

# Algunes reflexions sobre el futur del cotxe elèctric

L'electrificació de l'automòbil permet imaginar nous patrons de mobilitat i escenaris de futur: els canvis en l'estructura dels cotxes repercutiran en les seves funcions socials i formes d'ús i l'adopció massiva tindrà implicacions en el sector energètic.

PER MARIO GIAMPIETRO I JESÚS RAMOS MARTÍN

FOTOGRAFIES DE SHUTTERSTOCK

**És ingenu imaginar que una flota de cotxes elèctrics serà igual a una altra de convencional. Els autors de l'anàlisi pronostiquen un canvi de rol si l'electrificació de l'utilitari s'imposa a gran escala.**

**E**ls dos temes que tractarem es refereixen a dos problemes greus que trobem a la majoria de discussions sobre el futur del cotxe elèctric: (1) un problema sistèmic en la manca d'imaginació d'un futur diferent generat per innovacions tecnològiques. La majoria dels escenaris es construeixen tot extrapolant el present cap al futur: és a dir, la flota futura de vehicles elèctrics s'imagina exactament igual a l'actual flota de cotxes, amb l'única diferència de la substitució del motor de combustió interna per un motor elèctric, i la benzina per una bateria; i (2) la manca d'anàlisi del panorama general quant a l'energètica del cotxe elèctric. Joules de combustibles fòssils —els consumits pels cotxes convencionals— i joules d'electricitat no són ni equivalents ni substituïbles.

## 1. ACLARINT LES DIFERÈNCIES ENTRE EL COTXE ELÈCTRIC I EL CONVENCIONAL

1.1 El significat de l'expressió *cotxe elèctric* i la seva funció esperada a la societat

Seguint Boulding (1974) podem dir que avui dia el cotxe té un paper simbòlic important a la societat occidental. *Tenir un cotxe* vol dir tenir una llibertat econòmica i una oportunitat més o menys igualitària per assolir diferents destinacions turístiques o de treball; visitar els avis al poble els caps de setmana; fer la compra setmanal a diferents centres comercials o visitar botigues especialitzades; portar els nens a l'escola, entre altres funcions.

Per tant, quan parlem de *cotxe elèctric* la primera pregunta que hem de respondre és: hauríem d'esperar que el cotxe elèctric fes exactament les mateixes funcions que normalment associem al tipus de cotxe amb el qual estem familiaritzats avui dia?

La resposta és que segurament aquest no és el cas. És molt ingenu imaginar que una flota a gran escala de cotxes elèctrics serà igual que una flota de cotxes com els d'ara, amb l'única diferència que haurem substituït el motor endotèrmic i el dipòsit de benzina per un motor elèctric i una bateria (vegeu l'exemple del conegut Tesla Roadster: [www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com)). És més raonable imaginar que, a causa de la diferència en les prestacions del paquet *motor elèctric més bateria*, els



cotxes elèctrics faran algunes funcions millor que els cotxes que usem en l'actualitat i en faran d'altres de pitjors.

1.2 El concepte de *holon* i el problema sistemàtic amb el qual ens trobem els humans quan imaginem quelcom completament diferent en el camp de les innovacions tècniques

Com s'explica en el requadre de la pàgina següent, el *holon* és un concepte epistèmic introduït per Koestler per explicar el mecanisme a través del qual els humans percebem entitats rellevants en una realitat complexa. Podem reconèixer un *holon* solament després de veure una parella de tipus estructural —per exemple, l'actual president de la Generalitat— i un tipus funcional —el rol del president de la Generalitat. D'aquesta manera, podem reconèixer José Montilla com l'actual president de la Generalitat. El mateix *holon* era reconegut en el passat quan miràvem Pasqual Maragall o Jordi Pujol. No obstant això, aquest mecanisme epistèmic implica un *lock-in* perillós en el conjunt de percepcions validades en el nostre coneixement. Aquest *lock-in* tendeix a prevenir

la possibilitat de predir l'emergència genuïna de novetat, típica de l'evolució. De fet, l'evolució tècnica implica que el *holon* que s'ha fet servir per a una funció vella —el carro tirat per cavalls— més tard o més d'hora es realitza mitjançant un nou tipus estructural —el primer automòbil amb motor de vapor. Per tant, la introducció de nous tipus estructurals —com millores als motors— implica inevitablement la definició de nous tipus funcionals —el cotxe tindrà un ús diferent del carro tirat per cavalls.

