



## El ferrocarril, productor de energía limpia

# Los trenes podrían devolver a la red unos **600 GWh** anuales

**L** El Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011, elaborado por el Ministerio de Industria y presentado en julio de 2008, contemplaba cuatro bloques con 31 medidas, de las que varias se centraban en el transporte.

La penúltima de las medidas propuestas afectaba directamente al transporte ferroviario y estaba incluida en un epígrafe específico, enfocado al ahorro eléctrico, que venía a insistir en lo ya contemplado en el Plan de Acción anterior para acelerar su implementación.

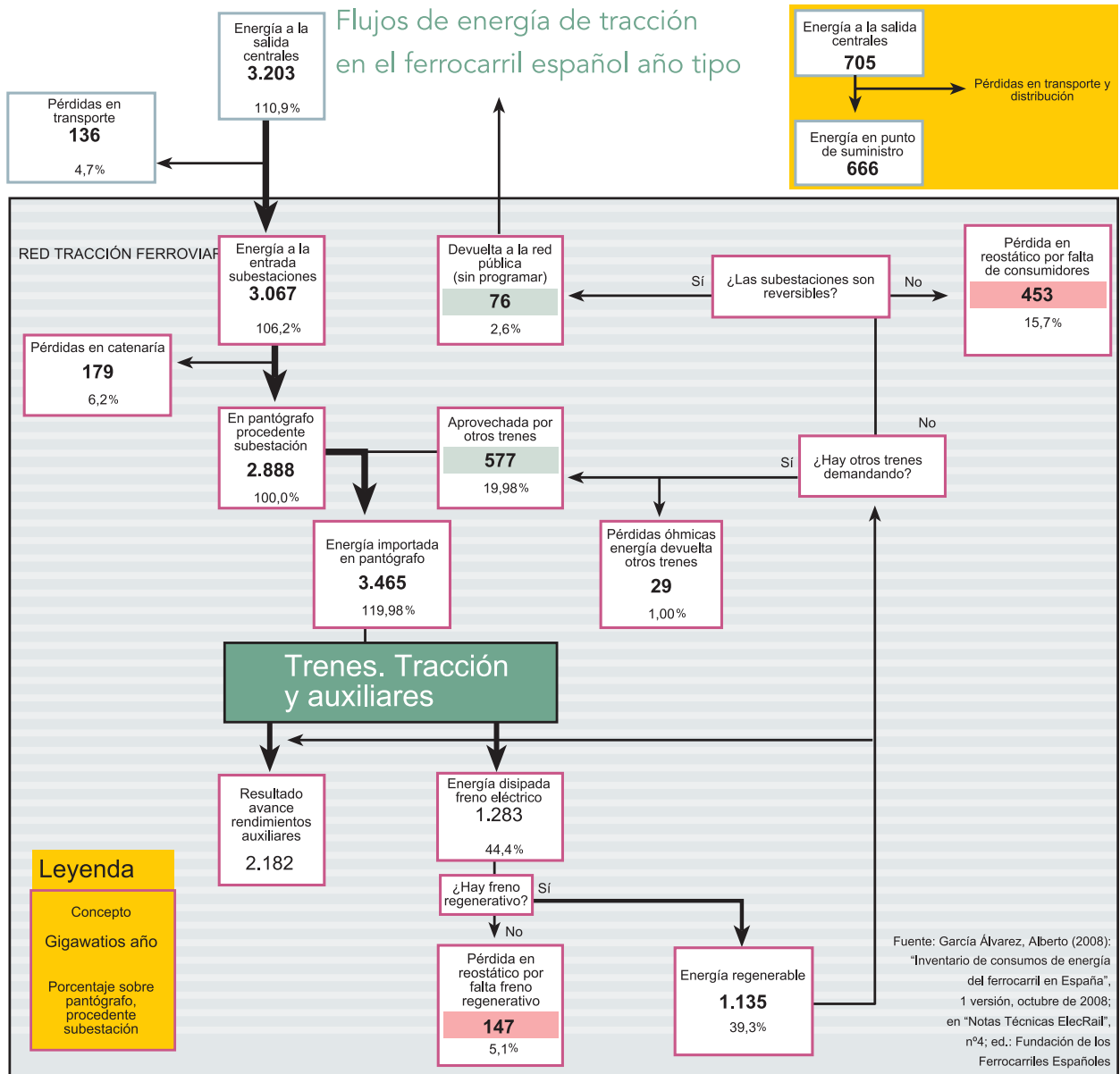
La medida planteaba articular un procedimiento administrativo para reconocer la recuperación de la energía cinética de los ferrocarriles, mediante

