

Energia. Generalitats

1. Què entenem per energia?

Segons el diccionari, es parla d'energia quan algú es vol referir a:

- a) la potència activa d'un organisme;
- b) la virtut natural i eficaç d'una cosa;
- c) la capacitat d'obrar o de produir un efecte, o
- d) la capacitat d'efectuar un treball.

Des d'aquesta multiplicitat, l'energia ho és tot. I quan diem tot, és absolutament tot: l'univers visible i fins i tot l'invisible. Estem rodejats d'energia, vivim gràcies a l'energia i els nostres cossos són essencialment energia en forma de massa, acumuladors i aprofitadors d'energia alhora.

Essent com és tot energia, a vegades és sorprenent que sigui tan difícil de notar, de mesurar o fins i tot de sentir. Una de les formes d'energia que més fàcilment es pot sentir és la calor quan prové del sol o d'un calefactor. Així mateix, qualsevol forma de treball també és energia. Però la immensa majoria de vegades, l'energia arriba, flueix i surt dels nostres cossos i entorn tranquil·lament, sense baladrejar. Les formes d'energia, que es mostren a la taula dinàmica inferior, són múltiples i variades atès que tot allò que ens envolta ho és.



Mecànica:

Treball necessari per expandir o comprimir una molla, per accelerar un objecte fins a una velocitat donada o per vèncer la tensió superficial, o treball que fan les vibracions mecàniques generades pel so.

Gravitacional:

Energia potencial associada amb la força gravitacional.

Tèrmica:

Energia associada amb el moviment aleatori microscòpic de les partícules que constitueixen un medi.

Elèctrica (estàtica i magnètica):

Treball necessari per ajuntar o separar càrregues elèctriques de signe diferent o igual, respectivament. Energia associada amb el pas d'un corrent per una resistència i treball associat amb la creació d'un camp del mateix nom.

Química:

Treball que fan les forces elèctriques durant la reordenació de les càrregues elèctriques, els electrons i els protons en els processos d'agregació de la matèria.

Nuclear:

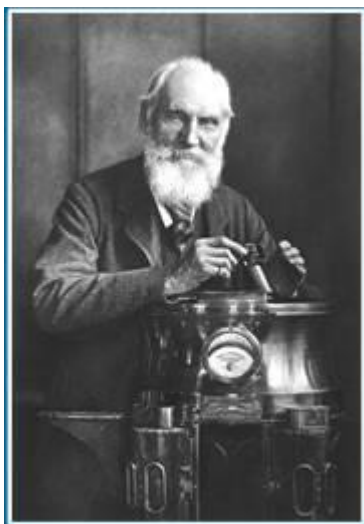
Energia continguda en els enllaços atòmics de la matèria.

2. Els quatre principis de l'univers

Entre els molts principis que descriuen l'univers, n'hi ha quatre que destaquen per sobre de la resta. Ens referim als **quatre principis de la termodinàmica**, que expliquen les propietats de l'energia i la seva transformació d'una forma a una altra i ens permeten analitzar els seus processos d'esgotament. Es tracta d'axiomes, això és, proposicions que s'admeten sense demostració com a evidents per si mateixes, que han esdevingut lleis i que, segons A. Einstein, constitueixen les bases de "l'única teoria de la física amb contingut universal que no serà mai derrocada": la termodinàmica, és a dir, l'estudi de la relació entre la calor i la força.

La termodinàmica es basa en quatre principis universals que s'apliquen a allò que es coneix per 'sistemes termodinàmics', això és, qualsevol part de l'espai de l'univers que es vulgui estudiar mitjançant aquestes lleis.

Curiosament, i malgrat l'ordre actual, el **principi zero** va ésser el **tercer** que es va plantejar, abans que el tercer, que en realitat és el quart. El **segon principi** va ser realment el **primer** que es va formular, atès que deriva de la comparació que va fer Sadi Carnot entre les rodes d'aigua i les màquines tèrmiques de vapor del començament del segle XIX. I el primer va ser el segon. Tot plegat, un fantàstic exemple de la manca de linealitat del procés de descoberta científica: l'ordre actual prové de la necessitat de bastir l'edifici científic de la termodinàmica, no del procés històric que la va convertir en una branca de la física. De tots els principis, el primer i el segon són fonamentals a l'hora d'entendre que, malgrat que la quantitat total d'energia es conserva, la qualitat amb què es pot aprofitar disminueix amb cada transformació. Per tant, no podem transformar l'energia de manera indefinida per aprofitar-ne el treball. Arriba un moment en què l'energia queda en un estat amb una qualitat tan baixa que l'única cosa que podem fer-hi és deixar-la en el medi que ens envolta com un residu més, ja sigui en estat de CO₂, de bossa de plàstic o d'aigües residuals abocades en un riu.