Per aquesta raó, quan parlem del *cotxe modern* hauríem de parlar millor d'un conjunt integrat de tipus funcionals representats per la diversitat de models que podem trobar avui dia a la flota de vehicles: petits *cotxes de ciutat* per moure's dintre de les zones urbanes; furgonetes per moure grups de persones en distàncies llargues; tot terrenys que garanteixen tant la mobilitat de persones com objectes a carreteres no pavimentades; cotxes esportius usats normalment com a símbol, atesa l'existència de límits de velocitat als països desenvolupats, i molts més tipus estructurals dissenyats específicament per a unes funcions determinades.

**Un concepte de cotxe radicalment diferent a l'actual. El va presentar General Motors, en una exposició mundial sobre vehicles elèctrics, el juny, a Shanghai.**

1.3 El concepte de *cotxe elèctric* hauria d'imaginar-se com un conjunt integrat de tipus estructurals que cobreixen un conjunt de funcions diferents dintre d'un patró diferent de mobilitat

En realitat, dintre de la classe de cotxes elèctrics ja hi ha una varietat de tipus estructurals que responen a necessitats o funcions diverses:

- Vehicles lleugers i fàcils d'operar per ser utilitzats per a un moviment ràpid a la ciutat, tant com a transport personal (per exemple, segway: [www.segway.com](http://www.segway.com); monocicles: [rynomotors.wordpress.com](http://rynomotors.wordpress.com); bicis elèctriques) o com a petits cotxes urbans.
- Vehicles més robustos per al transport de petites càrregues dintre de la ciutat per a supermercats o botigues, el que es coneix com la distribució de l'últim quilòmetre.

### **El holon**

El concepte de holon va ser introduït per Koestler (1968; 1969; 1978) per posar de manifest la inevitable doble naturalesa que alguns elements rellevants dels sistemes complexos tenen per ésser tant el tot com una part (Allen i Starr, 1982). Això implica que un holon és un tot compost de parts més petites (per exemple, un ésser humà està fet d'òrgans, teixits) i al mateix temps té un paper dintre d'un context més gran (un individu és part d'una família, un país). De fet, cada holon implica una parella entre: (i) un tipus funcional —el rol que té dintre del context— i això és el que el fa interessant per a l'analista, i (ii) un tipus estructural —que determina una relació esperada entre les parts i el tot. Els problemes epistemològics es donen pel fet que, quan analitzem el tipus funcional —per exemple, el comportament d'un objecte volador— hem d'assumir que existeix un tipus estructural adequat —per exemple, una estructura capaç de volar: un avió o un globus. Al mateix temps, quan analitzem un tipus estructural —per exemple, un rellotge— aquest pot ser utilitzat per a diverses funcions: serveix per saber l'hora (quan el mirem) o per obtenir diners (quan el venem). Això implica que hauríem de tenir molta cura quan usem una percepció concreta de holons en l'anàlisi científica (més a Giampietro *et al*, 2006).

- Altres aplicacions especials per al moviment tant de persones com de mercaderies o per a tasques especials com les de neteja.

Per tant, per poder avaluar el comportament global de la introducció dels motors elèctrics, hauríem de discutir sobre els canvis en els patrons globals de mobilitat que un ús integrat d'aquestes tipologies diferents de vehicles podrien generar. És a dir, hauríem d'imaginar diferents tipologies de vehicles que tindrien rols diferents dintre d'un nou patró de mobilitat, tant per a persones com per a mercaderies.

