa per la qual pot ser interessant donar alguns consells per a la confecció de diagrames abans d'iniciar l'activitat.

A.35. Es calcula que l'any 2050 la població mundial serà d'aproximadament 9.200 milions de persones. Comenteu alguns efectes que podria tenir açò sobre el planeta, unit a una major esperança de vida.

Aquestes activitats pretenen que treballen la seua capacitat per a predir l'evolució d'un fenomen que ja coneixen i que intenten argumentar la seua predicció amb raons plausibles i lògiques.

En activitats com aquestes cal tenir clar que no hi ha una resposta correcta, sinó que tota argumentació vàlida és en si mateixa una solució satisfactòria al problema. La resposta més habitual és que l'esperança de vida augmentarà en els pròxims anys i les raons més normals són que la medicina haurà avançat, que l'alimentació haurà millorat o que els països subdesenvolupats estaran en una situació millor. Tanmateix, és possible una altra teoria i és que l'esperança de vida disminuiria en cas que es desencadenaren grans guerres o que aparegueren noves malalties que no sabérem combatre.

Adicionalment es pot parar l'exercici en un moment determinat i oferir la dada que han estimat les Nacions Unides per a l'esperança de vida l'any 2050, que és de 75,4 anys per al conjunt del món. A continuació es demanarà als alumnes que continuen amb l'exercici, manifestant si la seua predicció era correcta o no i les raons que pot haver-hi darrere de la dada oferida. D'aquesta manera es converteix en una activitat d'autoregulació en què, a més de treballar la seua capacitat predictiva i argumentativa, se'ls incita a qüestionar el seu propi raonament i a adaptar-lo a la vista de nova informació.

L'existència de sistemes de salut públics no és una cosa recent, ja que, per exemple, la sanitat pública alemanya es va crear a la fi del segle XIX sota el govern d'Otto von Bismarck. Des de llavors s'ha evolucionat molt i ara s'accepta amb total normalitat que és possible que coexistisquen un servei sanitari pagat íntegrament per l'estat i un altre pagat per l'usuari o per la seua companyia d'assegurances.

Ambdós models s'apliquen en l'actualitat en la majoria de països desenvolupats amb lleus diferències sobre les prestacions que l'estat paga en cada país. És possible, però, trobar alguns països que han optat exclusivament per un model

o per l'altre. Un model de país amb un sistema sanitari totalment privatitzat és el que fins a 2010 tenien els Estats Units, que actualment es troba en una transició a un model mixt. Actualment, només Cuba i Corea del Nord mantenen un sistema sanitari totalment públic que no permet l'aparició de companyies que oferisquen serveis de salut. Tots els models posseeixen avantatges i inconvenients. Ara els estudiarem més a fons.

A.36. A Espanya, com a tot Europa, tenim un sistema sanitari mixt, en què cada persona pot escollir ser atès en un hospital públic o en un hospital privat. Tot treballador afiliat a la Seguretat Social, pensionista, perceptor d'alguna prestació periòdica de la Seguretat Social o familiar dependent de qualsevol dels anteriors té dret a aquesta assistència sanitària, que inclou l'atenció especialitzada, les despeses d'hospitalització, la majoria dels tractaments i part dels fàrmacs que requereisca el pacient.

- a) *Penseu que la sanitat pública en el nostre país és suficient o insuficient?*
- b) *Cerqueu informació sobre el "turisme sanitari", què és i per què Espanya és una destinació preferida per a aquest tipus de turistes?*

Aquesta activitat pretén que l'alumne reflexione sobre un model típic de sistema sanitari públic com és l'espanyol. Existeix un debat sobre la necessitat d'universalitzar els serveis sanitaris perquè incloguen, per exemple, els tractaments dentals o les operacions de reassignació sexual. D'altra banda, el nostre país ha sigut durant anys destinació turística d'aquells que requerien processos quirúrgics costosos que el seu país no cobria, la qual cosa demostra que el sistema sanitari espanyol és més complet que alguns dels del seu entorn.

