

L'HERÈNCIA DEL PLANETA

PASSAT, PRESENT I FUTUR DELS COMBUSTIBLES FÒSSILS

Mariano Marzo

Els combustibles fòssils van permetre un gran avenç en la nostra societat i van ser fonamentals per a la revolució industrial. No obstant això, la disponibilitat finita, i les dificultats cada dia majors per a extraure'ls, fan més necessari que mai replantejar-nos l'ús que en fem.

Amb anterioritat a la Revolució Industrial, el desenvolupament de les societats humanes era barrat per la taxa a la qual eren capaços d'aprofitar la radiació solar i les transformacions que experimentava quan incidia sobre el nostre planeta. Durant la major part de la història de la humanitat, la producció d'aliments i de combustibles va estar limitada per la baixa eficiència de la fotosíntesi, així com per un subministrament insuficient de nutrients a les plantes. Els rendiments mitjans dels cultius eren baixos, la qual cosa ocasionava desnutrició crònica i fams recurrents. L'emmagatzemament de l'energia estava seriosament coartat per la baixa densitat energètica de la biomassa –uns 4 kilowatts-hora (kWh) per kg de palla i entre 4 i 4,7 per kg de fusta–, mentre que la potència específica de les principals forces motrius era inferior a 0,1 kilowatts (kW) de potència sostinguda per als éssers humans i a 0,5 kW per als animals de tir. Encara així, les societats antigues van ser capaces d'augmentar gradualment l'ús per capita de l'energia aprofitant l'aigua i el vent i desplaçant una creixent força de treball, majoritàriament integrada per esclaus i animals.

■ LA REVOLUCIÓ DELS COMBUSTIBLES FÒSSILS

L'extracció a gran escala i la combustió dels combustibles fòssils van significar un canvi fonamental en el tipus i intensitat dels usos de l'energia. Aquests compostos (carbó, petroli i gas) comprenen un ampli mostrari de molècules orgàniques, generades després d'un

complex i llarg procés. Aquest implica la lentíssima transformació, durant períodes d'entre cent mil a cent milions d'anys, de la matèria orgànica sintetitzada en la biosfera i després acumulada com a detritus animals i vegetals en el fons de conques sedimentàries (llacs, mars i oceans) i que posteriorment, a mesura que anava sent colgada davall successives capes de sediment, va patir l'acció combinada d'altres pressions i de la calor generada per la desintegració dels elements radioactius de l'escorça terrestre. La mare natural ha possibilitat, mitjançant el procés descrit, l'emmagatzemament de l'energia solar en els enllaços químics dels àtoms d'hidrogen i carboni que integren les molècules dels hidrocarburs fòssils.

**«LA MARE NATURALESA
HA POSSIBILITAT
L'EMMAGATZEMAMENT
DE L'ENERGIA SOLAR EN
ELS ENLLAÇOS QUÍMICS
DELS ÀTOMS D'HIDROGEN
I CARBONI QUE INTEGREN
LES MOLÈCULES DELS
HIDROCARBURS FÒSSILS.»**

Durant mil·lennis, els humans han obtingut els aliments, la calor i la potència mecànica necessaris per a la seua supervivència de la radiació solar i de la transformació quasi immediata d'aquesta (fluxos d'aigua i vent), així com de l'energia proporcionada per conversions metabòliques i de la

biomassa que ocorrien en qüestió de mesos, uns pocs anys o, com a màxim, unes poques dècades. Al contrari, els combustibles fòssils, amb l'excepció de la torba, són el resultat d'intensos canvis de la biomassa durant lapses geològics. Utilitzant un símil econòmic, podem considerar que les societats premodernes depenien per al seu desenvolupament d'uns ingressos solars, instantanis o mínimament retardats, que es reposaven de manera constant. En canvi, la civilització moderna basa la seua esplendor en l'ús d'una herència solar. Un capital que estem dilapidant a gran velocitat i que, a la fi, tan

A l'esquerra, Sebastián Nicolau. *L'oli de les roques*, 2012. Grafit sobre paper, 103 x 153 cm (fragment).

sols haurà estat aprofitat durant una curta fracció del temps que es va necessitar per a acumular-lo.