El ferrocarril está empeñado en el desarrollo de tecnologías y soluciones que permitan mejorar el balance medioambiental de su actividad en cuatro ejes fundamentales, consumo energético, eficiencia, reducción de emisiones y reciclabilidad. En todas ellos se han registrado avances sustanciales en los últimos años y, en algunos casos como en el de los consumos energéticos, el ferrocarril ha dado pasos decisivos, hasta el punto de estar en disposición de ofrecer 600 Gigawatios hora al año de energía regenerable que ahora se disipan y que se podrían aprovechar.

freno regenerativo, por un lado, evitando su consumo en resistencias y, por otro, en el caso del volcado a la red, descontando su aportación a la factura eléctrica.

Esta devolución a la red de la electricidad que ahora se disipa en forma de calor, permitiría recuperar 600 gigawatios hora al año, resultado de la suma de los 147 que se pierden en los

## Flujos de energía de tracción en el ferrocarril español año tipo



reostatos de los trenes que carecen de freno regenerativo y de los 453 que podrían aprovecharse si existieran subestaciones reversibles que permitieran devolverlos a la red (ver gráfico).

### Tecnología existente

Esa tecnología de subestaciones reversibles está comercialmente disponible, y las compañías ferroviarias podrían afrontar la inversión necesaria para dotarse de ellas, si fuera posible lo contemplado por el Plan de la Secretaría General de Energía, es decir, vender a la red –a los distribuidores– la energía recuperada, a precios en el entorno de los ocho u ocho céntimos y medio que cuesta el kilowatio hora.

Un precio muy alejado de los 38 ó 40 céntimos con los que se retribuye, por ejemplo el kilowatio hora producido por centrales solares fotovoltaicas, que disfrutan de una fuerte prima por producción que el ferrocarril no necesitaría para recuperar esos 600 gigawatios hora anuales de energía absolutamente limpia.

La articulación de ese procedimiento que se contem-

plaba en el plan produciría, además, beneficiosos efectos indirectos en el transporte ferroviario, ya que la retribución de la energía recuperada permitiría invertir en trenes con mejores prestaciones y más eficientes energéticamente que alimentarían a su vez un círculo virtuoso energético en el ferrocarril.

Círculo que en última instancia podría beneficiarse de una reducción de los precios de los billetes ante el mejor balance de costes de los operadores, lo que también redundaría en mayor competitividad del modo ferroviario y más posibilidades de incrementar su participación en el reparto modal, en detri-



El ferrocarril podría devolver a la red hasta el 20,8 por ciento de la energía eléctrica que toma.

## Material rodante

### Empleo de materiales compuestos

En los últimos años la masa de los vehículos ferroviarios se ha incrementado debido a la instalación de equipos de aire acondicionado, entretenimiento y confort, y los requerimientos de seguridad. Todo ello da como resultado una masa por viajero elevada, del orden de una tonelada en los trenes de plazas sentadas. Por ejemplo un tren de alta velocidad de 405 plazas tiene una masa en vacío de 425 toneladas.

Sin embargo, una de las preocupaciones de los fabricantes de material rodante es la disminución de la masa de los trenes, que tiene una fuerte incidencia en el consumo de energía especialmente en metros y cercanías. Por ello, siguiendo el ejemplo del sector aeronáutico, se tiende al empleo de materiales compuestos (resinas, fibra de carbono,...) para la fabricación de

algunos componentes estructurales.

Si se compara una caja fabricada en acero frente a una de poliéster la reducción de la masa es de un 50 por ciento, llevando asociadas otras ventajas como la elevada resistencia a la corrosión, buen comportamiento ante el fuego, mayor capacidad de absorción de energía y mayores niveles de aislamiento térmico y acústico.

La utilización de materiales compuestos también supone una disminución del consumo de energía en los procesos de fabricación, ya que la producción de componentes con geometrías complejas es más sencilla y puede automatizarse.

### Sistemas embarcados de almacenamiento de energía

Los sistemas embarcados de almacenamiento de energía son utilizados por los vehículos ferroviarios para optimizar su consumo energético. Teniendo en cuenta que el equipo de tracción es la mayor

f fuente de consumo en estos vehículos, parece conveniente actuar sobre él para conseguir buena parte de ahorro energético.

Con estos sistemas se puede dimensionar la fuente de energía primaria para proporcionar una energía media. La energía sobrante de los procesos de frenado regenerativo es almacenada por el sistema embarcado y los picos puntuales de demanda de energía son abastecidos por el mismo.

Entre los sistemas embarcados de almacenamiento de energía, se encuentran los volantes de inercia, las baterías y las ultracondensadores, con menor densidad de energía pero mayor potencia que las anteriores.

