

Transporte y energía

MARIANO VÁZQUEZ ESPÍ
Ondara (España), 1 de julio de 2003.

Mas vale el ocio que el negocio
que no tenemos otra cosa nuestra
más que el tiempo.

BALTASAR GRACIÁN

Historia natural del movimiento

Es fascinante la cantidad de tiempo que leones y guepardos pasan tumbados, ya sea durmiendo, jugueteando o meditando. La imagen espectacular del guepardo lanzado a más de 100 km/h tras la gacela, contrasta vívidamente con esa otra imagen habitual del guepardo trasladándose de un valle a otro, con su inconfundible paso cansino, que parece mostrar su aceptación resignada del suplicio del movimiento.

En paralelo, a gacelas e impalas les encantaría no tener que demostrar sus capacidades cinéticas: pastan de pie, atentas a los signos de alarma, limitando su movimiento al pequeño desplazamiento hasta la siguiente mata de fresca y tierna hierba. Dos veces al año hay que buscar nuevos pastos: la gran caravana herbívora se pone en marcha sin demasiado entusiasmo, pero la necesidad obliga...

Al concebirnos a nosotras mismas, el movimiento muestra otra cara, que es positiva: la aparición de organismos movientes acarrió el surgir del sistema nervioso y, tras él, el de la conciencia-de-otro, y finalmente el de la conciencia-de-sí. Lo determinante aquí es que el movimiento aparezca en algún momento de la historia de un linaje concreto, sin que importe su velocidad actual: el lento caracol necesita su sistema nervioso, al igual que los enraizados percebes; sin él, el acoplamiento estructural con sus ambientes respectivos sería imposible.

El otro gran reino que nos acompaña, las plantas, se acoplaron al flujo solar. Y optaron por ser sedentarias, esperando cada día la llegada del Sol a su atalaya. Y aunque así se libraron de moverse en busca de alimento, todavía tienen que transportar la materia prima mineral a las factorías fotosintéticas, generalmente varios pisos más arriba, en el follaje. Y dado que el ciclo es diario, la velocidad ha de ser suficiente como para que la materia prima llegue a tiempo. Además, la planta sedentaria está a expensas de que otros elementos primordiales, gases y líquidos, lleguen a sus factorías: usualmente no hay mayor problema, pues ese transporte tiene lugar espontáneamente en el movimiento atmosférico.

Vemos pues que, en términos biológicos, el transporte se manifiesta en dos grandes formas respecto a su relación con el alimento y los recursos: el nomadismo, buscándolos; el sedentarismo, esperándolos.

Velocidad y energía

En principio, la velocidad sirve para llegar antes. Algo que se suele considerar obvio, aunque el análisis detallado de sistemas reales muestra que no siempre es el caso, incluso cuando las consideraciones son puramente cinéticas, véase el Anejo.

Para máquinas ideales, sin disipación ni pérdidas, la relación entre velocidad y energía es extraordinariamente simple: el consumo de energía útil aumenta con el cuadrado de la velocidad.

Si el resultado estructural del proceso no depende de la velocidad surge espontáneamente la *economía de la parsimonia*: el mismo resultado puede obtenerse con cualquier velocidad y, en consecuencia, puede resultar preferible la lentitud del proceso con la consiguiente disminución del consumo de energía útil. Esta economía se observa precisamente en el surgimiento de la vida: mientras que el rango de velocidades entre las partículas elementales está en mil millones de centímetros en cada segundo, entre las proteínas ese rango se sitúa en una parsimonia exasperante: del orden de una centésima de centímetro en cada segundo (cf. MATURANA Y VALERA, 1990).

Cabe especular con que la razón principal sea la siguiente: dada una potencia energética disponible, es decir, una cantidad limitada de energía por cada unidad de tiempo, para alcanzar la mucho mayor complejidad organizativa de las proteínas, la moneda de cambio no podía ser otra que la pérdida de velocidad, con la consecuente disminución de la potencia consumida por 'unidad' de complejidad, es decir,

con una disminución de la energía consumida por unidad de complejidad. Esta conjetura sugiere que la proporción entre la simplicidad de las moléculas y el consumo de energía útil en su operar puede haber permanecido esencialmente constante en su evolución hasta las proteínas (según disminuía la simplicidad, tuvo que disminuir la velocidad y, por tanto, disminuir de forma más o menos pareja la cantidad de energía por unidad de tiempo). Y esa suerte de *invariancia* encaja razonablemente bien con un RNA único, con un alfabeto de escritura también único (DNA) y con un mecanismo de lectura y re-producción proteínica muy similar en todas las especies (ribosoma) que, en consecuencia, da lugar a una diversidad proteínica razonablemente homogénea a lo largo de los cinco reinos en que actualmente clasificamos a los organismos vivos.

Pero si, como nos advertía Gracián, «no tenemos otra cosa nuestra más que el tiempo» y éste es limitado, el resultado estructural dependerá de la velocidad y, en consecuencia, la acaparación de energía útil debe aumentar con ella. De hecho con su cuadrado: para alcanzar una velocidad doble, el consumo debe cuadruplicarse: diez veces más rápido significará cien veces más energía útil consumida. Surge aquí espontáneamente la *economía del despilfarro*. Si la potencia disponible es limitada, caso de la potencia solar, tal límite determinará una velocidad insuperable y, en consecuencia, también un límite a la complejidad alcanzable por la organización. Sin embargo aquí pueden ponerse otras variables en juego: para compatibilizar la organización con la energía disponible se puede disminuir la distancia, con la consiguiente disminución de la velocidad, a igualdad de tiempo: se trata de disminuir el tamaño: *lo pequeño es hermoso*, la *economía de la cercanía*.

