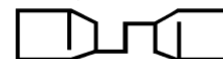




Generalitat de Catalunya
Departament d'Educació
Institut Joan Ramon Benaprès
<https://agora.xtec.cat/ies-sitges/>
Tel.: 93 894 37 12

1 BTX TECNOLOGIA INDUSTRIAL I UD: LA PRODUCCIÓ D'ENERGIA

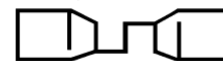
INSTITUT JOAN RAMON BENAPRÈS



SITGES

ELS RECURSOS ENERGÈTICS





1.1 Fonts d'energia

Qualsevol màquina en funcionament, qualsevol acció de la nostra vida quotidiana... tot, absolutament tot, necessita energia. Però, saps d'on s'obté?

Seguint el principi de transformació de l'energia, l'energia existeix a la natura, però cal transformar-la per aconseguir-ne un major aprofitament. Anomenem fonts d'energia els elements existents a la natura susceptibles de ser transformats en energia, com ara l'aigua, el carbó, el petroli, etc.



►► Les fonts d'energia al llarg del temps

Al llarg de la història l'ésser humà ha anat descobrint diferents recursos i nous mètodes per aconseguir l'energia necessària per al seu desenvolupament. Els pobles primitius únicament utilitzaven l'energia muscular i aprofitaven l'**energia del Sol**; més endavant feren servir la força dels animals i obtingueren el foc mitjançant combustibles vegetals.

De fet, fins al segle passat la fusta i els residus vegetals o animals foren els combustibles corrents que l'ésser humà va utilitzar per satisfer les necessitats energètiques primàries, llum i calor. Quan va necessitar grans quantitats d'energia per a les màquines de les indústries, va recórrer a l'**energia del vent** i a l'**energia de l'aigua**.

La Revolució Industrial del s. XIX, amb la utilització de la màquina de vapor en el transport i amb la progressiva mecanització del treball manual, va provocar un important augment de la demanda d'energia. El **carbó vegetal**, cada vegada més escàs i amb poc poder calorífic, fou gradualment substituït com a font d'energia pel **carbó mineral**. A finals del s. XIX el carbó proporcionava el 59% de l'energia consumida al món.

Els constants avenços tècnics i, sobretot, la invenció i la utilització del motor d'explosió va donar lloc al naixement i expansió de la indústria de l'automòbil, màquina que requeria **benzina**, un combustible derivat del **petroli**.

Durant la Primera Guerra Mundial, el petroli es va confirmar com a recurs energètic fonamental, donada l'eficàcia demostrada pels carros de combat, avions, etc. Els derivats del petroli presentaren grans avantatges respecte al carbó: més poder calorífic, absència de residus sòlids, més facilitat d'obtenció i transport i, sobretot, molt més econòmics.

A començaments de la dècada dels 70, el petroli era la font d'energia més utilitzada, aproximadament el 50% del consum mundial d'energia, amb una progressió creixent. L'any 1973, amb motiu de la guerra araboisraeliana, el preu del petroli es va triplicar en poques setmanes, originant el que es coneix com a **crisi de l'energia**, que encara no s'ha acabat.

L'ús del **gas natural** es va començar a impulsar a partir de l'augment del consum energètic després de la Segona Guerra Mundial. Resolts els problemes de transport i emmagatzematge, se'n va generalitzar la utilització com a combustible domèstic i industrial.

La recerca de solucions per fer front a la necessitat energètica suposà el desenvolupament de l'**energia nuclear**. L'ús de l'energia nuclear va començar amb la construcció, l'any 1942, de la

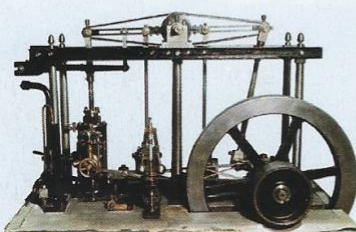


Fig. 1.1. La màquina de vapor va permetre produir energia mecànica a través de la combustió del carbó.

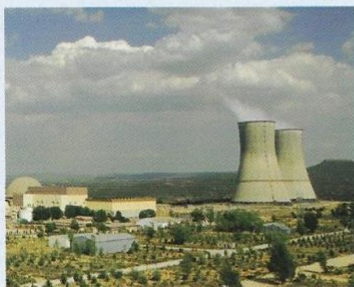
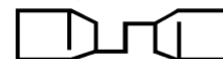


Fig. 1.2. Central nuclear de Trillo.



primera pila atòmica. L'any 1954 va posar en funcionament, a l'antiga URSS, la primera **central nuclear de fissió**, que va iniciar una cursa de construccions de centrals nuclears arreu del món.

Problemes com la crisi del petroli, l'esgotament dels recursos, els accidents nuclears (Harrisburg, 1979 i Tchernòbil, 1986) o la falta de solució al problema dels residus radioactius, ha portat a un canvi d'actuació i mentalitat respecte a la política energètica: l'estalvi d'energia i l'ús de recursos renovables són ara els nous reptes.

►► Fonts d'energia tradicional: foc, aigua i vent

Després del Sol, l'escalfor del foc, la força del vent i l'impuls de l'aigua són les primeres fonts d'energia que l'enginy humà adaptà a les seves necessitats.

El Sol fou la primera font d'energia que va utilitzar la humanitat. Va fer possible l'existència d'aliments (animals i plantes) i va permetre d'escalfar-se, assecar les pells que protegeixen del fred i conservar els aliments.

Més tard, el descobriment i el domini del foc va suposar una revolució i va permetre una gran quantitat d'aplicacions. Empraven el foc per escalfar-se, cuinar, il·luminar-se en la foscor, obtenir estris i fondre els metalls. Durant molts segles la llenya, «el sol emmagatzemat a les cèl·lules vegetals», va ser pràcticament l'única font de calor utilitzada.

La humanitat ha disposat sempre d'una altra font d'energia, el vent. Tot i el seu caràcter irregular, que fa difícil el seu aprofitament, ha estat utilitzat al llarg de la història en el transport fluvial i marítim i en els molins de vent per a l'obtenció d'energia mecànica.

En el transport les primeres referències històriques daten del 4500 aC. Gravats de l'època egípcia mostren petites embarcacions de vela navegant pel Nil. Fenicis, grecs i romans navegaven per tota la Mediterrània amb els seus vaixells de vela.

A Pèrsia, el s. v aC ja s'empraven molins de vent per bombar aigua. A Europa, a partir del s. XII es construïen molins de vent per moldre gra, sobretot en zones on l'aigua era escassa i els molins d'aigua no s'adaptaven a les seves necessitats.

La utilització dels corrents d'aigua ha estat fonamental per al progrés de la civilització. L'aprofitament més elemental és la sinia, emprada en l'agricultura per regar. El s. I es va començar a utilitzar la roda hidràulica o molí d'aigua, que aprofitava els corrents i els salts d'aigua per obtenir energia mecànica. Durant l'Imperi romà, el seu ús s'estengué ràpidament i s'utilitzà per moldre gra.

A l'època medieval, amb la millora del seu disseny i rendiment, el molí d'aigua era la màquina per excel·lència, que afavoria el desenvolupament de les tècniques de transmissió del moviment per engranatges, de la indústria tèxtil (fonamental en l'economia de l'edat mitjana), de la indústria del paper, de la indústria metal·lúrgica, etc.

A l'edat moderna se'n va generalitzar l'ús en totes les activitats que s'anaven creant, i es considera que des de el s. XVI fins a mitjans del s. XIX, les rodes hidràuliques van ser les màquines motrius més importants a Europa i a l'Amèrica del Nord.

Amb el desenvolupament de la màquina de vapor es van deixant d'utilitzar tant els molins de vent com les rodes hidràuliques.

Va ser a finals del s. XIX, amb el naixement de la indústria elèctrica, que les energies del vent i de l'aigua van tornar a agafar volada. Primer amb l'energia hidràulica, les turbines, que substituïen les rodes, serien les màquines motrius que, impulsades per l'aigua, mourien els

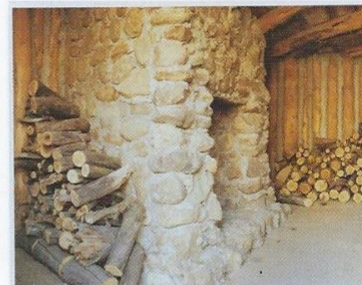


Fig. 1.3. Des del descobriment del foc la humanitat ha utilitzat la llenya com a font d'energia.



Fig. 1.4. Molí de vent.



Fig. 1.5. Roda hidràulica.



Fonts d'energia	
renovables	exhauribles
Energia solar	Carbó
Energia eòlica	Petroli
Energia hidràulica	Gas natural
Energia geotèrmica	Energia nuclear
Biomassa	
Residus sòlids urbans	
Energia mareomotriu	
Energia de les ones	

Taula 1.1. Classificació de les fonts d'energia en funció de les reserves disponibles.

generadors elèctrics. També es dissenyaren molins de vent per a la producció d'electricitat, però no va ser fins a finals del segle passat que es va estendre l'ús d'aerogeneradors per al subministrament d'energia elèctrica en llocs allunyats de la xarxes de distribució. Actualment, sobretot arran de l'impuls de les fonts d'energia renovables, es construeixen grans parcs eòlics.

►► Classificació de les fonts d'energia

En funció de la seva naturalesa:

- **Primàries.** Es troben en la natura, com la llenya, l'aigua, el carbó, el petroli, etc.
- **Secundàries.** S'obtenen a partir de les fonts primàries, com l'electricitat o la benzina.

En funció de les reserves disponibles:

- **Renovables.** N'hi ha reserves il·limitades, perquè es regeneren contínuament. Són les que provenen del Sol, del vent, de la biomassa dels residus sòlids, del mar i de l'aigua dels rius.
- **No renovables o exhauribles.** N'hi ha reserves limitades. Són el carbó, el petroli, el gas natural i l'urani.

En funció del grau d'utilització:

- **Convencionals.** Aquelles a partir de les quals es produeix la major part d'energia consumida per la societat: petroli, gas natural, carbó, hidroelèctrica, nuclear.
- **No convencionals.** Aquelles a partir de les quals es produeix una petita part de l'energia total consumida per la societat, solar, eòlica, ...

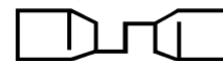
► Activitats

- 1> Fes una relació de les fonts d'energia que utilitzes en la teva activitat diària.
- 2> Enumera les diferents fonts d'energia que provenen del Sol.
- 3> Fes una llista d'aplicacions concretes d'energia eòlica i/o hidràulica que coneguis. Quins són els avantatges i els inconvenients de l'ús de l'aigua i del vent per obtenir energia mecànica?

► 1.2 Materials combustibles

Els **materials combustibles** són substàncies que, en combinar-se amb l'oxigen, donen lloc al fenomen de la combustió, amb la qual cosa s'obté energia calòrica i, sovint, energia lluminosa.

Els combustibles són, en general, compostos de carboni d'origen natural o sintètic. El primer combustible utilitzat per l'ésser humà va ser la llenya, que, encara avui, és una important font d'energia per a molts habitants de països del Tercer Món.



