ENERGIA I CLIMA
DESCOBRINT ELS LÍMITS

Joaquim Nogueras Raig
Gener 2012

NOTA PRÈVIA

El que segueix a continuació és un resum de la informació que he anat recopilant en els darrers temps en relació a dos problemes que a mi em semblen cabdals: el declivi energètic i el canvi climàtic. Aquests fenòmens em precupen especialment per dues raons: 1) tenim una creixent certesa de que suposaran una amenaça greu sobre la nostra vida i la dels nostres descendents, i 2) malgrat això, es tracta de qüestions infravalorades o directament desconegudes per la majoria de conciutadans.

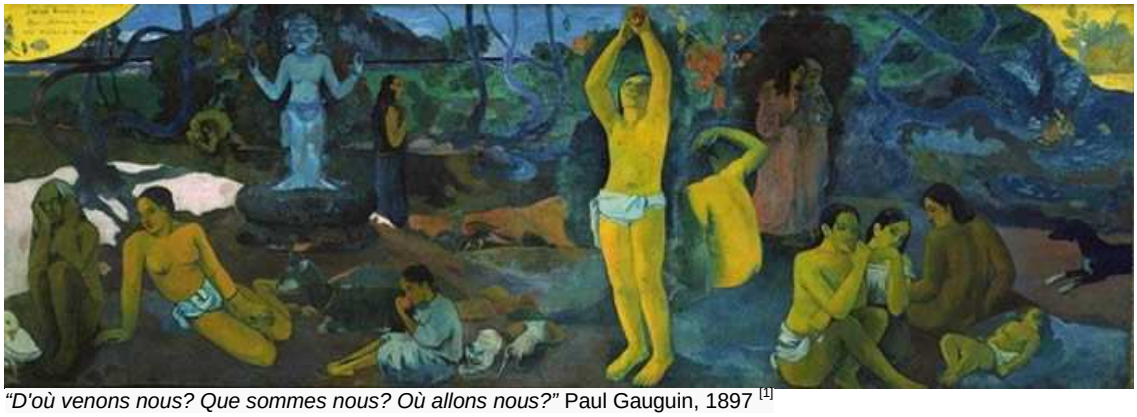
Les dades que exposo estan extretes en bona part de publicacions electròniques del nostre país sobre energia(1) i clima(2), que a la vegada es basen en treballs d'autors de rellevància internacional.

Per tal de no entorpir massa la lectura, deixaré alguns aclariments en l'apartat de notes[notes], i també llistats i discussions de caràcter més tècnic en la secció d'annexos. Allí on em sigui possible, faré constar les referències(referències) del que escric, a fi de que pugui ser contrastat, o bé rebatut, si s'escau.

La temàtica és complexa, pertany a un àmbit molt diferent al que em dedico professionalment, pel que el primer objectiu és arribar a entendre jo mateix de què estic parlant. El segon objectiu, i el més important, és intentar despertar la curiositat i la consciència d'aquells que conec, i oferir-los l'estímul i els arguments necessaris perquè ells facin el mateix amb els seus respectius.

Veig del tot necessari que cadascú de nosaltres s'aturi un moment i pensi: cap on anem? és això el que volem? i què puc fer jo per canviar-ho? Crec fermament que cal mirar endavant i aprofitar el temps perquè, tal com deia Miquel Martí Pol: *"tot està per fer, tot es possible"*. El futur és encara a les nostres mans, però cal esforçar-s'hi, i prendre decisions importants. Per poder fer-ho, abans hem de disposar de la informació adequada, i aquesta només s'aconsegueix fent les preguntes correctes. Veurem si ho aconseguim.

INTRODUCCIÓ



"D'où venons nous? Que sommes nous? Où allons nous?" Paul Gauguin, 1897 [1]

L'ésser humà, des que va deixar d'actuar com un animal més i va començar a adquirir habilitats per manipular el medi, ha estat capaç de poblar pràcticament qualsevol indret de la superfície terrestre. Allí on ha arribat ha format societats, cadascuna amb les seves particularitats però la majoria amb una característica comú: el maneig inadequat dels recursos naturals. Aquest fet, juntament amb altres factors (relacions amb societats veïnes, variacions en el clima, sistema jeràrquic, etc.) han portat a numeroses civilitzacions fins al col·lapse. Els vikings a Groenlandia, els maies, la civilització de la illa de Pasqua, etc., no van ser capaços de superar aquest escull. Altres societats però, malgrat haver-se enfrontat a problemes ambientals greus van poder sobreposar-se i perdurar [(3)].

La nostra era, la industrial, ha suposat l'explosió exponencial de l'espècie humana a nivell planetari, i això ha estat possible, per damunt de tot, gràcies a un accident històric: el descobriment i aprofitament de l'energia provinent dels combustibles fòssils. L'augment d'excedents que aquesta troballa ens ha proporcionat, ha permès, a més, avançar en el coneixement del món fins a un nivell extraordinari. No obstant això, la societat ha continuat expandint el seu ús dels recursos, ignorant una certesa física i una evidència lògica: en un món finit el creixement infinit no és possible. Els habitants d'occident, cegats per un nivell de consum sense precedents, hem oblidat qui som i d'on venim i, en conseqüència, som incapaços de veure cap a on anem.

Així doncs, començarem analitzant com funciona la nostra societat en termes energètics, pel que ens fixarem en dos conceptes clau: la taxa de retorn energètic, i el zènit del petroli. Veurem l'estreta relació entre energia i economia, l'impacte que el sistema industrial ha tingut sobre la resta de recursos, i les conseqüències que s'espera que això tingui d'ara endavant, així com la capacitat d'adaptació que ens poden oferir les fonts renovables. També veurem en quina mesura caldrà preocupar-se per la resta de recursos bàsics, com són l'aigua i l'alimentació.

D'aquesta manera podrem fer-nos una idea dels reptes als que ens enfrontem a curt termini a casa nostra. Però aquí no s'acaba el problema. I és que no podem oblidar un aspecte fonamental: la manera en què hem crescut i explotat el planeta és manifestament desequilibrada. Podríem dir que a occident hem pogut gaudir d'un alt nivell de vida degut, en part, a que hem importat la riquesa de la resta del món cap els notres països, i també gràcies a que hem pogut exportar els danys que es deriven del seu consum. Aquesta externalització de costos s'ha fet cap a les regions més desfavorides del planeta, i en bona mesura cap al futur. Ens fixarem doncs en el canvi climàtic, i per entendre la importància que té analitzarem dues qüestions fonamentals: la inèrcia climàtica i els llindars d'estabilitat del sistema. Veurem també en quina situació ens trobem avui i quines són les previsions en cas de continuar com fins ara. Comencem?

ENERGIA

En física es defineix energia com la capacitat per a realitzar un treball. A nivell col·loquial podríem dir que energia és allò que ens permet moure o transformar alguna cosa.

Els éssers vius necessiten energia per créixer i reproduir-se, i la font principal que utilitzen és el Sol. Les plantes aprofiten la radiació solar directament mitjançant la fotosíntesi i la transformen en energia química (enllacen àtoms de carboni i d'altres formant el que anomenem molècules orgàniques), que després és utilitzada pels animals i la resta de membres de la cadena tròfica.

L'ésser humà també viu fonamentalment gràcies a l'energia del Sol (la que contenen els aliments, els combustibles fòssils, el cicle de l'aigua, el vent, l'onatge, i l'escalfor i electricitat obtingudes mitjançant plaques solars), però també n'obté de l'escalfor del subsol, la radiació nuclear, les marees, i alguns minerals.

Com que l'home ha de dedicar un esforç en captar l'energia, sigui del tipus que sigui, hem de comptar que el més important és que l'energia obtinguda sigui més gran que l'esforç emprat per aconseguir-la. Així arribem al primer concepte clau: la taxa de retorn energètic.

TAXA DE RETORN ENERGÈTIC

La taxa de retorn energètic (TRE)[2] és la relació entre l'energia obtinguda i l'energia utilitzada en el procés d'extracció: una TRE de 2:1 vol dir que obtenim el doble de l'energia invertida, mentre que una TRE de 1:1 vol dir que obtenim tanta energia com hi dediquem (rendiment energètic nul), i una TRE inferior a 1:1 voldria dir que en lloc d'obtenir energia en perdem. Quant més alta és la TRE major serà l'excedent d'energia que podrem aprofitar per a diversos fins. Això té unes implicacions crucials que veurem tot seguit.

El fet que els animals disposin de fonts d'energia amb TRE elevades els permet no haver d'estar tota l'estona alimentant-se, pel que poden dedicar-se a altres tasques: desplaçar-se, reproduir-se, descansar, etc.

L'home en els seus inicis, el caçador-recol·lector, es trobava en un estrat ecològic similar al lleó de la sabana. L'energia que obtenia de la seva activitat li permetia recuperar-se de l'esforç, i n'hi sobrava poca cosa. Això permetia una cultura bàsica basada en la tradició oral i la fabricació d'estris senzills.

L'aparició de l'agricultura, tot i que no va suposar un augment significatiu de la TRE (es calcula al voltant de 10:1), va conduir a un augment de la població, el que permetia mantenir una minoria no productiva (nobles, clergues, guerrers).

Finalment arribem a l'era industrial. El descobriment dels combustibles fòssils (primer el carbó, i després el petroli) ofereix una TRE excepcional, 100:1. Hi ha excedents de sobres per créixer, investigar, extreure més recursos minerals, explotar noves fonts d'energia (renovables, nuclear) i, sobretot, permet consumir com mai s'havia fet. L'abundància d'energia barata que ha suposat el petroli, per sobre de qualsevol altre factor, és el que ha permès a la nostra civilització créixer a un ritme exponencial i assolir els nivells de complexitat i comoditat[3] dels que disposem avui dia.

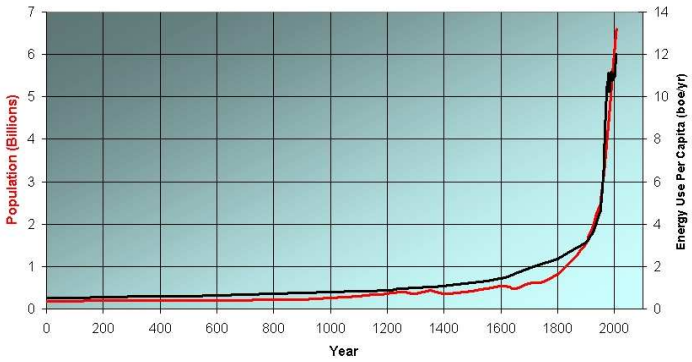


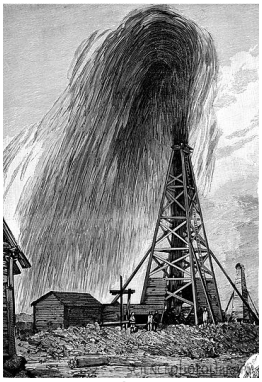
Figura 1: evolució de la població mundial (línea vermella) i el consum energètic per càpita (línea negra) durant els darrers 2000 anys.

Població i consum energètic han crescut de la mà (figura 1), i a un ritme exponencial, que és sinònim d'accelerat. Això vol dir que en cada període l'increment és superior al previ. En un sistema de comportament exponencial sovint se'ns fa difícil d'entendre les magnituds que es poden assolir, i amb quina velocitat[4]. En posarem dos exemples:

- Una família que en l'antic Egipte, posem l'any 3000 a.C., tingués unes possesions que ocupessin un metre cúbic, si les anessin incrementant a un ritme "moderat" d'un 3% anual, arribats a l'any 1 d.C. ocuparien una esfera de radi equivalent a 28 vegades la distància mitja entre la Terra i el Sol.
- Una bactèria sobre una placa de cultiu, que es multipliqués per dos cada minut, podria ocupar tota la placa en un dia. El moment en el que la bactèria ocuparia la meitat de la superfície, contràriament a la nostra intuïció, no seria a les 12 hores sinó a les 23 hores i 59 minuts.

Es fa evident doncs, per sentit comú, que dins d'un món finit aquesta progressió no es pot allargar gaire més. Ens ho mirarem des d'un punt de vista geològic, per veure si les observacions corroboren o no aquesta idea.

PETROLI



Camp petrolífer de Balakhani, a Baku, Azerbaijan, segle XIX

El petroli es va formar per la descomposició de zooplàncton i d'algues marines acumulades durant milions d'anys, i després enterrades i comprimides per pesades capes de sediments. Aquest líquid aflora a la superfície de manera natural en algunes regions, pel que és conegut des de l'antiguitat. Fa 4000 anys ja s'utilitzava a Mesopotàmia (l'actual Iraq) en la construcció de vivendes, embarcacions, i en medicina. No és fins el segle XIX que es comença a emprar com a combustible.

Avui consumim al món uns 85 milions de barrils de petroli al dia. Cada barril conté 159 litres, cadascun dels quals proporciona l'energia equivalent al treball que un home en bona forma física podria realitzar durant 30 hores, sense aturar-se. A banda dels seus usos energètics, el petroli té múltiples aplicacions, que van des dels plàtics, fins als medicaments, passant pels adobs i els pesticides. En quant als aliments, es calcula que 6 de cada 7 calories consumides a Europa provenen dels combustibles fòssils, als EEUU 9 de cada 10.(4)

El que anomenem "bosses" de petroli són en realitat jaciments d'una roca porosa empapada d'aquest element, pel que la seva extracció s'assembla més a la imatge de la dreta(5):

Això fa que el seu ritme de producció no pugui ser constant (podríem dir que segueix la llei dels retorns decreixents [5]): al principi el líquid surt per la seva pròpia pressió, el rendiment és màxim (per l'any 1930 la TRE era 100:1), però més endavant el petroli es va fent més difícil d'extreure, pel que s'ha d'injectar aigua o gas a pressió, fracturar la roca, es gasta més energia en el procés (la TRE va baixant), de manera que ni invertint més capital ni millorant la tecnologia s'aconsegueix compensar el problema geològic. Arriba un moment, igual que passa amb l'esponja, en el que s'assoleix un ritme de producció màxim a partir del qual comença a baixar inexorablement. En aquest moment encara queda molt petroli, però la seva explotació es torna cada vegada més lenta i costosa. És el que anomenem zènit del petroli o "Peak Oil".

PEAK OIL

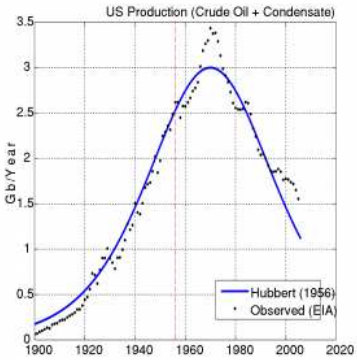


Figura 2: Peak-Oil als EEUU estimat per Hubbert (blau) i observat (puntejat). Font: Energy Bulletin.

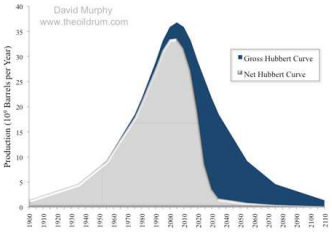


Figura 3: Peak oil mundial estimat per Hubbert. En blau la producció total, i en gris la producció neta. Degut a la progressiva caiguda de la TRE, la

Si dibuixem en una gràfica el ritme d'extracció d'un jaciment de petroli i el posem en relació amb el temps, obtenim una corba de producció de forma acampanada. Aquest esquema també és aplicable a la suma dels jaciments d'una regió, fins i tot d'un país. D'aquesta manera, l'any 1956, el geofísic M. King Hubbert, utilitzant models matemàtics i tenint en compte també la probabilitat de noves troballes, va preveure amb força precisió el pic del petroli dels EEUU, 15 anys abans que es produís [6] (fig. 2).

Hubbert va aplicar el mateix model al món sencer (fig. 3), com si aquest consistís en una única bossa, estimant que el peak oil global es produiria l'any 2006 [6]. La data exacta del peak oil no es pot afirmar encara (només es podrà confirmar uns anys després de que s'hagi assolit), i de fet no és massa important. El que sí sabem amb certesa es que es produirà aviat, i sembla de sentit comú quan veiem que el descobriment de nous jaciments va tenir el seu màxim els anys 60, i des de llavors no para de disminuir (fig. 4). La teoria del Peak Oil és avui una realitat acceptada per la comunitat científica, i també reconeguda de manera pública (encara que no s'hi ha donat ressò mediàtic) per polítics de primer nivell i membres del propi sector energètic (veure Annex 1).

Què ens diuen les observacions? Després dels shocks petrolers que van causar les querres d'Irak i Iran a principis dels 80, la producció de petroli va ascendir a un ritme quasi constant del 1,8% des del 1985 fins al 2005. A partir d'aquest any la producció de petroli convencional (el que anomenem "cru") ha començat un descens suau que s'ha vist compensat per un increment dels líquids sintètics (sorres asfàltiques de Canadà, agrocombustibles, etc.), mantenint-se el total a l'entorn dels 85 milions de barrils diaris (Mb/d) (fig. 5).

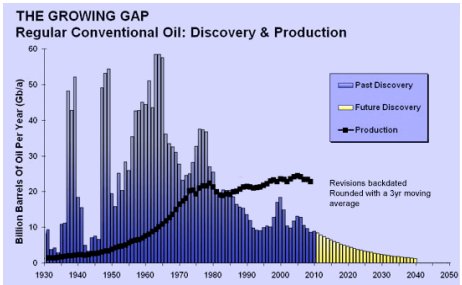


Figura 4: descobriments de petroli convencional, passats (blau) i futurs (groc), i producció (negre). Font: ASPO.

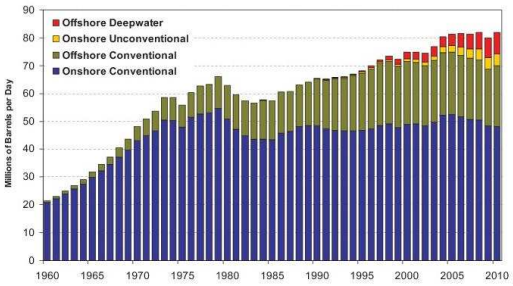


Figura 5: producció global anual de petroli convencional (verd +blau), no convencional (groc) i d'aigües profundes

La capacitat ociosa dels països de la OPEP (és a dir, la quantitat de petroli que podrien produir però que no produeixen per mantenir el preu estable) va anar disminuint en aquest període, suggerint que hi havia realment un problema per incrementar la producció (fig. 6). El 2008 aquesta capacitat ociosa s'estima que va ser pràcticament zero. El juliol d'aquell any el preu del barril de cru arribà al seu màxim històric, gairebé 150 $ (fig. 7).

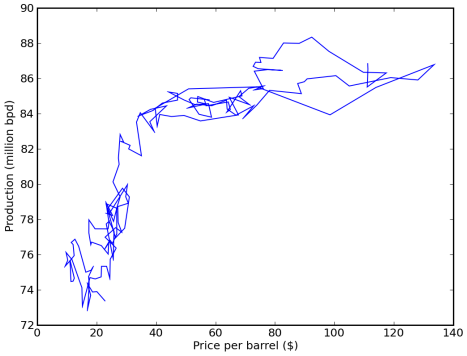


Figura 6: Relació entre preus del petroli i producció diària, 1997-2011. El preu del barril fa augmentar la producció (primer tram de la corba), però quan s'arriba als 85-88 Mb/d la producció no pot continuar pujant malgrat el preu es dispara (part plana de la dreta). Font: Do the math. Dades EIA.

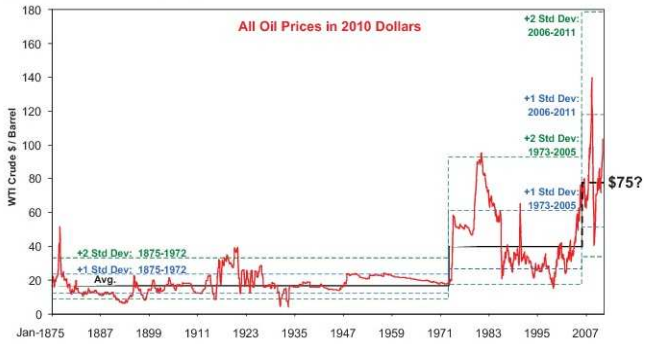


Figura 7: preu del petroli cru WTI[10] fins a 2011, ajustat a inflació. Font: Global Financial Data, GMO.

Des del moment en que la producció no pot augmentar, i encara que es pugui mantenir a nivells similars als actuals, l'increment de la demanda de Xina, Índia, Brasil i altres països farà que occident hagi de reduïr el seu consum. De fet el 2010 el consum de la OCDE [7] ja havia reculat un 15% respecte el 2005 (fig. 8, línia lila). Els països emergents amb economies més dinàmiques i major potencial de creixement estan augmentant més el seu consum que nosaltres, perquè amb el seu creixement els costa menys pagar factures petroleres més elevades. I com que des de 2005 aquest és un joc de suma zero, el que ells pugen nosaltres ho hem de baixar.