Este operar bajo un tiempo limitado explica en parte la diversidad de estrategias que cabe encontrar entre animales y plantas. Se puede jugar con múltiples dimensiones simultáneamente: *nomadismo/sedentarismo*, *cercanía/lejanía*, *efímero/longevo*, *pequeño/grande*. No se trata de un problema de optimización convencional (escalar), nos encontramos ante uno de optimización vectorial: el cambio en una dimensión acarrea corrimientos sobre las restantes hasta obtener un determinado acoplamiento estructural, de los que hay muchos viables. Surge la *economía de la diversidad*, en la que prácticamente nada resulta enteramente inútil (cf. VÁZQUEZ, 1997 y VÁZQUEZ, 2000).

Merece la pena precisar qué entiendo por potencia solar disponible: no se trata de la radiación solar promedio sobre la superficie del planeta, sino de la fracción capturada por la fotosíntesis, que es una pequeñísima fracción de aquélla. De hecho, la radiación solar promedio sobre el planeta es muy superior a la empleada directamente por la fotosíntesis y, por tanto y en principio, no supondría una limitación seria para el despliegue de la organización viviente (pero cf. VALERO, 1998).

Ni los organismos vivos ni los artefactos humanos son máquinas ideales... la regla general es la disipación y la pérdida. El automóvil puede servir aquí de ejemplo explicativo, véase el Cuadro 1. Como cualquier automovilista sabe por experiencia existe una velocidad óptima (que estaba cerca de los 90 km/h hace unos veinte años) en la que el consumo de combustible es mínimo. Para velocidades más pequeñas, los consumos crecen debido a que hay que vencer las fricciones estáticas, máximas para velocidades nulas (al inicio del movimiento). Para velocidades más altas, aumentan las resistencias dinámicas (en particular la resistencia del aire, que lo hace aproximadamente con el cubo de la velocidad). Ambas resistencias producen disipación en forma de energía inútil: calor, ruido, etc.

CUADRO 1: Consumo de combustible de un automóvil en función de la velocidad

| velocidad v km/h | consumo C litros/100km | ajuste del consumo a v^2 $(C-2,6\text{litros}/100\text{km})/v^2$ 10^{-5} litros hora ² /km ³ |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|
| 30 | 12,1 | 10,6 |
| 60 | 7,91 | 1,48 |
| 90 | 6,38 | 0,71 |
| 120 | 7,51 | 0,34 |
| 150 | 11,3 | 0,39 |
| 180 | 17,7 | 0,47 |
| 210 | 26,8 | 0,59 |

Fuente: Datos técnicos del Renault Laguna 2.0 16V RXE. *Paisajes desde el Tren* n° 108, 1999.

En la tercera columna del Cuadro 1 he dividido el consumo por el cuadrado de la velocidad, no sin antes corregir el consumo sustrayéndole 2,6litros/100km, que supongo que se gastan en vencer la inercia y mantener a raya el rozamiento estático. Si el modelo ideal encajara bien, esa proporción debiera ser invariante respecto a la velocidad y ser constante a lo largo de la columna (aproximadamente 0,4): no se consigue un buen modelo para velocidades bajas, aunque encaja esencialmente bien para velocidades altas.

En esa tercera columna vemos que, algo por encima de la velocidad óptima, el aumento en el consumo es aún algo más rápido que el cuadrado de la velocidad, lo que no sólo no pone en duda las conclusiones anteriores, basadas en el modelo ideal, sino que las refuerza. (Salvo un matiz: la *economía de la parsimonia* no opera disminuyendo indefinidamente la velocidad pues en algún punto el consumo de energía útil *vuelve* a crecer según la velocidad disminuye. Por ello el aumento de complejidad molecular encontró un límite a partir del cual convino seguir por otras vías distintas a la disminución de la velocidad: las proteínas se organizaron ajustándose a un tamaño máximo —una organización máxima—, y para avanzar más allá por la senda de la organización y la complejidad tuvieron que agruparse en organizaciones de un nivel superior: dieron lugar a las bacterias...)

Velocidad, energía y minerales

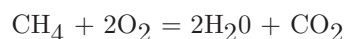
Si la potencia energética disponible no tiene límites, no hay más límite que la velocidad de la luz. No es un límite que tenga interés aquí.

El recurso a yacimientos minerales para extraer su energía útil parece poner la pelota en el tejado de la imaginación creativa: el problema técnico consiste en idear una máquina térmica capaz de extraer energía útil de los combustibles (minerales) a cualquier velocidad: se obtendría así una potencia energética ilimitada y, por consiguiente, el aumento de complejidad podría conseguirse a la velocidad que conviniera en cada caso. En este sentido, no es una metáfora afirmar que de esos yacimientos minerales extraemos, sobre todo, *tiempo* (cf. VALERO, 1998).

Los combustibles minerales suponen un cambio radical respecto a la energía solar. Las plantas, la energía eólica, el ciclo hidrológico, son todos ellos artefactos que transforman energía útil directamente sin salir del campo de la 'física', sin ninguna transformación 'química' en el instante mismo de la transformación (otra cosa es el uso posterior de esa energía transformada). Aunque desde luego todos ellos son procesos disipativos, aprovechan el hecho de que las consecuencias químicas de la producción de la energía útil primaria —una intensa contaminación radiactiva y térmica— quedan a unos 150 millones de kilómetros del planeta, una distancia muy conveniente, desde la que no cabe esperar una amenaza directa y simultánea para la vida. Por el contrario, el proceso de aprovechamiento energético de los combustibles minerales requiere cambios químicos que, de hecho, pueden producir efectos insospechados. En principio este hecho es bien conocido y se expresa calificando a tales recursos como *energía contaminante*, mientras que se reserva la expresión *energía limpia* para los aprovechamientos solares. En síntesis, los artefactos solares son *máquinas entrópicas* (se alimentan directamente de energía útil), mientras los otros son motores térmicos que consumen materiales útiles.

La distinción entre *energía útil* y *materia útil* es tremenda: al revés que la energía, la materia útil tiene un carácter polivalente: el petróleo puede ser incinerado, pero también puede ser transformado en infinidad de otros materiales útiles por derecho propio para satisfacer las más insospechadas necesidades. El petróleo, como el resto de los combustibles minerales, son minerales antes que combustibles, siendo ésta sólo una de sus posibles utilidades. Son, de hecho, materiales preciosos por su rareza.