Les societats preindustrials eren, en teoria, energèticament sostenibles en un horitzó temporal de milers d'anys, encara que en la pràctica moltes d'elles van comprometre el seu desenvolupament per una excessiva desforestació i erosió del sòl. Al contrari, la civilització moderna es basa en l'aprofitament, sens dubte insostenible, d'una herència solar única que no pot ser reposada a l'escala temporal d'una civilització. Però aquesta herència ens ha donat accés a uns recursos energètics molt concentrats i fàcils d'emmagatzemar i que han pogut ser utilitzats a un ritme creixent. L'ús dels combustibles fòssils ha permès als humans superar els límits al consum d'energia imposats per la baixa eficiència de la fotosíntesi i pels baixos rendiments dels corrents d'aigua i aire. Com a resultat, el consum energètic global ha augmentat a uns nivells sense precedents.

Un intent de reconstrucció del consum mundial d'energia primària (biomassa, combustibles fòssils, renovables i nuclear) mostra un ascens des d'un poc més de 10 exajoules (10 EJ = 10×10^{18} joules o $2,778 \times 10^{12}$ kWh) el 1750 a quasi 20 EJ un segle després, per a després assolir els 45 EJ l'any 1900, aproximar-se als 100 EJ a mitjan segle passat i, finalment, situar-se per damunt de 400 EJ a començament d'aquest. A pesar que en el transcurs del segle xx la població mundial es va multiplicar per un factor pròxim a quatre (de 1.600 a 6.100 milions) la mitjana global de consum anual d'energia primària per capita es va duplicar i va passar de 28 a 65×10^9 joules (de 7.778,4 a 18.057 kWh), mentre que el consum anual mitjà de combustibles fòssils per capita es va multiplicar per més de quatre. I aquestes xifres resulten fins i tot més impressionants si les expressem en termes d'energia útil.

Els continus avenços tècnics han millorat les eficiències mitjanes de totes les conversions energètiques comercials, moltes de les quals per un ordre de magnitud. En realitat, la quantificació dels serveis de l'energia (calor-fred, llum, moviment...) proporciona una visió encara més precisa del creixement experimentat pel flux energètic global que no el simple mesurament dels *inputs* d'energia primària.

■ LA DEMANDA ACTUAL DE COMBUSTIBLES FÒSSILS

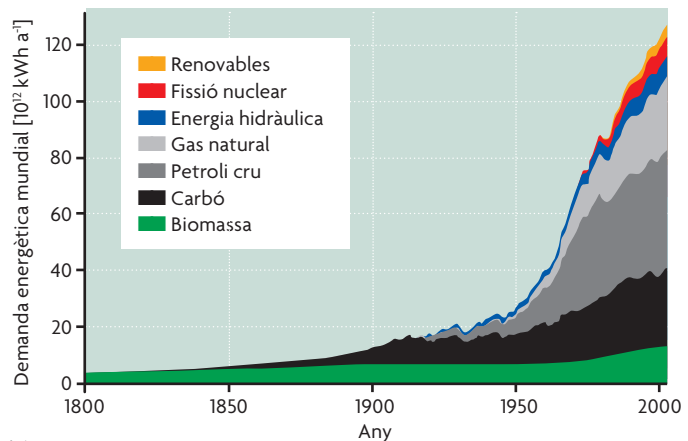
El 2008, els combustibles fòssils van representar el 81,25% de tota l'energia primària consumida al món. Un percentatge que es va repartir de la manera següent: 27% per al carbó, 33,1% per al petroli i 21,15% per al gas. I les previsions de futur ens indiquen



© Russell Lee

L'explotació a gran escala dels dipòsits de carbó permeté l'arrancada de la civilització industrial. Juntament amb el petroli i el gas natural, el carbó continua essent un combustible d'àmplia utilització, amb els problemes ambientals que això comporta. En la imatge, miners nord-americans en la dècada dels quaranta del segle passat.