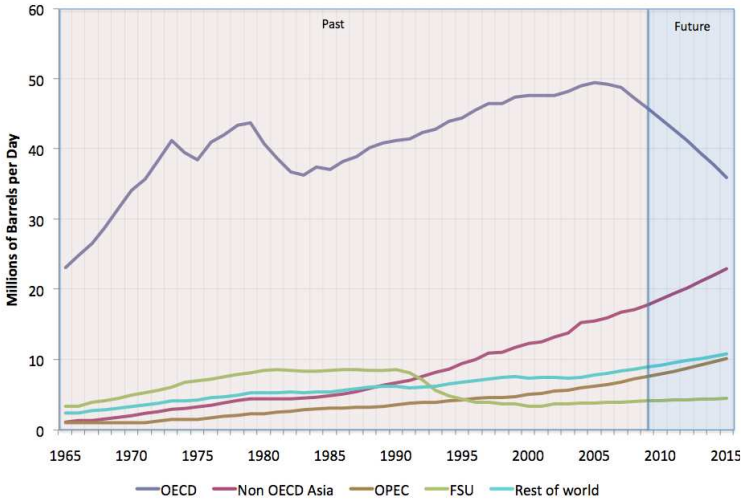


Figura 8: evolució en el consum de petroli per regions econòmiques a 2010, i previsió fins a 2015.

El declivi del subministrament energètic i de la TRE, en cas de continuar, tindria repercussions serioses sobre el nostre sistema econòmic, com veurem a continuació.

PEAK OIL I ECONOMIA

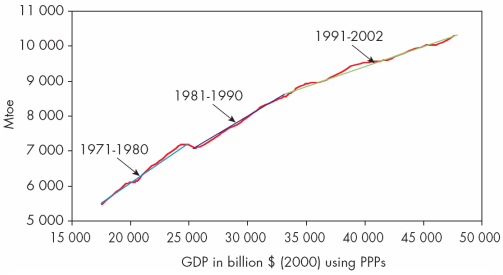


Figura 9: relació entre PIB i consum energètic global. Font: IEA World Energy Outlook 2004

Tal com dèiem al principi, l'energia representa la capacitat per realitzar treball, amb el que produim béns i serveis. No és d'estranyar doncs l'estreta correlació (figs. 9 i 10) que s'observa entre PIB (que és l'indicador més utilitzat per quantificar l'activitat econòmica) i consum energètic: per créixer necessitem consumir més energia, i si aquesta ens falta estem obligats a decréixer. És un fenòmen conegut, entès i inevitable. Aquesta és la primera i més directa conseqüència del peak oil, de ben segur inacceptable per molts de nosaltres.

A més, decréixer no només consisteix en viure d'una manera més austera, no es tracta només de patir una reducció de la nostra escala: en una economia en decreixement els deutes resulten molt més difícils de pagar, o directament impagables, pel que el sistema al complet es veu compromès (fig. 11). [8]

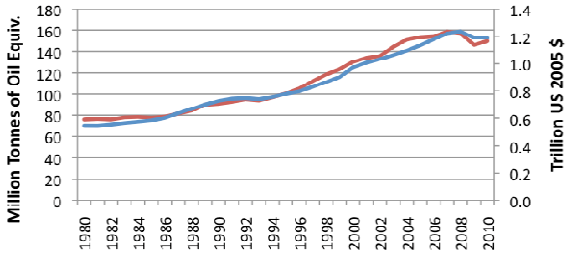


Figura 10 : relació entre PIB (blau) i consum energètic (vermell) a Espanya. Font: ourfiniteworld.

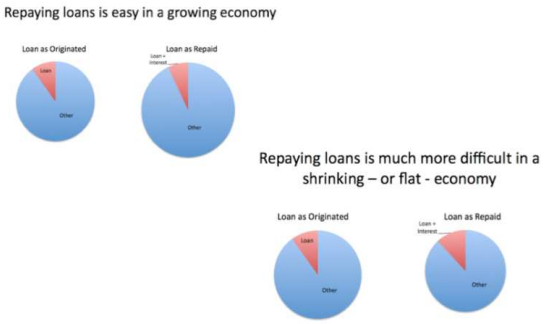


Figura 11: volum relatiu dels deutes (vermell) respecte l'activitat econòmica (blau) en una economia creixent (esquerra) i drecreixent (dreta). Font: Gail Tverberg.

El segon punt a tenir en compte té a veure amb la caiguda de la TRE. El petroli oferia una TRE de 100:1 als seus inicis, però aquesta ha anat caient de manera marcada. Els anys 70 ja era de 30:1, i actualment està entre 15 i 20:1 (fig. 12). Per l'any 2020, donat que haurem de recórrer a més proporció de petrolis sintètics (que requereixen més energia per l'extracció i refinat), la TRE pot haver caigut fins a 8:1, el que implica que s'haurà d'haver augmentat la producció un 8% (+7 Mb/d) per mantenir la mateixa energia utilitzable. A mesura que la TRE s'aproxima a 1:1, l'energia disponible per a la societat disminueix cada vegada més depressa: TRE 100:1 → energia disponible 99%, 20:1→95%, 10:1→90%, 5:1→80%. La quantitat d'energia que consumeix la societat depèn de la seva població, el rendiment determina la qualitat dels usos que se'n fan. Alguns estudis suggereixen que per a què la nostra civilització sigui viable (es mantingui estructurada com a tal), necessitem una TRE mínima de 10:1[7, 8].

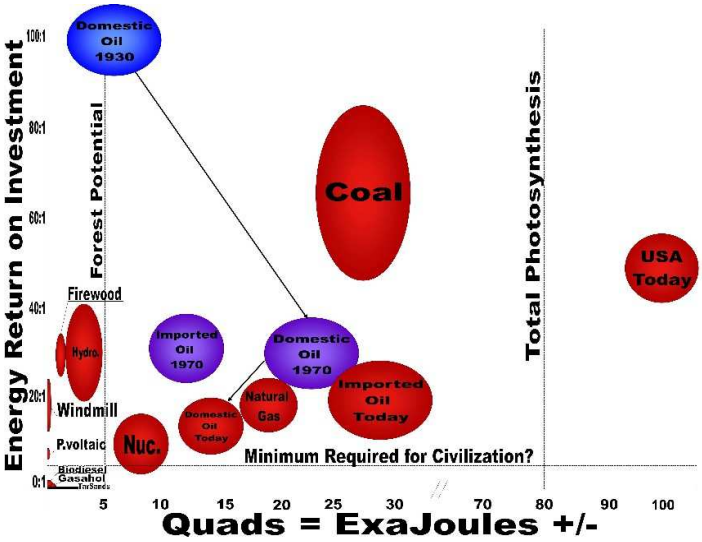


Figura 12: TRE i aportació energètica de les diferents fonts d'energia utilitzades als EEUU. L'amplada de les bombolles reflecteix el grau de variabilitat i/o incertesa. Font: Richard Heinberg, Searching for a miracle, en base a un estudi de Charles Hall.

El problema d'una TRE decreixent és que per mantenir l'energia neta s'ha d'incrementar la inversió sobre la font, mitjançant energia de produccó i materials. Al final s'arriba a un punt en que el material més escàs actua de factor limitant (llei del mínim [9]), i a partir d'aquí l'enegia neta comença a declinar inevitablement. D'altra banda, encara que disposéssim de prou materials, incrementar la despesa de producció es tradueix en un increment de la factura energètica. Es calcula que el preu màxim que un país industrialitzat pot pagar en aquest concepte és d'un 10% del seu PIB (9), que es correspondria precisament amb una TRE de 10:1 (90% d'excedent).

La història recent ens mostra les conseqüències de l'encariment del petroli: el juliol de 2008 la demanda de petroli va superar l'oferta en un 1%, el preu del barril WTI [10] va arribar als 147 $, el més alt de la història en termes absoluts i relatius. Dos mesos més tard Lehman Brothers s'ensorrà i arrossegà amb ell bona part de l'economia occidental. Molts estudis avalen que els alts preus del petroli van fer que moltes empreses deixessin de ser rendibles i fessin fallida (un efecte amplificat probablement per l'alt nivell de financiarització de l'economia [11]). Quan la destrucció econòmica va ser suficientment intensa, la demanda va baixar i amb ella els preus, per recuperar-se després fins arribar als 100 $ actuals.

Alguns autors apunten a que el preu màxim que pot suportar l'economia és de 80 $/barril (13). Podria ser que si l'oferta continua essent insuficient ja no s'aconsegueixi estabilitzar els preus. Així, el que s'hauria d'esperar és una successió de pics seguits de fortes caigudes, en una alternança cada vegada més ràpida a mesura que s'acceleri el declivi de la producció.

Un cop establerta la magnitud del problema, ens ocuparem d'analitzar les opcions que tenim per superar-lo. Veurem quines són les altres fonts d'energia que utilitzem en el present i de quina manera ens poden ajudar a suplir l'escassesa de petroli en el futur.

ALTERNATIVES AL PETROLI

Analitzarem els petrolis no convencionals, el gas natural, el carbó, l'energia nuclear, i les renovables. També valorarem el paper que poden tenir el cotxe elèctric, l'hidrògen i la fusió. Però primer començarem per fer-nos una idea general de consum energètic mudial i nacional (Annex 2):

Els habitants del planeta vam consumir l'any 2010 una potència mitja de 16 TW (setze milions de milions de watts), un 80 % provinent dels combustibles fòssils. Espanya consumeix uns 200 GW (dos-cents mil milions de watts) de potència mitja, quatre vegades el que produeix, un 47% provinent del petroli (fig. 13), i només un 21% en forma d'energia elèctrica. Cada espanyol consumiria uns 4,5 Kw (una persona adulta sana pot pot desenvolupar durant una estona uns 350 watts, de manera que cadascú de nosaltres és com si tingués 12 esclaus permanents). El nostre consum actual per càpita és un 45% superior al de l'any 1980.

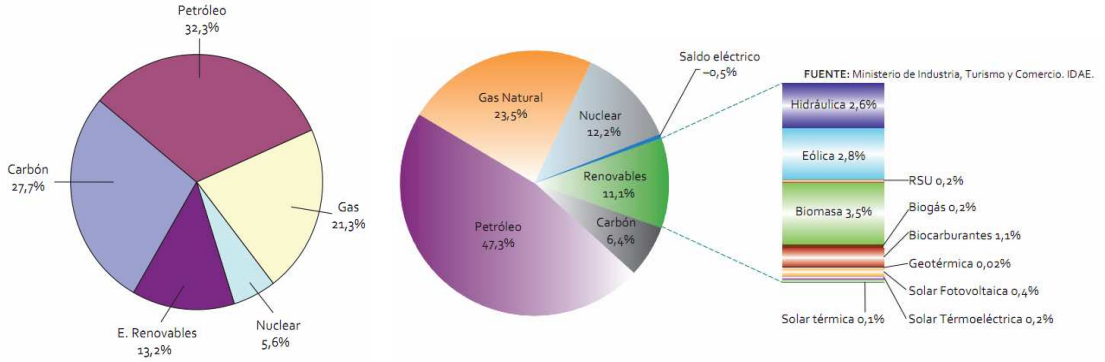


Figura 13: consum energètic primari mundial (esquerra) i a Espanya (dreta), per fonts d'energia, any 2010. Font: INE

LÍQUIDS NO CONVENCIONALS (Annex 3)

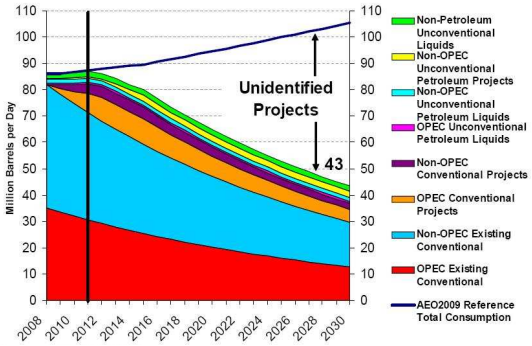


Figura 14: previsions sobre producció i demanda mundial de combustibles líquids . Font: IEA, AEO 2009.

L'Agència Internacional de l'Energia estimava l'any 2009 que d'aquí a 2030 es necessitaria cobrir un dèficit de 60 Mb/dia, mitjançant projectes encara per identificar (fig. 14). Els petrolis derivats de les sorres asfàltiques, del gas natural, els agrocombustibles i d'altres, arriben avui als 10 Mb/d (un 12% del petroli produït). Tenen l'inconvenient que requereixen molta energia en la seva extracció i processament, pel que la seva TRE és força baixa (inferior a 6:1), i molts es troben quasi al límit de la seva capacitat de producció. Per tant, es veu difícil que arribin a cobrir el dèficit previst.

GAS NATURAL

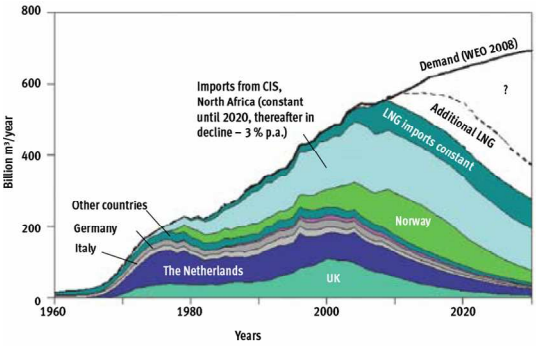


Figura 15: consum de gas natural a Europa, i procedència

El gas natural arribarà al seu zènit com a molt l'any 2020, però com que és difícil de transportar (depèn de gasoductes i la liquació és costosa) hi haurà problemes de manca de subministrament a algunes regions abans. El pic del gas arribarà a Europa el 2015 [14] (fig. 15). L'alternativa és el gas pissarra (shale gas), que s'obté injectant vapor d'aigua a pressió per triturar la roca a gran profunditat i fer-lo aflorar, amb greus consequències mediambientals, pobre rentiment energètic, i escàs aprofitament dels dipòsits.

CARBÓ

El zènit de volum recuperat de carbó serà cap al 2025. Però s'ha de tenir en compte que hi ha diferents tipus de carbó, amb variacions importants de poder calorífic entre un i altre. El que s'ha cremat primer és el millor carbó (antracita), i ens va quedant el més dolent (hulla, subbituminosos i lignits). El resultat d'això és que el pic de l'energia produida per aquest mineral es calcula que pot haver estat l'any 2011 [15, 16] (fig. 16). Ens trobaríem doncs, sumant líquids petrolífers, gas natural i carbó, que els combustibles fòssils arribarien al seu pic conjunt entre el 2015 i 2020 (fig. 17).

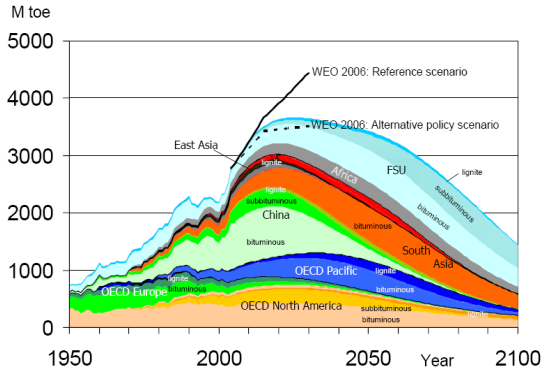


Figura 16: producció global de carbó.
Font: Energy Watch Group, 2007

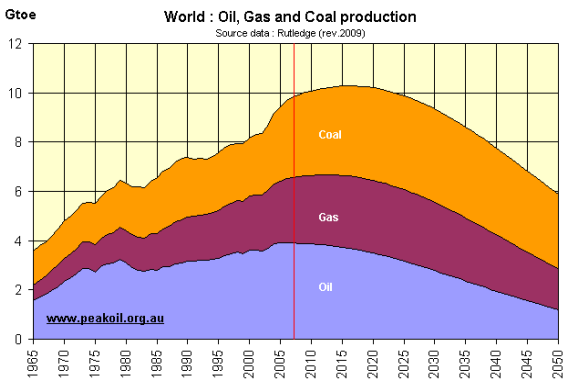


Figura 17: zènit dels combustbles fòssils.
Font: Rutletge, 2009

ENERGIA NUCLEAR

La fisió nuclear (fractura del nucli atòmic) allibera una escalfor que, en un entorn controlat, es pot aprofitar per generar vapor amb el que produir electricitat. Les centrals nuclears utilitzen com a combustible principalment l'urani. Aquest és un element molt abundant a la Terra, però la fracció que podem aprofitar de manera rendible és limitada.

Central nuclear de Fukushima, març de 2011.

Per cobrir el dèficit generat pel declivi del petroli en aquesta dècada es necessitaria construir 3000 centrals nuclears noves. Encara que això fos possible, ens trobaríem amb el coll d'ampolla del combustible: es calcula que podem tenir un problema greu de subministrament d'urani abans de 2013, donat que un terç del que es consumeix prové del que es va emmagatzemar fa dècades (sobretot reserves militars dels EEUU i Rússia) i que la producció de les mines d'urani es calcula que arribarà al màxim entre 2015 i 2035, i que mai arribarà cobrir els nivells de consum actuals. En resum: en el millor dels casos l'energia nuclear s'enfronta en els propers anys amb una caiguda de la producció d'un 10% (Annex 4).

Respecte la TRE, el professor Hall va realitzar una anàlisi que incloïa costos de preparació, construcció, operació, producció d'urani i gestió de residus durant 60 anys (l'estàndar de la indústria), i calculava que l'energia nuclear ofereix una TRE de 10:1 [17].

Residus nuclears:

L'anàlisi de totes les externalitats associades a l'indústria nuclear és complexa [18]. Després de l'accident de Fukushima, el debat públic s'ha centrat en la seguretat de les centrals. En comparació, la qüestió dels residus ha quedat en un pla molt secundari.

- Al món hi ha 433 centrals nuclears. El total de deixalla d'alta activitat que es genera anualment puja a 12.000 tonelades, a Espanya 150 [19].
- Els residus nuclears estan tan calents que s'han de mantenir en piscines els 5 primers anys, 60 anys més refrigerats, i després en bidons segellats. L'escalfor unida al caràcter corrosiu de certes substàncies que es formen, fan que s'hagi de substituir els bidons i el magatzem sencer periòdicament (50-100 anys).
- Hi ha residus que a més de radiactius, són molt tòxics, quantitats mínimes filtrades als aqüífers poden contaminar fins a nivells letals l'abastiment d'aigua de poblacions en un radi de desenes o centenars de quilòmetres. Un milígram de plutoni pot matar una persona. Aquest material es desintegra a la meitat cada 24.000 anys (passar d'un quilo a un gram requereix 240.000 anys, per una tonelada es necessita esperar 500.000 anys).

Tenint en compte tot això (i que els reactors de nova generació, els "fast breeders", després de 50 anys encara no s'ha aconseguit que siguin comercialment viables) les preguntes son òbvies:

- Quina seria la TRE real de l'energia nuclear si es tinguessin en compte les despeses que requerirà la gestió dels seus recursos durant milers d'anys?
- Quants anys podrà el govern de torn mantenir aquests costos, per una instalació que no els proporcionarà cap rendiment?

ENERGIES RENOVABLES (Annex 5)

Malgrat que aquestes fonts d'energia les podríem considerar inesgotables, això no vol dir que siguin sostenibles a qualsevol escala. Presenten per a nosaltres una sèrie de limitacions que haurem de tenir en compte:

Les renovables tenen una TRE sensiblement inferior a la dels fòssils. La millor en aquest sentit és la hidràulica, però té un marge d'increment molt limitat perquè les millors ubicacions ja estan ocupades. De la resta la més rendible sembla la eòlica (TRE 20:1), fins arribar a l'escàs 2:1 de la fotovoltaica. Hem de tenir en compte també que al baixar la TRE dels fòssils acaba disminuint l'energia neta que proporcionen i que es pot dedicar a la producció i manteniment de renovables, raó per la qual l'energia neta que aquestes poden produir també es veu limitada.

Desenvolupar les energies renovables a una escala equiparable al consum actual de fòssils planteja problemes evidents d'espai, capital, i materials. A més del problema del coure, destaca la situació dels minerals ja de per sí més escassos, les anomenades terres rares, que són essencials per la indústria electrònica i energètica. La Xina domina la producció mundial d'aquests elements en un 95%, i probablement acapararà el seu consum complet en els propers 10 anys. Això farà que occident hagi d'afrontar la transició energètica amb materials molt menys eficients.

Una societat sustentada per energies renovables també requerirà una xarxa de distribució entre regions, països i continents, així com un sistema d'emmagatzematge que compensi la variabilitat inherent a aquest tipus de fonts. En aquest sentit també cal tenir presents importants limitacions materials i econòmiques.

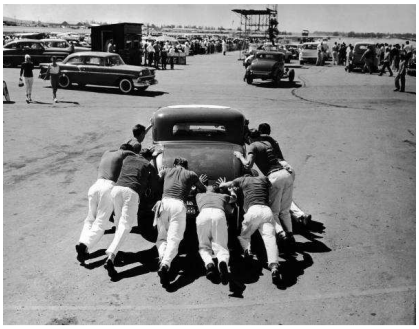
Tot aquest esforç seria per desenvolupar unes fonts que utilitzem avui majoritàriament per a l'obtenció d'energia elèctrica, però recordem que l'electricitat representa només un 10% de l'energia que consumim els humans. Tot i que ens plantegem una electrificació massiva, activitats com el transport aeri, marítim, camions, excavadores, fundicions, etc. depenen dels combustibles fòssils per a ser viables.