Tal y como ocurre en el Cuadro 1, este carácter precioso puede quedar camuflado al considerar el material desde la óptica estrecha de su carácter combustible: tendemos a considerar que un automóvil tan sólo gasta unos 6 kilogramos de materia útil por cada 100 kilómetros recorridos. Si echamos un vistazo atento a lo que ocurre durante esos 100 kilómetros veremos que el panorama es bastante distinto. Para evitar complicaciones innecesarias examinaré la combustión del metano, más simple de establecer que la de la gasolina, pero similar en todo lo demás. La reacción ideal es:



que traducida a masa (C=12, H=1, O=16) es:

$$16 + 64 = 36 + 44$$

y en porcentaje respecto a la cantidad total:

$$20\% + 80\% = 45\% + 55\%$$

Como se ve, por cada 6 kilogramos de metano se necesitan 24 kilogramos de oxígeno, y estos 30 kilogramos de materiales útiles se transforman en dióxido de carbono (16,5 kg) y agua. En el caso de la gasolina se requiere algo más de oxígeno y, consecuentemente, se llegan a producir no menos de 18 kilogramos de óxidos de carbono por cada 6 kilogramos de combustible (en condiciones ideales); y eso cada 100 kilómetros recorridos en el automóvil. (Como el carburador no separa el oxígeno del resto de los componentes atmosféricos, fundamentalmente nitrógeno, la cantidad total de aire bombeado por el motor asciende a más de 4 kilogramos por cada kilogramo de oxígeno, es decir más de 96 kilogramos

por cada 6 kilogramos de combustible: del orden de 100 kilogramos de aire por cada 100 kilómetros. En consecuencia la cantidad de materiales involucrados y de emisiones contaminantes es, todavía, mucho mayor, pero prefiero, por brevedad, ignorar esos ‘detalles’.)

Esta reacción de combustión puede considerarse, desde un punto de vista ecológico más amplio, como una *respiración*: también los seres humanos consumimos oxígeno que, aparentemente, obtenemos gratuitamente, como el automóvil. En los ecosistemas no-artificiales la *respiración* se contrarresta con la *producción* fotosintética y la consiguiente fijación de carbono: la producción puede entenderse como la moneda de pago por la respiración, que deja así de ser gratuita. Nuestra propia respiración se paga con nuestros esfuerzos por mantener la producción de alimentos (que es, además de otras cosas, un modo de fijar carbono). Incluso la combustión de un cigarrillo (tóxico por otros motivos) se paga puntualmente con la cosecha para proveer el consumo del año siguiente: por sorprendente que pueda parecer fumar es una actividad limpia, al menos desde el punto de vista del ciclo del carbono en la biosfera. (Históricamente la parte no-artificial de la biosfera viene produciendo un poquitín más que lo que se respira: hay producción neta que se invierte en organización —el 99% de un árbol es materia muerta— o se ahorra —yacimientos minerales mediante la lentísima transformación de las turberas—, cf. MARGALEF, 1992.)

En cualquier ecosistema, un subsistema que respira más de lo que produce se considera *explotador* del resto. Y aunque las relaciones anteriores para la *respiración* de combustibles minerales son obviamente válidas para cualquier proceso distinto al transporte, son en éste especialmente significativas al no estar contrarrestada por ninguna *producción*, lo que permiten calificar el transporte motorizado como un jugador de ventaja que no *paga* por su respiración. Se trataría, metáforas aparte, del sistema artificial más explotador. Los índices de motorización, el consumo de combustibles minerales acarreados por los sistemas de transporte u otros indicadores relacionados son, por ello, signos seguros para reconocer los territorios que ejercen *explotación* sobre el resto.

El uso gratuito de oxígeno no es el único aspecto a considerar. Al extender el marco de análisis más allá de la pura respiración podemos desvelar más aspectos de interés. Mientras que para trasladarse a pie una persona humana pone en uso una *potencia* de unos 200 watios *instalada* en 70 kilogramos, el automóvil requiere una *potencia instalada* de unos 70.000 watios en unos 1.200 kilogramos; lo que significa multiplicar por más de 600 la potencia del móvil y por más de 15 el peso desplazado. Si en el primer caso el sujeto podría contentarse —siendo herbívoro— con *atrapar* unos 2.000 watios de potencia solar, en su flamante automóvil *consumirá* para sí unos 260.000 watios de combustibles minerales, que tras degradarse se convertirán en no menos de 780.000 watios en forma de materiales contaminantes, cuando no tóxicos.

No debe caerse en la tentación de dividir 780.000 entre 2.000 para concluir que el consumo se ha multiplicado por más de 390: si he utilizado unidades energéticas es por pura conveniencia y con propósitos pedagógicos (¡era una trampa!). Esa división, que dimensionalmente sería en todo caso correcta, tendría sentido si el consumo del automóvil se hiciera con cargo a la potencia solar: de momento no es así, y ambas cantidades no pueden compararse, del mismo modo que nadie en su sano juicio compara peras con rinocerontes: los 780.000 watios representan en un caso el *caudal* de contaminación producido; en el otro, se trata efectivamente de 2.000 watios de potencia solar que, en cualquier caso, se disiparía. *Es ésta una diferencia fundamental que no debe olvidarse.*

Puede traducirse la contabilidad anterior a unidades de masa o superficie para ver con mayor claridad por qué no puede hacerse esa división aritmética. Si empleamos suelo ‘vegetal’, para *pagar* la respiración del automóvil (en condiciones ideales) habría que dejar sin explotar unos 16 m^2 por cada recorrido anual de 100 km, utilizado entonces como sumidero. Para *pagar* su recorrido medio en España a lo largo de 1992, 9.000 km, una persona tendría que gestionar la *no explotación* de 1.500 m^2 de suelo virgen. Por supuesto tendría que tratarse de un suelo *productor*, a razón de unos 300 gramos anuales netos de carbono por cada metro cuadrado. Los afortunados propietarios de una casa unifamiliar con amplio jardín podrían estar en posición de *pagar*: bastaría que renunciaran a cortar el césped y a su bonito jardín, dejándolo evolucionar por sí mismo. Esto implica un pago en *tiempo* considerable, pues la vigilancia debe extenderse hacia el futuro, a fin de evitar que fuera explotado más adelante (extracción de materia seca, quema, etc). O que enfermara y disminuyera su producción. (Una vez que se considera toda la tarea que se tendría por delante, la conclusión más espontánea es renunciar a esos 9.000 km motorizados y dedicarse a “explotar” un bonito jardín...)