«EL 2008, ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS VAN REPRESENTAR EL 81,25% DE TOTA L'ENERGIA PRIMÀRIA CONSUMIDA AL MÓN. I LES PREVISIONS ENS INDIQUEN QUE EL SEU DOMINI ES PROLONGARÀ EN LES PRÒXIMES DÈCADES»



Evolució de la demanda mundial d'energia en el període 1800-2000. Destaca la inflexió de les corbes a partir de 1950 i el paper destacat dels hidrocarburs fòssils, gràcies als quals el consum energètic global s'ha multiplicat per cinc al llarg de la segona meitat del segle xx.



que el domini d'aquests combustibles es prolongarà en les pròximes dècades. Així, l'Agència Internacional de l'Energia (AIE), en el seu últim informe sobre el panorama energètic global (*World Energy Outlook 2011*), contempla tres escenaris sobre l'evolució de la demanda mundial d'energia primària en l'horitzó del 2035.

El primer, denominat de «Polítiques Actuals», projecta a on ens condueix la rutina actual i preveu un lleuger descens, fins al 79,46%, de la participació dels combustibles fòssils en el mix energètic global (29,26% carbó, 27,8% petroli i 22,4% gas), el que comportaria un increment de les emissions de CO₂ del 45,4% respecte als nivells actuals i que la temperatura mitjana del planeta s'incrementa en més de 3,5°C.

El segon, anomenat de «Noves Polítiques», assumeix que tots els compromisos i plans anunciats pels governs quant a la reducció de gasos d'efecte d'hivernacle i a l'eliminació de subsidis als combustibles fòssils acabaran complint-se, per bé que aquests últims encara representarien l'any 2035 el 73,7% del mix global (23,5% carbó, 27,8% petroli i 22,4% gas), el que comportaria un augment del 21% de les emissions de CO₂ i d'uns 3,5°C en la temperatura mitjana de la Terra.

El tercer es denomina «450» perquè pressuposa que els governs adoptaran un ventall de dràstiques mesures per limitar a 450 parts per milió equivalents de CO₂ la concentració de gasos d'efecte d'hivernacle en l'atmosfera, la qual cosa possibilitaria, amb un 50% de

probabilitat, que la temperatura mitjana del planeta no augmentara en més de 2°C. Però, fins i tot en aquest escenari, el percentatge dels combustibles fòssils en el mix energètic global seria del 62,3% (16,7% carbó, 25,6% petroli i 20% gas).