En resum, les energies renovables seran la base del subministrament energètic en un futur no gaire llunyà, però difícilment es puguin desenvolupar a un nivell suficient per cobrir gaire més que una quarta part del que avui ens proporcionen els fòssils.

COTXE ELÈCTRIC

Substituir els quasi 1.000 milions de cotxes i furgonetes que hi ha al món per vehicles elèctrics planteja incògnites importants:

- hi haurà prou energia disponible per alimentar-los?
- desenvoluparem una xarxa elèctrica amb prou capacitat?
- seran prou assequibles en un entorn de recessió permanent?
- disposarem de prous bateries?



Analitzem aquest darrer punt: les millors bateries que tenim avui en dia són les de liti. Al ritme d'extracció actual (difícilment millorable [20]), es calcula que es necessitarien 290 anys per fabricar les bateries suficiens per a la transició global al cotxe elèctric, tot i que molt abans ja hauríem esgotat les reserves [21]. Alternatives com les bateries basades en metall-aire s'han de prendre amb precaució: els materials necessaris no són tan escassos i tenen una millor densitat energètica, però són bateries de tipus primari (s'utilitzen com una pila-combustible, un cop gastat s'ha de canviar per una altra bateria), actualment encara no se'n disposa de recarregables a nivell comercial.

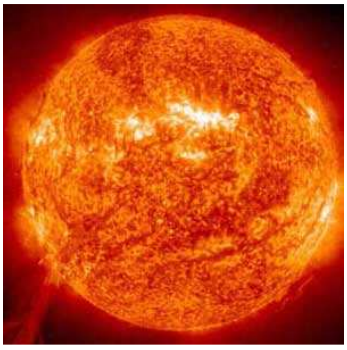
En resum, i deixant a banda la discussió de si té sentit utlititzar el cotxe com a mitjà de transport individual, el que podem dir és que els automòbils que hi hagi en el futur seran elèctrics, però difícilment arribaran a un número comparable a l'actual.

HIDROGEN

L'hidrogen, igual que l'electricitat, no és pròpiament una font d'energia sinó un portador. No hi ha hidrogen o electricitat que poguem explotar de mines o jaciments, sinó que es generen a partir d'altres fonts d'energia ja existents, i amb pèrdues en el procés de transformació (en la hidròlisi fins un 50%) i emmagatzematge (els millors dipòsits d'hidrogen perden un 2% diari). L'interès que tenen rau en l'ús específic que se'ls pot donar (l'electricitat es molt versàtil, l'hidrògen és molt transportable) però requereixen d'una font d'energia primària per produir-los.

FUSIÓ

La fusió nuclear consisteix en la unió de dos nuclis atòmics (el contrari que la fisió). És el procés que té lloc en els estels i que dóna lloc a tots els elements presents en la natura. Si això es pogués realitzar de manera controlada podríem aprofitar l'escalfor generada per produir electricitat, i amb uns residus menys perillosos que els de l'energia nuclear actual.



Problemes:

- L'única reacció de fusió nuclear que podria ser viable a la pràctica és la del triti amb el deuteri. Aquesta reacció allibera molta energia i un gran nombre de neutrons. No es coneix cap material capaç d'embolcallar la reacció i no ser destruit sota l'intens feix de neutrons resultants.
- El triti és molt escàs, només n'hi ha uns litres en tot el planeta. S'haurien d'aprofitar tots els neutrons despresos per transmutar liti en triti, i així recanviar el triti gastat, a més de generar combustible per altres reactors. Això és impossible, fins i tot en la teoria. [22]

Encapsular el metabolisme solar és potser un objectiu fora de les capacitats humanes. En qualsevol cas no es preveuen progressos significatius en aquesta direcció abans de 50 anys, per donar resposta a un problema que reclama solucions ara [23].

PERSPECTIVES ENERGÈTIQUES GLOBALS

Analitzat el problema del peak oil i les seves possibles solucions ens adonem que realment no hi ha opcions que ens permetin continuar com fins ara. Ben al contrari, el futur més probable serà un escenari on disposarem només d'una petita part de l'energia que consumim en el present (fig. 18). Per tant, ens apropem més a la primera pregunta correcta: *com adaptem la nostra societat a un consum molt menor sense que aquesta col·lapsi?*

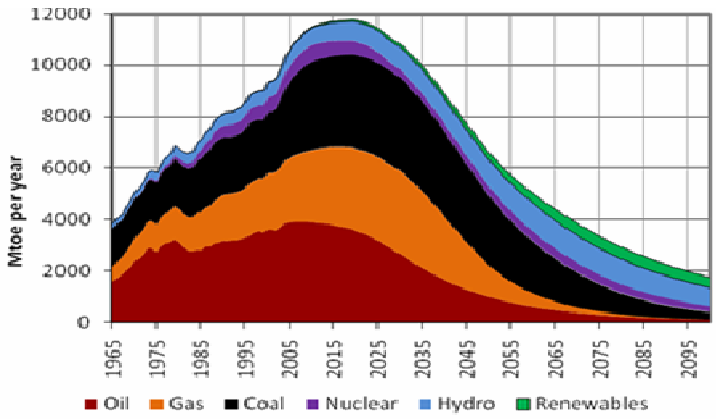


Figura 18: Pic energètic global, comptant totes les fonts.
Font: Rutledge i ASPO, 2008

El problema va més enllà de la mera viabilitat tècnica. Veient les enormes desigualtats que hi ha entre el consum present de rics i pobres (fig. 19), podem exigir que tothom s'estrenyi el cinturó de la mateixa manera?

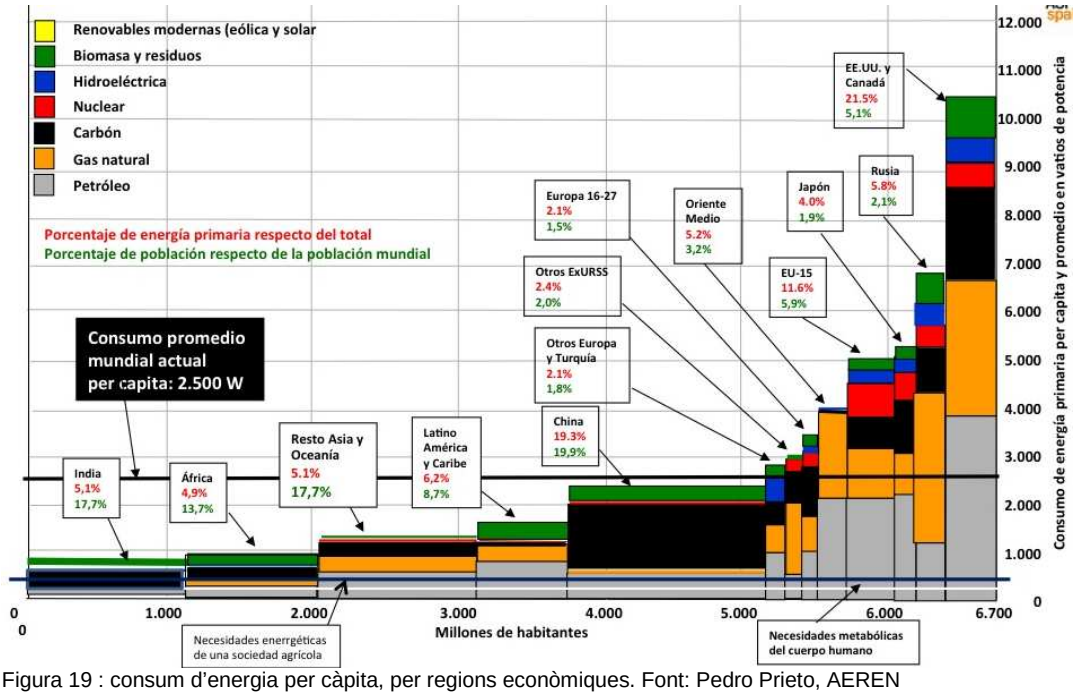


Figura 19 : consum d'energia per càpita, per regions econòmiques. Font: Pedro Prieto, AEREN

Acabem el capítol de l'energia. Hem entès que l'abundància d'aquesta, més que una benedicció, ha resultat com una droga per a la nostra societat. Hem construit unes infraestructures, un sistema d'alimentació, una economia, una manera de viure, totalment depenent de l'empenta dels fòssils. Enfrontar-nos a la seva escassesa serà un desafiament majúscul, agreujat a la vegada per dos problemes relacionats amb l'anterior: 1) l'esgotament de recursos de primera necessitat, i 2) les externalitats. Els analitzarem a continuació.

ESGOTAMENT DE RECURSOS BÀSICS

AIGUA

L'any 2005 hi havia al món 1000 milions de persones amb problemes d'accés a l'aigua, però si continua l'augment de població aquest número podria incrementar-se a més de 3.500 milions en tan sols 15 anys, per passar a ser un problema pel 60% de la humanitat el 2050 [24]. L'aridesa creixent a causa de l'escalfament global és un factor negatiu no menyspreable, com també ho seria un insuficient aport energètic, necessari per la distribució i depuració de les aigües. Serien problemes que s'afegirien als casos de contaminació per arsènic, metalls pesats, purins, i dioxines, que ja veiem avui dia.

AGRICULTURA

Un dels greus problemes de l'agricultura industrial és l'abús de fertilitzants i el llaurat de la terra. Fins els anys 50 l'augment de la producció agrícola procedia principalment de l'expansió dels terrenys de cultiu, a partir de llavors el factor fonamental són els afegits químics [25]. L'excés de fertilitzant va a parar als aqüífers i rius, contaminant territoris amplis, i fins i tot generant zones mortes en el mar per culpa de l'eutrofització. L'excés de llaurat deixa exposades capes de terreny fèrtil que poden ser arrossegades pel vent. La zona fèrtil de la terra té en la majoria del planeta uns quants centímetres de gruix, i regenerar un parell d'aquests centímetres porta al voltant d'un segle de dipòsit natural de matèria orgànica, però nosaltres l'estem degradant molt més de pressa. Fins ara hem soplert l'empobriment de les terres de cultiu mitjançant l'aport de fertilitzants artificials: els nitrogenats a partir del gas natural, i els fosfats derivats de la roca de fosfat, la qual va superar el seu pic d'extracció fa anys (fig. 20).

Sense suficients recursos materials i energètics el rendiment agrícola caurà dràsticament, especialment en aquelles terres que ja sense aports extres no funcionen. De fet la productivitat del conreu de cereals ja fa anys que presenta millores cada vegada més marginals (fig. 21).

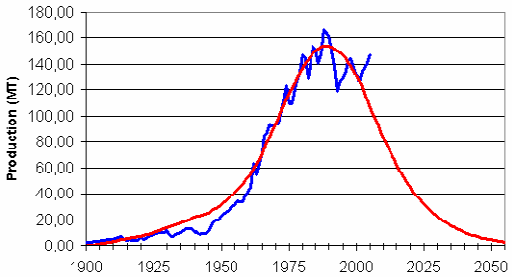


Figura 20 : producció mundial de roca de fosfat. Font: Dery and Anderson [26]

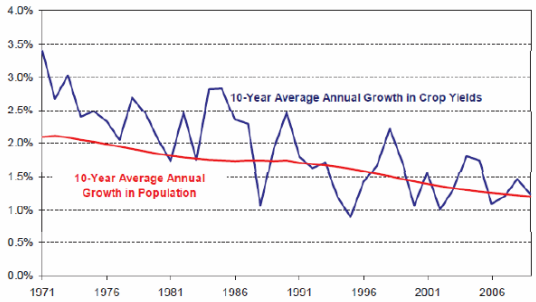


Figura 21: augment anual de la productivitat en la producció de cereals, 1971-2006

Les terres de cultiu, a més, entraran en competència amb la superfície ocupada per les noves energies renovables i les eventuals àrees destinables a protecció de la biodiversitat i captura de CO_2, sense oblidar les pròpies limitacions imposades pel canvi climàtic i l'escassesa d'aigua (el principal consumidor d'aigua és el regadiu). Ens trobem doncs, amb un factor que pot acabar limitant o retallant la població mundial en les properes dècades [27, 28].

PESCA

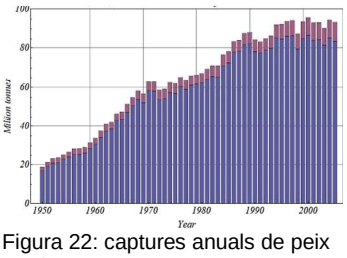


Figura 22: captures anuals de peix marí (blau) i de riu (vermell) en estat salvatge, 1950-2000. Font: FAO

Quan s'explota un recurs renovable per sobre de la seva taxa de reposició (en cada cicle s'extreu més del que la natura pot recuperar), les matemàtiques i el comportament d'aquest recurs són idèntiques a que si no fos renovable [12]. Aquests sistemes tenen una mida mínima per sota de la qual poden colapsar espontàneament. Per això, si sobreexplotem un recurs renovable el podem portar a la seva desaparició.

La pesca, que representa el mitjà de vida de 500 milions de persones al món, va arribar al seu zènit al voltant de l'any 2000 (fig. 22), i es calcula que si no es canvia la nostra política d'explotació, en 20-50 anys destruirem el recurs per complet.

EXTERNALITATS

La conducta que hem seguit durant tots aquests anys d'eufòria ha tingut una sèrie de repercussions externes a nosaltres, uns costos que no hem hagut de pagar, fins ara. El concepte "externalitats" es refereix als efectes que una activitat produeix sobre individus que no hi participen, o dit senzill, la influència de les accions d'una persona sobre el benestar d'una altra. Per posar-ne dos exemples: una externalitat positiva seria el benefici que obtenen les persones properes a mi pel fet de que jo em vacuni contra la grip; una de negativa seria la molèstia que causa el lladruc del meu gos als meus veïns.

L'equilibri d'un mercat pot no resultar eficient degut a la presència d'externalitats, és a dir, l'equilibri no maximitza el benefici total de la societat en el seu conjunt. Per solucionar-ho, quan les externalitats negatives són massa importants, els perjudicats pressionen al seu causant perquè les redueixi, o bé insten al govern a que les prohibeixi o penalitzi [(29)]. Per tant, si l'autor d'aquests danys vol continuar amb la mateixa manera de fer i estalviar-se les compensacions, intenta enviar aquests costos el més lluny possible, i cap als individus amb menys capacitat de resposta.

Un pescador amb la seva canoa a Goi, Ogonilandia, Nigeria, 28 de enero de 2008. © Kadir van Lohuizen/NOOR

Podem interpretar d'aquesta manera l'exportació de residus tòxics des dels països rics (que en generen el 90%) cap al tercer món, pràctica que esdevingué habitual en la segona meitat del segle XX, quan a occident es van començar a intensificar les mesures de control sobre aquests productes. El Conveni de Basilea de 1989 s'orientà a minimitzar aquest fenomen, i l'esmena que s'hi introduí el 1995 prohibia directament als països OCDE enviar deixalles perilloses als no-OCDE [(30)]. L'esmena no va ser ratificada pels EEUU [(31)] i el problema de la contaminació del tercer món continua, també a causa de l'activitat que es realitza directament allí per obtenir materies primeres energètiques (extraccions pretrolíferes al delta del Níger [(32)]) i els minerals que alimenten la nostra indústria tecnològica (mineria del coltan a República Democràtica del Congo [(33)]).

Hi ha un altre indret menys conegut on els seus habitants suporten les conseqüències generades per la nostra manera de viure sense poder fer-hi res: el nosre propi futur. Estem parlant de l'escalfament global [13], un procés que tot i ser avui pràcticament imperceptible mereix una atenció prioritària, com veurem tot seguit.

CANVI CLIMÀTIC

El clima a la Terra presenta una variabilitat natural. El darrer període glacial va acabar fa uns 10.000 anys, i de llavors ençà s'ha mantingut estable, permetent que es desenvolupés allò que entenem com a "civilització". Les observacions de les darreres dècades apunten però a que la temperatura terrestre ha canviat de comportament, escapant de qualsevol cicle natural conegut. Tot i ser un procés descrit fa gairebé dos segles, i advertit des de fa més de 50 anys (Annex 6), el canvi climàtic continua essent percebut per una gran part de la població com un fenòmen incert, llunyà, i d'una transcendència qüestionable.

Ens costa de creure la teoria de l'escalfament global, deixant a banda la manera com és tractada pels mitjans de comunicació (Annex 8), per dues raons: es tracta d'un procés lent en la fase incial (tot i que després s'accelera), i hi ha un retràs entre la causa i l'efecte. Per entendre-ho millor recordarem un fet molt conegut: l'enfonsament del Titanic [34].

El 14 d'abril de 1912, malgrat les advertències emeses per altres vaixells que aquell dia havien avistat icebergs en la zona, el Titanic avançava de nit a velocitat de creuer. Ales 23:40 h. un vigia alerta de la presència d'un iceberg a menys de 500 metres davant de l'embarcació. S'ordena frenar i girar però, degut a la seva inèrcia, el vaixell és incapaç d'esquivar-lo i es produeix un forat sota la línea de flotació. L'ingenier en cap, en veure els danys, i mentre els passatgers encara no percebien cap anomalia, informa al capità:

"s'han inundat cinc compartiments, això farà que el vaixell s'inclini fins a tal punt que s'inundi la resta de la nau, i aquesta s'enfonsi en una o dues hores; si s'haguessin inundat només quatre compartiments es podria aturar, però no amb cinc, és inevitable."

El clima a la Terra es comporta d'una manera semblant: 1) hi ha un cert retard entre l'augment d'emisions de CO_2 i l'augment de temperatura que en resulta, de manera que encara que les primeres s'aturin de cop, passa un temps fins que l'atmosfera deixa d'escalfar-se; i 2) l'escalfament és inicialment lent, i depen de les emissions de gasos efecte hivernacle per part de l'home, però a mesura que la temperatura augmenta entren en escena altres processos naturals, capaços de retroalimentar-se i elevar la temperatura d'una manera accelerada, fora del control de l'ésser humà. Ens ocuparem d'aquests dos punts, però primer cal entendre de manera bàsica com funciona el clima a la Terra.

CLIMA

El sistema climàtic de la Terra és el conjunt d'entitats que condicionen el clima del planeta: l'atmosfera, l'aigua, els gels, les terres i roques, i els éssers vius (fig. 23). Cadascun d'aquests elements té dinàmiques diferents i s'influencien entre sí (es retroalimenten) [35]. Alguns autors afegeixen un sisè component: el sistema socio-econòmic humà [36].

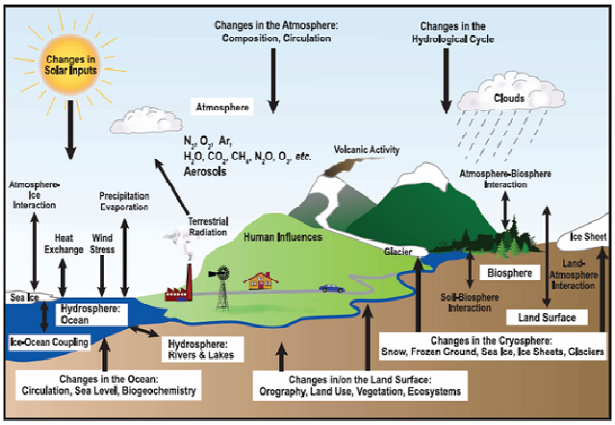


Figura 23: sistema climàtic de la Terra. Font: Javierr Martín Vide, Universitat de Barcelona

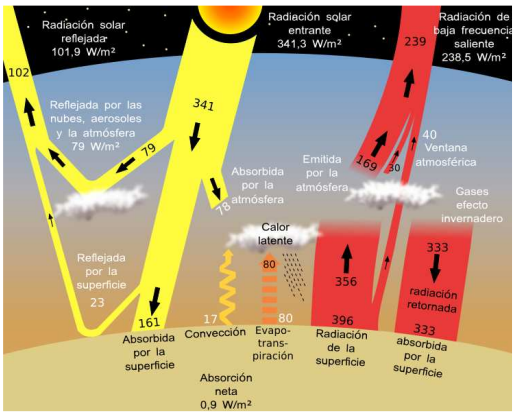


Figura 24: balanç anual d'energia de la Terra, segons dades de 2000 a 2004. Font: Trenberth, Fasullo y Kiehl, NCAR 2008.

La temperatura a la Terra depèn de la diferència entre l'escalfor que ens arriba del Sol i la que és alliberada d'aquí a l'espai. Normalment aquest balanç es troba en un estret equilibri, el que permet la presència de vida al planeta. El paper que hi juga l'atmosfera és reflectir part de la radiació solar i, sobretot, retornar cap a la terra bona part de l'escalfor que aquesta emet i que d'altra manera es perdria en l'espai (fig. 24). Aquest darrer fenomen és el aque anomenem **efecte hivernacle** i passa en tots els planetes que tenen atmosfera; sense l'efecte hivernacle natural la temperatura del planeta estaria uns 30ºC per sota del promig actual, que és d'uns 15ºC.