Hay otros sumideros notablemente más seguros (aunque en ninguno la seguridad es completa). Refiriéndonos siempre a un recorrido anual de 9.000 km, la degustación de caracoles para la *producción anual* de no menos de 3.700 kg de conchas (aragonito y calcita, CaCO_3) cumpliría la misma función; quien prefiera la lectura a la comida puede comprar anualmente una cantidad similar de libros (celobiosa, CH_{10}O_5), aunque no es necesario leerlos. Conchas o libros, eso sí, deben ser conservados en almacenes convenientes, como las bibliotecas. En el caso de los libros, hay que asegurarse que la madera y el ciclo

de producción del libro está a su vez compensando en términos de respiración/producción: de otra forma, se estarían dejando de *pagar* otras facturas. Hay que vigilar las polillas y la carcoma, etc.

Frente a todas estas complicaciones, la misma persona convertida en paseante tiene simplemente que preocuparse de estar *bien y saludablemente* alimentada... (Lo que hoy por hoy no es desde luego fácil.)

La conclusión es clara: dadas las innumerables complicaciones a las que conduciría el *pago* por la respiración empleada en el transporte motorizado, resulta impracticable (incluso si hubiera intención de *pagar*). Para evitar las consecuencias en términos de contaminación no queda otra vía que la reconversión ecológica del transporte. Esta conclusión cuadra perfectamente con lo que cabe observar en los ecosistemas no-artificiales. «Lo que llamamos contaminación consiste, generalmente, en una enfermedad del transporte de los ecosistemas y su remedio pasa por remontarnos a reconocer cuál es el motivo fundamental del mecanismo de flujo o recirculación que así vemos perturbado.» (MARGALEF, 1992:88-89).

Transporte y tiempo

Puede argüirse que la comparación entre la persona como viandante o como automovilista es ilegítima debido a la notable diferencia de velocidades. Aunque no es el objeto de este trabajo, merece la pena recordar los estudios ya clásicos de Ivan Illich o de José Manuel Naredo en lo que respecta a la velocidad *eficaz* del transporte:

“Illich calculó entonces [1974] que «el varón americano típico consagra más de 1.500 horas por año a su automóvil: sentado dentro de él, en marcha o parado, trabajando para pagarlo, [...]. Sin contar el tiempo que pasa en el hospital, en el tribunal, en el taller [...]. Estas 1.500 horas le sirven para recorrer 10.000 kilómetros, es decir, 6 kilómetros por hora. Exactamente la misma velocidad que alcanzan los hombres en los países que no tienen industria del transporte. Con la salvedad de que el americano medio destina a la circulación la cuarta parte del tiempo social disponible, mientras que en las sociedades no motorizadas se destina a este fin sólo entre el 3 y el 8 por ciento.»”

“Siguiendo el mismo enfoque se hicieron en otros países cálculos diferenciados para las distintas clases sociales, pues en la medida en que los salarios no son iguales la repercusión del coste del vehículo [y la gasolina, etc] tampoco puede ser uniforme en el tiempo que demanda a cada persona. La expresiva denominación de «transporte cronófago» fue utilizada en Francia para describir el fenómeno en el que los esfuerzos requeridos para el funcionamiento del automóvil devoraban su promesa de liberar al hombre del tiempo.”

[...]

“A mitad de los años setenta, José Manuel Naredo realizó una primera aproximación al tiempo requerido [en España] llegando a la conclusión de que esa cifra se situaba entre las 1.700 y las 1.890 horas.”

“Quince años después el mismo autor se preocupó de comprobar la evolución de las magnitudes principales. [...] Bajo distintas hipótesis y categorías de vehículos, en términos de salarios medios el automóvil devoraba en 1991 entre 1.090 y 2.190 horas del tiempo de su propietario.”

ESTEVAN Y SANZ (1994:45-46)

En consecuencia el automovilista que hemos usado como ejemplo ha recorrido los 9.000 km a una velocidad entre 4km/h (los más *pobres*) y 8km/h (los más *ricos*), perfectamente comparables con la de la persona que anda.

Otra consecuencia digna de ser destacada: el acceso a idénticas prestaciones en velocidad *aparente* (disfrute de vehículos, autopistas, etc.) no asegura un acceso equitativo a la velocidad *eficaz*: el poder monetario es lo que hace posible acaparar *tiempo*. Esta consecuencia es reveladora en cualquier nivel de organización: idénticos niveles de motorización e infraestructura en España y Alemania no conducen al mismo *disfrute* de movilidad dada la diferencia en la renta *per capita*; del mismo modo, el tiempo invertido por los pasajeros de un avión es muy diferente según se trate de un ejecutivo de transnacional o de una inmigrante *tercer mundista*...

Por último, debe notarse que el acaparamiento exagerado de *tiempo social* por el transporte motorizado explica en buena parte la desorganización de nuestras sociedades motorizadas. Este fenómeno, que no viene al caso examinar aquí en detalle, es en mi opinión **mucho más grave** que el consumo energético que me toca analizar, y se manifiesta en una amplia diversidad de síntomas: ruido, ocupación de suelo, mortalidad, segregación espacial, discriminación social (cf. ESTEVAN Y SANZ, 1994:30-45; VÁZQUEZ, 1999; ESTEVAN, 2002; CURBET, 2002).