Com ha ocorregut en altres aspectes de la unitat, ací hi ha espai per a totes les posicions, atès que no hi ha una opció clarament correcta. Serà, una vegada més, la capacitat per a argumentar i defensar la pròpia posició el que s'avaluarà dels alumnes.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ALBERT, E. (1978). "Development of the concept of heat in children". *Science Education*, 62 (3), p. 389-399.
- ALFARO, P. (2008). "Recursos para un estudio contextualizado de los terremotos". *Alambique*, 55, p. 20-32.
- ALONSO, M.; FINN, E.J. (1971). *Física. Vol 1: Mecánica*. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.
- ALVAREZ, M. V.; CARRASQUER, J. (1988). "El método científico aplicado a una experiencia de ciencias naturales". *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*. 2, p. 245-250.
- ANGUITA, F. [et al.] (2008). *Ciencias para el mundo contemporáneo*. Madrid: Santillana.
- ARNOLD, M. (1994). "Children's and lay adults' views about thermal equilibrium". *International Journal of Science Education*, 16 (4), p. 405-419.
- ARSUAGA, J.L. (2001). *El enigma de la esfinge*. Barcelona: Mondadori.
- AYUSO, E.G.; BANET, E. (2002). "Pienso más como Lamarck que como Darwin: comprender la herencia biológica para entender la evolución". *Alambique*, 32, p. 39-47.
- BALLESTEROS, M. (2006). "Carburantes sin petróleo: Bioetanol". *Investigación y Ciencia*. 362, p. 78-85.
- BANET, E.; NÚÑEZ, F. (1992). "La digestión de los alimentos: un plan de actuación en el aula fundamentado en una secuencia constructivista del aprendizaje". *Enseñanza de las ciencias*. 10 (2), p. 139-147.
- BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J. (1986). "Is an atom of copper malleable?". *Journal of Chemical Education*, 63(1), p. 64-66
- BENARROCH, A. (2001). "Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia". *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), p. 123-134.
- BULLEJOS, J.; FURIÓ, C. (1989). "La enseñanza de las ciencias como cambio conceptual y metodológico. Ejemplo: el concepto daltoniano de reacción química". *Enseñanza de las Ciencias*, vol. extra II Congreso, p. 141-142.

- BULLEJOS, J.; DE MANUEL, E.; FURIÓ, C. (1993). “¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término *elemento químico* en los libros de texto”. *Enseñanza de las ciencias*. Nº Extra IV Congreso, p. 217-218.
- BYBEE, R.W. (1991). “Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond?”. *The American Biology Teacher*, 53(3), p. 146-153.
- BYBEE, R. (1997). “Toward an Understanding of Scientific Literacy”. En: GRÄBER, W.; BOLTE C. (eds.). *Scientific Literacy*. Kiel: IPN, p. 37-68.
- BYBEE, R. (2000). “Achieving Technological Literacy: A National Imperative”. *The Technology Teacher*, September, p. 23-28.
- CABALLER, M.J.; GIMÉNEZ, I.; MADRID, A. (1993). *Ecosistemas y cambios*. València: Conselleria d'Educació i Ciència.
- CALATAYUD, M.L.; CARBONELL, F.; CARRASCOSA, J.; FURIO, C.; GIL, D.; GRIMA, J.; HERNÁNDEZ, J.; MARTÍNEZ, J.; PAYÁ, J.; RIBÓ, J.; SOLBES, J.; VILCHES, A. (1988). *La construcción de las ciencias físico-químicas: programas-guía de trabajo y comentarios para el profesor*. València: NAU Llibres.
- CARR, M.; KIRKWOOD, V. (1988). “Teaching and learning about energy in New Zealand secondary school junior science classrooms”. *Physics Education*, 23, p. 87-91.
- CARDETE, S. (2009). “El sistema solar no nos cabe en el techo”. *Alambique*, 61, p. 38-47.
- CAVALLI-SFORZA, L. L. (1996). *Qui som: història de la diversitat humana*. Barcelona: Proa.
- CERVELLATI, R.; MONTUSCHI, A.; PERUGINI, D. (1982). “Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy”. *Journal of Chemical Education*, 58, p. 852-856.
- CONESA, H. (2000). “El estudio de los problemas energéticos en la ESO: una propuesta para la enseñanza de la energía desde una perspectiva social”. *Alambique*, 24, p. 30-41.
- CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT, (1991). *Descobreix el Parc Natural de la Font Roja*. València.
- CRICK, F. (1989). *Qué loco propósito*. Barcelona: Tusquets.
- DAVIS, T.; LINEWEAVER, C. (2004). “Expanding confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the universe”. *Astronomical Society of Australia*, 21 (1), p. 97-109.