LA CADENA DE L'ESCALFAMENT GLOBAL

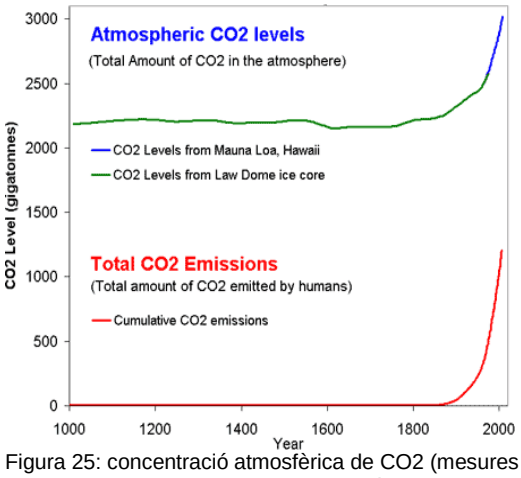


Figura 25: concentració atmosfèrica de CO2 (mesures directes en blau, aire atrapat en gel antàrtic en verd), i emissions acumulades (vermell). Font: CDIAC.

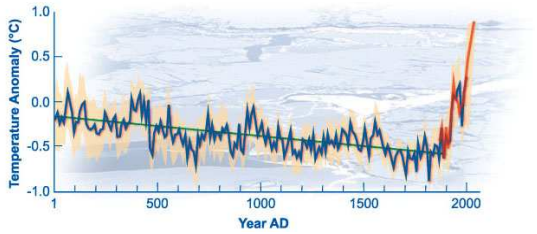


Figura 26: variació temperatura oceà àrtic, (mesures directes en vermell, estimacions en blau)
Font: Kaufman et al. 2009

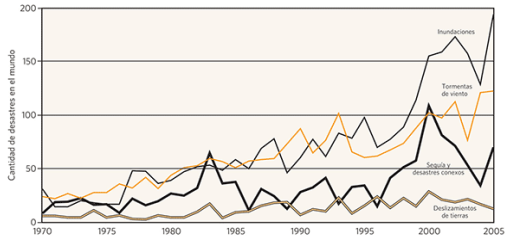


Figura 27: aconteixements meteorològics extrems. 1970-2005. Font: Nacions Unides, 2009

Alteracions en un o més dels elements que conformen el sistema climàtic poden provocar una desestabilització que condueixi a un refredament o un escalfament. El que passa des que s'inicià l'era industrial és que els éssers humans, al cremar massivament combustibles fòssils, han augmentat les emissions de CO2, i altres gasos (Annex 7) fins arribar a superar el ritme al que la terra pot reabsorbir-los, el que fa augmentar la seva concentració en l'aire (fig. 25), la qual cosa incrementa l'efecte hivernacle ja existent, desequilibrant així el balanç energètic global.

Aquest desequilibri energètic (tècnicament dit "forçament radiatiu"), amb el temps pot acabar provocant l'augment de temperatura mitja de la Terra (fig. 26). Així arribem a la primera consideració important a l'hora d'entendre el problema climàtic: dins de la cadena de l'escalfament global hi ha un retràs entre l'augment d'emissions, i l'augment de temperatura que en resulta, degut en bona part a l'efecte amortidor dels oceans, que retenen escalfor per alliberar-la després. És el que anomenem **inèrcia climàtica**. Aquesta inèrcia fa que encara que avui aturéssim les emissions, la temperatura continuaria ascendint uns 0,5-0,6ºC durant els propers 30-100 anys [37, 38].

Finalment, l'escalfament dóna lloc a una sèrie d'impactes: fenòmens meteorològics extrems (fig. 27), dificultats en la seguretat alimentària i la disponibilitat d'aigua potable, impactes en la salut i vida humanes, danys en infraestructures, augment del nivell del mar [14], extinció massiva d'espècies, etc. [39].

Hi ha també uns impactes indirectes, de conseqüències encara més serioses: l'augment de temperatura provoca canvis sobre alguns dels components del sistema climàtic de manera que aquests poden retroalimentar el fenomen (fig. 28), fent que s'acceleri i continuï canviant per la dinàmica interna del sistema (és a dir, incontrolable per l'ésser humà), fins estabilitzar-se en nou nivell d'equilibri més càlid (fig. 29). Si el forçament és prou important i dura prou temps, aquestes retroalimentacions poden forçar un salt fins a un nivell encara més alt, del tot incompatible amb la vida humana. Són els anomenats punts de no-retorn, o **llindars d'estabilitat** del sistema.

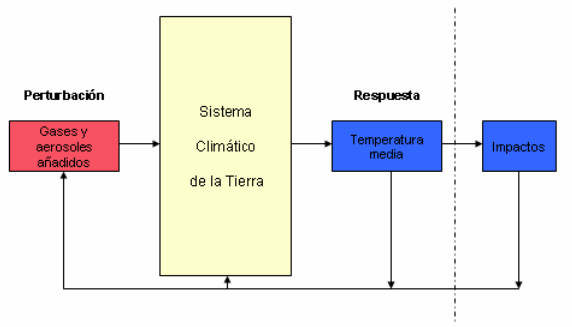


Figura 28: diagrama de causes, conseqüències i retroalimentacions en la cadena de l'escalfament global.

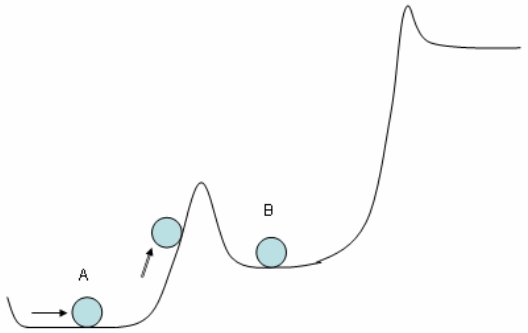


Figura 29: representació estats estables del clima (A i B), i el forçament (fletxa) que causa la transició d'un a l'altre. Font: www.ustednoselocree.com

Veurem quins són els elements que poden fer desbocar l'escalfament global, en quin punt ens trobem ara, què diuen les previsions, i de quina manera podríem evitar les pitjors conseqüències.

LA IMPORTÀNCIA DE L'ÀRTIC

Alguns dels components del sistema climàtic de la Terra canvien el seu estat de manera irreversible arribats a un determinat punt. Aquest canvi d'estat té repercussions sobre la resta de subsistemes (retroalimentacions), fent que el conjunt respongui de manera brusca a petites alteracions addicionals en l'equlibri energètic (Annex 9).

Degut a que l'augment de temperatura a la superfície terrestre té una distribució heterogènia, hi ha zones més sensibles que altres. Sabem que, per raons estructurals, l'escalfament és superior en els pols, i més en l'Àrtic que a l'Antàrtida. També afecta més al Mediterrani que al Pacífic, i dins del Mediterrani més a l'occidental [40].

L'augment de temperatura a l'Àrtic fa que es fongui més gel (fig. 30), i es reflecteixi així menys radiació solar, la qual cosa agreuja l'escalfament. D'aquesta manera la regió del pol nord mostra en les darreres dècades augments de temperatura de 3 a 5 superiors als de latituds mitges [15] [41]. Es calcula que si continua aquesta progressió un increment en la temperatura mitja de 2 graus portaria a augmentar la temperatura polar entre 10 i 15 graus.

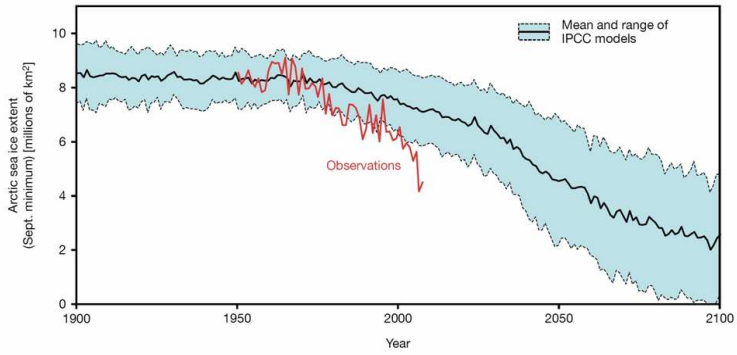


Figura 30 : evolució de la superfície del gel àrtic, prevista (negre) i observada (vermell)

L'escalfament de l'àrtic fa entrar en escena altres processos, de gran envergadura:

- La fusió de la tundra i el permafrost (vegetació congelada fins l'últim període glacial, que ocupa un 16% de la superfície terrestre) podria alliberar una quantitat de carboni equivalent a tot el que conté actualment l'atmosfera [42]. Aquestes emissions ja s'han iniciat, i seran netes els anys 2020. El procés és irreversible [43].
- La inestabilització del fons oceànic degut a l'augment de la seva temperatura afavoreix l'aflorament de grans quantitats de metà que hi ha dipositades (procés molt més lent que el primer).

Permafrost a Spitsbergen, Noruega

Veiem doncs com petits increments en la temperatura mitja terrestre, poden comportar l'emissió de grans quantitats de gasos d'efecte hivernacle en l'extrem nord del planeta, provocant un augment encara major de la temperatura mitja global, el que afavoriria l'incendi de selves tropicals, i altres retroalimentacions positives. Hi ha també fenòmens de retroalimentació negativa, però de menor ifluència, per exemple l'increment de l'efecte reflector de la raciadiació solar per part d'una nuvolositat creixent, o un possible augment de la vegetació al Sahara. També caldrà veure l'efecte dels sistemes biològics, que és força desconegut [44]. No hi ha encara un consens sobre en quin ordre caurien els subsistemes climàtics, i quin seria el darrer punt en que es podria aturar el procés abans d'arribar a un estat inviable per a la humanitat.

OBSERVACIONS I PREDICCIONS

Després de l'últim període glacial i fins arribar a l'era industrial, la concentració de CO_2 es mantenia pràcticament estable, al voltant de 280 ppmv, mantenint la temperatura mitja en 15ºC, amb una petita variabilitat de +/- 0,5ºC, el que constituia la denominada "zona climàtica segura" [45].

En les darreres dècades hem anat augmentant les emissions de CO_2 fins a arribar a una concentració de 387 ppmv. Des dels anys 70 la temperatura ha anat ascendint a un ritme de 0,15-0,20ºC per dècada, i avui ens trobem gairebé 1ºC per sobre de la mitja preindustrial [46]. El desequilibri energètic és d'uns 0,75 W/m2[47], com si cada habitant del planeta tingués permanentment encesa una estufa elèctrica de 1.400 W [48].

Si continuéssim al ritme actual, l'escalfament podria arribar a 2ºC cap a l'any 2050 (fig. 31). Tot i que aquest valor de +2ºC sigui el més citat com a límit per evitar el canvi climàtic perillós, des de fa uns anys es considera clarament excessiu, doncs comportaria impactes seriosos per a la societat i el medi ambient. [49, 50, 51]. Amb un increment de 2ºC, la temperatura mitja del 75% de la superfície terrestre seria igual a les temperatures màximes de finals del segle XX en cada zona respectiva [52]. Ja per sobre de +1 ºC s'esperen problemes en la disponibilitat d'aigua potable, i un augment del risc de canvis d'estat sobtats en pocs anys [53, 54].

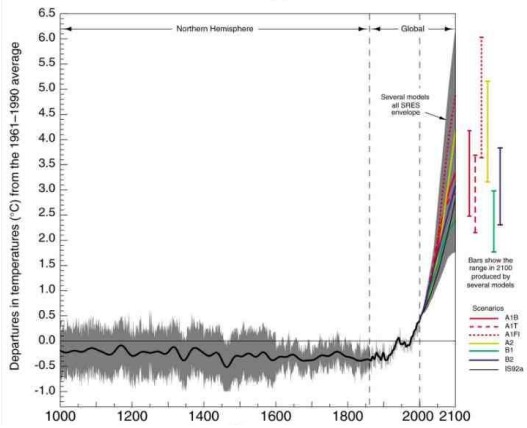


Figura 31: variació de la temperatura de la superfície terrestre fins l'any 2000, i previsions fins el 2100. Font: IPCC 2001

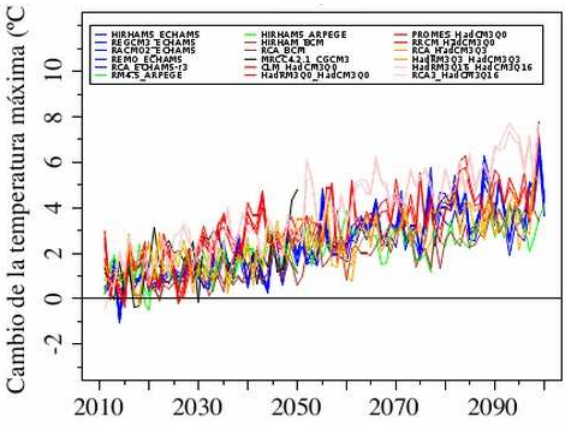


Figura 32: variació prevista en les temperatures màximes a Espanya. Font: AEMET

DE QUIN MARGE DISPOSEM?

James Hansen (climatòleg en cap de la NASA, considerat per molts el número 1 del món) afirmava l'any passat que començant a retallar les emisions avui [16], és possible reduir la concentració de CO2 fins a 350 ppmv (considerat un objectiu de seguretat (55)) cap a l'any 2075 (fig. 33 esquerra), de manera que el clima s'estabilitzaria en el següent nivell d'equilibri, i la Terra mantindria un aspecte semblant al que ha permès el desenvolupament de les civilitzacions. En canvi, si s'espera uns anys més (només 10), encara que es faci el mateix, el temps durant el qual la temperatura superaria un valor crític duraria més de 200 anys (fig. 34 dreta, línea blava), i el sistema climàtic de la Terra, a través de les seves retroalimentacions, ens conduiria inevitablement al desastre: "els joves d'avui i les generacions següents s'enfrontarien a un canvi i a uns impactes climàtics continus que estarien fora del seu control" (56).

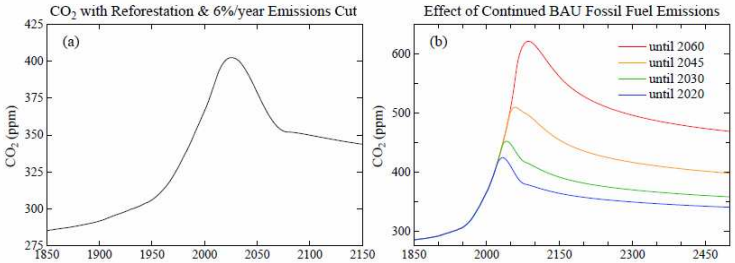


Figura 33: Esquerra: evolució del CO2 atmosfèric si s'aplica una política agressiva des de 2012 [16]. Dreta: evolució del CO2 atmosfèric si les emissions continuen al ritme actual, i es comencen a reduir un 5% anual començant en 2020, 2030, 2045 y 2060. Font: Hansen 2011

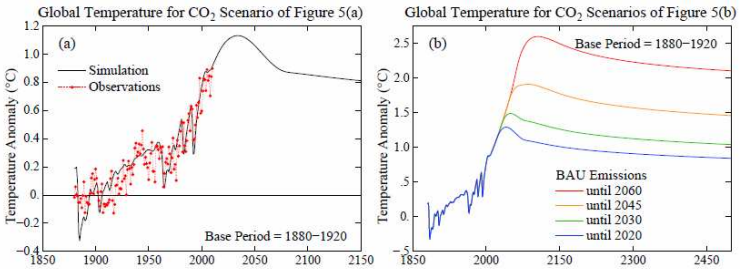


Figura 34: evolució de la temperatura corresponent als escenaris respectius de la fig. 33. Font: Hansen 2011

Reduir les emissions no és una tasca fàcil, i encara menys si s'ha de realitzar d'una manera justa. Ara que entenem que l'escalfament present és el corresponent a les emissions passades, sembla de sentit comú que qui més s'hagi d'esforçar siguin els països que més emissions han sumat fins al dia d'avui, i no els que ara comencen a créixer (fig. 35). És una qüestió que ja sorgia arrel del problema energètic: serem capaços, (fins i tot els conscienciats) de renunciar a la nostra manera de viure perquè altres escapin de la misèria?

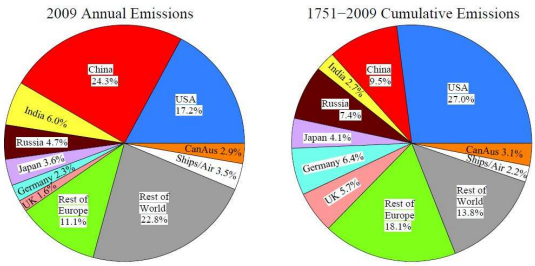
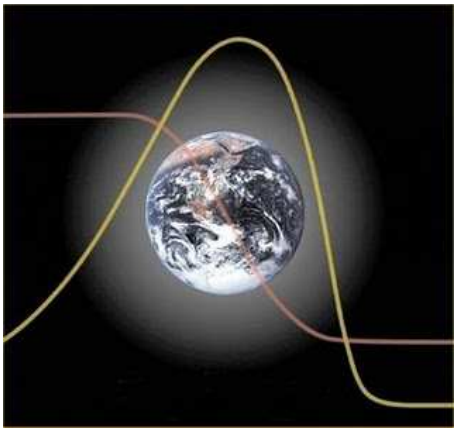


Figura 35: emissions provinents de combustibles fòssils, per països, el 2009 (esquerra) i total acumulat des de 1751 (dreta). Font: Hansen 2010.

Arribats a aquest punt, i tornant a la metàfora del Titànic, podríem dir que tenim per davant un mar ple d'icebergs, i que ja hem patit el primer impacte, però que tot i els danys no hem aturat el motor. Sabem que encara no hem inundat el cinquè compartiment, però tenim una forta sospita de que si no comencem a frenar, aviat serà inevitable una segona col·lisió, potser definitiva.

En la primera part d'aquesta anàlisi hem vist la importància de l'energia, i hem entès com l'arribada del peak oil posa en qüestió la viabilitat de la nostra societat. Arribats al final del capítol sobre el clima, ens adonem que el problema de l'escalfament global va encara més enllà, i la segona pregunta correcta que ens plantegem només pot ser aquesta: *com evitem que els nostres fills hagin de patir un canvi climàtic desbocat?*

CONCLUSIONS



Portada del Llibre *Limits to growth*, revisió 2004, vermell: recursos, groc: producció industrial.

El primer que em va venir al cap quan vaig començar a llegir sobre la teoria del peak oil, i després amb el canvi climàtic, va ser: *com pot ser que no n'haguessis sentit mai a parlar fins ara?*. La resposta no és senzilla. Penso que hi ha diverses raons, i la primera és que quan tot funciona, tendim a obviar per què funciona. El nostre instint ens porta a estalviar-nos esforços o preocupacions innecessàries, ens limitem a solucionar els problemes de la vida diària, i si les circumstàncies ens ho permeten, estalviem una mica de cara al futur. Aquesta actitud s'ha anat reforçant mentre la nostra vida ha resultat raonablement còmoda. És el que ha passat en les darreres dècades, on tot i patir sotracs, sempre hem pogut avançar, sempre hem anat a més. No ens hem qüestionat pràcticament res perquè no n'hi ha hagut necessitat. És aquest l'estat en el que sembla trobar-se la majoria de la població: **desconeixement**.

En segon lloc, si en algun moment se'ns ha platejat alguna d'aquestes qüestions, ja sigui per una notícia, o bé en una conversa amb amics, él més normal és que l'haguem enterrat sota un munt de respostes merament il·lusòries, és a dir, que no provenen d'un pensament racional, sinó emocional. Si ens hi fixem bé, aquesta mena de reaccions que mostrem les persones quan se'ns parla del peak oil o el canvi climàtic s'assemblen molt al procés psicològic del dol [17]. La reacció inicial sol ser la **negació**: pensar que l'adversitat no és real, focalitzar l'atenció sobre qualsevol altra cosa, exigir proves exhaustives i centrar les crítiques cap a detalls que en el fons no canvien el significat general, donar la raó a aquells que diuen allò que un prefereix sentir sense mostrar-los el mateix grau d'exigència, menysprear el portador de la notícia (acusant-lo de catastrofista, ecologista, proteccionista, comunista!), etc. Algunes persones entren en **ira** contra els que consideren culpables de la situació, siguin els rics, els polítics, la humanitat sencera, o ells mateixos. Una altra manera de fugir és la **negociació**: voler creure que les renovables ho solucionaran tot, que la inventiva humana no té límits, o bé que en realitat ja està tot planificat i abans que tot s'ensorri se'ns revelarà la solució (hidrogen, fusió). No obstant, a mesura que aprofundim en el coneixement del problema els arguments previs van caient un darrera l'altre, i un pot acabar estancat en un estat de desesperança invalidant: **depressió**.

La intenció d'aquest treball és no només donar informació, sinó fer que ens adonem que el primer obstacle a superar són les nostres pors i la nostra pròpia inèrcia. Cal arribar a l'**acceptació**: una actitud serena i positiva que ens permeti veure quins son els objectius veritables i quines les solucions factibles.

