

**DCIDOB 98.**  
**Canvi climàtic, camí al 2012.**

# PODEM CONTROLAR EL CANVI CLIMÀTIC?

## HI HA UNA EMISSIÓ SOSTENIBLE DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE?

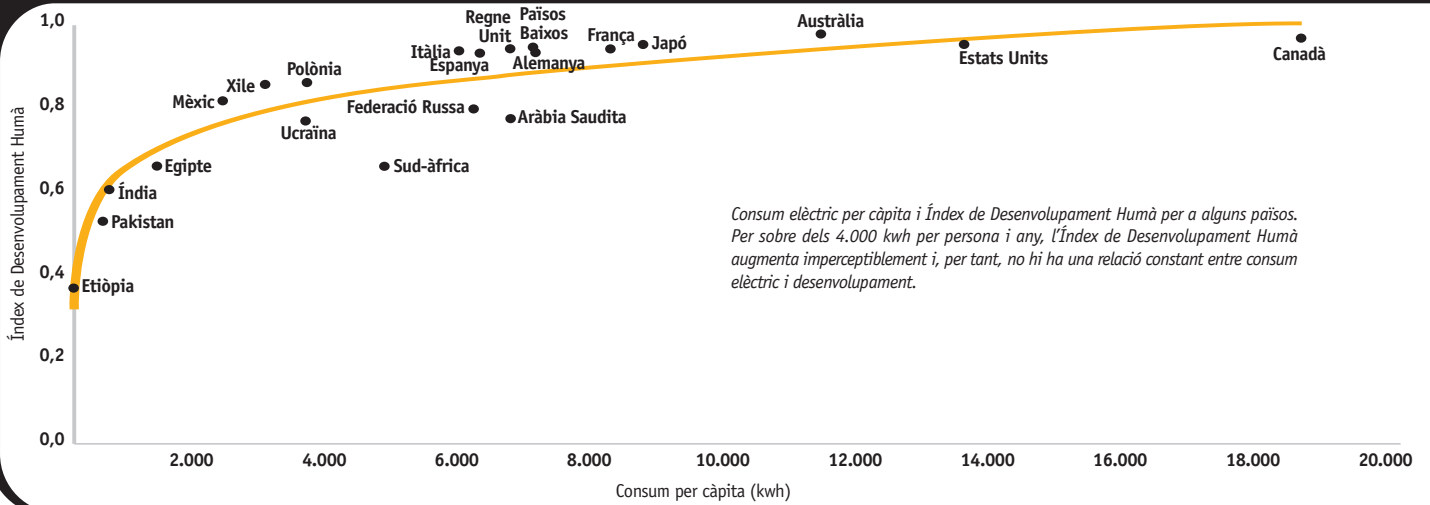
Josep Enric Llebot Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona

**Arrhenius i Putin** ▶ Quan fa gairebé tres anys, durant la tardor de 2003, el president rus Vladímir Putin esgrimia públicament un aparent poc interès per ratificar el Protocol de Kyoto a causa dels hipotètics beneficis que el canvi climàtic comportaria per a la Federació Russa, adoptava la postura d'un negociador que per aconseguir les millors contrapartides, en aquell cas per part de la UE, mostra desinterès i recels per allò que els altres volen. Finalment, la Federació Russa va ratificar el Protocol de Kyoto, però els arguments esgrimits pel president de la Federació Russa repetien allò que fa 110 anys Svante Arrhenius, el químic físic i premi Nobel de química, ja havia escrit quan cercava en una causa interna al sistema climàtic la causa de l'avanç i el retrocés de les glaceres. Arrhenius va calcular que si es doblava la quantitat de diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ), l'atmosfera s'escalfaria uns cinc graus i això produiria condicions climàtiques menys severes als països nòrdics i faria que les collites de cereals augmentessin, amb la qual cosa s'incrementaria la producció d'aliments, tan necessària per a l'Europa de començament del segle XX. Avui els previsible efectes beneficiosos d'un clima menys rigorós a les latituds boreals no es limiten estrictament, com deia Putin, a gastar menys en calefacció i roba d'abric. Avaluacions recents fetes sobre l'evolució de la superfície de gel a l'Àrtic, preveuen que en els escenaris d'emissions més plausibles es pugui obrir la crosta de gel, permetent una via navegable, almenys durant els mesos d'estiu. Països al voltant de l'Àrtic, com Dinamarca, Noruega, Canadà, la Federació Russa i els Estats Units es posicionen davant d'un esdevenidor ambiental del mar Àrtic més favorable a l'activitat econòmica. L'accés des de ports del nord d'Europa als del continent americà reduiria molt el camí de les mercaderies i produiria en aquests ports el floriment d'activitats econòmiques i comercials que ara no són rendibles. Un altre punt més controvertit és l'explotació d'alguns dels recursos naturals que es creu que hi ha a la zona, alguns dels quals podrien produir conflictes territorials. Aquesta dimensió favorable, a escala local, dels canvis associats a l'escalfament de l'atmosfera d'origen antròpic posa de relleu la complexitat del fenomen del canvi climàtic si s'analitza exclusivament pensant en els impactes. L'evidència que el fenomen no serà igual arreu, així com tampoc ho seran les seves conseqüències, el que es coneix com els impactes, faria plantejar la qüestió sobre una insegura base d'establir el balanç si ens afavoreix o ens perjudica. L'anàlisi global de la qüestió de l'escalfament de l'atmosfera s'ha de situar en la perspectiva de l'ús genèric que es faci d'un recurs, l'aire, el qual fins fa poc només s'ha gestionat des de la perspectiva local de la qualitat de l'aire però que l'ocurrència de problemes com la davallada de l'ozó atmosfèric o l'escalfament de l'atmosfera mostra que ara convé canviar.

**El  $\text{CO}_2$  i l'energia** ▶ La principal causa de l'augment dels gasos amb efecte d'hivernacle, especialment de  $\text{CO}_2$ , a l'atmosfera és la utilització dels combustibles fòssils, i això explica l'interès que té l'ús de fonts energètiques no fòssils per reduir el continu creixement de la concentració atmosfèrica d'aquest gas, ja que el  $\text{CO}_2$  és un gas amb una molècula químicament força inerta la qual cosa comporta que tingui un temps de residència a l'atmosfera bastant gran. Fins al segle XIX no hi havia cap altre mitjà de locomoció terrestre més ràpid que el galop del cavall o el vaixell de rem o de vela. Els exèrcits de Napoleó no avançaven gaire més ràpidament que les legions de Cèsar, ni les corbetes de Nelson corrien més que les naus dels fenicis que varen solcar la Mediterrània amb tanta assiduitat. Físicament, els països estaven tan allunyats en l'espai i en el temps a finals del segle XVIII com al segle II abans de Crist. No és fins al segle XIX que canvia de manera fonamental la velocitat terrestre i la comunicació entre els pobles. Gràcies al ferrocarril, el vaixell de vapor i la telegrafia els temps per veure's i comunicar-se es redueixen substancialment. Aquests progressos, que caracteritzen el que es coneix com a revolució industrial o, segons altres, l'era de l'energia, estan fonamentats en fonts energètiques concentrades, com el carbó, el petroli' o, més modernament, el gas natural; totes aquestes fonts d'energia són combustibles fòssils que encapsulen milions d'anys de l'energia del sòl en restes de plantes i



Figura 1. Desenvolupament vs consum elèctric per càpita (2002)



► Elaboració pròpia. PNUD, 2005

organismes vius, que quan van morir es van descompondre i varen quedar enterrats en capes de roques, sorra i fang, i a poc a poc, formaren els reservoris de combustibles fòssils dipositats a l'escorça terrestre. Des d'aleshores suposen la font barata i, fins ara, abundant, de combustibles fonamentals per al transport i per a la generació d'electricitat.