- DARWIN, C. (1982). *L'origen de les espècies*. Barcelona: Edicions 62.
- DAWKINS, R. (1988). *El relojero ciego*. Barcelona: Labor.
- DEUTCH, J.M.; MONIZ, E.J. (2006). "Energía de fisión: La opción nuclear". *Investigación y Ciencia*, 362, p.42-49.
- DOMÍNGUEZ-SALES, M.C; FURIÓ-MÁS, C. (2007). "Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico". *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), p. 241-258.
- DOMÍNGUEZ-SALES, M.C.; GUIASOLA, J. (2010). "Diseño de visitas guiadas para manipular y pensar sobre la ciencia del mundo clásico grecolatino. El taller 'Logos et Physis' de Sagunto". *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7 (2), p. 473-491.
- DRIVER, R.; WARRINGTON, L. (1985). "Students' use of the principle of energy conservation in problem situations". *Physics Education*, 20, p. 171-176.
- DUIT, R. (1981). "Understanding Energy as a Conserved Quantity-Remarks on the Article by R. U. Sexl", *European Journal of Science Education*, 3 (3), p. 291-301.
- DUIT, R. (1984). "Learning the energy concept in school-empirical results from The Philippines and West Germany". *Physics Education*, 19, p. 59-66.
- DUNCAN, I.M.; JOHNSTONE, A.H. (1973). "The mole concept". *Education Chemical*, 10, p. 213-214.
- ERICKSON, G. (1979). "Children's conceptions of heat and temperature". *Science Education*, 63 (2), p. 221-230.
- ERICKSON, G. (1980). "Children's viewpoints of heat: a second look". *Science Education*, 64 (3), p. 323-336.
- ESCÁMEZ, J. (2002). "Valores, actitudes y habilidades en la Educación para la Salud". *Educación XXI: Revista de la Facultad de Educación*, 4, p. 41-59.
- FEYNMAN, R. (1971). *Física. vol. 1. Mecánica, radiación y calor*. Panamá: Fondo Educativo Iberoamericano.
- FURIÓ, C.; HERNÁNDEZ, J. (1983). "Ideas sobre los gases en alumnos a los 15 años". *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), p. 83-91.
- FURIÓ, C.; HERNÁNDEZ, J.; HARRIS, H. (1987). "Parallels between adolescents conception of gases and the history of Chemistry". *Journal of Chemical Education*, 64 (7), p. 617-618.