Principi zero:

Si dos sistemes termodinàmics estan en equilibri tèrmic (això és, a la mateixa temperatura) amb un tercer, llavors estan en equilibri tèrmic entre si. (Ralph H. Fowler, dècada de 1920)

Primer principi:

L'energia no es pot crear ni destruir, sols es transforma i es conserva. (James Prescott Joule i William Thomson, Lord Kelvin, vers el 1860)

Segon principi:

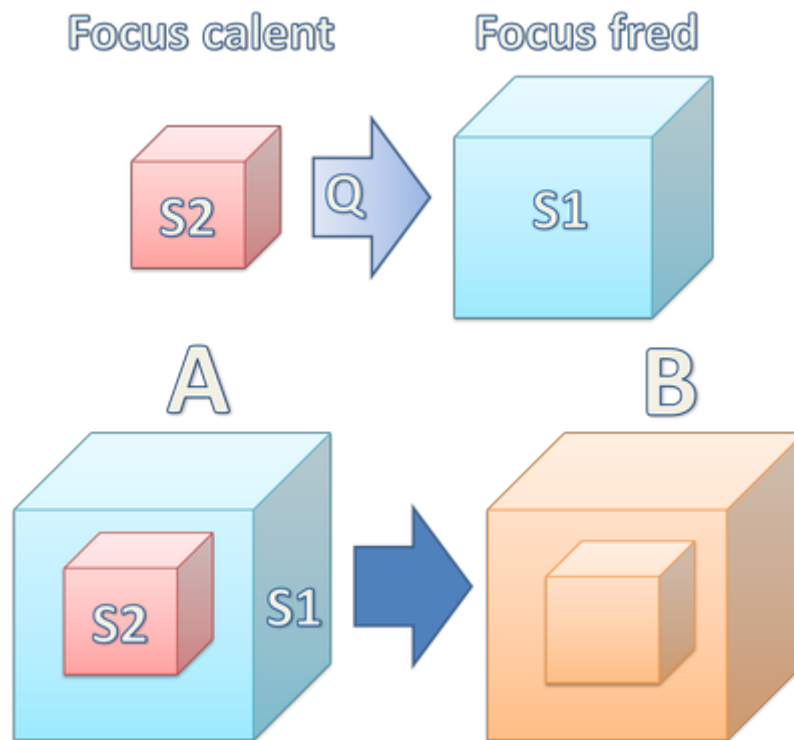
Quan l'energia es transforma, se'n conserva la quantitat però en disminueix la qualitat de manera inevitable. Aquesta disminució es mesura amb l'augment irreversible d'una magnitud coneguda amb el nom d'entropia. (Nicolas Sadi Carnot, l'any 1824, i Rudolf Clausius, vers el 1856)

Tercer principi:

A mesura que la temperatura disminueix (això és, s'aproxima al zero absolut o als 0 graus Kelvin), ens acostem a un valor mínim d'entropia. (Walther Nernst, 1912)

2.1. La direcció de l'univers

Que l'energia pot "baixar" el pendent de la temperatura i no "pujar-lo" ens sembla evident per l'experiència: els cossos es refreden sols, però no s'escalfen sols. Si definim un estat A, format per un sistema S1, a la temperatura T1, i hi introduïm un sistema S2, a la temperatura T2, de tal manera que T2 > T1, amb el pas del temps S2 cedirà energia a S1, T1 tendirà a augmentar i T2 a disminuir. Tot el conjunt tendirà a evolucionar cap a l'estat B, que és l'estat cap al qual porta l'evolució "natural" de A. El primer principi ens diu que l'energia en la posició B és la mateixa que en la posició A. Cal preguntar llavors quina qualitat (o quantitat) del sistema ha canviat. La resposta, no del tot òbvia, és que ha canviat la forma en què l'energia està organitzada. La magnitud que mesura aquest canvi de qualitat és l'entropia.