Amb petits canvis, l'arquitectura de la generació d'energia elèctrica de la societat del segle XXI és la mateixa que la que es va desenvolupar durant la primera meitat del segle XX. Es genera l'energia en instal·lacions grans que produeixen gran quantitat d'energia elèctrica que després es reparteix cap als centres de consum. La xarxa de distribució d'energia pel territori cada vegada s'ha d'expandir més, amb els problemes de gestió i d'implantació que això suposa. Durant la segona meitat del segle XX s'hi ha afegit l'energia d'origen nuclear i, en una fracció molt més petita, les energies renovables, les més importants de les quals en magnitud són l'eòlica, la hidroelèctrica i la fotovoltaica, però substancialment l'energia procedent dels combustibles fòssils encara serà, durant força anys, el pilar sobre el qual s'aguantarà l'estructura de la societat moderna.

Actualment els combustibles fòssils proporcionen al voltant del 80% de l'energia que es consumeix arreu del món. Es calcula que les necessitats energètiques del món l'any 2020 seran de l'ordre de 600 quads<sup>2</sup> enfront dels aproximadament 400 quads de consum l'any 2005. Les emissions de CO<sub>2</sub> que correspondran a aquest augment de les necessitats energètiques seran també proporcionals i trobar la font alternativa que proporcioni aquesta quantitat d'energia serà una tasca molt difícil. El transport és i serà el primer motor de l'augment de l'ús del petroli mentre que l'augment del consum de gas natural serà a causa de la generació d'energia elèctrica i dels requeriments industrials. A banda que es pot intentar gestionar aquest augment de forma que sigui menor a partir d'estratègies d'estalvi i a partir de l'ús de noves tecnologies, si el creixement de les necessitats de petroli no comporta un canvi en les fonts de proveïment hi haurà un doble col·lapse: ambiental, fruit de les emissions, i d'a-

bastament ja que les reserves i la capacitat de producció dels països productors de petroli són limitades.

Sovint s'utilitza el consum d'energia per càpita com un indicador del grau de desenvolupament d'una societat (figura 1). Naturalment, aquest indicador no té el mateix valor arreu. Si es classifica per països es veu que depèn en gran part del seu grau de desenvolupament, modulats, naturalment, per la ubicació geogràfica. Per mesurar el grau de desenvolupament d'un país, les Nacions Unides utilitzen l'Índex de Desenvolupament Humà (IDH)<sup>3</sup>. En utilitzar aquest índex i relacionar-lo amb el consum d'energia per càpita, es veu (Benka, 2002) que hi ha una relació entre el consum d'electricitat per càpita i l'Índex de Desenvolupament Humà, de manera que com major és el consum d'energia per càpita més alt és l'índex i, per tant, més desenvolupat es troba el país.