- FURIÓ, C.; VILCHES, A. (1997). "Las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y las relaciones CTS". En: CARMEN, L. del (coord.). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori, p. 47-71.
- FURIÓ, C.; DOMÍNGUEZ-SALES, M.C. (2007). "Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de cambio químico". *Journal of Science Education*, 8 (2), p. 84-92.
- FURIÓ C.; SOLBES, J. (2008). "Sostenibilidad en el currículo de Química" p. 169-184. En: MORENO, M. J. (ed.). *Didáctica de las Ciencias. Nuevas perspectivas*. Ciudad de la Habana: Educación Cubana.
- FURIÓ-MÁS, C.; DOMÍNGUEZ-SALES, M.C.; GUIASOLA, J. (2012). "Diseño y utilización de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico". *Enseñanza de las Ciencias* 30(1), p. 113-128.
- FURIÓ-GÓMEZ, C. (2009). "L'ensenyament-aprenentatge de la termoquímica. Anàlisi crítica i proposta de millora". Valencia: Universitat de València. [Tesi doctoral].
- FUSTER, V. (2008). *La ciència de la salut*. Barcelona: Columna.
- GANTEN, D.; DEICHMANN, T.; SPHAL, T. (2004). *Vida, naturaleza y ciencia*. Madrid: Santillana.
- GARCIA, A. (1988). *La contaminació acústica*. València: Universitat de València.
- GARCIA, J.J.; GONZÁLEZ, P.E. (1993). *La diversidad de los seres vivos, en atmósfera e hidrosfera. Rocas y seres vivos*. València: Conselleria d'Educació i Ciència.
- GAVIDIA, V. (1987). *Medio ambiente y adaptaciones*. Madrid: MEC.
- GAVIDIA, V. (1994). "La Educación para la Salud. Instrumento en el desarrollo de actitudes". *Aula de Innovación Educativa*, 27, p. 16-21.
- GAVIDIA, V. (2002). "La escuela promotora de salud". *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 16, p. 83-97.
- GAVIDIA, V. (2004). "La escuela promotora de salud y sostenibilidad". *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 18, p. 65-80.
- GAVIDIA, V.; RODES, M^a J. (1999). "Las actitudes hacia la salud". *Alambique*, 22, p. 87-96.

- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria.
- GIBBS, W.W. (2006). "Fuentes de energía revolucionarias: Un plan B para la energía". *Investigación y Ciencia*, 362, p. 68-77.
- GIL, D. (1981). *Evolución de la idea de materia (un hilo conductor para el estudio de la física)*. València: ICE Universitat de València.
- GINER DE LOS RIOS, F. (1973). "El espíritu de la educación en la Institución Libre de Enseñanza". En: *Ensayos*. Madrid: Alianza.
- GIORDAN, A. (1997). "¿Las ciencias y las técnicas en la cultura de los años 2000?". *Kikiriki*, 44-45, p. 33-34.
- GLICK, T. F. (1986). *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*. Madrid: Alianza.
- GONZÁLEZ, F. (2000). "Ciudadanos y consumidores: la energía en la sociedad de consumo". *Alambique*, 24, p. 9-17.
- GOULD, S.J. (1991). *La vida maravillosa*. Barcelona: Crítica.
- GOULD, S.J. (1992). *La flecha del tiempo*. Madrid: Alianza.
- HAWKINS, D.G.; LASHOF, D.A.; WILLIAMS, R.H. (2006). "Captura y almacenamiento de carbono: ¿Qué hacer con el carbón?". *Investigación y Ciencia*, 362, p. 34-41.
- HERNÁNDEZ ABENZA, L.M. (1993). "Tareas de planificación del módulo 'La energía y los recursos didácticos' en el marco de la formación del profesorado". *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), p. 247-255.
- HERNÁNDEZ, J.; MARTÍNEZ, J.; PAYÁ, J.; RIBÓ, J.; SOLBES, J.; VILCHES, A. (1988). *La construcción de las ciencias físico-químicas. Programas guía de trabajo y comentarios para el profesor*. València: NAU Llibres.
- HEYWOOD, J.B. (2006). "Ahorro de combustible: Combustibles para los transportes del futuro". *Investigación y Ciencia*, 362, p. 20-23.
- HIERREZUELO, J.; MONTERO, A. (1989). *La ciencia de los alumnos*. Madrid: Centro de Publicacions del MEC; Barcelona: Laia.
- HODSON, D. (1985). "Philosophy of science, science and science education". *Studies in Science Education*, 12, p. 25-57.
- HOLTON, G.; ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física moderna*. Barcelona: Reverté.

