

Ferrocarriles del futuro: evolución y perspectivas de la alta velocidad, del Maglev y del Hyperloop (parte 2)

Railways of the future: evolution and prospects of high-speed rail, maglev and hyperloop (2nd part)

■■■■
Esther González-González y Soledad Nogués
Universidad de Cantabria (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8323>

2. DESARROLLO ACTUAL Y RETOS DE FUTURO

La AVF es el sistema con mayor desarrollo actualmente. Según datos proporcionados por la UIC, en 2016 existen unos 29.000 km de líneas en servicio en 13 países que transportan cerca de 1.600 millones de pasajeros al año, a los que se unen 15.000 km más en construcción y otros miles planificados para los próximos años. Sin embargo, su futuro también se encuentra en discusión tanto en el mundo académico como en el político [1], debido a sus elevados costes de construcción y de mantenimiento y a la falta de viabilidad económica. Esto se ha puesto de manifiesto por ejemplo en el caso español, donde las líneas de AVE no resultan rentables ni siquiera en el corredor Madrid-Barcelona [2,3].

Por su parte, al MAGLEV se le presuponen una serie de ventajas frente a la AVF, tal como recoge **Yaghoubi** [4]. Por un lado, ventajas medioambientales, como son menores emisiones, ocupación de suelo y fragmentación al discurrir sobre estructuras elevadas. Por otro lado, una mayor seguridad por la inexistencia de cruces e intersecciones con otros medios de transporte, así como por la propia naturaleza de la propulsión, que impide que se produzca el choque de vehículos. También presenta mejoras en la explotación, como menores tiempos y distancias para acelerar y decelerar, lo que implica un menor tiempo de viaje global a igual velocidad. Por último, desde el punto de vista de los pasajeros, un mayor confort, frecuencia, capacidad y fiabilidad.

Estas ventajas podrían suponer una alternativa a la AVF, sin embargo, su desarrollo todavía es marginal ¿Por qué? Si para el primero el principal inconveniente es el coste, éste se ve enormemente agravado en los MAGLEV, tanto en la construcción de su infraestructura como en la energía necesaria para su funcionamiento.

Mientras la AVF tiene un coste medio de unos 18 millones de euros por kilómetro según datos de 2005, la línea al aeropuerto de Shanghai costó una media de 33 millones €/km, y el futuro SCMAGLEV se espera que cueste del orden de US\$72 billion, es decir 125 millones €/km [3,5]. Esto, acompañado de las dificultades en la gestión de incidentes -como se demostró en el accidente del circuito de pruebas de Emsland en 2006-, sus no tan menores emisiones de ruido y vibraciones, así como su incompatibilidad con las líneas existentes, ha dificultado su desarrollo a lo largo del mundo, apareciendo como un sistema desconectado con dudoso potencial de futuro [5,6,7,8,9].

Por último, Hyperloop se encuentra actualmente en un proceso ilusionante de participación de la comunidad científico-tecnológica para desarrollar su diseño inicial. En este sentido, a comienzos de 2016, la empresa *SpaceX* organizó un concurso de diseño de las cápsulas en el que participaron unos 120 equipos, principalmente de estudiantes de ingeniería de diversas universidades de todo el mundo. Los 30 equipos finalistas, entre los que se encuentra uno de la UPV de Valencia que ganó dos de los premios de la competición (Mejor Diseño y Mejor Subsistema de Propulsión), han sido emplazados para construir modelos a escala $\frac{3}{4}$ completamente funcionales que serán probados en 2017 en una pista de pruebas de la empresa *Hyperloop Transportation Technologies (HTT)*, cerca de la sede de *SpaceX* en California [10,11,12]. La otra empresa en la batalla, *Hyperloop One*, ha realizado recientemente una prueba en Nevada con el objetivo de probar varios componentes y mostrar que se está avanzando en la investigación de este sistema [13].