L'objectiu real no és sostenir el PIB el més amunt possible. El Producte Interior Brut és una abstracció, una xifra, que pretén resumir l'activitat econòmica d'un país, però ens diu ben poc del benestar real dels seus ciutadans [18]: el PIB només compta els productes o serveis finals que generen un fluxe de diners, però no té en consideració activitats purament domèstiques (menjar del propi hort, cuidar dels ancians, educar els fills), ni el voluntariat, ni tan sols té en compte l'expoliació dels recursos o les externalitats. Lluitar per mantenir el PIB ens pot conduir a cremar tot el que tinguem a l'abast, fins que ja no quedi res. L'objectiu real és assegurar les nostres necessitats, i només quan tinguem això ben clar començarem a anar millor.

Així doncs cal d'identificar els pilars dels què depèn una vida digna, i **posar-nos-hi**. Cal preparar-nos per viure amb només una petita part del que consumíem, i és vital que això es faci d'una manera ordenada. Per això no podem esperar, perquè quant més temps continuem seguint aquest camí, menys recursos tindrem per esmorteïr la caiguda (fig. 37).

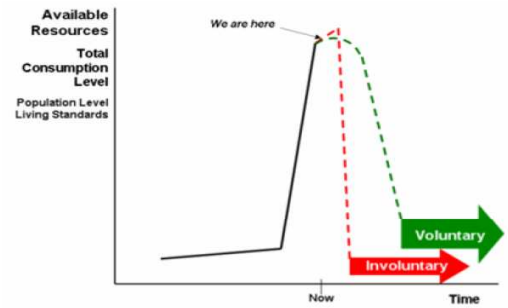


Figura 37: evolució del consum en un entorn limitat, fins el present (negre), continuant al mateix ritme (vermell) i seguint una transició ordenada (verd).

I **com ho fem?** Sens dubte, el primer pas és sempre una transició personal, una anàlisi d'un mateix, d'allò que podem canviar, i d'allò que val la pena preservar. Per exemple, puc reduir el consum innecessari, puc canviar de dieta, o utilitzar mitjans de transport més eficients, però segurament serà insensat canviar ara mateix de feina per marxar al camp i malgastar tota la formació i l'experiència que tenim. Pensar en mantenir la unió familiar probablement sigui una bona idea davant d'un futur on podríem veure'ns privats de feina o de recursos bàsics durant llargues temporades.

El següent pas és intentar assolir objectius col·lectius. Per a això és necessari conscienciar les persones més properes, i de mica en mica buscar i sumar-se a d'altres que ja hagin iniciat la transició. El més factible és començar adaptant l'àmbit local. En molts llocs això ja és una realitat (fig. 38), són els anomenats "transition towns" [57]: comunitats on s'organitza un calendari d'objectius que n'augmentin progressivament l'autosuficiència. No es tracta d'una política proteccionista, sinó de buscar un funcionament social que requereixi menys consum energètic, i malmeti el menys possible l'entorn: agricultura local no intensiva, transport públic urbà i comarcal, energies renovables domèstiques i locals, recollida d'aigües pluvials, construcció mitjançant materials regionals, producció de béns reutilitzables, formació en oficis, manteniment i reciclatge, etc.

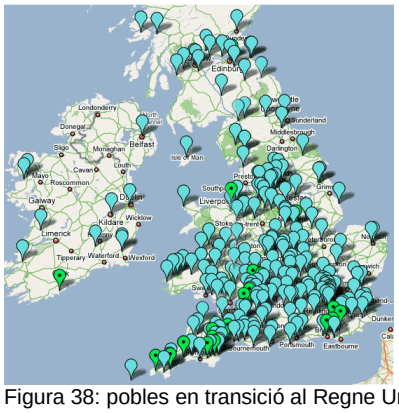


Figura 38: pobles en transició al Regne Unit.

Canvis a nivells superiors, tot i necessaris, semblen avui inviables. Els governs es mostren sovint incapaços de prendre decisions que no generin beneficis dintre de la mateixa legislatura. D'altres vegades aleguen que s'ha de disposar d'una cersesa absoluta abans d'adoptar mesures que poden perjudicar a certs sectors. Això és cert, però prudència no vol dir immobilisme, ni tampoc silenci. És necessari fer que cada vegada més persones coneguin i s'interessin per aquests problemes, i així empènyer les institucions a que tractin el peak oil i el canvi climàtic obertament com el que són: dues amenaces potencialment greus per a la societat en el seu conjunt, amb una probabilitat que ara mateix no és gens despreciable, i davant les quals tenim avui una capaciat de resposta totalment insuficient.

Cal fer les preguntes correctes, exigir respostes, i exigir també que tot es faci en veu alta. I llavors, democràticament, **decidir** com volem viure, i quin món volem deixar als que vindran perquè, encara avui, *"tot està per fer, tot és possible"*.

Per a més informació em podeu escriure a quimnr@gmail.com, o bé al facebook quim nogueras.

ALTRES RECURSOS

-*The Oil Crash.* Antonio Turiel, presentació.
http://www.icm.csic.es/files/oce/almacen/people/turiel/OUTREACH/OilCrash.ppt

-*The Crash Course, en español*. Chris Martenson, vídeo.
http://www.chrismartenson.com/crashcourse/espanol

-*Límites del crecimiento: recursos energéticos y materiales*. Universidad de Valladolid, material del curs.
http://cursolimitescrecimiento.wordpress.com/

-*De la idea a la acción; aprendiendo del movimiento Transition Towns.* Juan del Río, tesina.
http://movimientotransicion.pbworks.com/f/De+la+idea+a+la+acci%C3%B3n;+Aprendiendo+del+Movimiento+Transition+Towns+-+Juan+Del+R%C3%ADo.pdf

-*Escenarios de energía-economia mundiales con modelos e dinámica de sistemas.* Carlos de Castro, tesi.
http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2011/11/Tesis-Carlos-de-Castro.pdf

ANNEXOS

ANNEX 1. PEAK OIL, POLÍTICS I MEMBRES DEL SECTOR ENERGÈTIC

- Març 2005: Steven Chu, Secretari d'Estat d'Energia dels EEUU i premi Nobel de física, essent encara director del Laboratori Lawrence Berkeley va fer una presentació en la que afirmava que la producció mundial de petroli estava probablement prop del seu zènit [(58)].

- 20 de novembre de 2007: Sadad al-Husseini, qui va ser executiu d'Aramco (companyia estatal de petrolis d'Arabia Saudí), creu que aquesta companyia ha exagerat la seva capacitat per incrementar la producció i serà incapaç d'arribar a l'objectiu de 12,5 MB/d, i que s'arribarà a un plateau global en els propers 5 a 10 anys [(59)].

- Febrer 2009: Revisió del Pla de l'Energia de la Generalitat. L'escenari que la Generalitat considera més probable és el d'estar ja en la messeta de producció de petroli prèvia al declivi ("escenari anticipatiu"), sense descartar que en qualsevol moment pugui produir-se el declivi i s'hagi d'actuar més expeditivament ("escenari crític, canvi d'era") [(60)].

- Abril 2009: Glen Sweetnam, responsable d'anàlisis econòmiques en el Departament d'Energia dels EEUU, mostrà en una presentació que el DoE esperava que el peak oil seria el 2011 [(61)].

- Desembre 2009: Jose Gabrielli, director executiu de Petrobras (companyia estatal de petrolis de Brasil), va dir en un congrés que el món arribaria al zènit de producció de petroli, inclosos tots els tipus, durant el 2010 [(62)].

- 8 de gener de 2010: Christophe de Margerie, director ejecutivo de Total, assumeix que la producció mundial de potroli no superarà mai els 89 MB/d, i que en tot cas s'arribarà al zènit en un parell d'anys com a màxim [(63)].

- 6 de febrer de 2010: Sir Richard Branson, propietari del grup Virgin, presenta en societat el segon informe de l'Industry Taskforce on Peak Oil and Energy Security (ITPOES). Alerta que ens encaminem a un "oil crunch" (problemes amb el subministrament de petroli a escala global) abans de 5 anys, i això que la crisi ens ha proporcionat un parell d'anys més [(64)].

- 18 de febrer de 2010: el Comandament Conjunt de l'Exèrcit americà publica el seu informe bianual sobre els riscos per la seguretat nacional, el Joint Operating Environment. En aquest es dedica una importància central al problema del declivi del petroli, i planteja que el 2015 la diferència entre oferta i demanda podria ser d'uns 10 MB/d [(65)].

- 11 de març de 2010: declaracions d'Alfonso Guerra en el Foro de las Ciudades: *"no es coincidencia que las dos guerras en las que está el país más poderoso del mundo tengan que ver con la energía: Afganistán e Irak. El equilibrio entre el consumo y el descubrimiento de reservas de petróleo se ha invertido en las últimas décadas." (...) "en un futuro no muy lejano, que se calcula entre 2015 y 2033, la creciente demanda alcanzará un punto máximo del petróleo. Será un acontecimiento histórico que cambiará el mundo y cuando nuestros hijos lo estudien, nos acusarán de falta de previsión."* (176)

- 22 de març de 2010: el govern britànic organitza una trobada amb la indústria per discutir sobre el risc que el peak oil pugui arribar en els propers anys. A aquesta trobada van ser convidats membres de la xarxa Transition Network (ciutats en transició (57)). Conclusions: la data exacta del peak oil és una qüestió acadèmica, el més important és que és un fet inevitable; hi ha un alt ric de que succeeixi tan aviat com acabi la recessió o en 3-4 anys; els preus inevitablement seran més alts que ara; a curt plaç podrem confiar en el subministrament de gas gràcies a les reserves no convencionals; la intervenció del govern és inevitable; el canvi de comportament és clau, i el govern haurà de transmetre el missatge curosament, comunicant que les coses seran diferents però no pitjors; es necessiten millores en el transport, incloent l'electrificació; la planificació d'usos del sòl ha de tenir això en compte, i arribat el cas s'han d'establir racionaments.
- Aquell mateix dia el diari The Daily Telegraph publica declaracions de Sir David King, ex-científic en cap del govern britànic, on afirma que les reserves mundials estan exagerades en un terç (67).

- Juny 2010: Lloyd's, la major companyia d'assegurances del món, elabora un informe sobre seguretat energètica ("Sustainable Energy Security: Strategic Risks and Opportunities for Bussiness") auspiciat per la Chatham House (institut dedicat a promoure anàlisis independents de qualitat sobre els assumptes més importants en política exterior i interior del Regne Unit, i tot i ser una organització independent treballa en estreta col·laboració amb el parlament britànic): *"la dinàmica del mercat i els factors mediambientals signifiquen que els negocis no podran seguir confiant amb fonts d'energia tradicionals de baix cost" (...) "ens dirigim cap a una disrupció global en el subminsitrament de petroli i un pic de preus"*(68).

- 1 de setembre de 2010: el diari Der Spiegel filtra un informe d'un grup d'estudis militars de l'exèrcit alemany, en el que es realitza el problema del peak oil, es considera probable la seva arribada en els propers anys i preveu un canvi en el sistema de relacions geopolítiques d'Alemania i fins i tot riscos per la democràcia alemana i europea (69).

- 5 de setembre de 2010: Fatih Birol, economista en cap de l'Agència Internacional de l'Energia, declara a BBC Radio Internacional: "encara que assumíssim que durant els propers anys la demanda global de petroli romangués plana, per compensar el declivi dels camps de petroli existents hauríem 45 MB/d [més de la meitat dels que es produeixen avui dia] només per quedar-nos on estem durant 20 anys, el que voldria dir trobar i desenvolupar 4 noves Arabies Saudís (70).

- 9 de novembre de 2010: informe anual de la IEA, World Energy Outlook 2010. Reconeix el peak oil, afirma que el cru va arribar a un màxim de producció el 2006, que els propers 25 anys experimentarà una caiguda d'un 5% anual, que es veurà compensada pels pous en desenvolupament i les troballes previstes (71).

- 21 de Setembre de 2011: Peter Voser, cap de Shell, alerta d'una era de volatilitat en l'energia, i adverteix que farien falta 4 Aràbies Saudís per mantenir el ritme de producció actual en els propers 10 anys (72).

- Novembre 2011: el Dr. Mamdouh Salameh, assessor del Banc Mundial en petroli i energia, declara que hi haurà problemes de subministrament de petroli cap el 2015 i per raons estructurals (73).

ANNEX 2. CONSUM D'ENERGIA A ESPANYA I EL MÓN (gràfiques INE [74])

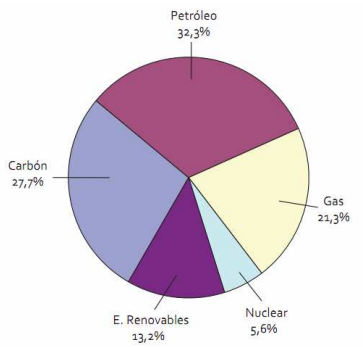


Figura 39: consum mundial d'energia l'any 2010, per fonts. Total 12.716 MTEP. INE, font: Comissió Europea, BP Statistical Review.

Món

Els habitants del planeta vam consumir l'any 2010 una potència mitja de 16 Tw. La font més important és el petroli: un 32% (fig. 40). Després ve el carbó (27%), el gas natural (21%), les renovables (13%) i finalment la nuclear (5%). La producció d'electricitat demandava un 37% d'energia primària a l'entrada i, degut a les pèrdues en la transformació, a la sortida aportava el 10.5% de l'energia consumida.

Es calcula que entre 1950 i 1990 l'home ha consumit el doble d'energia que en tota la història humana anterior; i entre 1940 i 1990, només els estadounidencs han consumit més recursos minerals i combustibles fòssils que tota la resta de pobles del món al llarg de la història prèvia [75].

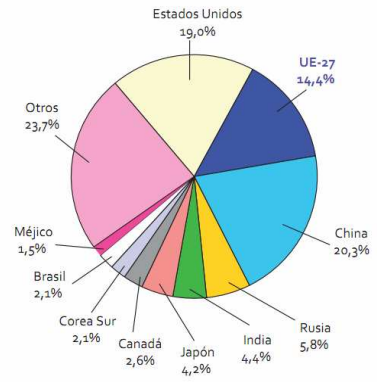


Figura 40: consum mundial d'energia l'any 2010, per països.
INE, font: BP Statistical Review.

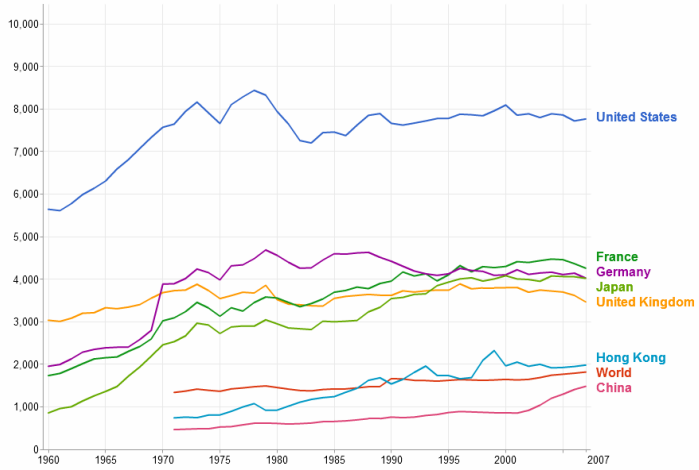


Figura 41: consum d'energia primària per càpita, per països.
Font: Banc Mundial.

Espanya

Espanya consumeix uns 200 Gw de potència mitja, quatre vegades el que produeix, un 47% provinent del petroli (fig. 43). Cada espanyol consumiria uns 4,5 Kw (un atleta en bona forma pot desenvolupar de manera puntual uns 350 vats, de manera que cadascú de nosaltres és com si tingués 12 esclaus permanents). Això representa avui un 45% més que l'any 1980.

Del consum total un 35% va a la indústria, un 45% al transport, i la resta a altres usos (fig. 47). L'energia elèctrica que consumim ocupa només un 21% del total (fig. 44), i prové en un 46% de cremar combustibles fòssils (principalment gas natural, fig. 45), un 32% de les renovables (hidràulica i eòlica), i un 20% de la nuclear. El consum per càpita ha augmentat un 45% des de l'any 1980 al 2010 (fig. 48).

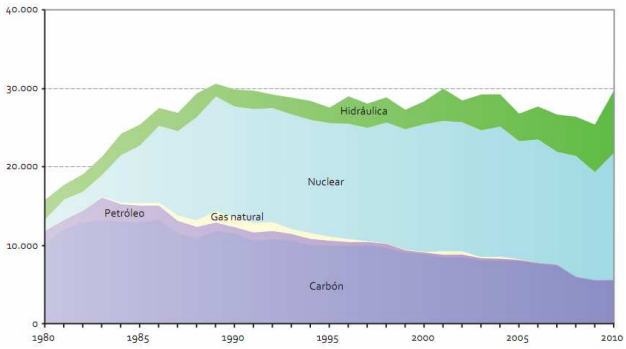


Figura 42: evolució de la producció anual d'energia a Espanya, per fonts (en KTEP). INE, font SEE.

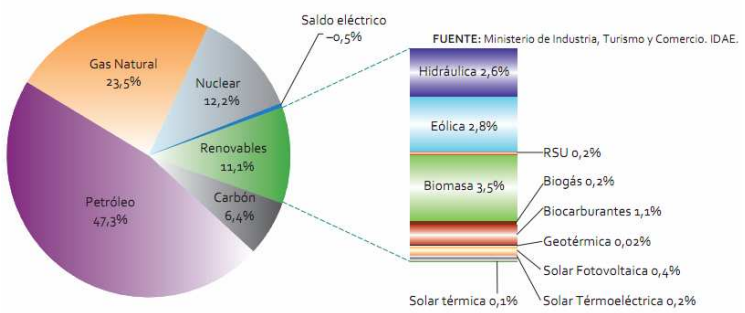


Figura 43: consum d'energia primària a Espanya l'any 2010, per fonts.
INE

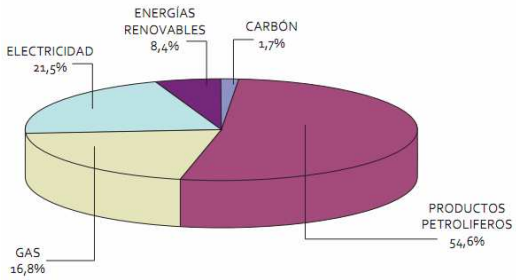


Figura 44: consum d'energia final a Espanya l'any 2010, per tipus.INE.

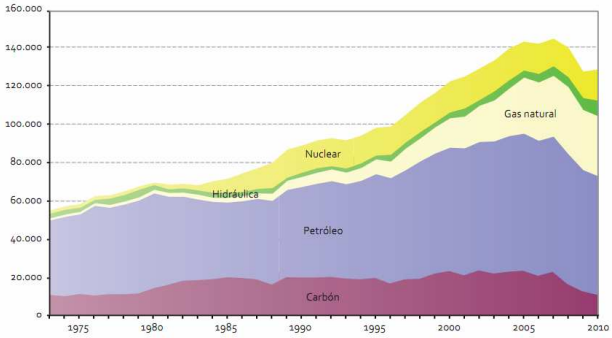


Figura 47: evolució del consum d'energia final a Espanya, per sectors (en %). INE, font: SEE.

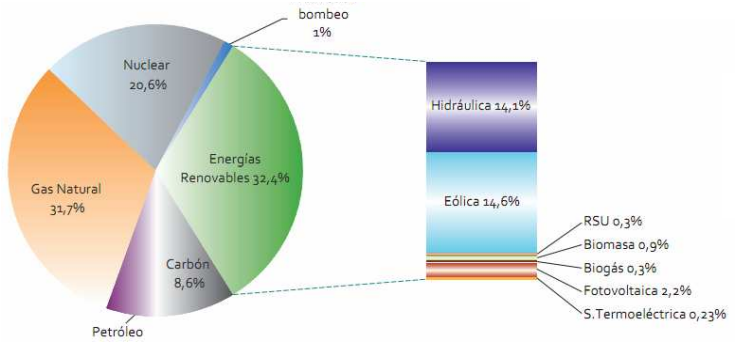


Figura 45: generació d'energia elèctrica a Espanya l'any 2010, per font.
INE, font: Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç

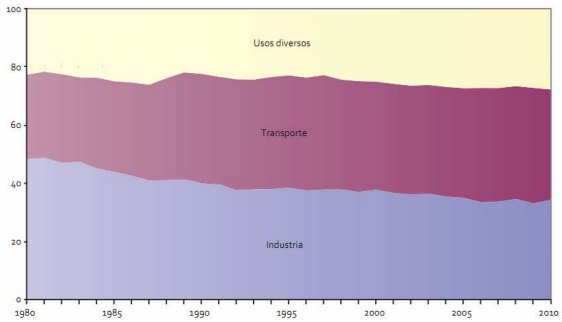


Figura 46: evolució del consum d'energia primària a Espanya (en KTEP), per destí. 1980-2010.
INE, font: SEE

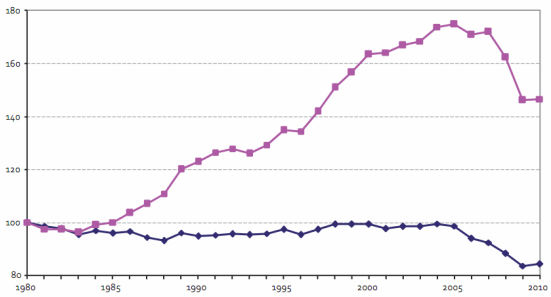


Figura 48: evolució de l'intensitat energètica a Espanya. Energia primària/PIB (blau), Energia primària/habitant (violeta), any 1980=100.
INE, font: SEE

ANNEX 3. LÍQUIDS NO CONVENCIONALS

Petroli d'aigües profundes

L'extracció d'hidrocarburs de fons marins a més de 2000-3000 metres de profunditat comporta diveros inconvenients:

- elevat risc d'accident, d'enormes repercussions ecològiques, tal com com es va comprovar l'abril de 2010 amb l'enfonsament plataforma Deepwater Horizon de BP, al golf de Mèxic.
- TRE reduïda, entre 5:1 i 3:1.
- la producció tendeix a caure més ràpid i donar lloc a menys reserves que les estimades inicialment [76].
- producció actual 7 Mb/d, i el seu màxim s'estima en 12 Mb/d l'any 2025 (fig. 49), difícilment arribarà a representar el 40% del total que es requeriria d'aquí a 10 anys.