La variació d'entropia (ΔS) en un cos és donada per la relació entre la variació de la calor i la temperatura a la qual es produeix aquesta variació, és a dir:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Si extraïem calor (ΔQ) d'una font calenta a temperatura T_c i la passem a una font freda situada a T_f , de manera que $T_c > T_f$, l'entropia cedida a la font calenta, $\Delta S_c = \Delta Q / T_c$, serà menor que l'entropia guanyada a la font freda, $\Delta S_f = \Delta Q / T_f$. Si considerem que la direcció natural de l'energia és de les fonts calentes a les fonts fredes i que aquest procés de dispersió de l'energia produeix un increment de l'entropia, podem afirmar que l'univers es dirigeix cap a la maximització de l'entropia, cap a la màxima dispersió, cap a l'equilibri tèrmic o cap a la mort tèrmica, en què la manca de fluxos tèrmics farà impossible el moviment i el canvi i en què el temps deixarà de tenir el sentit que li donem. Però això potser ja no ho veurem!

Focus calent

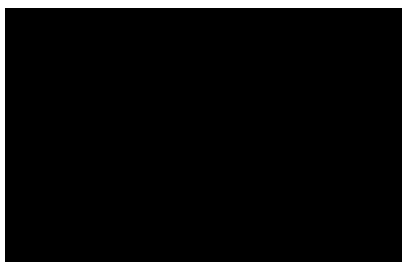
Focus fred



A



B



3. Per què en parlem?

Ara parlem més de l'energia que fa dos-cents anys essencialment per una raó: l'augment de l'ús d'aquesta energia pel constant creixement demogràfic i per l'increment de la demanda energètica per capita. Més enllà d'aquesta gran i potser única raó en trobem tres més de particulars que se'n deriven.

Justificació I: l'esgotament de les reserves

Els combustibles fòssils, ens els quals basem essencialment la nostra obtenció de treball, són recursos finits. Sembla força probable que el petroli barat amb què fem funcionar els nostres cotxes i camions, així com el gas natural amb el qual cuinem, escalfem i donem electricitat a les nostres cases, s'esgotaran al llarg dels propers cinquanta anys. Per això cal aprofitar al màxim els recursos que tenim o bé cercar-ne de nous. De fet, atès que els hidrocarburs són essencials per a la fabricació de la majoria dels objectes que ens envolten, potser caldria reservar-los per a usos més convenients i pensar quina és la millor manera d'obtenir aquesta energia que no sigui únicament mitjançant la combustió.

Justificació II: la seguretat del subministrament

Malgrat que els combustibles no s'esgotin a curt termini i que encara es puguin obtenir en algun lloc de la Terra, potser caldria reflexionar si volem aquesta dependència. Qualsevol tipus de dependència fa que les economies i la vida siguin més vulnerables, tret que s'estableixin processos de cooperació i col·laboració. La majoria dels recursos energètics fòssils es troben en zones geogràfiques insegures (una inseguretat que sovint és conseqüència precisament del mateix fet que es disposa d'aquestes fonts energètiques). D'altra banda, la majoria d'instal·lacions generadores d'energia envelleixen i cal renovar-les. Si la demanda augmenta i l'oferta es manté o es redueix (les centrals han d'anar tancant per obsolescència), el problema s'agreuja.

Justificació III: el canvi climàtic

Cada vegada és més evident que la utilització de combustibles fòssils altera el clima. El canvi climàtic és conseqüència de moltes activitats humanes, però la causa més important és l'augment de l'efecte hivernacle produït pel diòxid de carboni (CO₂) i altres gasos generats per activitats antropogèniques. La major part del diòxid de carboni atmosfèric actual prové precisament de la crema de combustibles fòssils. I la principal raó d'aquesta crema és obtenir energia. Així doncs, per reduir (si bé no evitar, ja que això ja és impossible) el canvi climàtic cal trobar noves maneres d'aconseguir energia. El problema del canvi climàtic és essencialment un problema energètic.