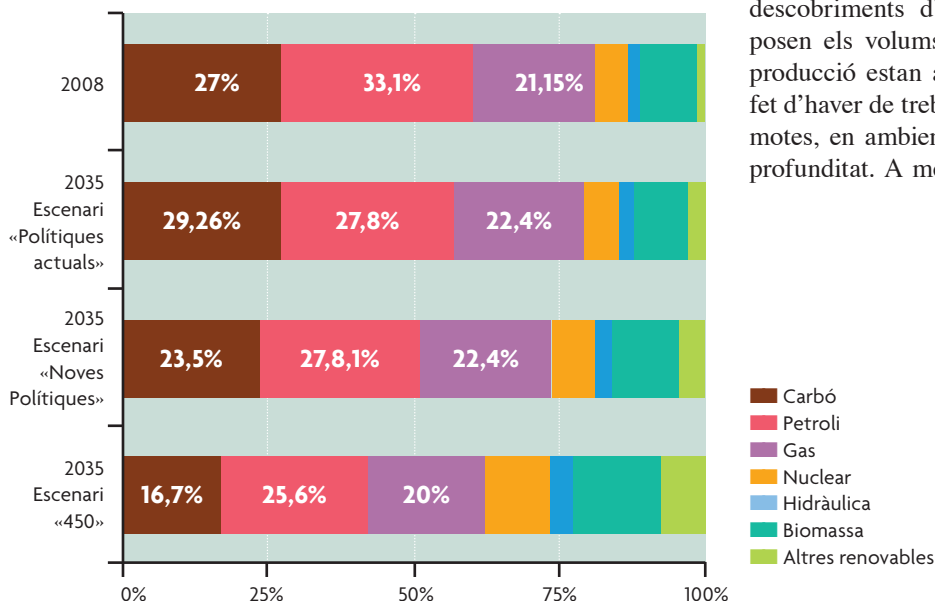
■ LA INCÒGNITA DEL FUTUR

Davant d'aquestes previsions d'ús continuat dels combustibles fòssils cal preguntar-se per la disponibilitat de reserves i de recursos. El consens generalitzat és que aquests són suficients per a cobrir la demanda en les pròximes dècades. Segons dades de BP, al ritme actual de consum les reserves provades de petroli, gas i carbó voregen, respectivament, els 46, 59 i 118 anys. Això, però, no significa un futur exempt de problemes, ja que la incògnita no resideix tant en la quantitat de reserves i recursos atresorats en el subsòl del planeta com en el fet de veure si serem capaços d'extraure'ls al ritme i als preus adequats.

De fet, un informe del National Petroleum Council adverteix d'una realitat preocupant: «El món no s'està quedant sense recursos fòssils, però l'augment continuat de l'extracció de petroli i gas a partir de fonts convencionals presenta cada vegada més riscos i aquests constitueixen un seriós obstacle per a assegurar la demanda a mitjà termini.» Quin és el significat precís d'aquesta asseveració? A quins riscos es refereix?

Alguns són de naturalesa tècnica. Des de les dècades dels vuitanta i noranta del segle passat, els nous descobriments d'hidrocarburs convencionals no reposen els volums extrets, i els costos d'exploració i producció estan augmentant com a conseqüència del fet d'haver de treballar en regions cada vegada més remotes, en ambients més extrems i de perforar a més profunditat. A més, la producció mundial de petroli i

«LA INCÒGNITA NO RESIDEIX TANT EN LA QUANTITAT DE RESERVES I RECURSOS ATRESORATS EN EL SUBSÒL DEL PLANETA, SINÓ EN EL FET DE VEURE SI SEREM CAPAÇOS D'EXTRAURE'LS AL RITME I ALS PREUS ADEQUATS»



Diferents previsions de distribució de la demanda mundial d'energia segons l'Agència Internacional de l'Energia. El mix energètic futur varia segons els diferents escenaris imaginables: si seguim les polítiques actuals, si es compleixen les noves polítiques anunciades i un hipotètic escenari «450», que implicaria que els governs prengueren mesures radicals per limitar l'emissió de CO₂. Però en qualsevol dels casos, els combustibles fòssils continuaran tenint un paper determinant en les properes dècades.



gas convencional en els camps actualment en explotació està experimentant un declivi mitjà del 6,7% anual, que podria arribar al 10% si es descuiden les inversions. D'altra banda, la indústria petrolera pateix una alarmant escassetat de personal, la relació entre l'energia obtinguda del petroli extret i l'energia consumida en el procés d'extracció està empitjorant ràpidament i, per tant, cada nou barril afegit a les suposades reserves té un menor contingut energètic net.