El desenvolupament de la màquina de vapor va suposar una revolució en la utilització de la calor com a principal element per obtenir energia mecànica. Els nous enginyers, però, necessitaran noves fonts d'energia, més abundants i amb més poder calorífic. És el moment dels combustibles fòssils.

Els combustibles fòssils són els combustibles naturals més abundants a la natura. En funció del seu estat físic es poden classificar en *sòlids*, *líquids* o *gasosos*:

- **Sòlids.** El més utilitzat és el carbó, en qualsevol de les seves formes: antracita, hulla o lignit.
- **Líquids.** En general provenen de la destil·lació del petroli (benzina, querosè, gasoil i fuel), encara que en alguns països també s'utilitzen alcohols, com ara l'etanol i el metanol, que provenen de plantes.
- **Gasosos.** Els més utilitzats són el gas natural i els gasos líquats del petroli (GLP), com ara el butà i el propà.

►► Poder calorífic i capacitat calorífica



El **poder calorífic** és l'energia que es desprèn en la combustió completa de la unitat de massa o volum d'un combustible.

En els combustibles sòlids o líquids s'expressa en kcal/kg o en MJ/kg; en els gasosos es pot expressar en kcal/m³ o en MJ/m³, en condicions normals (CN), a 1 atmosfera de pressió i a 0 °C de temperatura.

Normalment els combustibles gasosos es distribueixen a pressions i temperatures diferents de les condicions normals. Per calcular-ne el poder calorífic en les noves condicions de pressió i temperatura s'utilitza la fórmula següent:

$$p_c = p_c(\text{CN}) \cdot \frac{p}{101300} \cdot \frac{273}{273 + T}$$

Combustibles sòlids	p_c (MJ/kg)
Llenya seca	18-19
Antracita	34-35
Coc	29-33
Lignit	28-29
Combustibles líquids	p_c (MJ/kg)
Benzina	49
Querosè	46
Gasoil	44
Fuel	43-45
Combustibles gasosos	p_c (MJ/kg)
Hidrogen	142
Gas natural	42
Gas butà	49
Gas propà	51
Combustibles gasosos	p_c MJ/m³ (CN)
Hidrogen	12,76
Gas natural	46
Gas butà	120
Gas propà	97

Taula 1.2. Poder calorífic dels principals combustibles.

Exemple 1

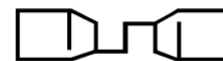
Calcula el poder calorífic del butà si en CN és de 28700 kcal/m³, quan se subministra a 5 atm i 22 °C.

Resolució

$$5 \text{ atm} = 506500 \text{ Pa}$$

$$28700 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ MJ}}{10^3 \text{ kJ}} = 119,966 \text{ MJ/m}^3 \approx 120 \text{ MJ/m}^3$$

$$p_c = p_c(\text{CN}) \cdot \frac{p}{101300} \cdot \frac{273}{273 + T} = 120 \cdot \frac{506500}{101300} \cdot \frac{273}{273 + 22} = 555,214 \text{ MJ/m}^3$$



1 joule (J) = 0,24 calories (cal)
1 caloria (cal) = 4,18 J
1 kcal = 4,18 kJ



La **capacitat calorífica** (C) és la quantitat de calor que ha de rebre una substància per elevar la seva temperatura en 1 K o 1 °C.

Així, la quantitat d'energia tèrmica (Q) necessària per elevar la temperatura d'un cos des d'una temperatura inicial T_1 fins a una final T_2 , val:

$$Q = C (T_2 - T_1) = m \cdot c_e (T_2 - T_1)$$

on c_e , és la calor específica del cos, que és la capacitat calorífica per unitat de massa i es mesura en KJ/kg · °C o kcal/kg · °C.



Exemple 2



Calcula la quantitat de calor que necessitem per escalfar 75 L d'aigua de 25 °C a 75 °C tenint en compte que la c_e de l'aigua és 4,18 kJ/kg · °C i que 75 L equivalen a 75 kg.

Resolució

$$Q = m \cdot c_e (T_2 - T_1) = 75 \text{ kg} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (75 - 25) ^\circ\text{C} = 15675 \text{ kJ}$$



Exemple 3

Una estufa de butà té 5 cremadors, dels quals en poden funcionar simultàniament 1, 3 o 5. Cada cremador encès consumeix $c = 68 \text{ g/h}$ de butà. El poder calorífic del butà $p_c = 49,5 \text{ MJ/kg}$ i se subministra amb bombones que en contenen $m_b = 12,5 \text{ kg}$ i valen $p_{\text{bombona}} = 8,78 \text{ €}$. Determineu:

- La potència calorífica de cada cremador p_{cremador} i la potència de l'estufa p_{estufa} .
- La durada t d'una bombona amb els 5 cremadors encesos.
- El preu p del kW · h obtingut amb aquesta estufa.

Resolució

- a) La potència de cada cremador serà l'energia consumida cada segon:

$$p_{\text{cremador}} = c \cdot p_c = \frac{6,8 \cdot 10^{-3}}{3600} \cdot 49,5 \cdot 10^6 = 935 \text{ W}$$

$$\text{i la potència de l'estufa: } P_{\text{estufa}} = P_{\text{cremador}} \cdot 5 = 935 \cdot 5 = 4675 \text{ W}$$

- b) La durada t d'una bombona amb els 5 cremadors encesos:

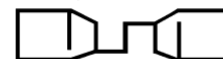
$$t = \frac{m_b}{c \cdot 5} = \frac{12,5 \cdot 1000}{68 \cdot 5} = 36,76 \text{ h}$$



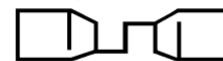
Generalitat de Catalunya
Departament d'Educació
Institut Joan Ramon Benaprès
<https://agora.xtec.cat/ies-sitges/>
Tel.: 93 894 37 12

1 BTX TECNOLOGIA INDUSTRIAL I UD: LA PRODUCCIÓ D'ENERGIA

INSTITUT JOAN RAMON BENAPRÈS



SITGES



c) Calculem l'energia que pot subministrar la bombona:

$$E = P_{\text{estufa}} \cdot t = 4675 \cdot 36,76 = 171853 \text{ W} \cdot \text{h} = 171,853 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

per tant el preu p del kW · h serà:

$$p = \frac{P_{\text{bombona}}}{E} = \frac{8,78}{171,853} = 0,051 \text{ €/kW} \cdot \text{h}$$

►► La llenya i el carbó vegetal

La meitat de la humanitat depèn de la **llenya** per escalfar-se, il·luminar-se i cuinar. Tant és així, que l'escassetat de llenya que es dona en alguns països es considera la crisi energètica dels pobres. En els països en què el seu consum és bàsic, és utilitzada pels habitants de les ciutats en forma de carbó vegetal, que pesa de 5 a 6 vegades menys que la llenya original, i per tant, el seu transport és molt més barat.

El **carbó vegetal** s'obté de la piròlisi, que és una combustió parcial de la llenya amb poca presència d'oxigen. En el procediment tradicional, la carbonera, la llenya s'apila en una clariana de bosc i es cobreix de terra per evitar que estigui en contacte directe amb l'aire; d'aquesta manera s'aconsegueix una combustió parcial de la llenya, i en resta un residu ric en carboni, que és el carbó vegetal.



Fig. 1.6. Obtenció de carbó vegetal.

►► El carbó mineral

El **carbó mineral** o simplement **carbó** és el primer combustible fòssil que va utilitzar la humanitat. Artífex indiscutible de la Revolució Industrial, i combustible indispensable per a la maquinària industrial, per al transport marítim i ferroviari, i per a l'enllumenat de les ciutats. A mitjan s. xx el seu consum disminuï sensiblement en favor del petroli, però amb la crisi energètica dels anys setanta i l'encariment espectacular del petroli se'n va revitalitzar el consum. Els seus costos són competitius i, a més, n'existeixen unes reserves molt superiors a les del petroli. Actualment, l'augment de les extraccions i el consum de carbó figura en tots els PEN (Pla Energètic Nacional) dels països industrialitzats.

►►► Origen i propietats

El carbó té el seu origen en els extensos boscos que cobrien la major part de la Terra fa milions d'anys, en el període carbonífer, caracteritzat per un clima humit i càlid, afavoridor del creixement vegetal i de la descomposició de la matèria orgànica. Els esdeveniments geològics posteriors, corresponents a les diferents etapes de formació dels actuals continents, van provocar que molts d'aquells boscos quedessin submergits i posteriorment colgats sota enormes quantitats de sorra i roques. La descomposició lenta de la matèria orgànica, sense la presència d'oxigen, juntament amb la pressió i la temperatura a què ha estat sotmesa durant milions d'anys, ha transformat la fusta d'aquells boscos en el carbó actual.

La composició i el contingut de carboni és diferent en funció de les condicions de pressió i del temps de formació, i es poden distingir quatre grups de carbons diferents: les *torbes*, els *lignits*, les *hulles* i les *antracites*, que constitueixen el primer graó de la cadena de formació del carbó.

- La **torba** conté aproximadament el 60% de carboni i molta humitat. A simple vista es pot comprovar la seva estructura fibrosa vegetal. Es forma en zones pantanoses anome-



El **carbó** és format per carboni, hidrogen, oxigen, nitrogen i altres components com ara sílex, òxids de ferro, sofre, etc.



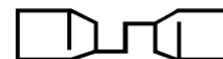
El **PEN (Pla Energètic Nacional)** és el conjunt d'estratègies, plans i objectius que defineixen la política energètica d'un país a mitjà i llarg termini.



Generalitat de Catalunya
Departament d'Educació
Institut Joan Ramon Benaprès
<https://agora.xtec.cat/ies-sitges/>
Tel.: 93 894 37 12

1 BTX TECNOLOGIA INDUSTRIAL I UD: LA PRODUCCIÓ D'ENERGIA

INSTITUT JOAN RAMON BENAPRÈS



SITGES

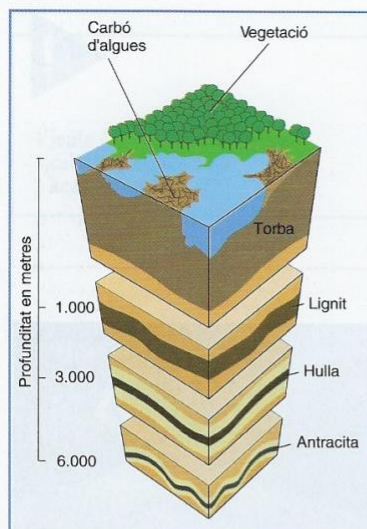
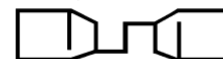


Fig. 1.7. Diferents tipus de carbó. Es pot comprovar que els carbons més antics són els que es troben a més profunditat.



Fig. 1.8. Mina a cel obert.