Transporte y técnica

Las determinaciones estructurales que afectan al transporte motorizado son insoslayables, del mismo modo que lo son otros límites físicos (la velocidad de la luz, etc). En las escuelas de arquitectura e

ingeniería seguimos adiestrando, desafortunadamente, en la creencia de que la creatividad técnica puede solventar esas determinaciones.

Realmente hay un pequeño margen de maniobra cuantitativo que depende esencialmente del modo de transporte utilizado. Colón abrió una nueva ruta hacia las Indias que, a la larga, resulto mucho más exitosa que la alternativa de Marco Polo, más antigua. Una de las razones principales del éxito fue la mayor eficacia relativa del transporte marítimo respecto al transporte terrestre. Todavía hoy los barcos (alimentados con combustibles minerales) facilitan la producción de transporte con consumos de combustible significativamente menores que cualquier otro medio: en aquellas mercancías no sujetas a exigencias de velocidad opera la *economía de la parsimonia* y circulan por mar. Se trata de una constante histórica: la flota del Imperio Romano encargada del suministro de madera a Roma es perfectamente análoga a la flota de cargueros y petroleros actual alimentando las *ciudades globales*: Los Ángeles, New York, la conurbación centroeuropea, Tokio (cf. VÁZQUEZ, 1999a).

En las mercancías perecederas de lejana extracción opera sin embargo la *economía del despilfarro* y el gran avión de carga se impone, facilitado no sólo por un transporte que no paga sus facturas ecológicas, también por la exención de impuestos monetarios como el Impuesto sobre el Valor Añadido, IVA, del que está libre el queroseno de aviación. Sin esta exención el transporte interior en los Estados Unidos sería ruinoso, y la actual organización económica del país se resentiría, tal y como demostró la crisis de abastecimiento desencadenada en la quincena posterior al 11-S, por una parte, y el flujo posterior de dinero público a sus compañías de aviación, por otra (simultáneo, por lo demás, con bruscas regulaciones de empleo que dejaron a miles de personas sin trabajo, quienes no recibieron ninguna forma de subsidio). La exención de impuestos fue debida a la posición dominante de EEUU en la Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA). Resulta notable que la Organización Mundial de Comercio (OMC), teóricamente responsable de la supervisión de las condiciones *óptimas* para la *competencia*, no tenga nada que manifestar al respecto. Adicionalmente, las *duty-free* facilitan la compra casi diaria de algunas mercancías a ese minoritario sector de la población mundial que utiliza con frecuencia los servicios aeronáuticos.

Los notables y, en ocasiones, brillantes esfuerzos por encontrar prototipos alternativos al automóvil convencional (el coche eléctrico o el motor de aire comprimido) se hunden, desafortunadamente, en la misma ilusoria dirección. El automóvil de aire comprimido en el que trabaja Guy Negre se anuncia como un coche limpio, pues de su tubo de escape surge una corriente de aire filtrado a -10°C . Sin embargo, la clave es con qué fuente energética se comprimió el aire en origen. Según los datos disponibles, mi estimación es que tal motor permitiría reducir el consumo de combustibles minerales a la tercera parte del de un automóvil convencional: pero con una velocidad máxima mucho menor (130km/h) y con una autonomía que será considerada como primitiva (250km), lo que permite dudar de su popularidad futura (como pasó con el modelo *Smart*). Puesto que la información es escasa no hay modo de realizar una estimación de su velocidad *eficaz*. Dado que la velocidad óptima será bastante menor que la máxima (se trata de un motor convencional que no escapa a la fricción), cabe conjeturar que su velocidad *eficaz* podría seguir rondando los 6km/h, mientras que todavía pesaría 10 veces más que la persona que transporta y seguiría planteando problemas similares en cuanto a la desorganización social (ocupación de espacio, consumo de *tiempo social*, etc).

El ciclo de producción del transporte

Hasta ahora, para evitar complicaciones innecesarias, me he ocupado exclusivamente de la *etapa de tracción*: lo que ocurre cada 100 km recorridos (en condiciones bastante ideales). Pero, tal y como muestra el cálculo de la velocidad *eficaz* de Illich, nuestra mirada tiene que ser más abarcadora. Antes de subirnos al automóvil tenemos que fabricarlo y también fabricar una red de carreteras por las que transitar (al revés que la persona a pie, capaz de proezas como alzarse a la cima del Everest sin más recurso que su pequeña *potencia instalada*: la sensación de orgullo que embarga a quien corona la más humilde cima es perfectamente legítima). Durante su uso, el automóvil ha de ser mantenido al igual que la infraestructura: son las pérdidas inevitables que tienen que ser contrarrestadas. Una vez agotado su uso tendríamos que deshacernos de él de un modo civilizado, abatiendo toda su posible toxicidad y reciclando sus materiales. Pues bien, para todas esas operaciones, nuestras sociedades industriales siguen detrayendo combustibles minerales que hay que agregar a la contabilidad anterior y que, obviamente, no hacen sino empeorar las *cuentas* y el *balance* final del transporte motorizado.

En el Cuadro 2, se muestra el balance tanto *energético* como monetario del transporte motorizado de viajeros en España, para el año 1992. La contabilidad tanto del consumo de combustibles como del coste monetario es global, incluyendo el análisis pormenorizado de todo el ciclo de producción del transporte, contabilizándose también los *ingresos* (reciclaje en lo que se refiere a la energía), y es independiente de quien efectúa el *pago* de los distintos montos. La diferencia entre el coste monetario global y el coste

asumido por el viajero (precio del billete en los medios públicos, gastos del automovilista, etc) permitiría calcular la magnitud del coste social de cada modo. Así, por ejemplo, las tarifas oficiales del tren de alta velocidad (AVE) pueden parecer asequibles a parte de sus usuarios (y permitir la ampliación de la conurbación madrileña a ciudades como Ciudad Real, a una distancia de 200km) precisamente por que la repercusión de costes permite al usuario dejar facturas sin pagar, que acaban pagándose en otro sitio. Disfunciones semejantes pueden analizarse para cada modo, aunque la cuantía del coste social es variable. El negocio con el *tiempo* está ahí detrás.