Aquest nou patró de mobilitat s'haurà de basar en la integració dels nous vehicles amb mitjans convencionals de transport dintre de l'actual xarxa de transport públic, amb estacions multimodals a diferents parts de la ciutat, capaces d'interconnectar trens i/o camions convencionals (operant a llarga distància) amb la flota de transport local i, dintre de la ciutat, usant vehicles lleugers compartits per la comunitat —per exemple, una espècie de *bicing* amb més tecnologia. De la mateixa manera, els cotxes convencionals —esperem que propulsats amb gas natural— podrien ser encara utilitzats per a viatges llargs de manera privada, això sí, amb propietat compartida entre diversos usuaris, atès que s'utilitzarien en comptades ocasions.

## **2. MIRANT L'ENERGÈTICA DEL COTXE ELÈCTRIC**

### 2.1 La difícil avaluació del consum energètic del cotxe elèctric

Els joules d'electricitat pertanyen a la categoria de vectors energètics; no són una font primària d'energia (vegeu el requadre de la pàgina 11). Això vol dir que l'electricitat consumida pels cotxes ha de ser produïda d'acord amb una font primària, i això implica un cost energètic d'aquest vector energètic. Qualsevol tipus de vector energètic té associat un cost energètic de transformació, que es pot expressar en joules de font primària d'energia.

Així, depenent del mixt de fonts primàries d'energia utilitzades i de la tecnologia utilitzada a les plantes elèctriques, el cost energètic d'un joule d'electricitat (expressat en joules d'una font primària d'energia de referència, com ara el petroli – tones equivalents de petroli) pot canviar. En termes generals, podem dir que el cost energètic de l'electricitat està en el rang entre 2,3/1 a 3/1 als països moderns. A Catalunya, l'any 2006, 1 joule d'electricitat va requerir el consum de 2,5 joules d'energia primària, en *petroli equivalent* (Ramos Martín, 2009).

Si imaginem la transició d'una flota de cotxes propulsats amb combustibles fòssils a una flota de cotxes elèctrics, hem de considerar els següents factors:

(1) El cost energètic (expressat en joules de fonts primàries d'energia) de la generació de l'electricitat usada per la flota de cotxes. Aquest cost dependrà del mix d'energia primària usada per generar l'electricitat i de la qualitat de la tecnologia usada. En concret, parlant de sostenibilitat, és crucial avaluar la fracció de fonts renovables (eòlica i fotovoltaica) que seria usada per generar aquesta electricitat.

(2) L'augment d'eficiència que dona l'energia elèctrica. Una flota que funcioni amb motors elèctrics tindrà una eficiència en la conversió de joules de vectors energètics a treball mecànic superior a l'actual flota de cotxes propulsats per motors de combustió interna. Per tant, consumiran menys joules d'electricitat per a la mateixa quantitat de treball que el corresponent consum de combustible fòssil d'un motor de combustió. Per contra, una flota que funciona amb motors de combustió interna té un baix cost de generació de vectors energètics (els combustibles líquids tenen un cost d'1,1/1 joules de font primària per joule de vector energètic), però tenen una eficiència molt baixa en la conversió dels combustibles en treball mecànic.

(3) L'increment del cost energètic a causa de les pèrdues en la transmissió de l'electricitat. Aquestes van ser del 8,5 % del total d'electricitat consumida a Catalunya l'any 2006 (Ramos Martín, 2009, p. 97).