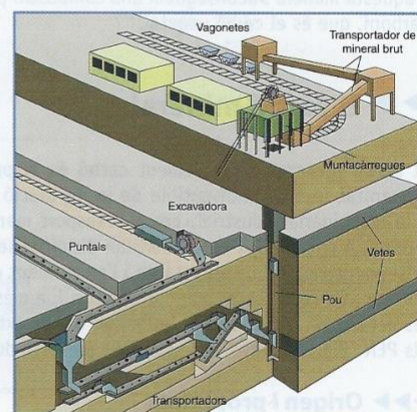


Fig. 1.9. Mina subterrània.

nades torberes. Només s'utilitza en les zones pròximes a les torberes, després d'assecar-se, i gairebé sempre reservada al consum domèstic.

- Els **lignits** són carbons d'origen recent –uns cent milions d'anys–, de poder calorífic baix, que produeixen moltes cendres quan cremen. A causa del seu baix poder calorífic, només s'utilitzen prop del lloc d'extracció quan aquesta és fàcil, ja que es troben en capes grosses i superficials factibles d'una explotació a cel obert.
- Les **hulles** són carbons bituminosos o grassos, d'un elevat contingut en carboni i gran poder calorífic, impermeables, de fàcil destil·lació; normalment es converteixen en carbó de coc, i són utilitzats com a reductors als alts forns per a l'obtenció del ferro.
- Les **antracites** són els carbons més antics, de major poder calorífic i amb un contingut en carboni de fins al 95%. Tenen un aspecte brillant, cremen amb flama i provoquen poca cendra. L'inconvenient principal és que es troben en jaciments molt profunds i de poc gruix, on l'extracció resulta difícil i costosa.

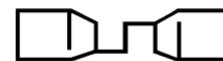
►►► Processos d'obtenció

L'**explotació subterrània** és el mètode tradicional d'extracció de carbó; consisteix en excavar pous verticals fins a arribar a la veta i seguidament obrir galeries en la seva direcció. Actualment l'extracció es realitza amb màquines que eliminen la necessitat de picar i palejar el carbó. El mineral es desprèn de la veta i es recull mecànicament en vagonetes o en cintes transportadores, que el porten a la superfície.

A peu de mina, el carbó es tritura, es renta i es classifica, per tal d'eliminar les matèries estranyes que l'acompanyen i que en dificulten la combustió. Seguidament, si no s'utilitza a peu de mina, es transporta als llocs de consum en trens o camions.

El treball en aquestes mines és perillós i requereix una maquinària costosa i molta mà d'obra especialitzada, que ha de complir unes mesures de seguretat estrictes per reduir al màxim el risc d'accidents i de malalties professionals, com ara la silicosi, una malaltia greu, que afecta els pulmons, provocada per la respiració durant molt temps d'aire carregat amb partícules sòlides.

La presència del **grisú**, gas combustible que desprèn el carbó, exigeix una ventilació constant, per evitar que es pugui acumular i explotar, amb la qual cosa provoca incendis i esfondraments a l'interior de la mina. Els sostres de les galeries s'asseguren amb puntals a mesura que avancen i quan no s'utilitzen s'omplen amb àrids per evitar-ne l'esfondrament.



Un nou mètode d'extracció que es troba en fase d'investigació és la **gasificació del carbó** en el jaciment mateix. La gasificació consisteix en la introducció d'un agent gasificant a la veta del mineral, de la qual resulta gas de carbó que s'utilitza com a combustible. Aquest mètode permet l'exploració de jaciments que, per la seva configuració i localització tècnica i/o econòmicament, no poden ser explotats mitjançant els mètodes tradicionals.

▶▶▶ Aplicacions

El carbó és un material molt útil, que ofereix possibilitats d'aplicacions múltiples i variades, des del seu ús com a combustible fins a matèria primera per a l'obtenció de molts productes químics.

Les aplicacions més importants del carbó són les següents:

- Com a **combustible d'ús general**, utilitzat directament sense cap transformació, en les centrals tèrmiques.
- Pel **procés de destil·lació seca**, se sotmet el carbó a una alta temperatura i se n'obté:
 - *Coc*, combustible utilitzat en la indústria siderúrgica.
 - *Gas ciutat*, combustible d'utilització domèstica.
 - *Productes químics*, com els olis lleugers i el quitrà, obtinguts en la destil·lació. Proporcionen un seguit de derivats orgànics, sotmesos a destil·lacions fraccionades, que són utilitzats en la indústria química per a l'obtenció d'una variada gamma de productes: plàstics, fertilitzants, explosius, medicaments, perfums, etc.
- Pel **procés de gasificació**, és a dir, per la reacció del carbó roent amb vapor d'aigua en gasògens, s'obté el *gas de síntesi*, utilitzable directament com a combustible o per a l'obtenció de:
 - *Gas natural sintètic*, en què el gas de síntesi és sotmès a un procés de metanització.
 - *Hidrocarburs*. Del gas sotmès a un procés d'hidrogenització a pressions elevades, s'obté un gas ple d'hidrocarburs, del qual es poden obtenir combustibles líquids i gasosos similars als derivats del petroli.

Les utilitats bàsiques del carbó són com a combustible a les centrals tèrmiques i per a l'obtenció del coc, en la indústria siderúrgica. Les altres aplicacions resulten més econòmiques utilitzant gas natural i petroli, però no hem d'oblidar que les reserves d'aquests combustibles són molt inferiors a les del carbó.

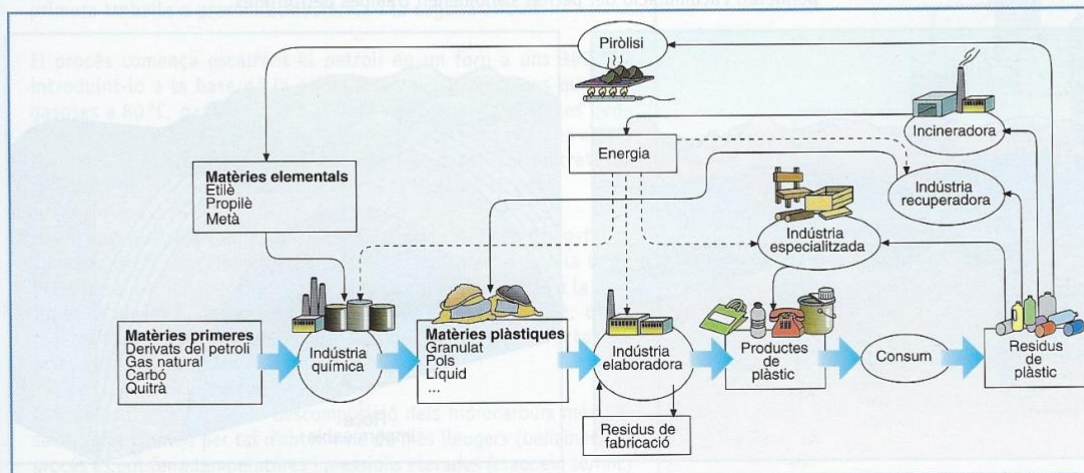
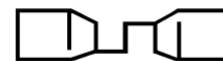


Fig. 1.10. Obtenció de productes de plàstic a partir del carbó i altres matèries primeres.



La paraula *petroli* (d'etimologia llatina), *petra* i *oleum*, significa "oli de roca".



El petroli i els seus derivats són els combustibles fòssils utilitzats com a font primària d'energia més recents. Estan constituïts per àtoms de carboni i d'hidrogen, i formen molècules d'hidrocarburs.



Els **bacteris aerobis** són uns organismes microscòpics que necessiten l'oxigen per desenvolupar-se, i els **bacteris anaerobis** són uns organismes microscòpics als quals no els cal l'oxigen.

►► El petroli

L'economia mundial depèn en gran mesura del petroli. La seva importància econòmica rau en la gran quantitat de productes derivats que proporciona i en el poder energètic de molts d'ells. Del petroli s'obtenen combustibles (benzina, gasoil, fuel, olis, naftes, etc.) i un seguit de productes derivats d'ús quotidià (com ara plàstics, detergents, goma, fibres sintètiques, dissolvents, etc.), que són la base del desenvolupament industrial d'un país.



El **petroli brut**, tal com s'extreu del jaciment, és un líquid de color variable, des del terrós fins al negre, lleugerament menys dens que l'aigua, d'aspecte oliós, de viscositat variable, encara que normalment alta i d'olor desagradable.

És constituït per una barreja d'hidrocarburs de composició diversa i en proporcions molt variables, segons el jaciment de procedència. Conté també petites quantitats de sofre, oxigen i nitrogen. El petroli brut no té aplicació directa; se n'han de separar els components per destil·lació en les refineries.

►►► Origen

La teoria més generalitzada afirma que el petroli va iniciar la seva formació fa uns 600 milions d'anys, per l'acumulació de microorganismes que constituïen el plàncton marí. En ser arrossegats pels corrents cap a la costa, morien, es dipositaven al fons i quedaven recoberts per successives capes de sorra, argila i fang.

La matèria orgànica, en forma de gelatina, en quedar atrapada, va experimentar una descomposició en dues etapes, la primera portada a terme per bacteris aerobis i la segona per bacteris anaerobis. Aquesta descomposició, juntament amb els factors de pressió i temperatura, va originar els diferents hidrocarburs que constitueixen el petroli.

El seu estat líquid, a diferència del carbó, en va permetre el desplaçament cap a l'interior de la Terra a través de les roques poroses, fins a arribar a roques impermeables que el deixaven atrapat formant dipòsits o bosses de petroli. Les diferents configuracions geològiques que permeten l'acumulació del petroli s'anomenen trampes petrolíferes.

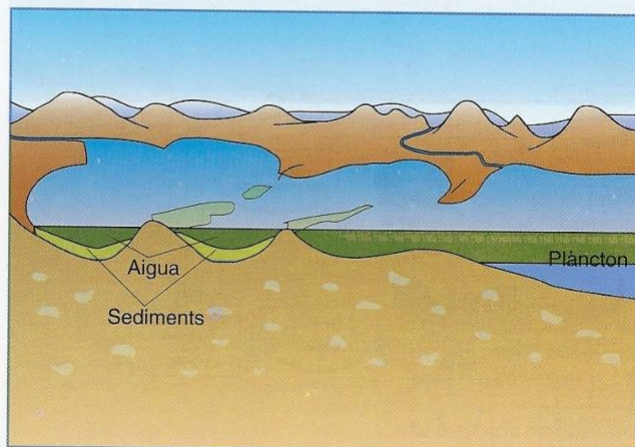


Fig. 1.11. Formació del petroli.

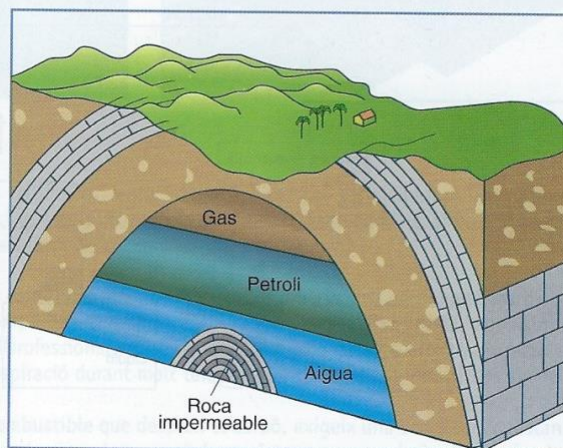
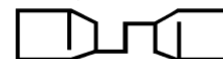


Fig. 1.12. Bossa de petroli i gas.