Además de la reducción de tiempos de viaje y la no utilización de combustibles fósiles, y por tanto la ausencia de emisiones -al contrario que el avión-, la gran ventaja de este sistema era aparentemente su reducido coste frente a los anteriores modos. En este sentido, la primera propuesta de **Musk** para la conexión de California se estimaba en un entorno de los 6,6 millones €/km (US\$11,5 millones/

milla), muy inferior a los 56 millones €/km de la AVF planteada en el mismo corredor. Sin embargo, las últimas estimaciones lo sitúan en una horquilla entre los 52 y 71 millones €/km. Asimismo, las valoraciones para la unión de los 484 km entre las ciudades de Estocolmo (Suecia) y Helsinki (Finlandia) en 28 minutos, estimada en 40 millones €/km, incluyendo en el presupuesto la construcción del túnel marino más largo del mundo, y los 30 millones €/km previstos en una futura línea entre Dubai y Abu Dhabi [14], se acercan a estas cifras, que son bastante superiores a la media de la AVF y muy similares a los MAGLEV.

La infravaloración económica inicial de Hyperloop, asociada principalmente a costes de compra de terrenos, es sólo uno de los errores y dudas señalados por diversos técnicos y científicos reconocidos que cuestionan la viabilidad del sistema. A estos aspectos no resueltos se unen: la realización de pruebas que puedan reflejar problemas solo identificables *in situ*, la cantidad real de energía necesaria para su funcionamiento, el mantenimiento de la baja presión a lo largo del tubo, el equilibrio de las cápsulas ante cambios de presión, la infravaloración del diámetro necesario del tubo, su adaptabilidad a riesgos geológicos, la complejidad de implementación en la mayor parte del mundo dado sus exigentes requisitos, etc. [5,9,15,16,17,18].

3. CONCLUSIONES

Las investigaciones de los últimos años están demostrando capacidad científico-tecnológica para desarrollar sistemas cada vez más veloces, por lo que parece indudable que a medio-largo plazo las tecnologías actuales se van a ver sobrepasadas por nuevos sistemas. Sin embargo, estos modelos avanzados han de ser considerados como una alternativa cuya implantación no va a ser ni tan rápida ni tan fácil.

Los requerimientos singulares y enormes costes de MAGLEV e Hyperloop dificultarán enormemente su posicionamiento como modo sustitutivo de la AVF.

De hecho, estas exigencias, técnicas y presupuestarias, hacen cuestionarse si el objetivo de aumentar la velocidad responde verdaderamente a las necesidades generales de la sociedad. Por un lado, el ahorro en tiempos de viaje ha resultado mucho más eficaz en el salto del ferrocarril convencional a la AVF (150-300 km/h),

que los que se pueden esperar entre AVF y MAGLEV o MAGLEV e Hyperloop para las distancias que se recorren normalmente (ahorros de 2h frente a ahorros de 30 minutos en 500 km) [7], y de otro, tal como afirma Crozet [8], la mejora de la "velocidad social generalizada" por km es mucho menor de lo esperado frente a los sistemas

ya establecidos y su coste mucho mayor, si se tienen en cuenta costes externos, subvenciones recibidas, etc. Como consecuencia, estas grandes inversiones no siempre encuentran justificación, y estos sistemas aislados, destinados a servir de conexión entre nodos urbanos principales, seguramente completarán las redes exis-

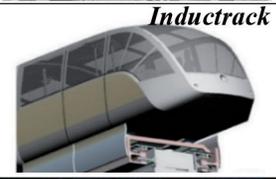
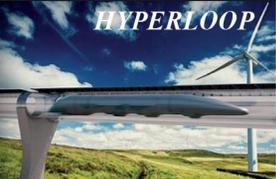
		Tracción	Tipo de línea y compatibilidad	Tráfico	Velocidad máxima (km/h)	Coste (millones €/km)
AVF		Eléctrica: ruedas sobre railes	LAV nueva	Uso exclusivo pasajeros	250-300	20-40
	Aislada de la red convencional					
		Eléctrica: ruedas sobre railes	LAV nueva o convencional adaptada	Uso exclusivo pasajeros	300-500	4,7 - 23
	Compatible con red convencional					
MAGLEV		EMS: Levitación y guía separada sobre vías electromagnéticas	LAV nueva	Uso exclusivo pasajeros	400-500	33-75
			Aislada de la red convencional			
		EDS: Imanes permanentes	LAV nueva	Mixto	> 500	
			Aislada de la red convencional			
HYPERLOOP		Levitación en tubo sobre colchón de aire	Tubo nuevo	Mixto	1200	30 - 71
			Aislado de la red convencional			