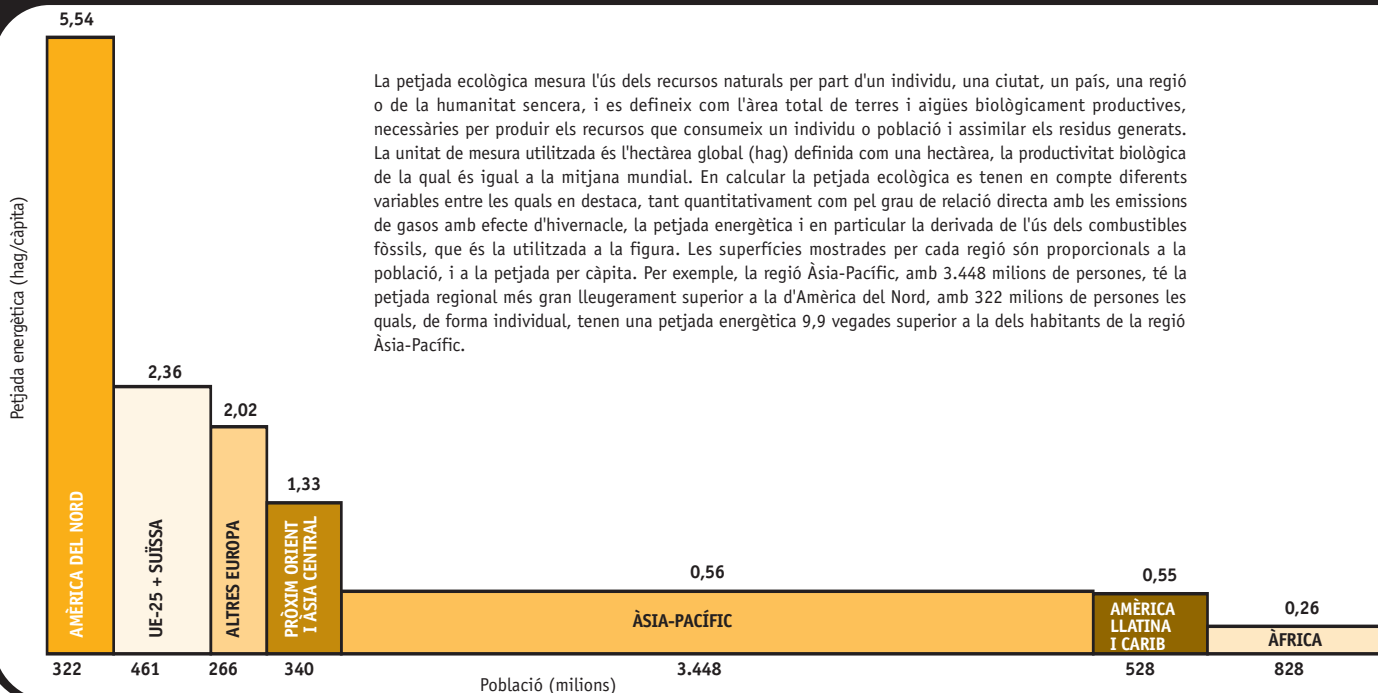
Però aquesta relació no és lineal. A mesura que l'IDH d'un país és 0,9 o superior, un major consum d'energia no significa que s'assoleixin millors condicions de vida. Sembla, doncs, que a partir d'un determinat grau de consum elèctric, que es pot situar al voltant dels 4.000 kwh anuals per persona, si se supera aquest valor no s'aconsegueix un grau de desenvolupament major. Així, es posa de relleu que en els països desenvolupats té sentit pensar polítiques d'estalvi del consum energètic i que aquestes polítiques no comporten necessàriament una disminució del grau de confort i de desenvolupament de la població del país.

**Hi ha un límit acceptable per a les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera? O hi ha una concentració sostenible de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera?** ►

La resposta a aquestes dues preguntes consisteix en saber si hi ha una concentració llindar de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, per sobre de la qual es produeixen canvis catastròfics en el funcionament de la Terra, i per sota de la qual els canvis són molt assumibles tant per a la biosfera com per a la societat. La pregunta es pot reformular interrogant-nos si es coneixen prou

## PODEM CONTROLAR EL CANVI CLIMÀTIC?

Petjada energètica a partir de combustibles fòssils (2002)



La petjada ecològica mesura l'ús dels recursos naturals per part d'un individu, una ciutat, un país, una regió o de la humanitat sencera, i es defineix com l'àrea total de terres i aigües biològicament productives, necessàries per produir els recursos que consumeix un individu o població i assimilar els residus generats. La unitat de mesura utilitzada és l'hectàrea global (hag) definida com una hectàrea, la productivitat biològica de la qual és igual a la mitjana mundial. En calcular la petjada ecològica es tenen en compte diferents variables entre les quals en destaca, tant quantitativament com pel grau de relació directa amb les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, la petjada energètica i en particular la derivada de l'ús dels combustibles fòssils, que és la utilitzada a la figura. Les superfícies mostrades per cada regió són proporcionals a la població, i a la petjada per càpita. Per exemple, la regió Àsia-Pacífic, amb 3.448 milions de persones, té la petjada regional més gran lleugerament superior a la d'Amèrica del Nord, amb 322 milions de persones les quals, de forma individual, tenen una petjada energètica 9,9 vegades superior a la dels habitants de la regió Àsia-Pacífic.

► Elaboració pròpia. Font: Global Footprint Network

bé les conseqüències de l'escalfament a causa de l'augment dels gasos amb efecte d'hivernacle, de tal manera que la comunitat científica sigui capaç de definir una concentració acceptable basant-se en anàlisis de riscos potencials i de danys.