- HOLTON, G.; BRUSH, S. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Reverté: Barcelona.
- HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. J.; WATSON, F. G. (1982). *Project Physics. Unit 2. Motion in the Heavens*. Nova York: Holt-Rinehart-Winston.
- IBARRA, J.; CARRASQUER, J.; GIL, M. J. (2010). “Un proceso oscuro y anónimo: la descomposición de la materia viva”. *Alambique*. 64, p. 99-109.
- JACOB, F. (1982). *El juego de lo posible*. Grijalbo: Barcelona.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1991). “Cambiando las ideas sobre el cambio biológico”. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), p. 248-256.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2003). “Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias”. En: JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (coord.), CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A.; PEDRINACCI, A.; PRO, A. de. *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2003). “La enseñanza y el aprendizaje de la Biología”. En: JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (coord.), CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A.; PEDRINACCI, A.; PRO, A. de. *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2004). “El modelo de evolución de Darwin y Wallace en la enseñanza de la Biología”. *Alambique* 42, p. 72-81.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2005), “¿Cómo enfrentarse al problema de las plagas? El cambio biológico”, p. 329-354. En: GIL, D. de; MACEDO, B.; MARTÍNEZ, J.; SIFREDO, C.; VALDÉS, P.; VILCHES, A. (ed.) *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago [de Chile]: UNESCO.
- JIMENEZ-ALEIXANDRE, M.P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ-LISO, M.R.; MANUEL, E. de. (2009). “El regreso de la química cotidiana: ¿regresión o innovación?”. *Enseñanza de las Ciencias*, 27 (2), p. 257-272.
- JOCHEM, E.K. (2006). “Eficiencia energética: Aumento del rendimiento y ahorro energético”. *Investigación y Ciencia*. 362, p. 24-27.
- KAMMEN, D.M. (2006). “Energía limpia: Auge de las energías renovables”. *Investigación y Ciencia*. 362, p. 50-59.
- LALONDE, M. (1974): *A new perspective on the health of Canadians, a working document. Nouvelle perspective de la santé des canadiens, un document de travail*. Ottawa: Department of National Health and Welfare.
- LALUEZA, C. (2001). *Races, racisme i diversitat*. Alzira: Bromera; València: Universitat de València.

- LEWONTIN (1984). *La diversidad humana*. Barcelona: Prensa Científica.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M.; NAVARRO, V. (1995). *Història de la ciència al País Valencià*. València: Alfons el Magnànim.
- LOPEZ-GAY, R.; JIMÉNEZ LISO, R.; OSUNA, L.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2009). "El aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Una oportunidad para la formación de maestros". *Alambique*, 61, p. 27-38.
- LLORENS, J. A. (1988). "La concepción corpuscular de la material. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje". *Investigación en la Escuela*, 4, p. 33-48.
- LLORENS, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor.
- MADDOX, J. (1999). *Lo que queda por descubrir*. Madrid: Debate.
- MAIZTEGUI, A.; ACEVEDO, J. A.; CAAMAÑO, A.; CACHAPUZ, A.; CAÑAL, P.; CARVALHO, A. M. P.; CARMEN, L. del; DUMAS, A.; GARRITZ, A.; GIL, D.; GONZÁLEZ, E.; GRAS, A.; GUIASOLA, J.; LÓPEZ, J. A.; MACEDO, B.; MARTÍNEZ, J.; MORENO, A.; PRAIA, J.; RUEDA, C.; TRICÁRICO, H.; VALDÉS, P.; VILCHES, A. (2002). "Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada". *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, p. 129-155.
- MARTÍN-DÍAZ, M. J. (2006). "Los fármacos, imprescindibles para la salud e indicadores de las diferencias Norte-Sur". *Alambique*, p. 49, 81-93.
- MARTÍN, J.; SOLBES, J. (2001). "Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física". *Enseñanza de las ciencias*, 19 (3), p. 393-404.
- MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*, 5 vol. Madrid: Alianza.
- MAXWELL, J.C. (1877). *Matter and motion* [reedició de 1991]. Nova York: Dover.
- MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo*. Barcelona: UNESCO: Círculo de Lectores.
- MONOD, J. (1982). *El juego de lo posible*. Barcelona: Grijalbo.
- MORÓN, J. A. (2002). "El tabaco como reto educativo. Una revisión desde una perspectiva sociopedagógica". *Educación XXI: Revista de la Facultad de Educación*, 4, p. 125-163.
- NACIONES UNIDAS (1992): *UN Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. París: UNESCO.