A més d'aquests problemes tècnics, n'hi ha d'altres de clar matís i implicacions geopolítiques relacionats amb la concentració de les reserves convencionals en uns pocs països. I a tot allò que s'ha exposat cal afegir les incerteses existents entorn de la concreció de les imprescindibles inversions per a augmentar la producció. Els principals obstacles que podrien limitar o retardar aquestes inversions són essencialment de naturalesa geopolítica. Entre aquests cal citar: les polítiques de control del ritme d'extracció de recursos exercides pels governs; el «petronacionalisme», que impedeix o limita l'accés de les companyies privades internacionals a l'explotació dels recursos; i la inestabilitat política, les amenaces terroristes i els conflictes militars que solen acompanyar la «maledicció dels recursos»

Les consideracions precedents es refereixen bàsicament a reserves i recursos convencionals de petroli i gas. Sota aquesta denominació s'agrupen aquells recursos que es poden extraure mitjançant tècniques tradicionals, aplicables a hidrocarburs que poden fluir amb relativa facilitat a favor del gradient de pressió que s'estableix entre el subsòl i la superfície després de la perforació d'un pou. No obstant això, a fi d'obviar alguns dels inconvenients mencionats amb anterioritat, la indústria s'està abocant cada vegada més a l'explotació dels denominats recursos no convencionals. Aquests s'extrauen mitjançant tècniques que van des de la mineria tradicional fins a la injecció d'aigua calenta o d'aigua a gran pressió per fracturar les roques.

Els hidrocarburs no convencionals agrupen una àmplia gamma de substàncies líquides, semilíquides o plàstiques, conegudes com a petrolis no convencionals, entre les quals es troben les arenas asfàltiques de Canadà (*oil sands* o *tar sands*), els petrolis extrapesants de Veneçuela i els esquistos de petroli (*oil shales*) de moltes parts del món. I també comprenen substàncies gasoses, conegudes com a gas no convencional, que inclou el gas d'esquist (*gas shale*), el metà de les capes de carbó (*coal bed met-*

«ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS SÓN UN CAPITAL QUE ESTEM DILAPIDANT A GRAN VELOCITAT I QUE TAN SOLS HAURÀ ESTAT APROFITAT DURANT UNA CURTA FRACCIÓ DEL TEMPS QUE ES VA NECESSITAR PER A ACUMULAR-LO»



Les plataformes que permeten l'extracció petrolera *offshore* posen de manifest la sofisticació a què ha arribat aquesta forma de mineria, però també les dificultats amb què s'enfronta a causa del progressiu esgotament dels jaciments fàcilment accessibles. En la imatge, una plataforma de la companyia BP a Trinitat i Tobago.

hane) i el gas de formacions rocoses poc permeables (*tight gas*).

Dins d'aquest últim tipus de recursos no convencionals de gas encara no s'inclouen els hidrats de gas. Aquests són substàncies sòlides naturals, amb aparença de neu gelada, caracteritzades per una estructura clatràtica (o en gàbia) formada per un entramat cristal·lí de molècules d'aigua que atrapen en el seu interior molècules d'hidrocarburs gasosos, principalment metà. Dins de la seua «gàbia de gel» les molècules de metà són comprimides per un factor aproximat de 164, de manera que a pressió i temperatura atmosfèriques un metre cúbic d'hidrat de gas allibera 164 metres cúbics de gas i 0,8 metres cúbics d'aigua. Aquest factor de concentració confereix una especial rellevància als sediments que contenen els hidrats de gas, tant des del punt de vista del seu potencial energètic, com des d'una perspectiva dels riscos geològics i del canvi climàtic. Els hidrats de gas són estables sota condicions de pressió moderadament alta i de temperatura moderadament baixa. Aquestes condicions es donen tant en terra ferma, en el permafrost de les regions àrtiques, com en els sediments localitzats en els fons oceànics i davall altres grans masses d'aigua, com per exemple els mars interiors. La quantitat d'aquest



© Iberrola



recurs podria duplicar les reserves conegudes de petroli, carbó i gas natural juntes. No obstant això, ara com ara, accedir als hidrats de gas és extraordinàriament complicat i no s'ha dissenyat un mètode eficaç per a obtenir-ne l'energia desitjada. El principal problema és que aquests compostos sòlids són inestables a condicions de pressió i temperatures normals, de manera que el gas s'escapa a l'atmosfera si l'intentem recuperar en superfície per tècniques mineres i, d'altra banda, la possible extracció del gas mitjançant sondeig després de la injecció d'aigua calenta es veu, generalment, limitada per la baixa permeabilitat dels sediments que contenen els hidrats de gas, els quals solen aparèixer com a nòduls o acumulacions discontinües.