En vehículos eléctricos en servicios con muchas paradas, se puede regenerar hasta el 40 por ciento de la energía consumida y reducir otro tanto en los picos de potencia. En los vehículos diesel-eléctricos híbridos, el consumo de energía se reduce entre un 25 y un 40 por ciento.

La combinación de sistemas de acumulación a bordo, como la tecnología basada en el hidrógeno, y en tierra, mejoran las prestaciones del vehículo y optimizan el rendimiento energético del sistema. Posibles combinaciones son baterías y ultracondensadores, baterías y volantes de inercia, o volantes de inercia junto a ultracondensadores.

### Automatismos

Una gran parte de la energía que consumen los trenes se emplea en la alimentación de los equipos auxi-

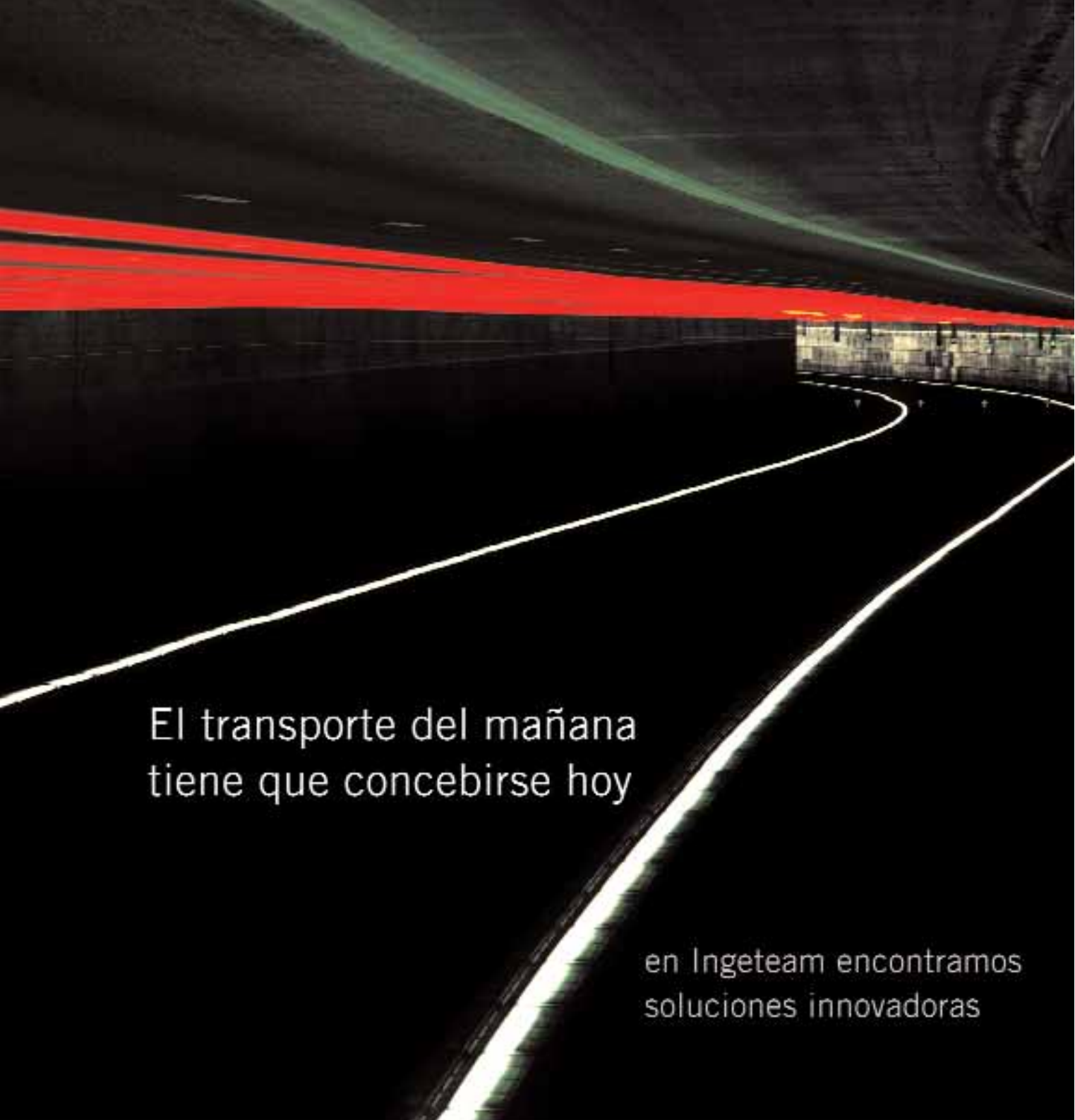
mento de modos más contaminantes y menos eficientes energéticamente como el avión o el automóvil.