- NAVARETE, A.; AZCÁRATE, P.; OLIVA, J.M. (2004). "Algunas interpretaciones sobre el fenómeno de las estaciones en niños, estudiantes y adultos: revisión de la literatura". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1 (3), p. 146-166.
- NEBOT, J.R.; TORRÓ, J.; MANSANET, C.M.; MARTÍNEZ, A. (1993), *L'Alcoià i el Comtat. Guia natural, històrica i cultural*. Alcoi: Centre de Professors.
- NOVICK, S.; NUSSBAUM, J. (1978). "Junior high school pupil's understanding of the particulate nature of matter: an interview study". *Science Education*, 62 (3), p. 273-282.
- NOVICK, S.; NUSSBAUM, J. (1981). "Pupil's understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study". *Science Education*, 65 (2), p. 187-196.
- ODGEN, J. (2006). "Economía del hidrógeno: Buenas expectativas para el hidrógeno". *Investigación y Ciencia*. 362, p. 60-67.
- OLIVA, J. M.; ARAGÓN, M. M.; BONAT, M.; MATEO, J. (2003). "Un estudio del papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia". *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), p. 424-444.
- OPARIN, A.I. (2006). *L'origen de la vida*. València: Universitat de València.
- OPARIN, A.I. (1985). *El origen de la vida*. Madrid: Akal.
- PARK, R.L. (2003). *Ciencia o vudú*. Barcelona: R.H. Mondadori.
- PASCUAL, J. A. (2003). *Les revolucions en les ciències naturals*. Alzira: Bromera.
- PAULING, L. (1971). *Química general*. Madrid: Aguilar.
- PEDRINACI, E. (2008a). "Presentación de la monografía: riesgos en la enseñanza". *Alambique*. 55, p. 5-9.
- PEDRINACI, E. (2008b). "El cambio global: un riesgo y una oportunidad". *Alambique*. 55, p. 56-68.
- POON, C.H. (1986). "Teaching field concept and potential energy at A-level". *Physics Education*, 21 (5), p. 307-316.
- PRO, A. de (2009). "El uso de los recursos energéticos". Una unidad didáctica para la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), p. 92-116.
- Programa PISA (2005). *Ejemplo de ítems de conocimiento científico*. Madrid: MEC.

<http://www.institutodeevaluacion.mec.es/publicaciones/?IdCategoriaPublicacion=3indice0>

- PUNSET, E. (2008). *El viatge a la felicitat*. Barcelona: Edicions 62
- ROCKE, A. (1986). *Chemical atomism in the nineteenth century: from Dalton to Cannizzaro*. Columbus: Ohio State University.
- ROGERS, (2004). *El fin del petróleo*. Barcelona: Ediciones B.
- RUSE, M. (1987). *Tomándose a Darwin en serio*. Barcelona: Salvat.
- SAGAN, C. (2006). *Cosmos*. Barcelona: Universitat de Barcelona: Omnis Cellula.
- SAGAN, C. (2000). *Miles de millones*. Barcelona: Suma de Letras.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1999). *Como al león por sus garras*. Madrid: Debate.
- SAPIÑA, F. (2001). *El repte energètic*. Alzira: Bromera; València: Universitat de València.
- SAPIÑA, F. (2005). *Un futur sostenible*. Alzira: Bromera; València: Universitat de València.
- SCHRÖDINGER, E. (1984). *Què es la vida?: l'aspecte físic de la cèl·lula vida; i La ment i la matèria*. Barcelona: Edicions 62.
- SCHRÖDINGER, E. (1988). *Qué es la vida*. Barcelona: Tusquets.
- SELLEY, N.J. (1989). "The philosophy of school science". *Interchange*, 20, (2), p. 24-32.
- SERÉ, M. G., (1986). "Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching". *European Journal of Science*, 8 (4), p. 413-425.
- SEXL, R.U. (1981). "Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept". *European Journal of Science Education*, 3 (3), p. 285-289.
- SIMPSON, R. D.; KOBALA, T. R.; OLIVER, J. S.; CRAWLEY, F. E. (1994). "Research on the affective dimension of science learning". En: Gabel, D.L. (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nova York: McMillan.
- SMOLIN, L. (2007). *Las dudas de la física en el siglo XXI*. Barcelona: Crítica.
- SOBEL, D. (1999). *La longitud*. Barcelona: Edicions 62.
- SOCOLOW, R.H.; PACALA, S.H. (2006.) "Un enfoque práctico: Plan para estabilizar las emisiones de carbono". *Investigación y Ciencia*. 362, p. 12-19.