Si para el balance mostrado en el Cuadro 2 se tuvo en cuenta la ocupación real de las plazas ofertadas, en el Cuadro 3 se explora el balance que resultaría si la gestión pública del transporte consiguiera una ocupación del 100%. Con estos datos sería posible orientar una política *pública* de *estabilización ecológica* del transporte motorizado que, como resulta obvio tras reflexionar pausadamente sobre ellos, debería desentenderse del automóvil privado, del avión y del tren de alta velocidad, para reforzar el resto de los modos y aquellos otros, no motorizados, que obviamente presentan costes insignificantes y que, en consecuencia, no figuran en los cuadros.

CUADRO 2: Balance global del transporte motorizado en España, 1992. Costes reales

| Modo | Consumo global de combustible kep/100km/viajero | Coste global de explotación pta/km/viajero |
|--------------------|---|--|
| autobús | 1,46 | 6,8 |
| metro | 3,24 | 13,0 |
| tren de cercanías | 3,15 | 12,4 |
| de largo recorrido | 3,13 | 15,9 |
| de alta velocidad | 4,83 | 31,0 |
| automóvil | 6,19 | 19,8 |
| avión | 5,73 | 17,3 |

Nota: 1 kep (kilogramo equivalente de petróleo) en el pozo equivale a 1,04 kg de gasolina en el surtidor.

Fuente: Estevan y Sanz, 1994.

CUADRO 3: Balance global del transporte motorizado en España, 1992. Costes potenciales

| Modo | Consumo global de combustible kep/100km/plaza | Coste global de explotación pta/km/plaza |
|--------------------|---|--|
| autobús | 0,84 | 3,9 |
| metro | 1,14 | 4,6 |
| tren de cercanías | 1,19 | 4,7 |
| de largo recorrido | 1,34 | 6,8 |
| de alta velocidad | 3,52 | 22,6 |
| automóvil | 2,85 | 9,1 |
| avión | 4,06 | 11,5 |

Nota: 1 kep (kilogramo equivalente de petróleo) en el pozo equivale a 1,04 kg de gasolina en el surtidor.

Fuente: Estevan y Sanz, 1994.

«Contra el transporte motorizado, proximidad.»

Es el último lema que he visto en Internet. Los dos últimos cuadros muestran que la solución definitiva de la «enfermedad del transporte» requiere algo más que estabilización ecológica, requiere reducción de costes, dada la insuperable dificultad de pagar facturas *energéticas y monetarias* tan abultadas. Para esa labor, y en lo que se refiere a viajeros, la alternativa técnica más prometedora parece ser la del autobús de aire comprimido (si finalmente se trata de un *invento* viable) que quizás consiguiera dividir por dos los costes del autobús convencional, aunque hay que procurar operar siempre dentro de la *economía de la diversidad*. Aún así, la determinación estructural de que el transporte motorizado no *paga* su *respiración* con *producción* seguirá vigente.

Una visión ecológica más abarcadora sugiere que la solución definitiva sólo vendrá con la *economía de la cercanía* que permitirá prescindir habitualmente del transporte motorizado, recurriendo a él tan sólo en aquellas situaciones que *colectivamente* lo merezcan. El Sol irradia más o menos por todas partes, el transporte de los gases vitales y del agua se produce espontáneamente en la atmósfera (aunque su distribución no es, por cierto, uniforme), la mayor parte de los suelos son aptos para una u otra forma de *producción* neta. La economía de la cercanía unida a la economía de lo disponible permitiría una vida razonablemente equitativa a la vez que diversa, menos ajetreada pero, precisamente por ello, con más tiempo disponible para vivirla.

Por razones de brevedad he ido cerrando el foco sobre el transporte de viajeros, dejando de lado el de mercancías. De hecho, el consumo de combustibles del transporte motorizado de mercancías en España es tan sólo una fracción del de viajeros (al menos con datos de hace una década). No es sorprendente que sea así pues, se diga lo que se diga, nuestra vida sigue anclada al territorio en el que habitamos. Además, en el transporte de mercancías la razón entre el peso de lo transportado y el peso del vehículo necesario es del orden de la unidad, un *hacinamiento* notable si lo comparamos con la razón 0,05 que obtuvimos para el automovilista solitario. (De hecho, es el *hacinamiento* lo que hace posible el transporte de viajeros en muchos países pobres como bien sabe cualquiera que conozca un poco la India.)

Sin embargo, las consecuencias del transporte de mercancías en términos de desorganización social podrían ser más significativas: el transporte horizontal a larga distancia es la pieza imprescindible para la explotación de unos territorios por otros, tal y como pone de relieve los cálculos de la *huella de deterioro ecológico* de los distintos países (cf. NAREDO Y VALERO, 1999; para valores de la huella, *Redefining Progress*). En otro lugar (VÁZQUEZ, 2001) he analizado las consecuencias futuras de la internacionalización de las economías nacionales en términos de consumo de combustibles: la conclusión en lo que se refiere a los materiales de construcción es muy clara: de ampliarse el espacio económico del transporte de un país como España al de la Unión Europea, los costes imputables al transporte de los materiales pasarían de ser marginales (respecto al total requerido para su puesta *a pie de obra*), a ser del mismo orden de magnitud, multiplicando el coste total por un factor medio de 2. En consecuencia, las conclusiones para el transporte motorizado de viajeros siguen en vigor en lo que se refiere al de mercancías.