## Balance actual

En un año medio, el conjunto del ferrocarril español recibe de la red eléctrica 3.067 GWh que, tras las pérdidas, se convierten en los pantógrafos en 2.888 GWh, el cien por cien de la energía "importada" por el ferrocarril.

A esa cantidad se suman los 577 GWh que si se pueden

recuperar por los trenes en circulación procedente del freno regenerativo de otros trenes próximos. Así, un total de 3.465 GWh son los efectivamente consumidos para tracción y equipos auxiliares de los trenes. De ellos, 1.283, nada menos que el 44,4 por ciento de la energía importada de la red por el ferrocarril, está



El transporte del mañana  
tiene que concebirse hoy

en Ingeteam encontramos  
soluciones innovadoras

En Ingeteam escuchamos las necesidades de nuestros clientes y de toda la sociedad, buscando las soluciones más eficientes, desde la innovación tecnológica.

[www.ingeteam.com](http://www.ingeteam.com)

En el sector ferroviario participamos activamente en el desarrollo y fabricación de sistemas integrales de tracción eléctrica, alimentación y control para vehículos ferroviarios.

Aplicamos la ingeniería a la investigación, diseño, fabricación y venta de productos y servicios en aquellos campos tecnológicos donde exista un gran intercambio de energía, como en el sector energético, la industria siderometalúrgica, el sector naval o la tracción ferroviaria.

Energía

Industria

Naval

Tracción

Tecnologías Básicas

Servicios

**Ingeteam**

liares de confort (climatización e iluminación). Por ello algunas de las medidas posibles se orientan a reducir dichos consumos.

Se podría dotar a los trenes con dispositivos que regulen el caudal de aire que entra al vehículo - como media se introducen quince metros cúbicos de aire por viajero y hora, que deben ser calentados o enfriados- en función de la ocupación real del mismo. Además, un tren en movimiento requiere energía para vencer la resistencia al avance que produce dicha entrada de aire y que es proporcional a la velocidad, por lo que este concepto es especialmente relevante en trenes de alta velocidad.

Los trenes pasan tiempo en operaciones de mantenimiento y limpieza o estacionados, periodos en los que no están a disposición de los viajeros y no es necesario que todos los equipos de climatización e iluminación estén en funcionamiento.

Gracias a dispositivos de ahorro de energía se puede programar la desconexión total o parcial de esos equipos y la conexión antes de admitir viajeros para llevar a cabo el preacondicionamiento de la unidad.

## Infraestructura

### Subestación reversible de Metro Bilbao

Metro Bilbao prueba en la actualidad un sistema desarrollado por Ingeteam Traction para recuperar la energía del frenado en sistemas ferroviarios que puede ser integrado en las subestaciones actuales sin necesidad de modificación del sistema existente.

El sistema consiste en un convertidor doble, conectado a la

destinados a disiparse por el freno eléctrico. En los trenes sin freno regenerativo se pierden ya 147 GWh y de los otros 1.135 "disponibles" en los trenes que sí disponen de ese sistema de freno,



Un desarrollo de Ingeteam para Metro Bilbao permitiría recuperar mediante una subestación reversible hasta el 30 por ciento de la energía tomada.

catenaria en paralelo con el rectificador de la subestación, al mismo transformador ya existente. Dicho sistema se encarga de monitorizar en todo momento el estado de la catenaria, y en caso de que exista energía recuperable, convierte ésta en energía alterna de alta calidad, que inyecta en la red trifásica general.

Adicionalmente, el sistema permite un control de los armónicos en la red trifásica, actuando como frente activo, permitiendo incluso una actuación reversible aportando energía a la catenaria en los picos de potencia de consumo, con un consumo de corriente de calidad para la red alterna.

Un software específico, a través de la toma de datos realizada en el material rodante durante la operación real, permite realizar el dimensionamiento y la definición del sistema de manera óptima y el estudio de viabilidad económica.

Estudios realizados en redes de metro, confirman que existe un potencial de recuperar, con este tipo de sistemas hasta un 30 por ciento de la energía consumida. En la actualidad, Ingeteam y Metro

Bilbao están realizando la toma y análisis de los datos provenientes del prototipo instalado en las instalaciones del operador.

### Acumuladores de energía en tierra

Los acumuladores de energía en tierra son dispositivos que bien se instalan en la subestación eléctrica de tracción o en otras partes del trayecto, ayudando a mejorar la estabilidad de la red eléctrica en puntos críticos y recuperando la energía de frenado para utilizarla en caso de mayor demanda, reduciendo el gasto de explotación y el dedicado a la energía eléctrica.