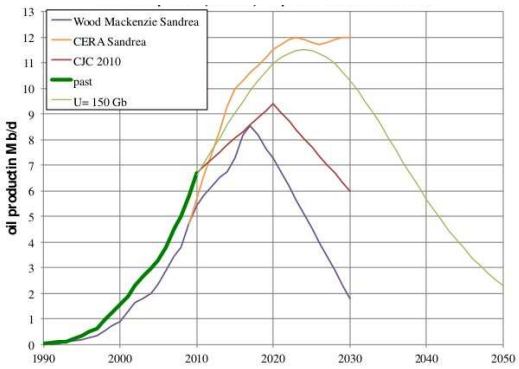


Figura 49: producció de petroli en aigües profundes, actual (verd) i previsions. Font: Jean Laherrere, 2010

Enfonsament de la plataforma Deepwater Horizon, abril de 2010

Sorres asfàltiques i esquistos bituminosos

Sorres asfàltiqes, Alberta, Canada.

En la regió d'Alberta (Canadà) es troben els majors jaciments d'un material format per una barreja de sorra i quitrà, que degudament tractat (calor i aigua) pot convertir-se en petroli sintètic.

- contaminació: per cada 2 tonelades tractades s'obté un barril de petroli, consumint 56 m3 de gas natural i fins a 800 litres d'aigua, que és abocada junt amb residus tòxics en balses gegants.
- TRE 5,2-5,8:1 [77].
- Producció actual 1,5 Mb/dia, hi ha estudis que mostren que mai superarà els 2 Mb/dia.
- Els esquistos bituminosos tenen una TRE de 1,5-2:1, i una producció encara menor [78].

Agrocombustibles

Els mal anomenats "bio"combustibles, provenen del cultiu d'algunes plantes a partir de les quals es pot sintetitzar hidrocarburs. A considerar:

- TRE baixa: en molts casos inferior a 1:1, això vol dir que en la seva elaboració es perd més energia que no s'obté. Això contrasta amb la normativa que obliga a que els carburants comercialitzats a la UE han de contenir un mínim de 5% de biocombustible [79].
- Competència per les terres de cultiu. La quarta part dels cereals cultivats als EEUU es dedica a fins energètics. A nivell mundial aquests líquids representen avui el 3% de tot el petroli consumit, i això s'està aconseguint gastant el 6,5% de la collita mundial de gra i el 8% de la d'oli vegetal [80]. Algunes veus apunten a aquest factor com a origen de la pujada de preus del blat de moro que va coincidir amb revoltes a Mèxic el 2008, i també l'encariment del blat al nord d'àfrica a principis de 2011 amb l'anomenada "primavera àrab" (fig. 50).
- Degradació del sòls per monocultiu

- Pic del fòsfor (fig. 20).
- Limitacions de superfície: per substituir amb agrocombustibles el dèficit de petroli d'aquesta mateixa dècada suposaria ocupar uns 300 milions d'hectàrees (un quadrat de 1700 km de costat) [81].
- Els agrocombustibles podrien tenir sentit, de totes maneres, perquè sense ells l'aviació no seria possible [19].

Figura 50: Índex de la FAO per als preus dels aliments, 1990-2011

ANNEX 4. URANI

- El 2009 es van consumir al món l'equivalent a 66.000 tonelades d'urani natural, del qual 50.000 provinent de mines i 16.000 de reserves secundàries (material emmagatzemat fa dècades).
- Al món hi ha 550.000 tonelades d'urani acumulat, un 90% en reserves militars (principalment EEUU i Rússia). La meitat de l'urani que utilitzen els EEUU ve de Rússia, a raó d'un contracte que obliga als russos fins el 2013.
- S'estima que les reserves civils s'esgotaran en 3-4 anys. Es imposible saber que faran EE.UU. i Rússia amb les seves reserves militars (una part de les quals estan en forma d'armes atòmiques), però és dubtós que les comparteixin.
- El pic d'extracció de l'urani va ser el 1980, després va baixar l'explotació per excés d'oferta. Recentment aquesta ha tornat a augmentar i s'espera un segon màxim entre 2015 i 2035, però sempre un inferior a la demanda actual (fig. 51).
- És poc probable que Rússia renovi el contracte de subministrament a EEUU, i també sembla difícil que ambdós països decideixin compartir les seves reserves amb la resta del món. Per això en 3 o 4 anys pot haver-hi en el món una demanda insatisfeta del 30% de l'urani que es consumeix avui dia. En el millor dels casos l'energia nuclear s'enfronta en els propers anys amb una caiguda de l'activitat d'un 10% [82].

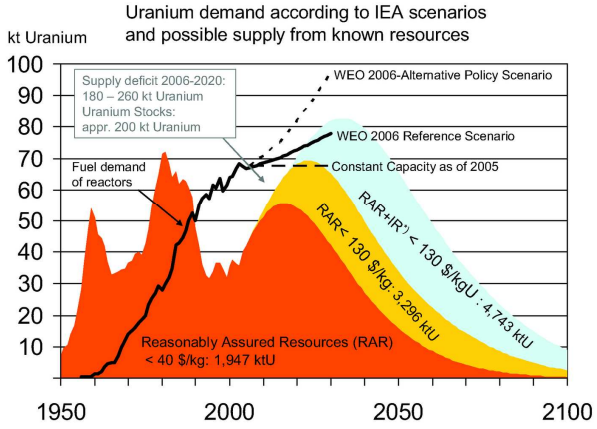


Figura 51: Producció d'urani (taronja) i demanda (negre).

ANNEX 5. ENERGIES RENOVABLES

Usos

Els molins s'utilitzaven antigament per a moldre cereals, picar metalls, bombejar aigua. Les energies renovables s'utilitzen avui majoritàriament per a l'obtenció d'energia elèctrica, però recordem que l'electricitat representa només un 10% de l'energia que consumim els humans. Activitats com el transport aeri, marítim, camions, excavadores, fundicions, etc. depenen dels combustibles fòssils per a ser viables [19].

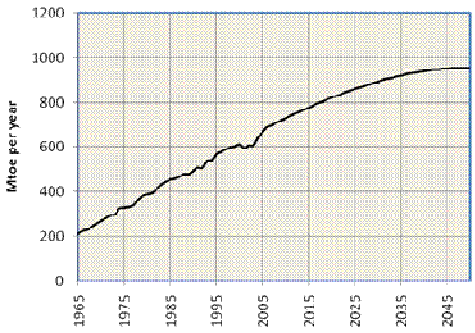


Figura 52: producció global d'energia hidroelèctrica

TRE

L'energia renovable amb millor taxa de retorn és la hidroelèctrica (fins a 200:1). De cara al futur, difícilment en treurem gaire més que un increment del 30% (fig. 52), donat que la majoria d'ubicacions útils ja s'estan explotant. La resta de renovables presenten una TRE menor, des del 20:1 de l'eòlica fins el discretíssim 2:1 de la fotovoltaica [20]. Les energies oceàniques (onatge, marees) tenen també una baixa TRE, i presenten dificultats en el manteniment i la transmissió de l'energia a terra ferma (tempestes, corrosió), per això el seu potencial és molt limitat.

Espai

- Eòlica: Es considera l'energia renovable amb més potencial.
  - S'estima que el màxim que es podria obtenir de l'energia eòlica a nivell mundial és 1 TW de potència mitja, el 6% del que avui consumim (83).
  - A Espanya, ocupant la quarta part del territori amb aerogeneradores podríem cobrir el 23% del nostre consum actual (84) [21].

- Fotovoltaica:
  - Món: es requeririen més de 300 milions d'hectàrees (un 2.5% de la superfície continental, exclosa l'Antàrtida), per produir tanta energia com la que ens proporcionen ara els combustibles fòssils, les infraestructures dels quals ocupen unes 7,5 Mha (85).
  - Per cobrir la potència mitja utilitzada a Espanya amb panells solars hauríem de recobrir un 4% de la superficie del país (2 províncies senceres) (86) [22].

Capital

Cobrir el consum actual d'Espanya amb fotovoltaica suposaria una despesa de 500.000 milions d'euros anuals, la meitat del PIB nacional, l'equivalent a tot el manteniment de l'estat. Això sense comptar despeses en xarxes, emmagatzematge, indústria, costos d'oportunitat, etc. [23]

Materials

Hi ha problemes d'accés a recursos materials no energètics, en especial metalls i terres rares, que també, com les fonts d'energia no renovable, tenen prolemes d'escassesa a curt o mig termini, amb els seus corresponents pics màxims de producció per després davallar en la seva extracció, problema que es pot veure agreujat per una manca d'energia necessària per a la seva explotació, derivada del propi peak-oil. Molts d'aquests materials són essencials per la indústria electrònica i energètica. Alguns autors afirmen que aquest és un dels problemes més greus als que ens enfrontarem (87).

- Coure: la xarxa de distribució elèctrica i les bobines dels generadors estan fetes de coure. No podem utilitzar un altre material, perquè sinó el rendiment cauria dràsticament. Si volguéssim suplir amb renovables tot el consum acctual, necessitaríem la producció íntegra

de coure de 20 anys, però ens trobem a més amb que el el zènit de la producció es calcula per l'any 2015 -2020 [21].

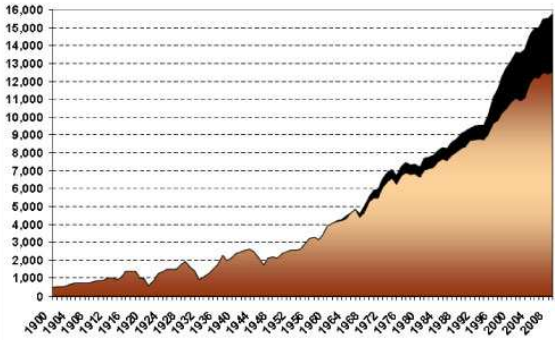


Figura 53: producció mundial de coure. Font: ICSG, adaptat del World Copper Fact Book 2010

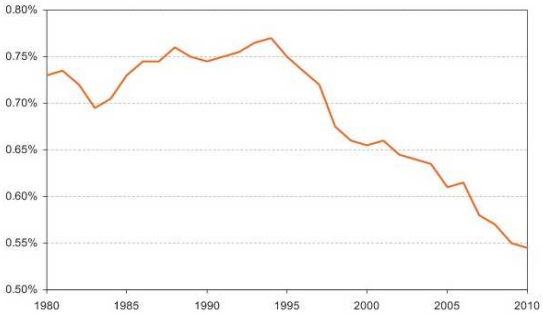


Figura 54: rendiment de les menes de coure. Font: Barclays Capital.

- Terres rares: els aerogeneradors més eficients tenen un iman permanent que conté 50kg de neodimi (escàs), les plaques fotovoltaiques més eficients contenen de silici (abundant) dopat amb teluri i disprosi (escassos). Aquests i d'altres materials escassos formen el que anomenem "terres rares". Aquests minerals es troben en tan baix grau de concentració a la natura, que la seva explotació aïllada no seria rendible, raó per la qual s'obtenen de les restes (ganga) de la mineria d'altres elements més abundants (mena). La Xina acapara el 60% del consum d'aquests materials, i controla el 95% de la producció mundial (fig. 55). Si aquest país compleix les seves previsions d'arribar el 2020 a 330 GW d'eòlica, i ho acompanya amb un increment del parc automobilístic en una proporció semblant, no hi haurà neodimi, terbi, teluri o disprosi més que per la Xina en els propers 10 anys [88]. Occident s'haurà d'enfrontar a la transició energètica amb materials molt menys eficients.

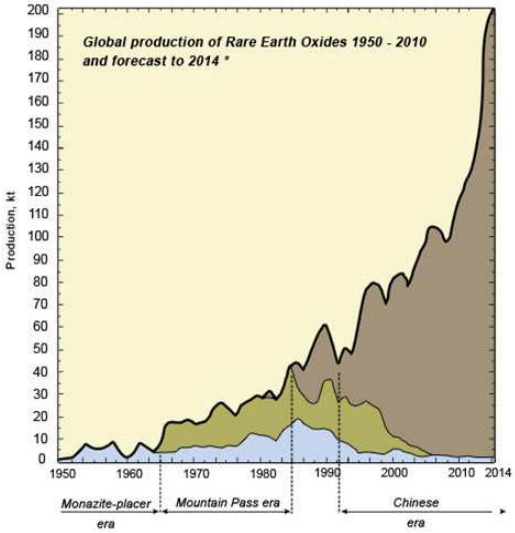


Figura 55: producció mundial de terres rares. Verd: EEUU; marró: Xina; blau: resta del món. Font: Institute for Enery Research, maig 2010

Figura 56: Índex de preus de terres rares (10 metalls). Gener 2002 =100. Font: Kaiser Bottom-Fish.

Emmagatzematge

Per compensar el problema de la intermitència inherent a les fonts renovables, cal disposar de sistemes d'emmagatzematge. Aquest és un dels pilars de la infraestructura energètica futura. Hi ha diverses opcions, però qualsevol d'elles es troba molt lluny en preu i densitat energètica del que ens han proporcionat els combustibles fòssils [89].

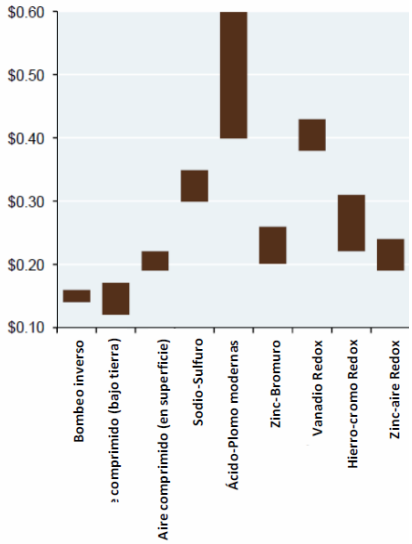


Figura 57: cost de les opcions d'emmagatzematge elèctric, en $/kWh. Font: Frauhofer Institute, EPRI, Electricity Storage Technology Options 2010

A escala domèstica:

Per cobrir el consum elèctric mitjà d'una llar als EEUU (30 kWh al dia) durant 3 dies, necessitaríem 45 litres de gasolina (tot i que el rendiment d'un generador és només del 20%). Emmagatzemar la mateixa energia utilitzant **bateries d'àcid-plom** (les més barates): ocupariem 1,2 m3, un pes de 230 kg, costaria 13.500$, a recanviar cada 5 anys (caiguda de rendiment significativa passats els 500-1000 cicles). Podríem obtenir el mateix utilitzant un **volant d'inèrcia** (disc d'acer rotatori) de 10 m3, 80 tones, a 125m/s, tot i que les pèrdues per fricció limitarien a periode d'emmagatzematge a dies. Altres opcions:

- aire comprimit: equivaldria a un dipòsit de 3,3 m3, 4 tones, a 200 atm. Risc d'explosió.
- pila d'hidrògen: car, alta tecnologia, dificultats tècniques, baix rendiment (20-40%).
- gravitacional (elevar aigua): densitat insuficient, elevar 100 kg 10 metres equival a 1 pila AA [90].

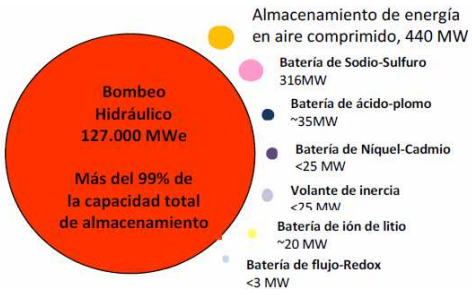


Fig 58: capacitat d'emmagatzematge elèctric mundial, per tipus. Font: Frauhofer Institute, EPRI, Electricity Storage Technology Options 2010

A escala nacional:

Si s'utilitzessin bateries d'àcid-plom, es calcula que els EEUU necessitarien 5.000 milions de tones de plom (17 vegades el plom extret fins 2006, o 62 vegades les reserves mundials conegudes), i el seu preu arribaria a 25 milions de milions de dòlars (més que el seu PIB) [91].

Una de les opcions més adequades a nivell nacional sembla **l'emmagatzematge gravitacional** (fig 57): dipositar aigua en alçada mitjançant bombes elèctriques en períodes excedentaris, i aprofitar aquesta energia mitjançant turbines (com les hidroelèctriques) en períodes deficitaris. Requereix construir dos embassaments propers amb un desnivell adequat entre ambdós. El procés complet té un bon rendiment 60-80%, amb poques pèrdues en el llarg termini (evaporació). Malgrat això difícilment solucionaria el problema: garantir el subministrament actual de 2 TW als EEUU durant 7 dies requeririra 2500 instalacions de 600 MW (ara hi ha 24 hidroelèctriques comparables), la construcció de les quals s'emportaria 19 milions de m3 de formigó, i 250 vegades l'energia que podrien acumular, l'equivalent a 3 anys del consum sencer dels EEUU, més el dipòsit inferior, més l'aigua necessària, i una superfície total de 25.000 km2 [92].

Un món basat en renovables

Tenint en compte totes les potencialitats i els factors limitants, els esforços hauran de dirigir-se cap trobar una combinació de fonts renovables que ofereixi una TRE acceptable, requereixi de materials comuns per a la seva construcció i distribució, i no comporti cap conflicte ambiental, social o geopolític. Un estudi recent [93] en aquest sentit calcula que seria factible una combinació d'energia solar de concentració, eòlica i hidràulica, suplementada per energia de les onades, i potser fotovoltaica, consumint un 60% de les reserves de coure. Això satisfaria el 25% del consum actual mundial, de manera sostinguda si s'optimitzessin els processos de reciclatge, i mentre no es descobrissin noves fonts d'energia o materials. L'article assenyala que per assolir aquest objectiu s'hauria d'aconseguir un nivell de cooperació internacional sense precedents, i de destinar bona part de la indústria a aquest fi, un esforç que equivaldria a una economia de guerra durant uns 30 anys, sense possibilitat de creixement futur.

ANNEX 6. CANVI CLIMÀTIC, CIENTÍFICS I POLÍTICS

- L'efecte hivernacle va ser formulat el 1824 per Joseph Fourier [(94)], John Tyndall l'any 1861 descrivia l'efecte del CO2, metà i vapor d'aigua sobre la temperatura terrestre [(95)], i Svante August Arrhenius el va quantificar el 1896 [(96)].

- 1956: Roger Revelle i Hans Suess publiquen un article a Science on es recorda la influència del CO2 en el clima i, sobretot, es mostra com s'havia detectat que el mar absorbia només una part del CO2 emès en les combustions i descomposicions orgàniques, aproximadament la meitat, i que la resta queda bàsicament en l'atmosfera. Afirmaven: *"els éssers humans estem portant a terme un experiment geofísic de gran escala que pot no haver ocorregut mai en el passat ni ser reproduït en el futur. (...) Aquest experiment, si és correctament documentat, pot proporcionar un coneixement de gran abast sobre els processos que determinen el temps meteorològic i el clima"* [(97)].

- Març 1961: En una declaració i presentació en el senat dels EEUU, Roger Revelle manifestà que un 20% d'increment de la concentració de CO2 atmosfèric, que ell esperava que es produís l'any 2000, comportaria *"canvis considerables"* en el clima.

- Febrer 1965: Lyndon B. Johnson anuncià el fenomen en el congrés dels EEUU: *"afquesta generació ha alterat la composició de l'atmosfera a escala global mitjançant ... un increment sostintgut del CO2 procedent de la crema de combustibles fòssils ... [que poden generar] canvis importants en el clima"* [(98)].

- Març 1975: Gerald Ford informà al congrés sobre informes científics d'alt nivell: *"la National Science Board (consell científic nacional) ha realitzat importants contribucions estudiant curosament diferents reptes als que s'enfronta el nostre país i el món, tals com el creixement de la població, la seguretat alimentària, la demanda d'energia, l'accés a recursos minerals, la modificació del temps meteorològic i el clima, i el canvi mediambiental"* [(99)].