2.2 Panorama general: encaixant la innovació del cotxe elèctric en relació amb els canvis requerits al sector de l'energia i a la xarxa elèctrica

Imaginem que volem canviar el 30 % dels cotxes privats de Catalunya per elèctrics. L'objectiu és

**La transició cap al cotxe elèctric és inimaginable sense tenir en compte el cost energètic per produir l'electricitat que es consumirà, el grau d'eficiència de l'energia elèctrica i les pèrdues en la seva transmissió.**

### **Diferència entre joules de vectors energètics i joules d'energia primària**

- Vectors energètics: Diferents inputs energètics requerits pels diversos sectors d'una societat per desenvolupar les seves funcions. Els produeix el sector de l'energia a partir de les fonts primàries d'energia. En són exemples la benzina o l'electricitat.
- Fonts primàries d'energia: Formes d'energia tal com són presents a la natura. En són exemples els combustibles fòssils i tota l'energia d'origen solar (eòlica, solar, biomassa).

La distinció entre vectors energètics i fonts d'energia primària és important atès que fan referència a formes d'energia de diferent qualitat, que no haurien de ser sumades. 1 kWh d'electricitat (3,6 MJ de vector energètic) no es pot sumar a 1 MJ de petroli (una font primària). Cada cop que fem comptabilitat energètica hem de fer explícita la forma d'energia primària que usem de referència i el factor de conversió.

- Ús final de l'energia: Treball útil desenvolupat per diversos sectors de l'economia per mitjà de la conversió de vectors energètics en potència aplicada. Per exemple, el transport d'objectes.

Més a Giampietro i Mayumi, 2009.





**Si l'any 2007 s'hagues substituït a Catalunya el 30% dels utilitaris privats per VE, la demanda energètica hauria quintuplicat la producció d'energia eòlica d'aquell any.**

superior al del Ministeri d'Indústria, que vol assolir un 3,3 % de la flota l'any 2015 i que la indústria de l'automòbil rebaixa al 2 %.(Pallisé, 2010).

L'any 2007 hi havia 3,3 milions de cotxes privats a Catalunya (IDESCAT, 2009), que van fer de mitjana 12.500 km/any/cotxe (Pallisé, 2010). Així, podem calcular la quantitat de combustible fòssil necessari per cobrir els 41 E+09 km de transport privat en cotxe. Substituir el 30 % d'aquest transport usant cotxes elèctrics implica una necessitat de generar electricitat suficient per fer 12,3 E+09 km de transport privat. Usant un consum mitjà de cotxes elèctrics de 187 Wh/km (per a un Toyota RAV4 EV a uns tests de l'EPA dels EUA, Lidicker i d'altres, 2010), ens surt una demanda de 2.300 GWh d'electricitat. Això representaria el 5,4 % del total d'electricitat consumit l'any 2007 a Catalunya (42.227 GWh, ICAEN 2009).

Sense incloure les pèrdues de transmissió, la quantitat addicional d'electricitat, requerida per aquesta hipotètica substitució en la flota de cotxes privats, equivaldria a:

- Gairebé cinc vegades la producció d'energia eòlica d'aquell any (498 GWh, ICAEN, 2009), que va ser generada amb una potència eòlica instal·lada de 347,44 MW;
- El 26 % de la producció elèctrica d'una central nuclear d'1 GW de potència instal·lada del tipus

de les operatives a Catalunya (ICAEN, 2009).

Per preveure les implicacions que suposaria per al sector de l'energia un escenari d'adopció a gran escala dels cotxes elèctrics hauríem de respondre dues preguntes addicionals:

(1) Quina és la fracció de l'augment de consum d'electricitat causada per la introducció dels cotxes elèctrics que es cobrirà amb fonts alternatives?

L'obsolescència de les infraestructures —centrals elèctriques— pot implicar que d'aquí a poc veiem una reducció en la potència instal·lada. Per exemple, per quant de temps podem mantenir en funcionament una central nuclear obsoleta? Estem segurs que ho volem fer? Estem segurs que l'augment en la capacitat de fonts renovables pot no solament substituir aquestes fonts convencionals sinó cobrir també l'augment de demanda que el cotxe elèctric implicarà?