4. Energies convencionals i prospectiva energètica

En alguns àmbits s'afirma que per afrontar l'esgotament del petroli l'única solució industrialment madura és la líquefacció del carbó (que emet gairebé tres vegades més CO_2 que el petroli per a un determinat volum de combustible líquid). En l'àmbit de l'eficiència (tal com veurem al capítol següent) s'estima que és **tècnicament** possible dividir per dos el consum d'energia d'un mateix servei energètic.

No obstant això, aquestes solucions tenen alguns problemes. El primer és que no són **econòmicament** competitives i, per tant, el mercat no les desenvoluparà de forma espontània. L'altre problema, encara més important però sovint oblidat, és que aquestes solucions requereixen un període de 20 a 30 anys per poder-les implementar en massa.

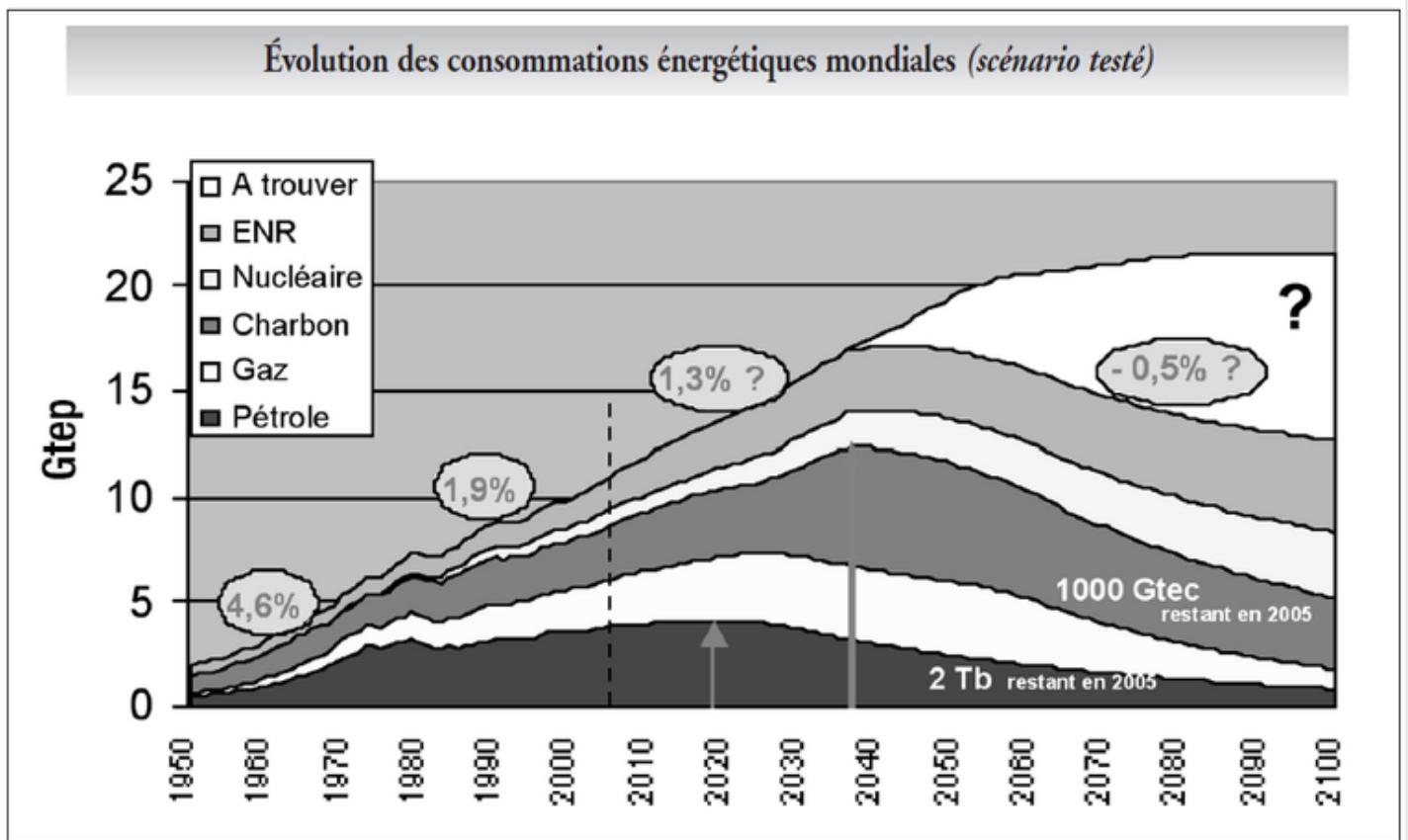
El sistema energètic del 2020 serà el resultat de les decisions preses ahir. Les decisions d'avui afecten la forma del sistema energètic del 2030. I l'R+D ja està treballant en el que passarà a partir del 2050. Les infraestructures que formen el sistema energètic sovint tenen una vida útil superior als 40 anys i la substitució ha de ser gradual. I encara que, com una part dels plans d'emergència, es prengui la decisió, per exemple, d'aïllar tots els edificis per reduir les necessitats de calefacció i d'instal·lar a totes les cobertes energia solar tèrmica (aigua calenta) i fotovoltaica (electricitat), ens enfrontem a dues dificultats inevitables:

a) els costos de la inversió, i, sobretot,

b) la falta del teixit industrial i professional capaç de produir els components i portar a terme el treball d'instal·lació i manteniment.

Aquesta decisió, per tant, no tindrà cap efecte visible real en el consum d'energia fins d'aquí quinze anys. Totes les solucions que l'R+D pot proposar avui s'enfronten al mateix problema: es necessita temps (que no es pot reduir malgrat els esforços tecnològics) i els costos addicionals seran encara més importants si s'ha d'anar més ràpid. A tot això s'hi afegiran les dificultats associades amb l'escassetat de recursos materials com ara l'aigua, l'urani, l'indi, el gal·li o el platí. **El principal problema és simplement si tindrem temps per desenvolupar aquestes alternatives abans que les tensions internacionals esdevinguin insuportables.**

SCHÉMA 4



Evolució dels consums energètics mundials. (Font: [Baumberger](#))

Un horitzó plausible de tensions

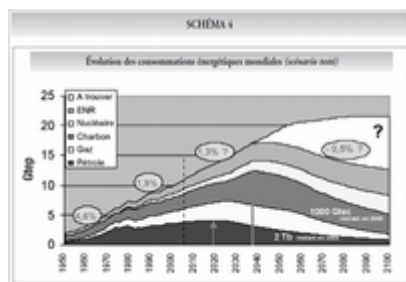
El petroli arribarà al seu màxim al voltant de l'any 2020, l'important creixement del carbó no podrà continuar més enllà del 2040 i el 'peak oil' del gas tindrà lloc abans del 2030. Cal indicar que, pel que fa al petroli, l'Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) fixa el 'peak oil' per al 2010, si bé la majoria dels experts mundials el situen entre el 2010 i el 2020.

Fins i tot amb un particular esforç en R+D no se sap si es podran desplegar en massa les noves solucions de reemplaçament a partir del 2040; els reactors reproductors podrien començar a poc a poc a fer servir les existències disponibles de plutoni o d'urani altament enriquit, i la fusió nuclear no serà operativa abans del 2080. Les necessitats de combustibles líquids, que alimenten l'economia amb una forta inèrcia a causa de les infraestructures i els equipaments existents, són la variable determinant. Quan la producció de petroli comenci a declinar, augmentaran les necessitats, la qual cosa pot dur a un carreró sense sortida en l'estat actual del coneixement.

Marcel Coderch, en el seu article "[Sostenibilitat, energia i societat](#)", afirma que, fins i tot suposant unes taxes de creixement dels consums energètics molt modestes —d'un 0,4 % anual en l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE) i en els països de l'antiga URSS, i del 1,7 % en els països en desenvolupament, clarament inferiors a les històriques i també a les que preveuen els organismes internacionals—, s'arriba a la conclusió que el que ells anomenen un escenari "tendencialment virtuós", que no representa cap ruptura però sí un gran esforç mundial per assolir objectius ambiciosos en els àmbits que hem esmentat, no aconsegueix fer que les necessitats energètiques quadrin amb la reducció d'emissions.