►►► Localització i extracció

La localització d'una bossa de petroli resulta una tasca complicada i costosa. La prospecció es fa sempre en regions amb roques sedimentàries, les úniques amb possibilitat de contenir petroli. Després els geòlegs estudien les estructures tectòniques i els estrats del terreny per localitzar possibles trampes de petroli. No obstant això, sense perforar és impossible afirmar si hi haurà petroli o no.

Per perforar es construeix una **torre de perforació** i s'obre un pou de prova. Les torres són estructures metàl·liques resistents, per suportar el pes d'una sonda que s'anirà enfonsant fins a travessar la roca.

Una vegada travessada la roca si es troba petroli, s'obren més pous per determinar el petroli que conté la bossa i s'analitza la qualitat del cru obtingut. Si l'avaluació és positiva es procedeix a l'extracció, que pot ser natural o artificial.

L'**extracció natural** es produeix quan el petroli es troba pressionat i puja espontàniament pel tub de sondeig. En l'**extracció artificial** s'injecta aigua a través dels tubs de la sonda, que obliga el petroli a pujar a la superfície, o s'utilitzen bombes aspirants per fer-ho.

A la superfície se separa el gas i l'aigua que acompanyen el cru i s'emmagatzema en grans dipòsits en espera del transport, amb grans vaixells o amb oleoductes, a les refineries. Moltes bosses de petroli es troben sota el mar. La seva obtenció és possible gràcies a les **plataformes marines**, estructures de grans dimensions que disposen dels equips necessaris per a la perforació de pous i l'extracció del petroli submarí.

►►► Transformació en productes aptes per al consum

A les **refineries** es porten a terme un seguit de processos destinats a separar els diferents components o fraccions del petroli. Els més característics són: la destil·lació fraccionada, el craqueig, la polimerització i la reformació.

■ **Destil·lació fraccionada.** Consisteix en escalfar el cru fins a l'evaporació, per refredar-lo progressivament i obtenir les fraccions condensades separades en funció del seu punt d'ebullició. S'efectua amb dues torres de destil·lació o columnes de fraccionament. La primera treballa a pressió atmosfèrica i la segona al buit.

El procés comença escalfant el petroli en un forn a uns 360 °C i introduint-lo a la base de la primera torre. Les fraccions que són gasoses a 80 °C, gasos com ara el butà i el propà i part de les benzines arriben al punt més alt de la torre, on són extretes. Les altres fraccions, benzines, naftes, el querosè i el gasoil són extretes a diferents nivells, segons sigui el seu punt d'ebullició.

La fracció que resta líquida a 350 °C s'anomena residu atmosfèric: un cop extret, s'escalfa en un forn a 400 °C i s'introdueix a la torre de buit per tornar-se a destil·lar; d'aquesta manera s'obté, a la part superior, gasoil, i a les diferents altures, naftes, querosè, olis i fuel; al fons de la torre, un residu del qual, prèviament tractat, es poden obtenir olis i asfalt.

■ **Craqueig.** Consisteix en la descomposició dels hidrocarburs més pesants (olis i fuels), per tal d'obtenir-ne de més lleugers (benzines). El procés es pot fer a temperatures i pressions elevades (craqueig tèrmic) o amb la presència de catalitzadors químics (craqueig catalític).



Fig. 1.13. Torre de perforació.

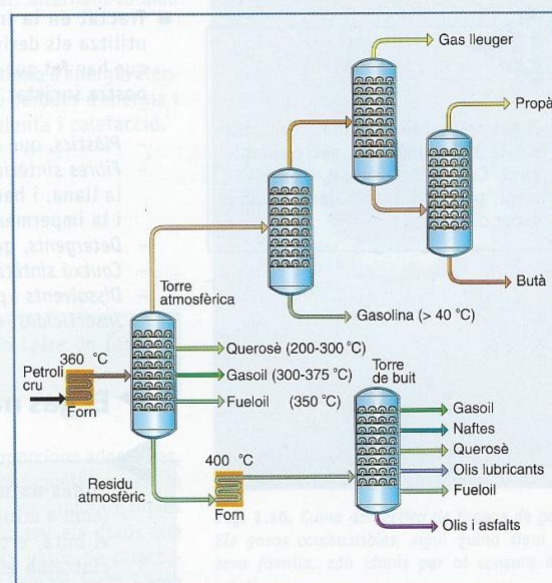


Fig. 1.14. Procés de destil·lació del petroli.

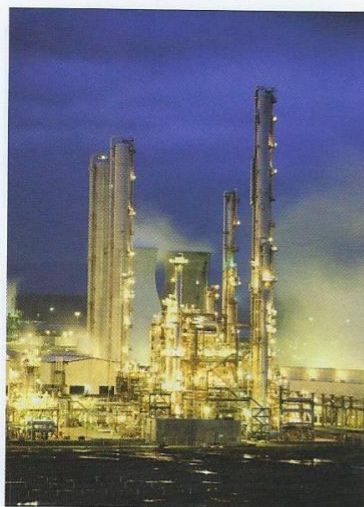
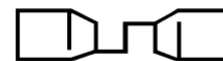


Fig. 1.15. Indústria petroquímica.



El gas natural té una gran acceptació per la seva combustió poc contaminant. Com que és format, exclusivament, per C i H, només desprèn CO₂ i vapor d'aigua.

■ **Polimerització.** És el procés químic contrari al craqueig: els hidrocarburs lleugers (butà i propà), es converteixen en compostos més pesants (benzines o gasoils). Els processos de craqueig i polimerització són molt importants perquè permeten obtenir el producte de més demanda al mercat, la benzina, a partir d'altres que no en tenen tanta.

■ **Reformació.** S'utilitza per millorar les característiques de les benzines. Es fa a altes temperatures i en presència d'un catalitzador, com ara el platí.

El procés final consisteix en l'eliminació de les impureses químiques, com ara el sofre i els compostos corrosius, per fer aptes per al consum els diferents productes obtinguts.

▶▶▶ Aplicacions dels productes obtinguts

Els productes obtinguts es poden utilitzar directament o com a matèries primeres per a la indústria petroquímica.

■ Directament:

- Gas butà i gas propà, també anomenats *gasos líquats del petroli* (GLP), s'utilitzen com a combustible industrial domèstic.
- Èter de petroli, emprat com a dissolvent.
- Benzina, combustible per a motors d'explosió.
- Querosè, combustible per a motors d'aviació.
- Gasoil, combustible per a calefaccions i motors dièsel.
- Olis lubricants, utilitzats per lubricar.
- Ceres de parafines, per fabricar espelmes, llumins, lubricants, etc.
- Fuel, combustible per a centrals tèrmiques.
- Asfalt, emprat com a revestiment, antihumitat i, barrejat amb sorra, per pavimentar terres.

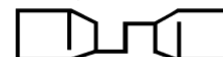
■ **Tractat en la indústria petroquímica.** La petroquímica és la indústria química que utilitza els derivats del petroli per a l'obtenció de molts productes de gran aplicació, que han fet que sigui una indústria estratègica en el desenvolupament econòmic de la nostra societat. Produeix:

- Plàstics, que han desplaçat materials com ara el vidre, la fusta, el cuir o el suro.
- Fibres sintètiques, com ara el niló i el polièster. Han desplaçat, en part, el cotó i la llana, i han donat noves qualitats als teixits, com ara la resistència al desgast i la impermeabilitat.
- Detergents, que han millorat les propietats del sabó ordinari.
- Cautxú sintètic, per a la fabricació de pneumàtics.
- Dissolvents i pintures.
- Insecticides, explosius i productes farmacèutics.

▶▶ El gas natural



El **gas natural**, tal com es troba a la natura, és format bàsicament per metà (com a mínim, en el 70%) barrejat amb altres gasos, com ara l'età, el propà, el butà, etc., en proporcions variables. Es troba formant bosses, sol o associat amb el petroli, cobertes per capes impermeables que n'impedeixen la propagació.



▶▶▶ Extracció, transport i distribució

La formació del gas natural prové d'un procés semblant al del petroli; per això, la localització i l'extracció, sigui a terra o sota el mar, es fa com la del petroli. El gas, abans del transport, és processat per eliminar les impureses (pols, sorra, aigua i altres gasos no desitjats), amb la qual cosa s'obté, pràcticament, metà pur.

El transport als centres de consum es realitza amb *gasoductes* o amb *vaixells metaners*. En els **gasoductes** es transporta en estat gasós a una pressió entre 3,65 i 7,1 MPa, fins a les plantes de distribució: és el sistema de transport més econòmic.

Quan les dificultats d'instal·lació d'un gasoducte són molt grans, com ara les distàncies llargues a través del mar, s'utilitzen els **vaixells metaners**, que el transporten fins a les plantes de regasificació i distribució. Perquè el transport amb vaixell resulti econòmic se n'ha de reduir el volum.

El gas se sotmet a un procés de refredament en diverses etapes, fins a obtenir-ne **gas natural líquid (GNL)**, a una densitat aproximada de 455 kg/m^3 i amb una reducció del seu volum unes 600 vegades. Per mantenir-lo a pressió atmosfèrica en aquestes condicions cal disminuir-ne la temperatura fins a -163°C .

La distribució des de la planta als llocs de consum exigeix una xarxa de canonades de diferents pressions, en funció de la proximitat dels llocs de consum.

▶▶▶ Aplicacions

El gas natural s'utilitza en diferents àmbits:

- **La indústria, el comerç i l'habitatge.** El desplegament d'una xarxa de distribució en constant expansió ha anat desplaçant l'ús d'altres combustibles.
- **Les centrals tèrmiques mixtes.** Es va imposant l'ús del gas natural, alternant-lo amb els combustibles tradicionals (fuel i carbó).
- **Les instal·lacions de cogeneració.** Consisteix en la producció simultània d'energia elèctrica i de calor útil. Una sofisticada tecnologia redueix al màxim les pèrdues d'energia i ens permet de proveir grans col·lectius d'energia elèctrica, aigua calenta i calefacció.
- **La indústria petroquímica.** Com a matèria primera.

▶▶ Combustibles gasosos



Un **gas combustible** és capaç de reaccionar amb l'oxigen de l'aire de forma ràpida i amb alliberament de calor.

Per a la seva combustió es necessita barrejar amb l'oxigen de l'aire en proporcions adequades, i aplicar-hi un focus d'ignició, guspira o flama, que n'iniciï la combustió (aquesta missió la realitzen els cremadors). Com que existeixen molts gasos combustibles, de característiques molt variades que requeririen un tipus d'instal·lació adequada a cadascuna, els gasos que es comercialitzen han estat agrupats en tres famílies. Cada una reuneix gasos de característiques similars, que es poden utilitzar sense necessitat de canviar la instal·lació i amb resultats de combustió equivalents.