- Febrer 1977: William D. Nordhaus, membre del Council of Economi Advisers durant la presidència de Jimmy Carter, publica un article a la American Economic Review on diu: *"una preocupació constant és el fet de que l'actitvitat econòmica humana pugui arribar a una escala en la que el clima global resulti significativament afectat. (...) Aquest aspecte, en la meva opinió, ha de ser tractat molt seriosament. El resultat seria el descontrol del sistema econòmic-climàtic. El problema és una dis-economia de la magnitud més extrema imaginable, en la que la crema de combustibles fòssils no tingui en compte les conseqüències climàtiques, afectant així, no sols el clima global actual, sinó el dels segles que vénen"* [(100)].

- 1979: James Gustave Speth, assessor científic de Jimmy Carter, li presenta els resultats de l'Informe Charney convocat per la National Academy of Sciences [(101)]. En 2008 declarà: *"jo era el director del Consell de Qualitat Mediambiental de Jimmy Carter, i aquell informe va ser el nostre tercer, i major, informe sobre el repte del canvi climàtic. Qui el llegeixi detingudament veurà que, fa tres dècades, contenia informació suficient com per despertar la major de les preocupacions"*[(102)].

- Juny 1988: Toronto, Conferència Mundial sobre la Cambiant Atmosfera: es repeteix la famosa frase de Revelle i Suess de 1956: *"la humanitat està realitzant un experiment d'abast global"*, tot i que la Conferència el completà amb la següent advertència: *"aquest experiment no és intencionat, no està siguent controlat, i les seves darreres conseqüències només poden situar-se darrera una guerra nuclear"*. Es parlava de *crisi* i es demanava als governs que actuessin amb urgència [(103)].

- 18 de gener de 1996: en un document intern fet públic el 2009 pel New York Times, es pot llegir com els equips tècnics de la Global Climate Coalition (asociació que representa a les principals companyies energètiques, d'automoció, autopistes, metalls, químiques, papereres, etc. dels EEUU) emetien informes als seus responsables en els que es mostraven incapaços de desmentir la ciència ben establerta, mentre posaven en qüestió la seva pròpia línia d'argumentació alternativa (*contrarian*): *"les bases científifques de l'efecte*

hivernacle i el potencial impacte de les emissions humanes de gasos d'efecte hivernacle, com el CO2, en el clima estan ben establertes i no poden ser negades. (...) Les hipòtesis alternatives no expliquen què podria passar si les concentracions atmosfèriques de gasos d'efecte hivernacle continuen augmentant al ritme projectat. (...)Les teories contràries plantegen qüestions interessants sobre la nostra comprensió completa dels processos climàtics, però no ofereixen arguments convincents contra el model convencional del canvi climàtic induït per emissions d'efecte hivernacle" [104].

ANNEX 7. GASOS D'EFECTE HIVERNACLE

- Vapor d'aigua: és el gas *natural* atmosfèric amb major poder hivernacle. Quan la temperatura mitja de la Terra és constant, a nivell global, la concentració de vapor d'aigua també es constant, perquè quan n'hi ha més de la que correspon, plou. Així, el vapor d'aigua contribueix a que la temperatura sigui la que és, però no contribueix a la seva variació. En canvi, quan la temperatura augmenta per efecte dels altres gasos d'efecte hivernacle (la concentració dels quals a l'atmosfera no té un mecanisme de regulació), el contingut de vapor d'aigua que pot contenir l'atmosfera sense que plogui és superior, i això contribueix alhora a augmentar l'efecte hivernacle (el doble que amb el sol efecte del CO_2). Aquest és un mecanisme de retroalimetació positiva, él més important [105]. Per contra, l'augment de núvols secundari a l'increment d'humitat, fa que es reflecteixi més radiació solar, essent aquesta una retroalimentació negativa, però de menor magnitud.

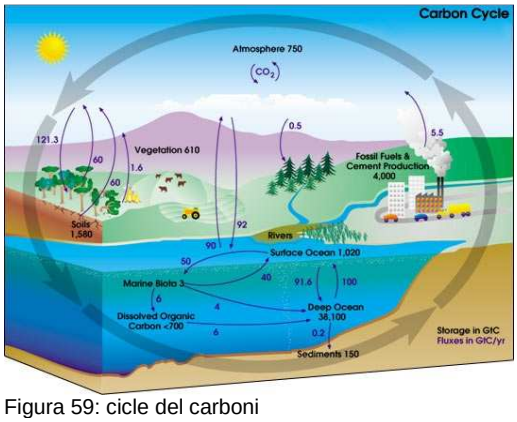


Figura 59: cicle del carboni

CO_2: aquest gas segueix un cicle biològic (és captat per les plantes en la fotosíntesi, i alliberat posteriorment resultat de la respiració d'animals i vegetals) i un cicle biogeoquímic (captació per oceans i dipòsit en forma mineral, alliberament en erupcions volcàniques, fig. 59) de major envergadura però molt lent, de manera que tarda segles o milenis en compensar increments bruscos de la concentració atmosfèrica, com el causat per la crema massiva de combustibles fòssils [106].

- Altres gasos: metà, ozó troposfèric, òxids de nitrogen, CFC, HFC, SF_6, alguns aerosols. Contribueixen en un 25% a l'efecte hivernacle. El SO_2 té l'efecte contrari.

- Metà: és molt menys abundant que el CO_2, però té un *poder hivernacle* 25 vegades superior, i en interacció amb els aerosols arriba a 33 vegades [107, 108]. El metà és el principal component del gas natural, però també se'n forma com a resultat de la digestió i defecació animal, el metabolisme vegetal, etc.

Altres fonts naturals de CO_2 i metà:

- Incendis forestals (CO_2) [109]
- Descomposició de matèria orgànica dels sòls (CO_2 i metà) [110]
- Fusió del permafrost de Canadà i Rússia (CO_2 i metà) [111]
- Dipòsits d'hidrats de metà del fons marí, que emergeix quan la temperatura del mar supera cert valor, en funció de la seva profunditat. S'estima que n'hi ha un bilió de toneladesv [112]
- Aquestes són fonts naturals, però son indirectament antropogèniques, doncs no es produirien si no augmentés primer la temperatura degut a les emisions generades per l'home. Es tracta d'una altra retroalimetació positiva.

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle s'expressen en forma de tones de CO_2 equivalent, ($GtCO_{2eq}$), i la seva concentració en parts per milió de CO_2 equivalent (CO_{2eq} ppmv).

ANNEX 8. CANVI CLIMÀTIC: ANTROPOGÈNIC O VARIABILITAT NATURAL?

Un tema d'aquesta complexitat amb implicacions tan profundes és normal que sigui pres amb prudència i que plantegi una sèrie de dubtes per a la gran majoria de la població. D'altra banda, no és d'estranyar que aquesta teoria sigui desprestigiada per aquells sectors que es veurien amenaçats si s'endurissin les polítiques mediambientals, i pels mitjans de comunicació i governants afins a aquests. Sigui per una raó a l'altra, hi ha qui continua qüestionant si el canvi de temperatura no és més que una fluctuació natural, o si és el CO_2 el causant de escalfament, o bé si és l'home el responsable de l'increment de CO_2. La ciència disposa ja de suficient grau de certesa respecte a aquests aspectes. Vegem-ho:

El clima a la Terra presenta una variabilitat natural, degut a la suma de múltiples factors, com són la posició dels continents, l'activitat volcànica, l'òrbita al voltant del Sol, l'atmosfera, etc. Els cicles de més envergadura els anomenem edats glacials, i es calcula que n'hi ha hagut al menys quatre, la primera d'elles fa uns 2.700 milions d'anys. Dins d'aquests grans cicles trobem fluctuacions de menor amplitud, però prou importants, que coneixem com a períodes glacials i interglacials. El darrer període glacial de la glaciació actual va acabar fa uns 10.000 anys. Des de llavors i fins fa un segle la temperatura s'ha mantingut relativament estable, amb una tendència lenta cap al refredament (fig. 61), la qual cosa ens conduia cap al proper període glacial.

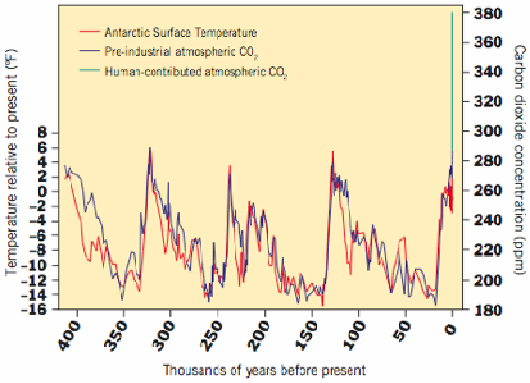


Figura 60: variació de temperatura a l'Antàrtida i CO_2, des de fa 400 milions d'anys fins ara.
Font: IPCC TAR 2001.

Hi ha altres fonts de variabilitat. Les fluctuacions en l'activitat solar produeixen unes variacions d'intensitat de tan sols un 0,1%, per la qual cosa els seus efectes son quasi insignificants [113]. El cicle de la corrent oceànica del Pacífic sud ("El Niño/La Niña") mostra correlació am les temperatures globals a curt plaç, però no pot explicar la tentència més llarga de les darreres dècades [114]. De fet les gràfiques de temperatures ja s'elaboren amb mitges mòbils d'11 anys per eliminar l'efecte d'aquests cicles. L'elevació de temperatura observada en el darrer segle no es correspon amb cap dels cicles de variabilitat natural coneguts (fig 60).

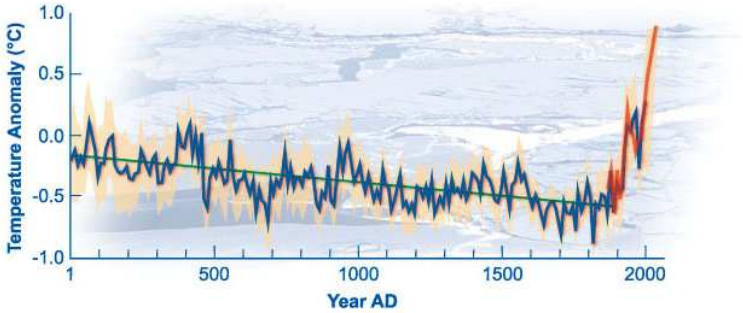


Figura 61: variació temperatura oceà àrtic, (mesures directes en vermell, estimacions en blau) Font: Kaufman et al. 2009

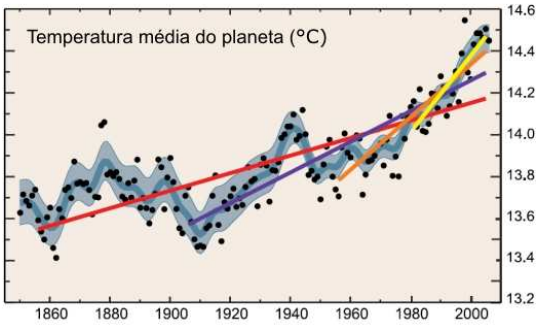


Figura 62: acceleració de l'escalfament global. Font: IPCC-ONU 2007.

Els cicles glacials dels darrers 400.000 anys mostren una forta correlació amb variacions en l'òrbita i inclinació de l'eix de la Terra (fig. 60). L'augment de CO_2 d'èpoques càlides passades s'estima una conseqüència de l'escalfament dels oceans, el que va fer que alliberessin grans quantitats de CO_2, que a la vegada contribuí al desequilibri energètic. El fenomen actual segueix una pauta diferent: és l'augment de carboni atmosfèric la causa inicial de la pertorbació. I aquest augment del CO_2 és degut majoritàriament a la crema de combustibles

fòssils (fig. 63), tal com demostra el carboni-13 (els combustibles fòssils són menys rics en C13 que el CO_2 atmosfèric natural, llavors el quocient C13/C12 atmosfèric disminueix al incrementar-se la proporció de CO_2 que prové dels fòssils, fig. 64) [115].

Hi ha hagut períodes freds (orovídic, fa 500 milions d'anys) on la concentració de CO_2 era molt superior a l'actual, però s'ha de tenir en compte que llavors la intensitat de la radiació solar era molt menor [116]. El període més recent en el que tant la radiació solar com els nivells de CO_2 van ser similars als actuals es va donar fa 15 milions d'anys (miocè mig): llavors la temperatura era uns 2,8-5,5 graus superior, el nivell del mar superava l'actual en 22-36 metres, i no hi havia gel permanent a l'Àrtic, i molt poc a l'Antàrtida i Groenlandia [117].

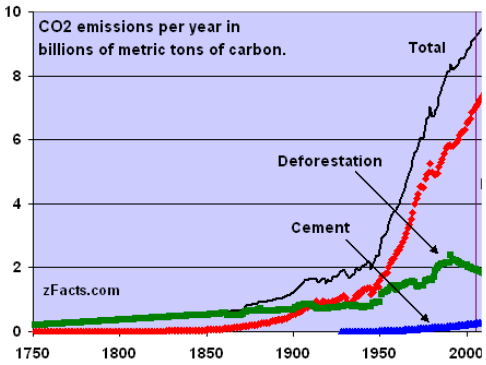


Figura 63: emissions de CO_2 per fonts: combustibles fòssils (vermell). Font: zFacts.com

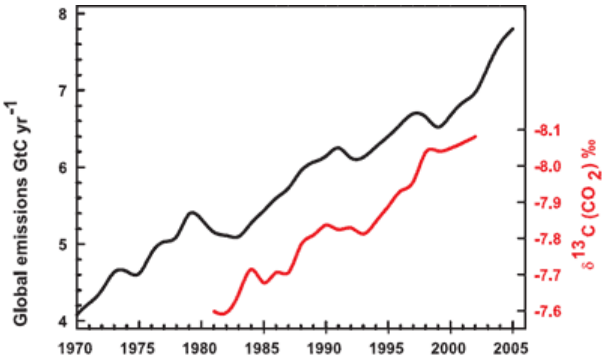


Figura 64: emissions globals de CO_2 procedents de la crema de combustibles fòssils i producció de ciment (negre), i disminució de la relació C13/C12 atmosfèric (vermell).
Font: IPCC 4thAR 2007.

ANNEX 9. PUNTS CLAU EN L'ESCALFAMENT GLOBAL

Sabem que els canvis climàtics com el que està en curs son, en general, sobtats. La manera com els científics estudien els punts de ruptura és mitjançant el que anomenten "tipping points" i "tipping elements" [118].

Tipping points: el moment en el que, després d'un grau d'acumulació gairebé imperceptible, una petita variació adicional provoca una gran diferència en la dinàmica del sistema, de manera que aquest continua canviant a causa de la seva pròpia dinàmica interna, i no per factors externs.

Tipping elements: component o subcomponent del sistema climàtic de la Terra d'escala subcontinental, susceptible de canviar a un altre estat de manera irreversible arribats a un determinat tipping point.

- Fusió de l'Àrtic
- Fusió del gel de Groenlandia
- Estabilitat de la península antàrtica
- Alteració de la circulació termohalina atlàntica (corrent del golf, pot causar refredament local)
- Alteracions en intensitat i/o freqüència de la corrent oceànica 'El Niño' del Pacífic Sud (ENSO)
- Disminució de la pluviositat dels monzons estiuencs de l'Índia
- Augment de la vegetació d'Àfrica Occidental, Sàhara i Sahel (possible efecte "benificiós del canvi climàtic)
- Conversió del 40% de la selva amazònica en sabana
- Reducció de la selva boreal
- L'emissió de metà per part de la tundra i el permafrost de l'Àrtic sud
- Hidrats de metà dels fons marins
- Les aigües profundes de l'Antàrtic, per la seva capacitat d'absorció de carboni
- La pèrdua d'oxigen dels oceans (extinció de la vida marina)
- La capa d'ozó de l'Àrtic
- La capa d'ozó de l'Antàrtida (tipping point ja superat)

NOTES

[1] "D'on venim? Qui som? On anem?"

[2] En anglès EROEI (energy return on energy investment)

[3] Aquí hi ha una imprecisió evident, i és que el fet que la revolució industrial coincidís amb un l'expansió del colonialisme a nivell global, comporta que aquests beneficis s'hagin concentrat a occident, com tractarem després.

[4] En paraules del professor Al Barlett: "El major defecte de la raça humana és la seva incapacitat per entendre la funció exponencial". http://www.albartlett.org/

[5] Llei econòmica que afirma que cada vegada s'obtindrà menys producció adicional a mesura que s'afegeixin quantitats adicionals a un *input* mantenint la resta de factors constants, o dit d'una altra manera, disminuirà el percentatge de beneficis en comparació amb la inversió a mesura que aquesta augmenta.

[6] Després de l'embargament de 1973 va modificar les previsions i va retrassar el pic mundial fins al 2016

[7] Països membres de la OCDE: Austràlia, Bèlgica, Xile, Dinamarca, Alemània, Estònia, Finlàndia, França, Grècia, Irlanda, Islàndia, Israel, Itàlia, Japó, Canadà, Corea, Luxemburg, Mèxic, Nova Zelanda, Països Baixos, Noruega, Àustria, Polònia, Portgal, Suècia, Suïssa, Repúbica Eslovaca, Eslovènia, Espanya, República Xeca, Turquia, Hongria, Regne Unit, EEUU.

[8] El món globalitzat està vivint un traspàs de riquesa d'occident a orient, els nostres països intenten no decréixer endeutant-se amb els emergents, que són més eficients, la qual cosa ha desembocat en l'actual crisi de deute. Si a això li afegim una escassesa energètica que escanya l'economia de manera cada vegada més intensa, la situació es torna delicada. Adaptat de Juan Carlos Barba, www.colectivoburbuja.org

[9] Principi de Liebig: el creixement no és controlat pel conjunt dels recursos disponibles, sinó pel recurs més escàs (factor limitant).

[10] West Texas Intermediate, és el petroli de referència als EEUU, mentre que a Europa és el Brent.

[11] L'any 2006 el 40% de tots els guanys empresarials del EEUU es localitzaven en el sector financer [(10)]. El 2007 més del 80% dels préstecs de bancs als EEUU correspondien a aquest sector. S'estima que aquell any el total d'actius financers mundials va suposar 194 bilions de dòlars, l'equivalent a 3,4 vegades el PIB mundial[(11)]. La major part del terreny financer està dominat per operacions amb derivats, un mercat amb un volum de negoci que el 2009 va superar els 600 bilions de dòlars[(12)].

[12] La taxa d'ectracció efectiva seria igual a la taxa d'extracció real menys la taxa de reposició.

[13] També entraria en aquesta categoria la gestió dels residus nuclears que hauran de pagar les generacions futures sense rebre res a canvi ni poder dir-hi la seva.

[14] Per fusió dels gels continentals (la fusió del gel oceànic no té efecte sobre el nivell del mar) i dilatació de l'aigua per efecte del calor.

[15] Això és degut principalment a que la disminució de la superfície del gel (blanca) en favor de l'oceà (fosc) fa que es reflecteixi menys radiació solar [(119)]. Altres factors:
- les partícules provinents de la combustió de fòssils enfosqueixen el gel i contribueixen a l'efecte anterior
- l'increment d'humitat afavoreix la formació de nuvolositat baixa, que reté escalfor
- el metà desprès per la tundra i el fons oceànic resulta en un augment de l'ozó

[16] La reducció d'emissions proposada per Hansen consistiria en:
- retallar progressivament les emissions a un ritme anual del 6%, començant com abans de 2014, per arribar a una reducció del 90% el 2050.
- retirar 100 Gt de CO2 de l'atmosfera en un plaç de 50 anys, i assenyala el període 2031-2080, mitjançant captura en centrals de biomassa i reforestació (agricultura sense llaura intensiva, ni fertilitzants químics, rec pluvial, etc.)

[17] Model de Kübler-Ross, descrit en el seu llibre *On Death and Dying*, el 1969. Conegut com les cinc etapes del dol (negació, ira, negociació, depressió, acceptació), l'autora l'aplicà aquest model inicialment a les persones que pateixen malalties terminals, i després a qualsevol pèrdua catastròfica (mort d'un ésser estimat, divorci, addiccions, diagnòstic d'inferrtilitat, etc).

[18] El PIB només es correlaciona amb el benestar en els països molt pobres, aquells que viuen amb menys de 4 dòlars per càpita al dia. Un cop cobertes les necessitats bàsiques, el PIB deixa de donar informació sobre el benestar.

[19] La densitat energètica és la quantitat d'energia que ofereix un combustible per cada unitat de volum. Per exemple: una cullerada d'oli proporciona les mateixes calories que una llauna de coca cola, un litre de gasolina sumbinistra l'equivalent a una bateria de liti de 35 L. L'aviació comercial necessita una font d'energia de com a mínim 32 MJ/L.
Densitats energètiques de diferents aliments i combustibles:
- coca cola: 0.39 kcal/ml = 1,6 MJ/L
- mel: 3 kcal/g, 4 kcal/ml = 17 MJ/L

- oli: 9 kcal/g, 8,2 kcal/ml = 35 MJ/L
- bateries d'àcid-plom: 0,28 MJ/L
- bateries de liti: 0,9 MJ/L
- carbó: antracita 30 MJ/kg (36-54 MJ/L), bitúmens 18,8-29,3 MJ/kg, lignit 5,5-14,3 MJ/Kg
- gasolina: 47 MJ/kg, 32 MJ/L

[20] Segons Pedro Prieto i Charles Hall

[21] Actualment s'obté una potència mitja de 1.5 Mw per turbina, rendiment difícilment millorable tenint en compte el problema de les terres rares, i hem de comptar les separacions necessàries i que no podem deforestar o deixar sense terres de cultiu el país.