Tabla I: Resumen tipos AVT

Fuente: elaboración propia a partir de [3,5,6,7,14,19,20,21]. Imágenes: Shinkansen: "JR Central Shinkansen 700" por Sui-setz, 2008, Wikimedia commons; TGV: "TGV" por Eric Salard, 2015, Flickr; ICE: "ICE-3-frankfurt" por Sebastian Kasten, 2005, Wikimedia commons; Transrapid: "Maglev" por Max Talbot Minkin, 2012, Flickr; HSST: "ECOBEE" por Minseong Kim, 2016, Wikimedia commons; Inductrack: "Inductrack" por US Department of Energy, 2012, web; SCMAGLEV: "Series Lo" por Saruno Hirobano, 2013, Wikimedia commons; Hyperloop: "HyperLoop 1" por Hyperloop Transportation Technologies, 2015, Flickr. Acceso: 7 Febrero 2017. Licencias CC BY 2.0.

tentes puntualmente y competirán de una forma más directa con el avión que con el ferrocarril.

Parece, por tanto, que el futuro del transporte ferroviario no es sólo una cuestión de velocidad, donde los nuevos sistemas pueden tener una ventaja comparativa, sino que es, o debería ser, sobre todo una cuestión de mejora general de los servicios a los usuarios y de la eficiencia energética, lo que implica antes que nada adecuar las redes existentes con actuaciones como la optimización de la energía, la electrificación sistematizada de las vías o su adaptación a velocidades comerciales más acordes a lo que se espera en este siglo. Por otro lado, han de considerarse otros medios de transporte que incluyan nuevas tecnologías o formas de uso eco-sostenibles y que ofrezcan acceso generalizado a la población, como son los vehículos eléctricos o de bajas emisiones o el coche compartido, dado que van a jugar, junto con el ferrocarril, un papel fundamental en el futuro.

PARA SABER MÁS

[1] Delaplace M., Dobruszkes, F. "Editorial: Thinking beyond the cost-benefit analysis: the wider impact of high-speed rail on local development". *Belgeo* [en línea], January 2016, Vol.3. Disponible en: <http://belgeo.revues.org/18166> [consulta: 10 Noviembre 2016]

[2] Albalade D., Bel G., Fageda X. "When supply travels far beyond demand: Causes of oversupply in Spain's transport infrastructure". *Transport Policy*, July 2015, Vol. 41, p. 80-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.03.004>

[3] Campos J., de Rus G. "Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the world". *Transport Policy*, January 2009, Vol. 16: 1, p. 19-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.02.008>

[4] Yaghoubi H. "The most important advantages of Magnetic Levitated Trains". En: Proceedings of the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2011: Towards Sustainable Trans-

portation Systems, Nanjing (China): August 14-17, 2011. p. 3974-3986. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/41186\(421\)398](http://dx.doi.org/10.1061/41186(421)398)

[5] Palacin R. "The future of travel and why it doesn't look like Hyperloop" [en línea]. The Conversation Trust. 4 Agosto 2015. Disponible en: <https://theconversation.com/the-future-of-rail-travel-and-why-it-doesnt-look-like-hyperloop-45354> [consulta: 15 noviembre 2016]

[6] Lee H-W., Kim K.C., Lee J. "Review of MA-GLLEV train technologies". *IEE Transactions on Magnetics*, June 2006, Vol. 42: 7, p.1917-1925. DOI: 10.1109/TMAG.2006.875842

[7] Vuchic V.R., Casello J.M. "An evaluation of Maglev technology and its comparison with high speed rail". *Transportation Quarterly*, March 2002, Vol. 56: 2, p. 33-49.

[8] Crozet Y. "Maglev (603 km/h), Hyperloop (1102 km/h). Vers un "retour sur terre" de la très grande vitesse?". *Transports*, 2015, p. 5-15. ISSN 0564-1373

[9] Goodall R.M., Ward C.P. "Rolling stock technology for the future". En: International Conference on High Speed Rail. University of Birmingham: 8-10 Diciembre 2014.

[10] Ross P.E. "Hyperloop: No Pressure: The vacuum train project will get its first test track this year". *IEEE Spectrum*, January 2016, Vol. 53: 1, p. 51-54.