Tomando prestada una frase de Antonio Estevan (*dicha* con intención similar a la que guiaba a autores ya clásicos como, por ejemplo, Félix Candela, cf. VÁZQUEZ, 1998) cabe decir, para terminar, que si me pusieran en el potro de tortura para que confesara que efectivamente no hay crisis ecológica, y que todas mis investigaciones en los últimos años han sido falseadas adrede, *dada mi natural cobardía y miedo al dolor*, confesaría rápidamente que **sí, que efectivamente he sido un charlatán llevado por la vanidad, que sólo padecemos una crisis: la *automovilística*.**

Referencias

CURBET, JAUME

2002 «Economía política de la inseguridad.»

Boletín CF+S, n. 20. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/ajcur.html>

ESTEVAN, ANTONIO

2002 «Los accidentes de automóvil: una matanza calculada.»

Boletín CF+S, n. 19. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n19/aaest2.html>

ESTEVAN, ANTONIO Y ALFONSO SANZ

1994? *Hacia la reconversión ecológica del transporte en España.*

Madrid: Fundación Hogar del Empleado / Centro de Investigación para la Paz, s.f. (reeditado con el mismo título en Madrid: Los libros de la catarata, 1996).

MARGALEF, RAMÓN

1992 *Planeta azul, planeta verde.*

Barcelona: Prensa Científica.

MATURANA, HUMBERTO Y FRANCISCO VARELA

1990 *El árbol del conocimiento.*

Madrid: Debate, 1996.

NAREDO, JOSÉ MANUEL; Y FERNANDO PARRA (EDS)

2000 *Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual.*

Madrid: Siglo XXI.

NAREDO, JOSÉ MANUEL Y ANTONIO VALERO (DIRECTORES)

1999 *Desarrollo económico y deterioro ecológico*.

Madrid: Fundación Argentaria /Visor Distribuciones.

VALERO, ANTONIO

1998 «Termoeconomía: El punto de encuentro de la Termodinámica, la Economía y la Ecología.»

Boletín CF+S, n. 5. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n5/aaval.html>

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

1997 «Los límites de la técnica.»

Ciudad y Territorio, n. 111, pp. 65-79 (ahora también en *Boletín CF+S*, n. 3,

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n3>)

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

1998 «Las vidas paralelas de Félix Candela y Nicholas Georgescu-Roegen.»

Archipiélago, n. 33, pp. 40-46.

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

1999 «Ciudades sostenibles.»

Boletín CF+S, n. 8. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n8/amvaz.html>

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

1999a «Una brevísimas historia de la arquitectura solar.»

Boletín CF+S, n. 9, <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

2000 “Cuantificación y toma de decisiones”

en NAREDO Y PARRA (2000:171-191).

VÁZQUEZ ESPÍ, MARIANO

2001 «Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales.»

Informes de la Construcción v.52, n. 471, pp. 29-43. También en *Boletín CF+S*, n. 20,

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/amvaz.html>

Anejo: Conduciendo en caravana

Con la colaboración de CARLOS JIMÉNEZ ROMERA, basado en una idea de ALEJANDRO VIVAR.

Va usted por una autopista. Hay mucho tráfico. Lleva dos horas conduciendo y le esperan, cuando menos, otras dos. Se sabe ya de memoria todas las características del coche delante de usted. Y se dedica a especular: ¿no llegaríamos antes si todos fuéramos un poco más deprisa?

La pregunta puede precisarse algo más: a igualdad de riesgo, y dado que somos tantos coches, ¿cuál sería la velocidad óptima para que el flujo de tráfico fuera máximo?

Vamos por partes. ¿Cuál es el riesgo? Conduciendo en caravana, el riesgo básico es que el coche de delante frene y nos empotremos en él. Para evitarlo debemos mantener una distancia segura, de suerte que podamos frenar a tiempo.

¿Cuanto tiempo tenemos? La frenada en seco del coche de delante, en esencia, puede describirse como un movimiento uniformemente decelerado de -9m/s^2 , es decir, reducir la velocidad en unos 30km/h cada segundo. Así que, dependiendo de nuestra velocidad de cruce, v , el coche de delante nos dejará en el peor de los casos un cierto tiempo, el *tiempo de frenada*, durante el cual, él mismo recorrerá una distancia, denominada *distancia de frenada*, d_f :

$$d_f = 0,5 v^2 / a_f$$

siendo a_f la anterior aceleración de 9m/s^2 . El propio tiempo de frenada, t_f , es:

$$t_f = v / a_f$$

Nuestra propia frenada no es idéntica a la frenada en seco del automóvil de delante, por varios motivos.

En primer lugar, desde que se encienden las luces de freno hasta que empezamos a frenar media el denominado *tiempo de reacción*, t_r , durante el cual recorreremos una distancia vt_r sin disminuir la velocidad.

En segundo lugar, no podemos saber que la frenada a la que nos enfrentamos va a ser en seco: comenzamos a frenar un poco con la esperanza de que las luces de freno se apaguen en seguida (también nos preocupa que ante un frenazo brusco el coche de detrás nos alcance a su vez, etc). Si no ocurre así,

seguimos hundiendo el freno. Sólo cuando vemos que el coche de delante ha disminuido ostentosamente su velocidad salimos de duda y apretamos a fondo. Esta compleja interacción es difícil de describir y, en cualquier caso, siempre tiene un retardo, igual al tiempo de reacción, respecto a las señales que recibimos del exterior. Ver disminuir la velocidad del coche de delante a la mitad puede tomarse como nuestra segunda referencia (similar a las luces de freno encendidas), y suponer que con ella frenamos a fondo.

En consecuencia, nuestra frenada comienza de manera paulatina (aumentando la deceleración) y termina con el freno metido a fondo.