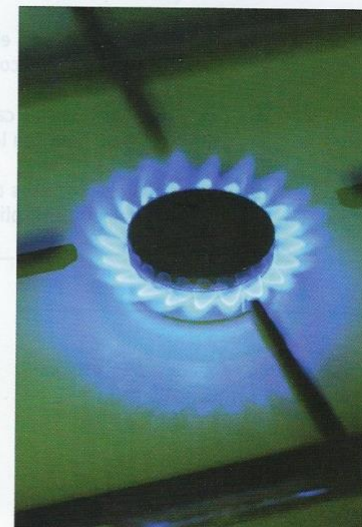
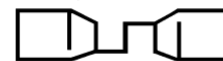


Fig. 1.16. Cuina domèstica de fogons de gas. Els gasos combustibles, sigui quina sigui la seva família, són idonis per al consum domèstic.



- **Primera família.** Li corresponen els gasos de poder calorífic en CN comprès entre 17 i 23 MJ/m³. Pertany a aquest grup el gas ciutat o manufacturat. Es pot obtenir a partir del carbó (gas de síntesi) i a partir del petroli o del gas natural, per procediments de craqueig o reformació, respectivament. Destinats bàsicament al consum domèstic, es distribueixen en xarxes de canonades des de la planta d'elaboració als consumidors.
- **Segona família.** Li corresponen els gasos de poder calorífic en CN comprès entre 40 i 52 MJ/m³: són el gas natural i l'aire propanat, que és una barreja d'aire amb propà. Es distribueixen amb una xarxa de canonades.
- **Tercera família.** Li corresponen els gasos de poder calorífic comprès entre 94 i 120 MJ/m³ (CN). Són el gas butà i el propà, gasos líquids del petroli (GLP), que reben aquest nom perquè s'emmagatzemen i distribueixen amb bombones o amb dipòsits a granel en estat líquid.



Activitats

- 4> Calcula el poder calorífic del gasoil en kcal/L si la seva densitat és de 0,8 g/cm³.
- 5> Enumera els combustibles més usats al nostre país per obtenir calor i els més usats per fer un treball.
- 6> Una indústria necessita 15 000 L d'aigua calenta cada dia, que s'ha d'escalfar de 20 °C a 90 °C. Disposa d'una instal·lació calefactors que utilitza carbó amb un poder calorífic de 28 MJ/kg i amb un rendiment del 75 %. Calcula la quantitat de carbó que ha de cremar cada dia. (Calor específica de l'aigua $c_e = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.)
- 7> Explica els avantatges i els inconvenients de la utilització del carbó com a combustible.
- 8> Quins són els grups de carbons existents? En què es diferencien? Quines són les seves aplicacions?
- 9> Quins són els processos que es duen a terme en una refinaria de petroli? Explica'ls.
- 10> Quines són les aplicacions principals del petroli refinat?
- 11> Quina és la finalitat d'agrupar els combustibles gasosos comercials en famílies?
- 12> Explica els processos i els canvis d'estat que pateix el gas natural des que és al jaciment fins que arriba a casa nostra.
- 13> Calcula el consum de benzina per cada 100 km del motor d'un automòbil que desenvolupa una potència de 60 CV amb una velocitat mitjana de 100 km/h i amb un rendiment del motor del 32 %. (Poder calorífic de la benzina $p_c = 35 \text{ MJ/L}$.)
- 14> Una central tèrmica que utilitza gas natural disposa d'un grup motriu que té un rendiment $\eta = 40\%$ i proporciona una potència $P_u = 200 \text{ MW}$. Calcula el consum horari de gas c_{hor} si se subministra a una pressió $P = 506,5 \text{ kPa}$ i a una temperatura $T = 20^\circ\text{C}$. Poder calorífic del gas natural $p_c(\text{CN}) = 46 \text{ MJ/m}^3$.

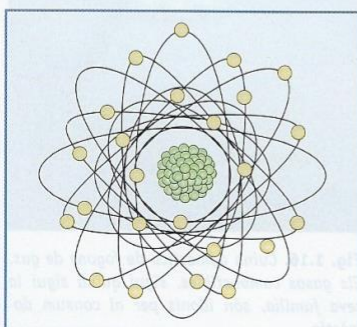


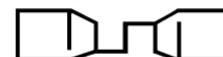
Fig. 1.17. L'àtom segons el model de Rutherford.

1.3 L'energia nuclear

A diferència de l'energia química, en què l'energia s'obté pel canvi en els enllaços entre àtoms, l'energia nuclear s'obté dels canvis que es produeixen en els nuclis dels àtoms, en les anomenades reaccions nuclears.

L'estructura dels àtoms, segons el model de Rutherford, està formada per un nucli, amb protons i neutrons, i girant al seu voltant, electrons en diferents òrbites el·líptiques, segons el nombre i el nivell d'energia.

Un àtom es caracteritza pel nombre de protons que té el seu nucli. Tots els àtoms amb el mateix nombre de protons en el nucli són àtoms del mateix element. Així, per exemple, tots els àtoms d'urani tenen 92 protons, tots els d'oxigen en tenen 8 i tots els d'hidrogen, només 1.



El nombre de protons que un àtom d'un determinat element té en el seu nucli rep el nom de **nombre atòmic** de l'element, i es representa per la lletra Z .



El nombre de protons més el de neutrons d'un àtom rep el nom de **nombre màssic** o també **massa atòmica**, i es representa per la lletra A .

Un element es pot presentar amb diferents nombres màssics. Així, per exemple, els àtoms d'urani poden tenir 141, 143 o 146 neutrons, els àtoms d'oxigen poden tenir 8 o 9 neutrons i els àtoms d'hidrogen 0, 1 o 2 neutrons.



Dels àtoms del mateix element que difereixen en el nombre de neutrons i, per tant, també en el nombre màssic, es diu que són **isòtops** de l'element.

Quan volem indicar l'estructura d'un àtom de símbol X , el representem així: ${}^A_ZX$.

Per tant, els isòtops de l'hidrogen es representen:

${}^1_1\text{H}$ (hidrogen o proti)

${}^2_1\text{H}$ (deuteri)

${}^3_1\text{H}$ (triti)

I els de l'urani:

${}^{233}_{92}\text{U}$

${}^{235}_{92}\text{U}$

${}^{238}_{92}\text{U}$

Es corrent anomenar l'element pel nombre màssic; per exemple: U233, U235 o U238.

Radioactivitat. Vida mitjana d'un element radioactiu



La **radioactivitat natural** és el fenomen de la transformació o transmutació nuclear espontània.

És a dir, un nucli d'un àtom es transforma espontàniament en un altre, sense cap ajuda exterior. Els materials en què es produeix aquest fenomen s'anomenen **materials** o **elements radioactius**.

En aquesta transmutació nuclear espontània el nucli de l'àtom emet radiacions a gran velocitat. La radiació emesa pot ser de dos tipus: radiació electromagnètica (**raigs gamma: γ**) i radiació de partícules (**partícules alfa: α** i **partícules beta: β**). Un mateix element només pot emetre alhora radiacions α i γ o bé radiacions β i γ .

Aquestes radiacions són conegudes com a **radiacions ionitzants**, perquè tenen energia suficient per penetrar la matèria i ionitzar-ne els àtoms i/o les molècules. Això les fa molt perilloses, però també útils.

Quan un àtom d'un element radioactiu emet una partícula α , surten del nucli dos protons i dos neutrons (que seran un nucli d'heli, amb càrrega positiva). Poden recórrer distàncies molt petites: un full de paper o la pell humana poden frenar-les.

Partícula	Massa	Càrrega
Protó	1	+1
Neutró	1	0
Electró	1/2 000	-1

Taula 1.3. Propietats de les partícules constituents de l'àtom.



Tipus de radiació	Poder de penetració	Desviació per camps	Velocitat	Naturalesa
Alfa (α)	La frena un full de paper o uns quants centímetres d'aire.	Dèbil	10^7 m/s	Partícules positives (nuclis d'heli)
Beta (β)	La frenen uns quants mil·límetres d'alumini o 1 m d'aire.	Gran	Propera a la de la llum	Partícules negatives (electrons)
Gamma (γ)	La frenen uns quants centímetres de plom o uns quants metres de formigó.	Nul·la	La de la llum (10^8 m/s)	Fotons Llum no visible (longitud d'ona molt curta)

Taula 1.4. Propietats més importants de les radiacions α , β i γ .

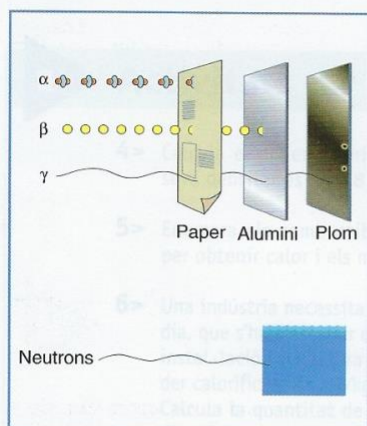
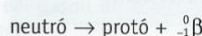


Fig. 1.18. Poder de penetració de les radiacions α , β i γ .

Si el que emet és una partícula β , surt un electró del nucli. Sembla difícil d'explicar aquest fenomen amb la hipòtesi admesa que els nuclis només contenen protons i neutrons. Per resoldre aquesta dificultat s'admet que els electrons són creats en el moment de la seva emissió, com a conseqüència de la transformació d'un neutró en un protó i un electró. L'electró surt del nucli a gran velocitat mentre el protó hi roman.



Les radiacions β poden recórrer més distància que les radiacions α , 1 m aproximadament, però són frenades per una planxa de metall d'alguns mil·límetres de gruix.

Després de l'emissió d'una partícula α o β , s'ha format un nou nucli, ja que en tots dos casos ha canviat el nombre atòmic. El nou nucli acostuma a estar excitat i emet energia en forma d'un o més fotons; aquesta és la radiació γ . Les radiacions γ no tenen massa ni càrrega elèctrica i són les més perilloses perquè són molt penetrants. Per aturar-les és necessària una placa gruixuda de plom o una paret de formigó.



Els **isòtops radioactius artificials** s'obtenen mitjançant el bombardeig de nuclis amb partícules projectil α , β i γ i, sobretot, neutrons.



L'energia del nucli atòmic



L'**energia nuclear** és l'energia continguda en el nucli dels àtoms.

Quan neutrons i protons formen un nucli atòmic resulta una massa inferior a la suma de les masses dels protons i dels neutrons originals considerades independentment. La pèrdua de massa correspon a una transformació d'energia anomenada **energia d'enllaç**, necessària per mantenir molt unides i cohesionades les partícules del nucli. La massa que s'ha perdut s'ha transformat en energia d'enllaç.

Per això, en totes les reaccions nuclears, s'allibera una certa quantitat d'energia, que és la diferència entre les energies d'enllaç anteriors i posteriors al procés, i que correspon a la diferència de massa atòmica entre els elements resultants de la reacció i els inicials.