[22] En el món la insolació mitja és de 160 w/m^2, a Espanya 200-300 w/m^2, el rendiment de les plaques comercialitzades actualment és de 10-15%, encara que es millori fins a un 20%, es podrien aconseguir uns 40-60 w/m^2 (una placa d'un metre quadrat per alimentar una bombeta), que seria pitjor si tenim en compte la intermitència i les separacions entre els panells necessàries per accedir-hi. A la pràctica podríem considerar un un rendiment de 10 w/m2.

[23] Per generar 3000 TWh (el doble del consum actual, per compensar pèrdues per conversió d'electricitat a líquids) amb fotovoltaica necessítariem, amb una producció de 1200 kWh per kW instal·lat, tenir una potència instalada de 2,5 TW. Donat que els costos totals per uns 25 anys són d'uns 5.000 Eur/kW, arribem a 12.500 milions en total, 500.000 milions d'euros l'any, 8.300 milions només en instal·lació. Font: Juan Carlos Barba

REFERÈNCIES

(1) www.crashoil.blogspot.com, Antonio Turiel

(2) www.ustednoselocree.com, Ferran P. Vilar

(3) Jared M. Diamond, Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed. Viking Books. ISBN 1-58663-863-7

(4) Dale Allen Pfeiffer. Eating fossil fuels. 2004. http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/100303_eating_oil.html

(5) Extret de http://www.icm.csic.es/files/oce/almacen/people/turiel/OUTREACH/OilCrash.ppt

(6) http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_del_pico_de_Hubbert

(7) Lee, R. B., 1968. "What Hunters Do for a Living, or How to Make Out on Scarce Resources". En Man the Hunter, R. B. Lee &I. DeVore, eds., p. 30-43, Chicago: Aldine;

(8) Harris, M., 1997. Culture, People, Nature - An Introduction to General Anthropology, Allyn & Bacon; capítol 11: "Energy and Ecosystem"

(9) http://crashoil.blogspot.com/2011/11/rentabilidad-energetica-versus.html

(10) Andreas Zielke, "In der Kulturellen Tiefen der Krise", Suddeutsche Zeitung, 6 de febrer de 2009.

(11) Informe Mapping Global Capital Markets: Fifth Annual Report del McKinsey Global Institute, fet públic en octubre de 2008.

(12) Dades d'Andreu Missé, El País, 16 de septiembre de 2010.

(13) James Hamilton, "Causes and consequences of the Oil Shock of 2007-2008" http://www.brookings.edu/~/media/Files/Programs/ES/BPEA/2009_spring_bpea_papers/2009_spring_bpea_hamilton.pdf

(14) Energy Watch Group, "Natural gas reserves: a false hope" http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2009_SWE_12_Natural_Gas_Seltmann.pdf

(15) http://www.nature.com/nature/journal/v468/n7322/full/468367a.html

(16) http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2S-50338NC-1&_user=108429&_coverDate=08%2F31%2F2010&_rdoc=2&_fmt=high&_orig=browse&_srch=doc-info%28%23toc%235710%232010%23999649991%232163742%23FLA%23display%23Volume%29&_cdi=5710&_sort=d&_docanchor=&_ct=41&_acct=C000059713&_version=1&_urlVersion=0&_userid=108429&md5=789d52395d34e83b4e2b03acd6b5073b

(17) http://hall-research.engr.utk.edu/Welcome_to_Professor_Halls_Research_Group.html

(18) The lean guide to nuclear energy http://www.theleaneconomyconnection.net/nuclear/Nuclear.pdf

(19) http://www.foronuclear.org/images/stories/recursos/informes-prensa/2010/54--Gestion_residuos_radiactivos_Espana_Foro_Nucleardic09.pdf

(20) Jack Lifton, "Lithium batteries, nothing but illusion". http://seekingalpha.com/article/131614-lithium-batteries-nothing-but-illusion

(21) Continously less and less. http://www.wakeupamerika.com/PDFs/Continuously-Less-and-Less.pdf

(22) Informe Dittmar http://europe.theoildrum.com/node/5929

(23) Crítiques al projecte ITER, per Bruno Coppi, profesor del Massachussets Institute of Technology (MIT), dr. Balibar i dr. Holtkamp. http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8103557.stm

(24) PNUD 2006: Human development report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis.

(25) Alexander King/ Bertrand Schneider: La primera revolución global. Informe del Consejo al Club de Roma, Plaza i Janés, Barcelona 1991, p. 73.

(26) Dery and Anderson. Peak Phosphorus. http://www.theoildrum.com/node/2882

(27) Pimentel D. et al. 1999: "Will limits of the earth's resources control human numbers?". Environment, Development and Sustainability, (1): 19-39, 1999

(28) Charleton S. and D. Pimentel, 2010: "Population crash: prospects for famine in the twenty-first century". Environ Dev Sustain (2010) 12:245–262

(29) Gregory N. Mankew. Beneficios del comercio. La ventaja comparativa. Oferta y demanda. Política económica. Tributos. Externalidades. http://html.rincondelvago.com/microeconomia_2.html

(30) El Convenio de Basilea y su contribución al manejo mediambientalmente racional de los resíduos peligrosos. Rodolfo Godínez Rosales, Anuario Americano de Derecho Internacional, Vol. IV, 339-368. http://www.bibliojuridica.org/estrev/pdf/derint/cont/4/cmt/cmt11.pdf

(31) http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/BanAmendment/tabid/1344/Default.aspx

(32) Petroleum, pollution and poverty in the Niger delta. Amnistia Internacional, 2009. https://doc.es.amnesty.org/cgi-bin/ai/BRSCGI/PETROLEUM,%20POLLUTION%20AND%20POVERTY%20IN%20THE%20NIGER%20DELTA?CMD=VEROBJ&MLKOB=27605231818 ; http://www.es.amnesty.org/uploads/media/Delta_del_Niger_01.pdf

(33) La fiebre del coltán. Ramon Lobo. http://blogs.elpais.com/files/elcoltan.pdf

(34) Adaptat de Ferran P. Vilar. http://ustednoselocree.files.wordpress.com/2010/11/la-certeza-matematica-del-5c2ba-camarote-del-titanic-ecologista.pdf

(35) John Turner et al (ed.) (2009) – Antarctic Climate Change and the Environment – Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute – ISBN 978-0-948277-22-1 – 555 pp.

(36) Javier Martín Vide (2008) – La nueva realidad del calentamiento global: Un decálogo del cambio climático – Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales 270:23 – 01/08/2008 – Departamento de Geografía Física, Universidad de Barcelona –http://www.ub.edu/gc/Castella/Javier_Martin_Vide.htm

(37) James Hansen et al (2005) – Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications – Science 308:1431-1435 doi:10.1126/science.1110252 – NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute – 15 authors - Peer-reviewed

(38) James Hansen (2006) – Communicating Dangers and Opportunities in Global Warming – American Geophysical Union, 14/12/2006

(39) Bill Hare (2005) – Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio-economic systems – UK Met Office conference "Avoiding dangerous climate change" – 03/02/2005 – Visiting Scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research –http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/simcap/publications/Hare_submitted_impacts.pdf

(40) James Hansen et al (2011) – Climate Variability and Climate Change: The New Climate Dice – Columbia University – Published online: 10/11/2011 – NASA Goddard Institute for Space Studies + Columbia University Earth Institute –http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2011/20111110_NewClimateDice.pdf– 3 authors

(41) Josefino C. Comiso (2006) – Arctic warming signals from satellite observations – Weather 61:70-76 doi: 10.1256/wea.222.05 – March 2006 – NASA/Goddard Space Flight Center

(42) C. Tarnocai et al (2009) – Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region – Global Biogeochemical Cycles 3:GB2023 doi:10.1029/2008GB003327 – 27/06/2009 – Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada – 6 authors - Peer reviewed

(43) Kevin Shaefer et al (2011) – Amount and timing of permafrost carbon release in response to climate warming – Tellus B doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00527.x – Published online: 15/02/2011 – National Snow and Ice Data Center, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado – 4 authors - Peer reviewed

(44) G.M. Woodwell et al (2002) – Biotic Feedbacks in the Warming of the Earth – Climatic Change 40:495–518 DOI: 10.1023/A:1005345429236 – The Woods Hole Research Center – 6 authors - Peer-reviewed

(45) Ian Dunlop – The Perfect Storm – ALP Fringe Program 31/07/2009 – Independent Governance & Sustainability Advisor –http://cpd.org.au/article/its-time-heed-evidence-climate-change-full-paper

(46) James Hansen et al (2010) – Global Surface Temperature Change – To be submitted to Reviews of Geophysics – NASA Goddard Institute for Space Studies – 4 authors – http://data.giss.nasa.gov/gistemp/paper/gistemp2010_draft0601.pdf

(47) James Hansen et al (2011) – Earth's Energy Imbalance and Implications – Draft paper – 19/04/2011 – NASA Goddard Institute for Space Studies + Columbia University Earth Institute – http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1105/1105.1140.pdf

(48) Sarah G. Purkey and Gregory C. Johnson (2010) – Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets – Journal of Climate 23:6336–6351

(49) Katherine Richardson et al (2009) – Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions – International Scientific Congress Climate Change, Synthesis Report – Australian National University, ETH Zürich, National University of Singapore, Peking University, University of California – Berkeley, University of Cambridge, University of Copenhagen, University of Oxford, The University of Tokyo, Yale University - Peer-reviewed

(50) Katherine Richardson (2009) – International Scientific Congress Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions – Synthesis Report – Copenhaguen, 10-12/03/2009 – http://www.climatecongress.ku.dk - Peer-reviewed

(51) James Hansen et al (2011) – The Case for Young People and Nature: A Path to a Healthy, Natural, Prosperous Future – Columbia University – 04/05/2011 – Columbia University Earth Institute, New York – http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2011/20110505_CaseForYoungPeople.pdf

(52) Bruce T. Anderson (2011) – Near-term increase in frequency of seasonal temperature extremes prior to the 2℃ global warming target – Climatic Change doi:10.1007/s10584-011-0196-4 – Published online: 08/09/2011 – Department of Geography and Environment, Boston University

(53) Jeffrey P. Severinghaus et al (1998) – Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice – Nature 391:141-146 doi:10.1038/34346 – Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island – 5 authors - Peer-reviewed

(54) Bill Hare – The EU, the IPCC and 2 ºC – Talk – Potsdam Institute for Climate Impact Research – 08/10/2008 – Potsdam Insitute for Climate Impact Research

(55) Pushker Kharecha and James Hansen (2008) – Implications of "peak oil" for atmospheric CO2 and climate – Global Biogeochemistry Cycles 22, GB3012 doi:10.1029/2007GB003142 – 17/03/2008 – NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute – http://arxiv.org/pdf/0704.2782

(56) James E. Hansen and Makiko Sato (2011) – Paleoclimate Implications for Human-Made Climate Change – Belgrade Milankovitch Symposium – 19/01/2011 – NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute, New York – http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1105/1105.0968.pdf

(57) http://www.transitionnetwork.org/

(58) http://www.lbl.gov/solar/ipfiles/plenary/chu_Solar_to_Chem_Energy_3-28-05.ppt

(59) http://www.guardian.co.uk/business/2011/feb/08/oil-saudiarabia

(60) La política energètica a Catalunya, horitzó 2030. Joan Esteve i Reyner, Cap d'Àrea de Planificació Energètica, Institut Català d'Energia. Jornada "Estratègiesper a l'EficiènciaEnergètica", Clúster d'EficiènciaEnergèticade Catalunya. Barcelona, febrer de 2009. http://www.energylab.es/fotos/090302131504_uZgz.pdf

(61) http://www.eia.doe.gov/conference/2009/session3/Sweetnam.pdf

(62) http://www2.petrobras.com.br/ri/pdf/usp_01-12-09.pdf

(63) http://www.businessday.co.za/articles/Content.aspx?id=90830

(64) http://peakoiltaskforce.net/wp-content/uploads/2010/02/final-report-uk-itpoes_report_the-oil-crunch_feb20101.pdf

(65) http://www.jfcom.mil/newslink/storyarchive/2010/JOE_2010_o.pdf

(66) http://vesperadenada.org/2010/07/10/alfonso-guerra-sobre-o-teito-do-petroleo/

(67) http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/energy/oilandgas/7500669/Oil-reserves-exaggerated-by-one-third.html

(68) http://www.chathamhouse.org.uk/files/16720_0610_froggatt_lahn.pdf

(69) http://www.crisisenergetica.org/article.php?story=20100903105301631

(70) http://odac-info.org/peak-oil-quotes

(71) http://www.worldenergyoutlook.org/

(72) http://petrole.blog.lemonde.fr/2011/09/24/shell-il-faut-arabies-saoudites-en-plus-dici-a-2020/

(73) http://www.khaleejtimes.com/biz/inside.asp?xfile=%2Fdata%2Fbusiness%2F2011%2FNovember%2Fbusiness_November77.xml

(74) INE. Situación energética en España 2010. http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_Espana_2010_2ed.pdf

(75) Worldwatch Institute, La situació en el món 1991, p. 75.

(76) http://www.fcnp.com/commentary/national/6815-the-peak-oil-crisis-the-real-gulf-crisis.html

(77) http://www.postcarbon.org/new-site-files/Reports/Searching_for_a_Miracle_web10nov09.pdf

(78) Energy Return on Investment (EROI) of Oil Shale. Cutler J. Cleveland and Peter A. O'Connor. Sustainability 2011, 3, 2307-2322;www.mdpi.com/2071-1050/3/11/2307/pdf

(79) http://www.elpais.com/articulo/sociedad/Frenazo/biocarburante/elpepisoc/20100511elpepisoc_1/Tes

(80) http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2011/02/10/AR2011021006323.html

(81) http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/11/the-biofuel-grind/

(82) Anàlisi del Dr. Dittmar sobre Llibres Vermells (informes anuals) de l'Agència Internacional de l'Energia Nuclear

(83) Castro C. et al. 2011: Global wind power potencial: physical and technological limits. Energy Policy. Doi:10.1016/j-enpol.2011.06.027

(84) http://www.crashoil.blogspot.com/2010/09/los-limites-de-las-renovables.html

(85) Smil V., 2008. Energy in nature and society: general energetics of complex systems. The MIT Press. Cambridge. Pp.383.

(86) http://www.crashoil.blogspot.com/2010/09/los-limites-de-las-renovables_21.html

(87) Valero A. y A. Valero. A prediction of the exergy loss of the world's mineral reserves in the 21st century. Energy 2011;36:1848-1854

(88) Jack Lifton, "The green revolution in China". http://www.techmetalsresearch.com/2010/08/the-green-revolution-in-china/

(89) Almacenamiento de energía: desarrollos tecnológicos y costos. Fredy Valdovinos, Roberto Otárola, profesor Hugh Rudnick. Máster en ingeniería de la energía, Universidad Católica de Chile, 2008. http://aeace08rei.files.wordpress.com/2011/05/almacenamiento_energia.pdf

(90) http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/09/got-storage-how-hard-can-it-be/

(91) http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/08/nation-sized-battery/

(92) http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/11/pump-up-the-storage/

(93) A global renewable mix with proven technologies and common materials. Antonio García-Olivaresa, Joaquim Ballabrera-Poy, Emili García-Ladona, Antonio Turiel. Energy Policy, novembre 2011. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511008950

(94) Fourier J (1824). "Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires". Annales de Chimie et de Physique 27: 136–67.

(95) The Bakerian Lecture: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction. Tyndall, J Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1776-1886). 1861-01-01. 151:1–36

(96) Svante Arrhenius (1896) – On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature on the Ground – Philosophical Magazine and Journal of Science – Abril 1896

(97) Roger Revelle and Hans Suess (1956) – Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO2 During the Past Decades – Tellus 9:18-27, 1957 – Peer-reviewed

(98) Naomi Oreskes – The Long Consensus on Climate Change – The Washington Post 01/02/2007 – http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/01/31/AR2007013101808.html

(99) Gerald Ford (1975) – Message to the Congress Transmitting Annual Report of the National Science Board – 21/03/1975 –http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=4795

(100) William D. Nordhaus (1977) – Economic growth and climate: The Carbon Dioxide Problem – The American Economic Review 67:341-346 – February 1977 – Peer-Reviewed

(101) James Gustave Speth (2008) – George M. Woodwell, Gordon J. MacDonald, Roger Revelle and C. David Keeling (1979) – The Carbon Dioxide Problem: Implications for Policy in the Management of Energy and Other Resources. A Report to the Council on Environmental Quality – July 1979 – Reprinted with a foreword by James Gustave Speth on the occasion of George Masters Woodwell's 80th Birthday Symposium, Woods Hole Research Center – 24/10/2008

(102) Dean James Gustave Speth – Time for Civic Unreasonableness – Environment Yale – The Journal of The School Of Forestry & Environmental Studies – Spring 2008

(103) World Conference of the Changing Atmosphere: Implications for Global Security – Toronto, Canadá, 27-30/06/1988. "The Conference called upon governments, the United Nations and its specialized agencies, industry, education institutions, non-governmental organizations and individuals to take specific actions to reduce the impending crisis caused by pollution of the atmosphere … The Conference called upon governments to work with urgency…"

(104) http://www.nytimes.com/2009/04/24/science/earth/24deny.html ; http://documents.nytimes.com/global-climate-coalition-aiam-climate-change-primer#p=1

(105) Andrew E. Dessler and Steven C. Sherwood (2009) – A Matter of Humidity – Science 323:1020-1021 doi:10.1126/science.1171264 – 20/02/2009 – Texas A&M University; Climate Change Research Centre, University of New South Wales, Sydney - Peer-reviewed

(106) David Archer (2005) – The fate of fossil fuel CO_2 in geologic time – Journal of Geophysical Research 110 C09S05 doi:10.1029/2004JC002625 – Department of the Geophysical Sciences, University of Chicago - Peer-reviewed

(107) James Hansen et al (2005) – Efficacy of climate forcings – Journal of Geophysical Research 110: D18104 doi:10.1029/2005JD005776 – 28/09/2005 – 45 authors – NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute - Peer-reviewed

(108) Katharine Sanderson (2009) – Aerosols make methane more potent – Nature News doi:10.1038/news.2009.1049 – 29/10/2009 – http://www.nature.com/news/2009/091029/full/news.2009.1049.html

(109) A.L. Westerling et al (2006) – Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity – Science 313:940-943 doi:10.1126/science.1128 – Scripps Institution of Oceanography, La Jolla – 4 authors - Peer-reviewed

(110) Ben Bond-Lamberty and Allison Thomson (2010) – Temperature-associated increases in the global soil respiration record – Nature 464:579-582 doi:10.1038/nature08930 – 25/03/2010 – Pacific Northwest National Laboratory, Joint Global Change Research Institute at the University of Maryland - Peer-reviewed

(111) F.S. Chapin III et al (2005) – Role of Land-Surface Changes in Arctic Summer Warming – Science 310:657-660 doi:10.1126/science.1117368 – 22/09/2005 – Institute of Arctic Biology; University of Alaska Fairbanks – 21 authors - Peer-reviewed

(112) David Archer et al (2009) – Ocean methane hydrates as a slow tipping point in the global carbon cycle – Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS Early Edition doi:10.1073/pnas.0800885105 – 09/09/2008 – Department of Geophysical Sciences, University of Chicago - Peer-reviewed

(113) Willson, Richard C.; H.S. Hudson (1991). "The Sun's luminosity over a complete solar cycle". Nature 351 (6321): 42–4. Bibcode 1991Natur.351...42W. doi:10.1038/351042a0

(114) S. Levitus et al (2009) – Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems – Geophysical Research Letters 36, L07608, doi:10.1029/2008GL037155 – 11/04/2009 – National Oceanographic Data Center – 6 authors –http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2008GL037155.shtml

(115) Prosenjit Ghosh and Willi A. Brand (2003) – Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research – International Journal of Mass Spectrometry 228:1–33 – 20/05/2003 – http://www.bgc.mpg.de/service/iso_gas_lab/publications/PG_WB_IJMS.pdf

(116) Dana L. Royer (2006) – CO2-forced climate thresholds during the Phanerozoic – Geochimica et Cosmochimica Acta 70:5665–5675 – Department of Earth and Environmental Sciences, Wesleyan University – http://droyer.web.wesleyan.edu/PhanCO2(GCA).pdf– 'Peer-reviewed'

(117) Wolfram M. Kürschner, Zlatko Kvacek and David L. Dilche. PNAS 2008. The impact of Miocene atmospheric carbon dioxide fluctuations on climate and the evolutionof terrestrial ecosystems.

(118) Tipping elements in the Earth's climate system. Lenton et al., PNAS 2007. Peer-reviewed ; http://www.pnas.org/content/105/6/1786.full

(119) James A. Screen and Ian Simmonds (2010) – The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification – Nature 464:1334-1337 doi:10.1038/nature09051 – School of Earth Sciences, University of Melbourne – 29/04/2010