- SOLBES, J. (2002). *Les empremtes de la ciència. Ciència, tecnologia, societat: unes relacions controvertides*. Alzira: Germania.
- SOLBES, J.; MARTÍN, J. (1991). "Análisis de la introducción del concepto de campo". *Revista Española de Física*, 5, p. 34-40.
- SOLBES, J.; TARÍN, F. (1995). *Física 2º de Bachillerato*. Barcelona: Octaedro.
- SOLBES, J.; TARÍN, F. (1998). "Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía". *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), p. 387-397.
- SOLBES, J.; TARÍN, F. (2007). "¿Qué hacemos si no coincide la teoría y el experimento? (o los obstáculos de la realidad)". *Alambique*, 52, p. 97-107.
- SOLBES, J.; TARÍN, F. (2008). "Which Reaches the Bottom First?". *The Physics Teacher*, 46, p. 550-551.
- SOLBES, J.; MARCO, D. TARÍN, F.; TRAVER, M. (2010). *Ciencias para el mundo contemporáneo*. Madrid: Ministerio de Educación. http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/index.htm
- SOLOMON, J. (1983). "Learning about energy: how pupils think in two domains". *European Journal of Science Education*, 5 (1), p. 49-59.
- SOLOMON, J. (1985). "Teaching the conservation of energy". *Physics Education*, 20, p. 165-176.
- STINNER, A. (1992). "Science textbooks and science teaching: from logic to evidence". *Science Education*, 76, (1), p. 1-16.
- STIX, G. (2006). "Energía y cambio climático". *Investigación y Ciencia*. 362, p. 8-11.
- TARÍN, F. (2000). "El principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas". València: Universitat de València. [Tesi doctoral]
- THE EARTH WORKS GROUP (1992). *50 cosas sencillas que tu pots fer per salvar la Terra*. Barcelona: La Caixa, 1992.
- UNESCO (1975). *Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Sudamericana.
- VAN ROON, P.H.; VAN SPRANG, H.F.; VERDONK, A.H. (1994). "'Work' and 'heat': on a road towards thermodynamics". *International Journal of Science Education*, 16 (2), p. 131-144.
- VARELA, M.P.; PÉREZ, M.C.; FAVIERES, A. (2000). "La energía en las aulas: un Puente entre la ciencia y la sociedad". *Alambique*, 24, p. 18-29.

- VILCHES, A.; GIL, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- VON WEIZSACKER, E. U.; LOVINS, A. B. I LOVINS, L. H. (1997). *Factor 4. Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- WATSON, J. (1994). *La doble hélice*. Barcelona: Salvat.
- WILSON, E. O. (2007). *La Creació. Una crida per salvar la vida a la Terra*. Barcelona: Empúries.
- WWF/ADENA (2008) *Informe Planeta Vivo*.
http://www.wwf.es/noticias/informes_y_publicaciones/informe_planeta_vivo_2008/