Els hidrocarburs no convencionals amplien la disponibilitat potencial de petroli i gas i, a més, presenten l'avantatge que la seua distribució geogràfica suavitzava el problema geopolític de la concentració de reserves convencionals en Orient Mitjà i Rússia. No obstant això, a pesar del progrés de la tècnica i de la reducció de costos, els hidrocarburs no convencionals són més costosos d'extraure i explotar-los comporta un major impacte mediambiental i genera més emissions de gasos d'efecte d'hivernacle. A més, obtenir-los implica un balanç energètic (relació entre l'energia obtinguda i la utilitzada en el procés de producció) que pot arribar a ser deu vegades menor que

«ELS HIDROCARBURS NO CONVENCIONALS SÓN MÉS COSTOSOS D'EXTRAURE. EXPLOTAR-LOS REPRESENTA UN MAJOR IMPACTE MEDIAMBIENTAL I GENERA MÉS EMISSIONS DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE»



El gas és transportat mitjançant gasoductes o, prèviament liquat, en vaixells apropiats. El procés de liquació permet reduir el volum del gas fins a 600 vegades.

el dels hidrocarburs convencionals. Uns inconvenients que sens dubte han de tenir-se molt presents a l'hora de ponderar el futur dels combustibles fòssils.

■ A MANERA DE CONCLUSIÓ

Els combustibles fòssils van permetre un gran avanç en la nostra societat i van ser fonamentals per a la revolució industrial. No obstant això, la disponibilitat finita i les dificultats cada vegada majors per a extraure'ls fan més necessari que mai replantejar-nos l'ús que en fem i iniciar una revolució energètica.

No exagere. No es tracta d'una nova transició energètica, sinó d'una revolució en tota regla. Perquè per comprendre la magnitud del repte que encarem no cal sinó comparar la demanda d'energies fòssils que en el passat va ser necessària per reemplaçar la biomassa amb la previsible demanda de combustibles no fòssils (renovables i nuclear) que necessitaríem en el futur per reemplaçar petroli, gas i carbó.

Perquè resulta que a finals de la dècada de 1890, quan la quota de l'energia procedent de la biomassa va caure just per sota del 50% del subministrament total de l'energia primària del món, eren necessaris prop de 20 EJ (5,556 × 10¹² kWh) d'oferta addicional de combustibles fòssils per substituir tot el consum aportat per la biomassa reemplaçada. No obstant això, el 2010, el món utilitza els combustibles fòssils a

un ritme anual pròxim als 400 EJ, la qual cosa significa que els nous subministraments d'energia no fòssil necessaris per a desplaçar el carbó, el petroli i el gas són 20 vegades majors en termes energètics d'allò que s'ha requerit durant la transició prèviament comentada. A més, una anàlisi històrica de la velocitat a què s'han succeït els canvis en l'ús dels combustibles mostra que, una vegada que el carbó, el petroli i el gas van arribar al 5% del total de la producció global d'energia, encara van ser necessaris trenta-cinc, quaranta i cinquanta-cinc anys, respectivament, perquè aquests combustibles fòssils aconseguiren fer-se amb el 25% de la quota del mercat energètic. ☺

BIBLIOGRAFIA
 BP, 2011. *BP Statistical Review of World Energy June 2011*. BP, Londres. Disponible en: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>.
 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011. *World Energy Outlook 2011*. OECD, París.
 NPC, 2007. *Facing the Hard Truths about Energy*. National Petroleum Council. Washington.

Mariano Marzo. Professor del Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona.