La pèrdua de massa convertida en energia segons la fórmula d'Einstein:

$$E = m c^2$$

Fig. 1.17. Àtom segons el model de Rutherford.



apareix en forma de radiació i d'una gran velocitat en les partícules i elements resultants (radiacions, neutrons i àtoms); en definitiva, en energia tèrmica. En la fórmula d'Einstein, E és l'energia produïda, m és la massa desintegrada i c , la velocitat de la llum.

Així, cada gram de massa que es transforma en energia produeix:

$$E = m \cdot c^2 = (1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \cdot (300\,000\,000 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$9 \cdot 10^{13} \text{ J} \cdot 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{J}} = 21,6 \cdot 10^{12} \text{ cal}$$

Aquesta enorme quantitat de calor s'aprofita com a font d'energia. Les centrals nuclears utilitzen reactors nuclears d'urani o plutoni com a font de calor, substitutiva del petroli, carbó o gas natural.

Amb el que hem expressat fins ara, pot semblar que en la matèria tenim una font barata i pràcticament inexhaustible d'energia. Però no és tan senzill. No tota la matèria es pot transformar en energia perquè la majoria d'elements són estables i els materials radioactius naturals l'emeten molt lentament. S'han aconseguit alguns isòtops radioactius artificials per proporcionar petites quantitats d'energia. S'utilitzen en instruments per a satèl·lits artificials i en els marcapassos.

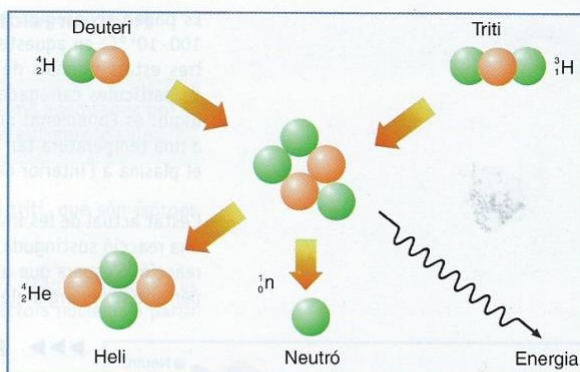


Fig. 1.19. Fusió de deuteri i triti.

►► Reaccions nuclears



La radioactivitat és fruit de reaccions nuclears i si bé es poden aconseguir petites quantitats d'energia, existeixen dos tipus de reaccions nuclears artificials en què es poden aconseguir grans quantitats d'energia. Són les reaccions de fissió i fusió nuclears.

►►► Reaccions de fusió



Com per exemple: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

on ${}^2_1\text{H}$ és el símbol del deuteri i ${}^3_1\text{H}$ el del triti, isòtops de l'hidrogen de masses atòmiques 2 i 3 respectivament.

Aquestes reaccions desprenen molta energia; reaccions de fusió semblants a aquestes són les que es produeixen espontàniament al Sol i a les estrelles.

La dificultat rau en el fet que calen grans quantitats d'energia per iniciar la reacció, ja que els nuclis tenen càrrega elèctrica positiva i es repel·leixen quan s'acosten. Aquestes repulsions només es poden vèncer si les partícules tenen una energia cinètica molt gran.



Les previsions més optimistes són aconseguir un primer reactor de fusió comercial al voltant de l'any 2050.



La primera reacció de fissió la van aconseguir O. Han i I. S. Strassman l'any 1939 a Berlín. Aquests investigadors van comprovar que si els nuclis d'urani absorben un neutró, es podien escindir (trencar) en dos fragments i obtenir un gran desprendiment d'energia. El trencament del nucli d'un àtom era un tipus de reacció nuclear desconeguda fins aleshores. Amb aquest descobriment comença l'anomenada era atòmica.



Es poden aconseguir reaccions de fusió escalfant les partícules a temperatures de l'ordre de $100 \cdot 10^6$ °C; en aquestes condicions els electrons i nuclis dels àtoms no es troben en un dels tres estats normals de la matèria (sòlid, líquid o gasós), sinó que formen un conglomerat de partícules carregades positivament i negativament, sense una estructura atòmica que les lligui: és l'anomenat quart estat de la natura o **plasma**. El problema és com aïllar el plasma a una temperatura tan alta. La solució tecnològica més viable sembla que passa per confinar el plasma a l'interior de potents camps magnètics.

L'estat actual de les investigacions passa per obtenir un confinament del plasma i aconseguir una reacció sostinguda, és a dir, que ens doni més energia que la que necessitem per iniciar la reacció. S'espera que una vegada aconseguides aquestes metes, la fusió nuclear sigui la font per obtenir energia elèctrica barata, il·limitada, segura, i mediambientalment acceptable.

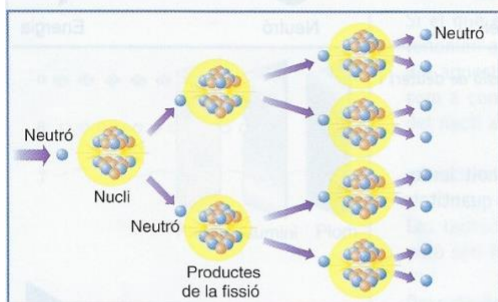


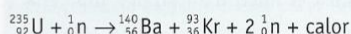
Fig. 1.20. Fissió de l'urani i reacció en cadena.

Reaccions de fissió

Les **reaccions de fissió** consisteixen a provocar la ruptura del nucli d'un àtom amb l'impacte d'un neutró.

L'interès més gran del procés de fissió està en el fet que per cada nucli escindit s'emeten dos o tres neutró que poden escindir altres nuclis d'urani, i així successivament: aquest procés es diu **reacció en cadena**. D'aquesta manera, iniciada la reacció nuclear, es pot mantenir per si mateixa sempre que es disposi d'una quantitat d'àtoms d'urani suficients, anomenada **massa crítica**.

Els nuclis utilitzats són sempre isòtops radioactius. Un exemple de fissió de l'U235 pot ser:



En comptes de bari i criptó poden aparèixer altres elements com ara xenó, radó, cesi, iode, etc.

Una reacció en cadena pot fissionar gran part dels àtoms d'U235 presents al començament i produir una enorme quantitat d'energia, suma de les energies produïdes a cada fissió.

D'1 kg d'urani fissionat obtenim una energia de l'ordre de $6,1 \cdot 10^{13}$ J, aproximadament la mateixa que s'obtingria en la combustió de 2500 tones de carbó.

Com que l'energia alliberada és conseqüència de la transformació de massa d'energia, aplicant l'equació d'Einstein:

$$E = m \cdot c^2$$

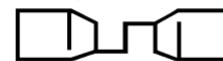
$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{6,1 \cdot 10^{13} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 0,68 \text{ g}$$

Per tant, en la fissió d'1 kg d'U235 desapareixen 0,68 g de matèria, i es transforma en energia calorífica o radiant. Aquesta gran quantitat d'energia obtinguda es pot alliberar instantàniament, de forma sobtada, en una explosió nuclear (bomba atòmica) o d'una manera lenta i controlada en un reactor nuclear.

El **reactor nuclear** és un sistema per produir i controlar reaccions en cadena sostingudes de manera que permetin aprofitar l'energia tèrmica obtinguda.



Bohr va demostrar que encara que l'urani natural és una barreja de tres isòtops, només l'U-235 és capaç d'escindir-se.



►►► Processos d'obtenció i enriquiment dels combustibles nuclears



Els **combustibles nuclears** són els elements que en condicions adequades poden produir reaccions nuclears de fusió i fissió, energèticament aprofitables.

Per a les reaccions de fusió, el combustible utilitzat és el deuteri i el triti, que són isòtops de l'hidrogen, un element molt abundant a la natura.

Els combustibles fissionables són l'urani 235, el plutoni 239 i l'urani 233. D'aquests, només es troba a la natura l'U235. Tant el Pu239 com l'U233 s'originen en els reactors nuclears a partir de materials fèrtils, l'U238 i el Th232, respectivament.

S'anomenen **materials fèrtils** els que amb reaccions nuclears de captura i canvi radioactiu es converteixen en materials fissibles.

Per exemple, l'obtenció de Pu239 a partir d'U238:

Reacció de captura: $^{238}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + \beta$

Canvi radioactiu: $^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow ^{239}_{94}\text{Pu} + \beta$

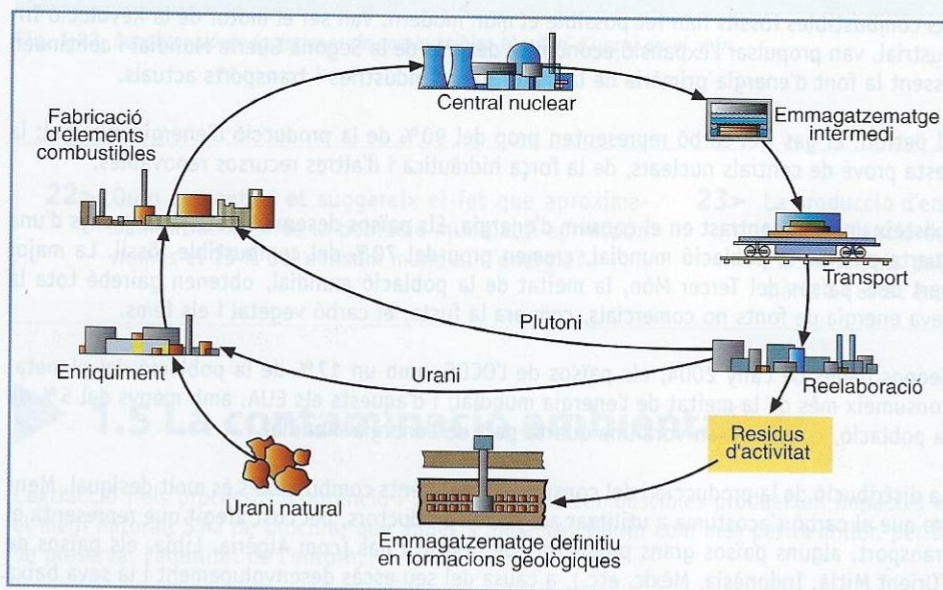
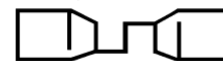


Fig. 1.21. Cicle del combustible per a fissió nuclear.

Hi ha reactors que utilitzen com a combustible l'urani natural, que està format per un 99,27% d'U238, un 0,72% d'U235 i la resta per U234. La majoria de reactors comercials necessiten per al seu funcionament l'urani enriquit, en el qual la proporció d'U235 ha augmentat el 3 o 4%.

La localització dels jaciments d'urani és relativament fàcil, gràcies a la radioactivitat natural dèbil que emeten. Moltes explotacions són a cel obert, i el mineral s'extreu amb força facilitat.

Per obtenir urani natural, el mineral se sotmet a una sèrie de transformacions que formen part del que se'n diu cicle del combustible, per separar l'òxid d'urani del mineral. Els processos d'enriquiment, per obtenir urani enriquit, són complexos i molt costosos.