Una forma de contestar aquestes qüestions és observar què ha succeït en el passat. La paleoclimatologia ens aporta dades respecte de la variació del CO<sub>2</sub> atmosfèric durant èpoques passades en la història geològica de la Terra. Fa uns cinquanta milions d'anys hi havia entre tres i nou vegades més diòxid de carboni a l'atmosfera i sembla que feia molta més calor que ara. Sembla que hi havia vida abundant al Cercle Polar o que la temperatura de les aigües profundes del mar era gran. També s'han trobat períodes amb variacions sobtades en milers d'anys del diòxid de carboni atmosfèric relacionades també amb canvis en la temperatura. D'aquestes oscil·lacions n'hi ha algunes en les quals els períodes càlids excedeixen en magnitud les projeccions més radicals dels models climàtics. Aquests canvis estan associats, de vegades, amb extincions o amb redistribucions d'espècies, en cap cas amb una desaparició total de la biosfera.

L'evolució del clima del futur dependrà de la naturalesa del forçament climàtic, és a dir, del contingut en gasos amb efecte d'hivernacle i de la sensibilitat del sistema climàtic. Per tant, determinar una concentració sostenible dels gasos amb efecte d'hivernacle depèn de la capacitat de determinar la sensibilitat del sistema climàtic així com del coneixement exacte dels factors de forçament i dels riscos i les vulnerabilitats. A més, el clima canvia amb un marcat caràcter regional i mentre que tots els models projecten un augment global de la temperatura i de les precipitacions, les distribucions temporals i espacials d'aquestes varien de zona a zona del globus i de model en model. Per tant, amb el coneixement que es té actualment del sistema

climàtic és difícil, per no dir impossible, establir una concentració atmosfèrica de gasos assumible on els riscos i els impactes estiguin equilibradament relacionats amb l'esforç tecnològic i econòmic per assolir-la.

A més, aquests darrers factors tampoc no són uniformes per a tothom. El problema del canvi climàtic és diferent si es veu des de la perspectiva d'un ciutadà d'un país del primer món, amb capacitat tecnològica i econòmica per adaptar-se als canvis, o des de comunitats com la dels esquimals que depenen per a la seva alimentació de l'extensió del gel o d'un habitant de les illes Maldives, conjunt d'unes 1.600 illes de corall, per al qual l'extensió del seu país depèn de la magnitud de l'ascens del nivell del mar.

Des d'un punt de vista realista i pragmàtic, l'actuació enfront del canvi climàtic hauria de comportar dos tipus d'accions fonamentals: la mitigació de les causes i l'adaptació a les noves condicions climàtiques. La mitigació consisteix en la disminució de les emissions: és evident que en les condicions actuals, hi ha tecnologia disponible per estabilitzar el contingut de diòxid de carboni atmosfèric a 450 ppm (parts per milió), a 600 ppm o a 1.000 ppm. Definir el grau a què ha d'arribar l'estabilització és una qüestió d'ordre econòmic i de voluntat política i social. Pel que fa a l'adaptació, significa preparar-se per a les condicions canviants, tant des del punt de les activitats econòmiques, com des de l'adaptació d'infraestructures, etc. Ambdues estratègies, l'adaptació i la mitigació, seran imprescindibles per tal de pal·liar el fenomen.

L'únic acord internacional de reducció d'emissions fins ara assolit, el Protocol de Kyoto, que tot just va entrar en vigor el mes de febrer de 2005, estableix compromisos fruit d'acords entre estats, els que conformen l'anomenat annex B, que justament ponderen

la capacitat tecnològica per reduir les emissions i adaptar-se al cost econòmic que comporten. Les propostes de reducció estan allunyades de les recomanacions científiques sobre el sostre de les reduccions plantejades. Com s'ha dit, els gasos amb efecte d'hivernacle tenen temps de residència a l'atmosfera molt grans, és a dir, es degraden amb dificultat. Això vol dir que les accions que es prenguin ara tindran efectes a llarg termini, d'aquí a desenes o centenars d'anys. Aquesta és una coincidència important amb altres problemes ambientals, com la degradació del contingut d'ozó estratosfèric. L'escala de temps de l'origen de la pertorbació és molt més petita que l'escala de temps de recuperació del sistema. Per això és important aplicar el principi de precaució que consisteix en actuar ara, tot i que encara no hi ha certeses completes sobre la magnitud i l'abast del fenomen. El que se sap, però, és que qualsevol actuació haurà de mantenir-se molt temps i que sortirà efecte en escales més enllà de la nostra generació. Això és un problema afegit a la gestió del problema.