En la primera parte, nuestra deceleración pasa de 0 a 9m/s^2 , y supondremos que lo hace de forma uniforme. Su duración es la mitad del tiempo de frenada y la distancia recorrida valdrá:

$$t_f (12v - a_f t_f) / 24$$

habiendo disminuido nuestra velocidad hasta:

$$v_i = v - 0,25 a_f t_f$$

Y en el final de nuestra frenada, tardaremos un tiempo v_i/a_f en pararnos, durante el que todavía recorreremos una distancia:

$$0,5 a_f (v_f)^2$$

¿Hemos chocado después de todo? Depende de la *distancia de seguridad*, d_s , que hubiéramos mantenido con el coche de delante antes de que todo empezara. Si esa distancia más la distancia de frenada del coche de delante era igual (o mayor) que la que recorreremos durante nuestra propia frenada, no habrá choque: nuestro riesgo es razonablemente pequeño. Tras un poco de trabajo algebraico se obtiene que la distancia de seguridad debe ser como mínimo:

$$d_s = v t_r + 23 v^2 / 96 / a_f$$

En consecuencia, si todas las personas aburridas sobre sus volantes que forman la caravana guarda esa distancia de acuerdo con su grado de atención, *stress*, nivel de adrenalina, etc, la caravana circula a una velocidad v con mínimo riesgo.

Calcular el flujo del tráfico es ahora sencillo: si la longitud de los coches es L , el 'caudal' q es:

$$q = v / (L + d_s)$$

Para que el flujo sea máximo se deduce que la velocidad de la caravana debiera ser de aproximadamente:

$$2 (L a_f)^{0,5}$$

que para vehículos habituales corresponde a ¡50km/h!

La velocidad óptima no depende del tiempo de reacción de cada persona: las de conducción más relajada dejan más distancia aunque circulen a más velocidad. Las más atentas y concentradas en el volante disminuirán la distancia, confiando en una reacción más rápida. La velocidad es la misma y el riesgo también.

Sin embargo, el flujo de tráfico si depende de la distancia de seguridad y, por tanto, del tiempo de reacción. Cuanto menor sea la distancia segura (de mínimo riesgo), mayor es el flujo, para los mismos 50km/h: los coches van algo más apretados.

CUADRO 4: Flujo máximo con riesgo mínimo según el tiempo de reacción

Corresponde a una velocidad constante de 50km/h

| t_r (s) | 0,5 | 1 | 2 |
|-----------|-------|-------|-------|
| q (v/h) | 3.000 | 2.100 | 1.300 |

Se trata de una conclusión interesante. Se puede ir más rápido, pero las distancias deben ser en proporción más grandes y cada vehículo 'ocupa' más sitio: los coches pasan más deprisa pero con menor frecuencia. También se podría ir más despacio, y aunque ahora la distancia puede ser algo más pequeña, la menor ocupación no compensa: la frecuencia es mayor, pero la velocidad es, en proporción, demasiado pequeña.

La conclusión puede resultar tan sorprendente que merece la pena una consideración detallada. Imaginemos una autovía con dos carriles y 200 vehículos con el mismo origen y destino, situado éste a 100km.

Cien de ellos circulan por la derecha a 50km/h mientras los otros cien lo hacen por la izquierda a 120km/h. Nadie intercambia los carriles, todos guardan la distancia de seguridad correspondiente a un tiempo de reacción de un segundo. Las dos caravanas comienzan su recorrido en el mismo instante. Con los datos del Cuadro 5, es fácil ver que los cien vehículos de la derecha tardarán poco menos de 3 minutos en salir, mientras que el último de los cien de la izquierda tardará algo más de 3: la diferencia es de unos 30 segundos. Por otra parte, el primer vehículo de la izquierda tardará en efectuar el recorrido 50 minutos, y el último un poco más de 53 minutos. Mientras, los ‘pobres’ de la derecha tardarán entre 2 horas y 2 horas y 3 minutos. Por tanto, puesto que no hay saturación de la vía se llega más rápido conduciendo a mayor velocidad (sin menoscabo de la seguridad). Es desde luego lo que piensa quien conduce el primer vehículo de la caravana de la izquierda, como lo piensa también —con envidia— quien lo hace por la derecha.

CUADRO 5: **Análisis detallado para distintas velocidades**
Vehículos de 5 metros de longitud. Tiempo de reacción de un segundo.

| v | d_s | q |
|------|-------|-------------|
| km/h | m | vehículos/h |
| 50 | 19 | 2.100 |
| 120 | 63 | 1.800 |
| 180 | 117 | 1.500 |

Pero ¿qué ocurre si hay 20.000 vehículos esperando? Pues que el último de la caravana de la derecha habrá esperado casi 5 horas para comenzar su viaje, y empleará 6 horas y tres cuartos en llegar a destino. Mientras que el último de la izquierda sufrirá una demora de casi 5 horas y media, pero de todas formas llegará 20 minutos antes que su ‘socio’ de la derecha. ¿Qué ocurrirá con los que salen primero? El de la izquierda emplea el mismo tiempo que antes, 50 minutos, al igual que el de la derecha, 2 horas.

La consecuencia es que mientras se trate de trasladarse de un sitio a otro con toda la vía a nuestra disposición, el aumento de velocidad sólo introduce una cierta inequidad entre los distintos tiempos empleados por el primero y el último de cada caravana. Es lo que todo el mundo hace ante una carretera vacía: conducir a la máxima velocidad compatible con su seguridad y economía.

La regla de 50km/h sólo tiene interés cuando nos enfrentamos a un tráfico saturado y continuo. Entonces, la reducción de velocidad se traduce realmente en un mejor uso de un recurso escaso y en conseguir el objetivo inicial: **que la mayor parte posible de movientes lleguen cuanto antes**. El caso típico sería el de las vías de circunvalación: ante las retenciones, la mejor medida de las autoridades a cargo sería anunciar por los paneles de advertencia una reducción drástica de la velocidad, lo que aumenta la capacidad efectiva de la vía.

Queda fuera del alcance de este breve comentario la consideración detallada de todos los fenómenos caóticos asociados a la *ampliación de las pequeñas diferencias iniciales* en tiempos de reacción, velocidades, etc. Es ese tipo de fenómenos los que permitirían explicar las peculiaridades en el funcionamiento de las caravanas reales, que tan insólitas resultan en ocasiones pero que, en general, tienen como consecuencia reducciones locales de la capacidad de las vías y, por tanto, de la velocidad *efectiva*.