Activitats

- 15> Per què són perilloses les radiacions? De quin tipus poden ser? Indica les propietats més importants de cadascuna.
- 16> Indica aplicacions útils dels materials radioactius.
- 17> Investiga els sistemes de protecció i control que utilitza el personal sanitari sotmès a radiacions.
- 18> Què és una reacció nuclear? En què consisteix una reacció de fusió? I una de fissió?
- 19> En què consisteix la recàrrega de combustible a les centrals nuclears?
- 20> Com podem classificar els residus radioactius? Quins són els tractaments que rep cada tipus de residus?
- 21> Calcula la quantitat de matèria convertida en energia en una central nuclear de 1000 MW, que funciona a PC durant 320 dies a l'any, si el rendiment total de la central és del 50%.



El consum d'energia és un indicador del desenvolupament d'un país. Segons dades de l'any 2004, els Estats Units i el Canadà consumeixen 8 tones equivalents de petroli (TEP) per habitant i any, el Japó 4 TEP i la Unió Europea una mitjana de 3,8 TEP (Espanya 3,1); en canvi, la major part dels països del Tercer Món tan sols consumeixen vora 0,5 TEP per càpita.

1.4 Importància econòmica dels recursos energètics

Els combustibles fòssils han fet possible el món modern. Van ser el motor de la Revolució Industrial, van impulsar l'expansió econòmica després de la Segona Guerra Mundial i continuen essent la font d'energia primària de la major part d'indústries i transports actuals.

El petroli, el gas i el carbó representen prop del 90% de la producció d'energia mundial; la resta prové de centrals nuclears, de la força hidràulica i d'altres recursos renovables.

Existeix un gran contrast en el consum d'energia. Els països desenvolupats, amb menys d'una quarta part de la població mundial, cremen prop del 70% del combustible fòssil. La major part dels països del Tercer Món, la meitat de la població mundial, obtenen gairebé tota la seva energia de fonts no comercials, com ara la fusta, el carbó vegetal i els fems.

Segons dades de l'any 2004, els països de l'OCDE, amb un 17% de la població del planeta, consumeix més de la meitat de l'energia mundial; i d'aquests els EUA, amb menys del 5% de la població, consumeixen vora una quarta part de l'energia mundial.

La distribució de la producció i del consum dels diferents combustibles és molt desigual. Mentre que el carbó s'acostuma a utilitzar als països productors, pel cost afegit que representa el transport, alguns països grans productors de petroli i gas (com Algèria, Líbia, els països de l'Orient Mitjà, Indonèsia, Mèxic, etc.), a causa del seu escàs desenvolupament i la seva baixa capacitat de refinament i consum, són exportadors de petroli cru.

Reserves i jaciments



Les **reserves provades** són els recursos existents potencialment utilitzables amb les condicions tècniques i econòmiques actuals.

Al ritme de consum actual es considera que hi ha reserves provades de petroli per un màxim de 40 anys, les de gas natural per 70 anys i el carbó, el més abundant, per cobrir necessitats durant uns 200 anys. Es calculen reserves d'urani per a 100 anys.

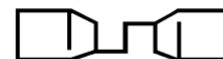


Fig. 1.22. Localització de jaciments de combustibles fòssils i d'urani en el món.

Activitats

22> Quin comentari et suggereix el fet que aproximadament al 75 % de la població mundial li correspon només el 15 % del consum mundial d'energia?

23> La producció d'energia primària a Espanya és deficitària en funció del seu consum. Investiga quins són els principals països subministradors d'energia primària a l'Estat espanyol.

1.5 La contaminació ambiental

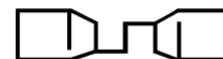
L'extracció i els processos d'obtenció i utilització dels combustibles produeixen impactes en el medi natural. S'ha de procurar que aquests impactes siguin com més petits millor, per tal de preservar l'equilibri de l'entorn.

►► Efecte hivernacle. Nivells de CO₂

El diòxid de carboni (CO₂) i altres gasos, com el vapor d'aigua (H₂O), actuen a l'atmosfera com un vidre en un hivernacle, que deixa travessar els raigs del Sol però reté, en el seu interior, part de la calor que altrament rebotaria cap a l'espai: per això s'anomenen gasos d'efecte hivernacle.



L'efecte hivernacle consisteix en l'elevació de temperatura que experimenta l'atmosfera a causa de la presència de gasos hivernacle, que deixen passar la radiació visible de l'espectre solar i absorbeixen la infraroja (calor) emesa per la Terra.



Els nivells naturals de CO_2 i altres gasos hivernacle fan possible la vida a la Terra, ja que en regulen la temperatura. Sense ells, la temperatura mitjana del planeta seria uns 30°C més freda. Però l'augment a l'atmosfera de CO_2 , vapor d' H_2O , clorofluorcarburs (CFC), òxid nítrós (NO_2), metà (CH_4) i ozó (O_3), com a conseqüència de l'activitat humana, pot incrementar l'efecte hivernacle i produir un reescalfament del clima amb resultats imprevisibles.

El CO_2 és el responsable de més de la meitat del reescalfament de l'atmosfera; els CFC, aproximadament, d'una quarta part, i la resta, els altres gasos hivernacle.

L'any 1990, els màxims experts mundials informaren a la Plataforma Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic de l'ONU, que estaven convençuts que les emissions artificials incrementen considerablement les concentracions atmosfèriques dels principals gasos hivernacles i que, de seguir invariables les pautes de consum energètic, provocaran un augment de temperatura a l'any 2020 de $1,3^\circ\text{C}$ de mitjana i de 3°C l'any 2070, (en les previsions menys pessimistes); de fet, a Espanya, segons l'Institut Nacional de Meteorologia, entre l'any 1970 i el 2000 la temperatura mitjana s'ha incrementat en $1,5^\circ\text{C}$.

Aquest augment de temperatura elevaria el nivell dels mars. A part de la dilatació de l'aigua es fondrien grans masses de gel del pols, i produirien un canvi climàtic important, afectant a la producció agrícola.

Milions de persones es podrien veure afectades, sense casa i amb manca d'aigua i aliments; moltes espècies animals i vegetals desapareixerien en quedar negats d'aigua els seus habitats o per no poder adaptar-se a un canvi climàtic tan sobtat.

Atès que el canvi climàtic és un fet i esperonats per les advertències dels científics, governs de 141 països han ratificat el protocol de Kyoto, que proposa reduir, entre l'any 2008 i l'any 2012, les emissions globals de gasos contaminants en un 5,2%, respecte de l'any 1990. Això passa per reduir el consum d'energia, millorar el rendiment de les transformacions, aturar la deforestació i plantar més arbres i cooperar en el desenvolupament ordenat del Tercer Món, sobretot pel que fa a la utilització de combustibles.

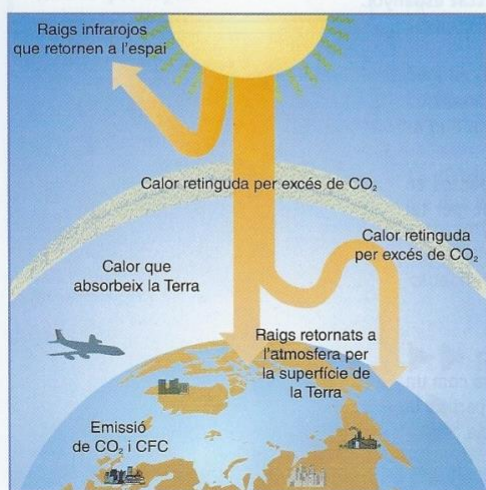


Fig. 1.23. Efecte hivernacle. La presència de certs gasos a l'atmosfera produeix l'efecte hivernacle.

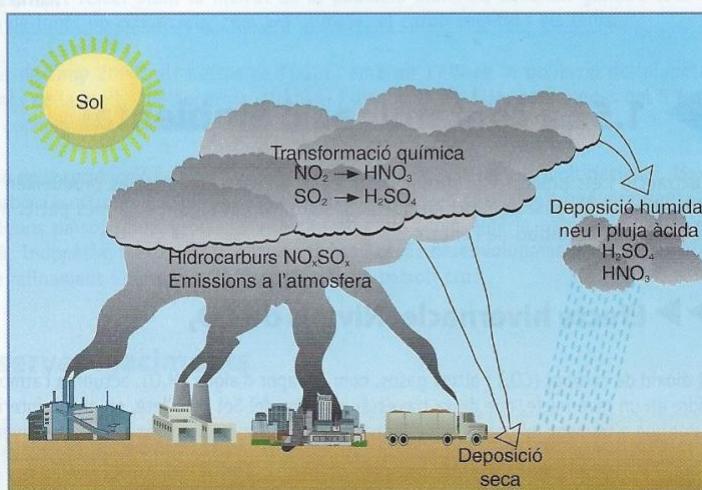
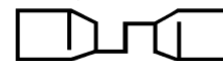


Fig. 1.24. Formació de pluja àcida.



►► La pluja àcida



Els òxids de sofre (SO_2) i de nitrogen (NO_x) són contaminants perillosos que s'introdueixen a l'atmosfera quan es cremen combustibles fòssils; allà entren en contacte amb vapor d'aigua, llum i oxigen i es transformen en àcid sulfúric i àcid nítric. Quan aquests àcids són arrossegats per la pluja o els flocs de neu o cauen en forma de partícules seques, es produeix la **pluja àcida**, que provoca un augment de l'acidesa dels llacs, dels rius i torrents d'aigua dolça i en alguns casos, fins i tot, dels sòls.

Si és una **deposició seca**, es contamina la rodalia del focus emissor; si és una **deposició humida** contamina centenars de quilòmetres. Emissions de SO_2 produïdes al Regne Unit han estat l'origen de pluges àcides que han afectat els llacs d'Escandinàvia i els boscos de la Selva Negra.

La pluja no contaminada és de naturalesa àcida, amb un pH aproximat de 5,6, a causa del diòxid de carboni que conté. Però als països industrialitzats la contaminació fa augmentar l'acidesa cent vegades o més el seu nivell natural. Segons dades de l'OCDE les àrees contaminades d'Escandinàvia, del Japó, de l'Europa Central i l'est de l'Amèrica del Nord tenen un pH anual que pot arribar a 3,5.

La pluja àcida pot afectar greument la vida de les espècies animals i vegetals dels llacs i dels boscos on cau. L'aigua acidificada facilita la **lixiviació** (separació, extracció) dels nutrients bàsics del sòl i del subsòl, com el potassi, el calci i el magnesi, i priva els arbres i la resta de vegetació d'aquests elements vitals. Activa la diferenciació de metalls pesants com el cadmi, l'alumini i el mercuri, i fa que s'introdueixin a les aigües superficials i subterrànies i les contamina. També erosiona la pedra i els metalls, i afecta edificis, monuments i escultures.

A finals de la dècada de 1980 es considera que el 35 % dels boscos europeus estaven afectats per la pluja àcida, una quarta part dels 90 000 llacs de Suècia estaven d'alguna manera acidificats i 4 000 ho estaven tan severament que els peixos no hi podien sobreviure. Es considera que els països més contaminats de la Terra són Polònia, Txèquia, Eslovàquia i Hongria.