[11] Hawkins A.J. "Here are the Hyperloop pods competing in Elon Musk's big race later this year" [en línea]. *The Verge*. 18 Junio 2016. Disponible en: <http://www.theverge.com/2016/6/18/11965354/hyperloop-pod-competition-elon-musk-spacex-team-design> [consulta: 15 Noviembre 2016]

[12] Jiménez M. "Hyperloop UPV, el tren a 1.000 Km por hora con sello español" [en línea]. Cinco días. 15 Diciembre 2016. Disponible en: http://cincodias.com/cincodias/2016/12/14/tecnologia/1481745152_174901.html [consulta: 7 Febrero 2017]

[13] Szondy D. "Hyperloop One shows off magnetic drive in dramatic demonstration" [en línea]. *New Atlas - Urban Transport*. 12 Mayo 2016. Disponible en: <http://newatlas.com/hyperloop-one-demonstration/43283/> [consulta: 15 Noviembre 2016]

[14] Konrad A. "Leaked Hyperloop One docs reveal the startup thirsty for cash as costs will stretch into billions" [en línea]. *Forbes*. 25 Octubre 2016. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/alexkonrad/2016/10/25/hyperloop-one-seeks-new-cash-amid-high-costs/#6fc6552f125c> [consulta: 7 Febrero 2017]

[15] Chin J.C., Gray J.S., Jones S.M., Berton J.J. "Open-Source Conceptual Sizing Models for the Hyperloop Passenger Pod". En: *Actas del 56th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, Florida: 5-9 Enero 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.2514/6.2015-1587>

[16] Kosowatz J. "Investigating Hyperloop's Viability" [en línea]. *Mechanical Engineering*, October 2013. Disponible en: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/transportation/investigating-hyperloops-viability.aspx> [consulta: 10 Noviembre 2016]

[17] Wolverton T. "Wolverton: Elon Musk's Hyperloop hype ignores practical problems" [en línea]. *The Mercury News*. 13 Agosto 2013. Disponible en: <http://www.mercurynews.com/2013/08/13/wolverton-elon-musks-hyperloop-hype-ignores-practical-problems/> [consulta: 15 Noviembre 2016]

[18] Romero P. "Hyperloop, el tubo supersónico de Elon Musk, es posible" [en línea]. *El Español*. 14 Octubre 2015. Disponible en: http://www.elspanol.com/ciencia/tecnologia/20151013/71242899_0.html [consulta: 15 Noviembre 2016]

[19] Najafi F.T., Nassar F.E. "Comparison of High-speed rail and MAGLEV systems". *Journal of Transportation Engineering*, July 1996, Vol. 122: 4, p. 276-281. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1996\)122:4\(276\)#sthash.2RUFKLDQ.dpuf](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1996)122:4(276)#sthash.2RUFKLDQ.dpuf)

[20] Givoni M. "Development and impact of the modern High-Speed Train: A review". *Transport Reviews*, 2006, Vol. 26: 5, p.593-611. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01441640600589319>

[21] Post R.F., Ryutov D.D. "The Inductrack: A Simpler Approach to Magnetic Levitation". *IEEE Transactions on applied superconductivity*, March 2000, Vol.10: 1, p. 901-904. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/77.828377>

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo se basa en la Tesis Doctoral "Los impactos territoriales en la elección del modelo ferroviario: El caso de las conexiones de Cantabria" realizada por Esther González-González y dirigida por Soledad Nogués y Luigi dell'Olio, cuya elaboración fue financiada por la beca pre-doctoral FPI del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (referencia BES-2008-00436).

DYNA

Ingeniería e Industria

Suscríbete a Revista Dyna

Revista técnico científica de ingeniería multidisciplinar desde 1926

Los mejores artículos en español para investigadores y profesionales de la ingeniería. Mantente actualizado y conoce el estado del arte en ingeniería.

PROMOCIÓN PARA COLEGIADOS:

La suscripción a DYNA impresa incluye la suscripción digital a DYNA y a otras 3 revistas especializadas:

- DYNA Energía y Sostenibilidad (DYNAES)
- DYNA Management (DYNAMN)
- DYNA Nuevas Tecnologías (DYNANT)

Suscripción Impresa + 4 revistas digitales 48 €/año

Para acogerse a esta promoción escribanos a dyna@revistadyna.com (o llame al 944 237 566) indicando su colegio y número de colegiado.

<http://www.revistadyna.com/suscripcion-colegiado-espana-impresa>