Per tant, tret que es trobin altres fonts energètiques, cap a mitjan segle s'haurà arribat a la màxima producció energètica mundial i pel camí haurem multiplicat per cinc el límit d'emissions de CO2 que recomana el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

Tot fa pensar que el model energètic i econòmic actual, basat en un creixement exponencial continuat, és del tot insostenible, i, que com ja ens havien advertit fa més de 30 anys a l'informe "Els límits del creixement", en les pròximes dècades ens haurem d'enfrontar a la realitat dels límits físics del planeta. Podem continuar suposant que "alguna cosa trobarem" i cremant els recursos fòssils que encara ens queden fins que ja no hi hagi marxa enrere, o els podem invertir durant els propers 20 o 25 anys per preparar un futur més sostenible. A l'hora de triar, hem de tenir present el que diu un savi proverbi xinès: si no variem el rumb, el més segur és que acabarem allà on ens dirigim.



5. Bibliografia

Libres

Atkins, P.: 'Las cuatro leyes del universo'. Ed. Espasa-Calpe, Madrid, 2008.

Llibre de divulgació que permet comprendre les lleis de la termodinàmica de manera introductòria però a la vegada exacta.

MacKay, David J. C.: '*Sustainable Energy – without the hot air*'. UIT Cambridge, 2008. ISBN 978-0-9544529-3-3.

Llibre de divulgació però exquisidament redactat, clar i essencial, per aprendre a comptabilitzar l'energia convencional i la renovable, i també a fer un balanç energètic global, com a pas previ en els processos de planificació energètica.

Articles

Baumberger, Y. i Rogeaux, B.: "Quelles solutions des industriels peuvent-ils apporter aux problèmes énergétiques?". 'Revue de l'Énergie', n.º 575, 2007.

Coderch, M.: "Sostenibilitat, energia i societat". EINES HIVERN, 2008.

Webs

[Web educativa per conèixer els principis de la termodinàmica i la seva aplicabilitat.](#)

[Agència Internacional de l'Energia \(IEA\)](#). Principal agència internacional d'informació sobre temes energètics, vinculada a l'OCDE.

[Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC](#). La principal xarxa científica per a l'estudi del canvi climàtic: s'hi poden trobar els informes de referència internacional.

[Crisis Energética](#). Web de referència sobre aquests temes, que funciona en xarxa i està vinculada a ASPO-AEREN.

[The Association for the Study of Peak Oil and Gas \(ASPO\)](#). Xarxa de referència internacional dedicada a l'estudi del 'peak oil'.

[Portal Sostenibilidad](#). Portal de referència sobre les diverses dimensions de la sostenibilitat.

Vídeos

'L'univers mecànic'. Capítol 47 (Entropia).

<http://www.youtube.com/watch?v=veFLTN13PGo&feature=related> (num. 1)

<http://www.youtube.com/watch?v=dHTSbgjJUCM&feature=related> (num. 2)

http://www.youtube.com/watch?v=_r-lxlgqBxY&feature=related (num. 3)

6. Activitats

Activitat 1

Els estudiants visualitzen a classe el vídeo “[Petróleo, el fin de una era](#)”, emès el 10 de gener de 2006 al programa ‘Documentos TV’ (TVE, La 2). Es manté un debat sobre els aspectes clau dels temes que es tracten en el vídeo.

Activitat 2

Taller sobre balanços energètics i emissions de CO₂. Es proporcionarà als estudiants la documentació dels balanços energètics corresponents a un país (petroli, carbó, gas i altres indicadors, extrets de l'[Agència Internacional de l'Energia](#)), i se'ls donarà una guia metodològica per a la pràctica, les taules de valors calòrics nets i de factors d'emissió dels diferents combustibles, i les taules que han d'emplenar per al càlcul dels balanços de consum energètic i de volum d'emissions. Temps per fer-la: 2 h presencials i 4 h no presencials.

7. Crèdits

Com citar aquesta unitat?

Rosas, M. i Martínez, J.: *Energia. Generalitats. A: Carrera, E. i Segalàs, J. (ed.): Tecnologia i Sostenibilitat [en línia].* Terrassa, Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010 [Consulta: dia mes any]. Disponible a: <<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu>>

Els continguts d'aquesta unitat han estat elaborats per:

Martí Rosas Casals

Departament de Màquines i Motors Tèrmics
Universitat Politècnica de Catalunya

rosas@mmt.upc.edu

Juan Martínez Magaña

Càtedra UNESCO de Sostenibilitat
Universitat Politècnica de Catalunya

juan@catunesco.upc.edu