S'estima que les emissions de SO_2 arreu del món, l'any 1980, eren de gairebé 200 milions de tones anuals, i les de NO_x , lleugerament inferiors. A Europa van ser 40 i 20 milions de tones respectivament. A l'Estat espanyol més de 3 milions de tones de SO_2 i prop d'un milió de tones de NO_x . Els principals focus contaminants són les centrals tèrmiques de carbó d'As Portes (Galícia) i d'Andorra (Aragó); a Catalunya, la central de Cercs (Berguedà).

►► La contaminació atmosfèrica urbana. Les boires fotoquímiques

En moltes de les grans ciutats del món, la contaminació atmosfèrica s'està convertint en un problema crònic que afecta la salut humana, els edificis, els monuments i els cinturons verds.



Amb unes condicions atmosfèriques determinades, amb inversió tèrmica i falta de vent, es crea sobre les ciutats una cúpula d'aire calent que, carregada de partícules del fum dels cotxes, centrals tèrmiques, indústries, etc., queda retinguda i no s'aixeca: són les **boires fotoquímiques**.



La pluja àcida va ser descrita per primera vegada per un químic anglès l'any 1872, perdura com un dels problemes més difícils de tractar del món industrialitzat.

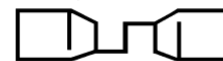


La Comissió Econòmica per a Europa de les Nacions Unides va promulgar el conveni sobre Contaminació Atmosfèrica Fronterera de Gran Abast, que va entrar en vigor l'any 1983, amb la finalitat de reduir les emissions contaminants a tot Europa. En diferents acords ha compromès els membres signants, 21 països, a reduir un 30 % les emissions de SO_2 respecte de les de l'any 1980 i a congelar les de NO_x .

La Comunitat Europea ha anat més enllà. Les grans centrals tèrmiques hauran de reduir les emissions de SO_2 d'un 40 % l'any 1988, i d'un 60 % l'any 2003. I a partir de l'any 1993 tots els cotxes nous que es venen a la Unió han d'anar equipats amb convertidors catalítics, que redueixen les emissions de NO_x i altres contaminants.

L'aplicació de la normativa Europea ha obligat a la utilització de combustibles amb menys contingut de sofre i a la utilització de tecnologies més respectuoses amb el medi ambient, han reduït sensiblement les emissions contaminants, per exemple, a l'Europa Central i Oriental les emissions de SO_2 s'han reduït més de la meitat entre 1985 i el 1999.

Tot i així, els ecologistes adverteixen que calen reduccions més dràstiques, de fins el 90 % de SO_2 i NO_x , de les emissions de l'any 1989.



La **inversió tèrmica** és un fenomen atmosfèric que consisteix en l'acumulació d'aire fred, més pesat, en les valls i les conques, mentre que l'aire dels cims és relativament més calent.



L'OMS revela que l'any 1984 hi havia més de 1000 milions de persones exposades a nivells perjudicials de partícules en suspensió (sutge, cendra, pols i hidrocarburs). La ciutat de Los Angeles fou pionera en la introducció de reglaments per combatre la contaminació atmosfèrica, i va adoptar mesures com ara l'obligació de la instal·lació de catalitzadors als cotxes, la reducció del trànsit, l'eliminació del plom de la benzina i un control sever de les emissions de gasos a les indústries, entre d'altres.



L'any 1986, a la central de Txernòbil (Ucraïna) es produí un accident de conseqüències catastròfiques. Com a resultat de la pluja radioactiva moriren 31 persones, més de 100.000 persones foren evacuades indefinidament, més de 100.000 km² de terra quedaren contaminats inservibles per a l'agricultura.

A les boires fotoquímiques s'hi troba una barreja esfereïdora de contaminants: SO₂, NO₂, hidrocarburs reactius, monòxid de carboni, metalls pesants (com ara el plom), compostos orgànics, etc. Aquests contaminants primaris sovint es combinen a l'atmosfera i en formen de secundaris, fins i tot de més letals. A part de la pluja àcida, l'ozó i altres oxidants anomenats fotoquímics es formen quan els hidrocarburs reaccionen amb els òxids nitròs i l'oxigen en presència de la llum. L'ozó perjudica la vegetació, les collites i la salut humana, i és un dels components principals de les boires fotoquímiques.

Les boires són un fenomen comú a moltes ciutats amb un trànsit de vehicles intens i en voltades d'indústries. Els seus habitants pateixen més malalties provocades per la pol·lució: conjuntivitis, sinusitis, asma i mal de coll. A la ciutat de Mèxic, per exemple, els nivells de contaminants a l'aire superaren les normes de l'OMS 312 dies de l'any 1988, i el gener de 1989 la contaminació era tan alarmant que els nens no van anar a classe durant un mes.

►► La contaminació radioactiva

Les centrals nuclears no generen gasos contaminants i, per tant, no contribueixen a la pluja àcida ni a l'efecte hivernacle, però tant el combustible com els residus que generen són radioactius i emeten radiacions perilloses per a les persones, els animals i les plantes. Els grans problemes de les centrals nuclears són les **emissions radioactives** i la **gestió dels residus radioactius**.

Les centrals nuclears funcionen sota mesures de seguretat estrictes per assegurar-ne el control en les condicions més desfavorables. L'experiència ha demostrat que el risc d'un accident nuclear greu amb emissió massiva i incontrolada de radiacions, tot i que és ínfim, no es pot descartar.

El setembre de 2005, l'OMS publicà un controvertit informe sobre l'accident de Txernòbil, en què es considera que, 3.900.000 km² d'Europa van ser afectats pel núvol radioactiu i que, dels 200.000 treballadors que van treballar en la reparació de la central i de les 350.000 persones desplaçades de les zones més afectades, unes 4.000 persones moriran a causa dels efectes nocius de les radiacions. Experts científics asseguren que aquestes xifres no són reals, ells estimen que seran entre 30.000 i 60.000 les víctimes mortals relacionades amb l'accident.

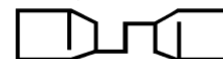
Respecte a la gestió de residus, es considera que en una central nuclear del tipus PWR de 1000 MW cada any es descarreguen 33 t de combustible irradiat compost per 31,8 t d'U, 300 kg de Pu i uns 900 kg de productes de fissió actínids, tots ells altament radioactius, amb una vida de milers d'anys. I el problema de l'emmagatzematge encara no està solucionat: de moment es desen a les piscines de la central.

Es preveu més greu encara el desmantellament de la central en acabar la seva vida útil, la qual s'estima teòricament en 30 anys. El desmantellament segur i l'emmagatzematge de la gran quantitat de residus que en resultin es preveu difícil i perillós.



Activitats

- 24> L'efecte hivernacle i la pluja àcida tenen un fort impacte en el medi natural. En què consisteixen?
- 25> Proposa dues mesures per disminuir la pol·lució atmosfèrica. Analitza els avantatges i inconvenients de la seva aplicació.
- 26> Proposa cinc accions per aplicar en el consum propi i familiar d'energia que afavoreixin la disminució de la contaminació.
- 27> Investiga i fes un breu informe sobre quins són els compromisos principals que adquireix un país en ratificar del protocol de Kyoto.



Ciència, tecnologia i societat

El consum d'energia

Quan el nivell de vida augmenta en un país, el consum d'energia es dispara. Això és el que ha passat a l'Estat espanyol els darrers 30 anys i el que està passant actualment a la Xina i a l'Índia: a mesura que el nivell de vida de la població dels dos països millora, el seu consum d'energia augmenta considerablement.

Per tal d'obtenir la gran quantitat d'energia necessària per mantenir i augmentar el nivell de vida de les poblacions que els habiten, els països consumeixen cada cop més recursos naturals. Avui dia les fonts d'energia principals encara són els combustibles fòssils: el petroli, el gas natural o el carbó. L'ús d'aquestes fonts d'energia comporta dos problemes fonamentals: el primer és que són fonts limitades i s'estan exhaurint, el segon és que aquest ús es basa en la combustió dels recursos fòssils, i això implica l'augment del diòxid de carboni a l'atmosfera, i en conseqüència l'augment de l'efecte hivernacle que aquest gas comporta.

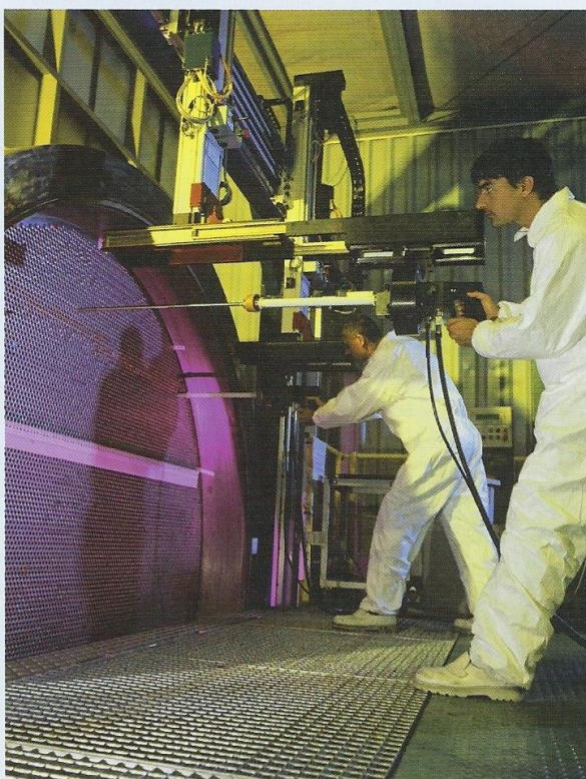


Fig. 1.25. Construcció d'una central nuclear.

Davant d'aquesta situació, hi ha governs que opten per l'energia nuclear com a font d'energia alternativa que els permet de reduir en certa mesura la seva dependència del petroli, del gas natural i del carbó. Un exemple és el govern finlandès, que ha decidit construir una central nuclear de tercera generació (més segura que les actuals) a Olkiluoto. Un dels principals motius que ha portat al govern finlandès a la construcció d'aquesta central nuclear és aconseguir produir energia barata per a la important indústria paperera del país. La construcció d'aquesta central nuclear proporcionarà 30 000 llocs de treball cada any i després, durant els seus 60 anys de funcionament, 1 000 llocs de treball.

Actualment, al món hi ha 441 centrals nuclears i 30 més en construcció. La construcció d'una central nuclear és més cara que la construcció d'una central tèrmica de cicle combinat; però, per a un país com Espanya, en què no hi ha jaciments importants de combustibles fòssils, s'ha de tenir en compte que de la part més important del cost de la construcció d'una central nuclear se'n farien càrrec empreses del país, mentre que en el cas d'una central tèrmica la inversió principal s'hauria de fer a l'estranger. A més, el cost del combustible per generar una potència de 15 000 MW, segons dades de Javier Dies, catedràtic d'enginyeria nuclear de la Universitat Politècnica de Catalunya, seria d'uns 4 050 milions d'euros l'any en cas que es generessin mitjançant centrals tèrmiques de cicle combinat enfront dels 256 milions que costaria en el cas d'una central nuclear.