La forma d'aproximar-se al problema, naturalment, ha variat amb el temps. En tots els casos sempre es pren com a referència la concentració de CO<sub>2</sub> a l'inici de la revolució industrial, és a dir, les 280 ppm a les quals feia referència Arrhenius en el seu article pioner. El Protocol de Kyoto no contempla cap projecció de concentració atmosfèrica de gasos amb efecte d'hivernacle, ja que els acords de limitació d'emissions només abasten un grup de països i uns quants gasos. A l'informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC, en les sigles en anglès) es preveuen unes concentracions creixents durant el segle XXI que probablement assoliran a final de segle entre 700 i 1.000 ppm, la qual cosa suposaria uns escenaris d'augment de la temperatura que arribarien més enllà dels sis graus, és a dir, s'albira un futur amb importants impactes ambientals. La UE, a falta d'evidències científiques prou rotundes, ha formulat la proposta política d'establir un límit a les emissions que garanteix un augment de la temperatura mitjana, respecte a períodes preindustrials, de com a màxim 2°C. Aquesta xifra s'ha elaborat a partir de la consideració que hi ha un grau de coneixement suficient com per assegurar que si l'augment és superior, la capacitat dels ecosistemes i de la societat per absorbir els impactes pot quedar fortament amenaçada. Aquest objectiu voldria dir que la concentració atmosfèrica de gasos amb efecte d'hivernacle hauria d'estabilitzar-se entre 550 ppm i 650 ppm. Aquest objectiu, ara per ara, és una utopia difícilment assolible en les condicions actuals de creixement del consum energètic arreu del món i per la posició d'alguns països que volen assolir, en comptes d'una concentració determinada atmosfèrica de gasos amb efecte d'hivernacle, una determinada intensitat energètica amb una millora de l'eficiència en l'ús de l'energia però sense promoure un sostre a les emissions.

**Consideracions finals** ▶ Hi ha un cert convenciment dins la societat que l'escalfament de l'atmosfera i els conseqüents canvis dels patrons de comportament d'aquesta, allò que anomenem canvi climàtic, és una qüestió eminentment científica. És cert que la ciència encara desconeix molts aspectes del

problema, però no els importants: els canvis en la composició de l'atmosfera són evidents i el conseqüent escalfament també. Allò que esdevindrà en el futur immediat, des del punt de vista climàtic, depèn sobretot de factors socials: creixement de l'economia, creixement de la demografia, implantació tecnològica, ja que aquests factors són els que determinen les emissions. El camí fins al 2012 ens hauria de portar, per tant, decisions polítiques que incideixin en aquests punts: desacoblament del creixement econòmic del consum energètic, l'ús d'energies renovables, transició cap al repartiment d'energia distribuïda, foment de la implantació de tecnologies poc intenses en l'ús de carboni, etc. Aquestes polítiques són difícils de plantejar i lentes d'implantar; la pregunta, aleshores, és si hi serem a temps. ■

**Notes** ▶

1. El carbó ja era conegut pels romans i pels xinesos, molt abans de Crist, i s'utilitzava principalment per cuinar i per escalfar. La primera extracció de petroli i, conseqüentment, de gas natural data de 1859 a Titusville, Pennsylvania, als Estats Units.
2. 1 quad equival a 1,06 · 10<sup>18</sup> joules.
3. L'Índex de Desenvolupament Humà d'un país és un número que oscil·la entre 0 i 1 i que s'elabora a partir d'indicadors que aporten informació sobre l'esperança de vida, l'educació i el desenvolupament econòmic. Com més proper a 1 és l'índex, el grau de desenvolupament d'un país és més gran, mentre que si és més baix, el grau de desenvolupament del país és més precari.

**Referències bibliogràfiques** ▶

- BENKA, Stephen G. "The energy challenge". *Physics Today* 55: 38-39 (2002).  
 LLEBOT, Josep Enric. *El temps és boig?* Barcelona: Rubes editorial, 2005.