Los acumuladores de energía en tierra son muy variados en función de factores como la energía que pueden almacenar, su potencia necesaria, su volumen disponible, su rapidez en la respuesta, etc. Las más usuales tecnologías de almacenamiento son los supercondensadores, las baterías y los volantes de inercia.

De otros no se cuenta con experiencia de su aplicación como acumuladores de energía en tierra, es el caso de los campos electro-

sólo 577 pueden, tras las pérdidas ohmicas, ser utilizados por trenes en tracción en su misma sección.

Otros 529 GWh están en disposición de ser aprovechados y sólo 76 de ellos se devuelven a la red pública -corriente alterna- sin programar y sin compensación económica en subestaciones reversibles.



magnéticos y células reversibles de combustible, con un rendimiento menor a la mayoría de las baterías convencionales.

Utilizar unos u otros sistemas de almacenamiento, que se encuentran entre las tecnologías más prometedoras para reducir el consumo de energía en el ferrocarril, dependerá de los requisitos de uso y del coste que presenten las distintas alternativas.

### Sistemas bitensión

Los sistemas bi-tensión, también denominados duales, son los sistemas de alimentación en los cuales se transporta la energía a una tensión superior a la tensión de alimentación, que se reduce mediante dispositivos situados en la propia infraestructura. Este concepto, empleado ya en el sistema 2x25 kilovoltios, es aplicable tanto a sistemas de corriente continua (2x3000 voltios) como a sistemas de corriente alterna.

La ventaja de los sistemas bitensión es que permiten reducir la corriente necesaria para suministrar la potencia a los trenes. De este modo disminuyen las caídas de ten-

sión en la catenaria lo que posibilita distanciar las subestaciones de tracción y reduce en menores costes de electrificación.

## Explotación

### Conducción económica

La conducción económica se basa en el diseño de varias marchas con el objetivo de minimizar los tiempos de recorrido objetivo, teniendo en cuenta los requisitos operativos y de confort para conseguir la reducción del consumo energético.

En líneas metropolitanas equipadas con sistema de conducción automática ATO por cada intersección se suelen diseñar varias marchas ATO con distintos tiempos de recorrido que permiten recuperar retrasos o realizar marchas más lentas, según las necesidades de regulación.

En líneas de alta velocidad consiste en el diseño de una conducción manual en un trayecto que verifique las restricciones operativas, tales como tiempo de recorrido, velocidades límite, etc. y por consiguiente minimice el consumo energético. Una vez diseñado un modo

en conducción manual, se obtiene una lista de consignas que el maquinista deberá ejecutar a lo largo del recorrido. Los diferentes modos de conducción obtenidos están basados en simulaciones, y deberán tener en cuenta, de forma detallada, las características propias de la vía, de la electrificación y del material, con el fin de obtener resultados realistas y aplicables posteriormente en el tramo de pruebas.

### El proyecto ElecRail

El proyecto ElecRail, financiado por el Ministerio de Fomento-Cedex, se está desarrollando desde 2007 y tiene como objetivo analizar de manera sistemática las formas de reducir el consumo de energía eléctrica (y por ello costes y emisiones) en el ferrocarril de tracción eléctrica.

Se trata de identificar las diferentes acciones posibles, las interrelaciones entre ellas, y profundizar en el estudio de cada una de las acciones que se estiman más relevantes (establecimiento de horarios, almacenamiento de energía, dimensionamiento del sistema de alimentación, diseño y uso de los servicios auxiliares, etc.).

En el proyecto ElecRail participan entidades de diverso tipo y especializadas en el transporte ferroviario, como la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, IIT de la Universidad Pontificia Comillas (ICAI), Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid, Adif, Renfe-Operadora, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, Metro de Madrid, Transportes Metropolitanos de Barcelona, Dtren, Patentes Talgo, CAF, Dimetric, Ingeteam y M. Torres.

600 GWh que podría ofrecer como un importante productor de energía renovable. ■

M<sup>a</sup> PILAR MARTÍN,  
ESTEFANÍA SÁNCHEZ Y  
ÁNGEL RODRÍGUEZ

Así, otros 453 GWh se pierden en reostáticos –corriente continua–, por falta de consumidores. Se trata de un 15,7 por ciento de la energía eléctrica importada por el ferrocarril que con el 5,1 por ciento que suponen los 147 GWh que se pierden en trenes sin freno reostático, representan un 20,8 por ciento de la energía que el ferrocarril toma de la red y los