(2) Quin és el nivell d'estrès que aquest nou tipus de càrregues (la càrrega ràpida de les bateries dels cotxes elèctrics) implicarà per al funcionament correcte de la xarxa elèctrica?

Un dels avantatges de la utilització a gran escala dels cotxes elèctrics és la possibilitat de carregar les bateries a les hores vall a la nit (quan la demanda es redueix). Això permetria millorar el comportament global de la xarxa, tot augmentant la càrrega base de potència. No

obstant això, les estacions de recàrrega de bateries poden representar càrregues excessives o molestes a la xarxa, cosa que podria generar problemes per a l'estabilitat global, especialment si aquesta càrrega no es pot predir en el temps i en l'espai. Aquest problema augmentaria si li afegíssim una integració massiva a la xarxa de generació elèctrica amb fonts renovables.

Respondre aquestes preguntes requeriria una anàlisi tècnica detallada que, alhora, faria necessària una definició preliminar dels possibles escenaris de mobilitat en termes de la definició dels fluxos esperats d'electricitat, tant pel fa a la demanda com a l'oferta.

## CONCLUSIÓ

La discussió sobre el cotxe elèctric s'ha d'estructurar en dues fases. En primer lloc, hauríem de definir escenaris de mobilitat alternativa associats als cotxes elèctrics. Això ens permetria concretar el conjunt de serveis energètics necessaris en funció de l'escenari escollit. La segona fase estudiaria la base energètica de les transformacions energètiques requerides per a aquests escenaris. Aquí seria possible quantificar: els coeficients tècnics dels diferents tipus estructurals i funcionals considerats a l'escenari, per una banda; i el mix de fonts d'energia primària que s'haurien d'utilitzar per cobrir el conjunt de serveis energètics associats als patrons de mobilitat escollits, per l'altra.



**Mario Giampietro**

Professor de Recerca ICREA de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Departament d'Enginyeria Química de la Universitat Autònoma de Barcelona.



**Jesús Ramos Martín**

Professor lector de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Departament d'Economia i Història Econòmica de la Universitat Autònoma de Barcelona.



## Referències

- Allen, T.; Starr, T., *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. Chicago: University of Chicago Press, 1982.
- Boulding, K. E., "The Social System and the Energy Crisis." *Science*. Vol. 184 (4134) 1974, p. 255-257.
- Giampietro, M.; Mayumi, K., *The Biofuel Delusion: the Fallacy behind large-scale Agro-biofuels production*. Londres: Earthscan Research Edition, 2009, p. 320.
- Giampietro, M.; Allen, T. F. H.; Mayumi, K., "The epistemological predicament associated with purposive quantitative analysis." *Ecological Complexity*. Vol. 3 (4), 2006, p. 307-327.
- ICAEN, *Revisió 2009 del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament d'Economia i Finances, 2009.
- IDESCA, *Anuari Estadístic de Catalunya*, 2009.
- Lidicker, J. R.; Lipman, T. E.; Shaheen, S. A., *Economic assessment of electric-drive vehicle operation in California and the United States*. UC Davis: Institute of Transportation Studies, 2010. Retrieved from: [www.escholarship.org/uc/item/06z967zb](http://www.escholarship.org/uc/item/06z967zb)
- Koestler, A., *The Ghost in the Machine*. Nova York: The MacMillan Co., 1968, p. 365.
- Koestler, A., "Beyond Atomism and Holism - the concept of the Holon". A: "Koestler, A.; Smythies, J. R., *Beyond reductionism*. Londres: Hutchinson, 1969, p. 192- 232.
- Koestler, A., *Janus: a summing up*. Londres: Hutchinson, 1978.
- Pallisé, J. (coord.), *Diagnosi i perspectives del vehicle elèctric a Catalunya*. Informes del CADS, número 10. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2010.
- Ramos-Martín, J. (coord.), *Ús de l'Energia a Catalunya. Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)*. Informes del CADS, número 8, volum 2. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, 2009.