

## Educación e investigación en ingeniería ferroviaria: tren de mediciones CTO, una sala de clases sobre rieles

Nunez, Alfredo; Hendriks, Jurjen; Li, Zili; Dollevoet, Rolf

**Publication date**

2017

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Conocimiento para la equidad social. Libro de actas X conferencia internacional encuentros Barcelona 2016

**Citation (APA)**

Nunez, A., Hendriks, J., Li, Z., & Dollevoet, R. (2017). Educación e investigación en ingeniería ferroviaria: tren de mediciones CTO, una sala de clases sobre rieles. In P. Rivera-Vargas, R. Morales-Olivares, E. Sánchez-Sánchez, & I. Sáez-Rosenkranz (Eds.), *Conocimiento para la equidad social. Libro de actas X conferencia internacional encuentros Barcelona 2016* (pp. 84-87)

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Educación e investigación en ingeniería ferroviaria: tren de mediciones CTO, una sala de clases sobre rieles

Alfredo Núñez, Jurjen Hendriks, Zili Li, Rolf Dollevoet

Delft University of Technology

### Introducción

La industria ferroviaria a nivel mundial necesita de una gran cantidad de nuevos profesionales, capaces de resolver los crecientes desafíos que este modo presenta. Siendo una industria por lo general conservadora, atraer a las y los mejores no es tarea fácil. En este resumen, se discuten algunos desafíos del mundo ferroviario y se presenta el tren CTO como una manera novedosa de atraer estudiantes. Hasta la fecha, el tren CTO ha sido ocupado principalmente para labores de investigación de la universidad tecnológica de Delft y por algunas empresas. Se pretende adaptar el tren para ocuparlo como sala de clases durante el año académico 2017-2018. Siendo un proyecto en desarrollo, el objetivo principal de este resumen es discutir desafíos futuros, adelantar la discusión de la necesidad de formación de nuevos profesionales ferroviarios que se tendrá en Chile y, sobre todo, fomentar la cultura y amor por el modo ferroviario.

A nivel Europeo, la discusión de los desafíos futuros de la industria ferroviaria está clara y bien definida en el corto y mediano plazo. El documento *Roadmap to a single European transport area - Towards a competitive and resource efficient transport system* (European Commission, 2011) hace hincapié en una serie de objetivos clave que las y los profesionales ferroviarios deberán hacerse cargo:

- A nivel europeo, para el año 2050 la mayor parte del transporte de pasajeros de media distancia debe ir por ferrocarril.
- Para el 2030, un 30% de la carga que actualmente se transporta vía carreteras, y que viaja distancias mayores a 300 km, deberá transportarse con otros modos, como el ferrocarril o el transporte marítimo.
- Para el 2050, la meta es superar el 50% de la carga actualmente transportada, facilitado por corredores de mercancías eficientes y verdes. Para cumplir con este objetivo, se debe diseñar una infraestructura interconectada, inteligente y eficiente.
- En el contexto urbano hay que reducir la congestión y las emisiones mediante una estrategia mixta que considere el uso planificado de suelo, los esquemas de tarificación, el transporte público eficiente, una infraestructura inteligente para vehículos no motorizados y facilitar la recarga de vehículos eléctricos.

Con la creciente importancia de los ferrocarriles en Europa, junto con un interés global en los nuevos desarrollos en el campo ferroviario, la formación de nuevos profesionales ferroviarios integrales se debe centrarse principalmente en los enfoques tecnológicos y multidisciplinarios para la mejora de los muchos desafíos particulares que tiene la infraestructura. Ellas y ellos deberán ser capaces de proponer soluciones con un enfoque integral de sistemas, con un análisis que vayan más allá de las evaluaciones económicas clásicas y actuales de inversión, considerando los más amplios impactos sociales y ambientales en las decisiones de diseño y operación. Desde la perspectiva de los sistemas ferroviarios, deberán mejorar la capacidad, el aumento de la confiabilidad y la calidad de los servicios, junto a reducir los costos del ciclo de vida, proponiendo nuevas

metodologías en el ámbito del monitoreo de la condición de la infraestructura y mantenimiento aplicables a las redes ferroviarias europeas y de todo el mundo.

Los recientes avances en la tecnología de sensores para sistemas a gran escala han hecho posible la adquisición de grandes cantidades de datos sobre el estado de la infraestructura de los sistemas ferroviarios durante el funcionamiento. Sin embargo, en el sector ferroviario existe una falta de conocimiento sobre la mejor manera de hacer uso de toda esa información masiva. Desde el punto de vista teórico y práctico, la información de la infraestructura ferroviaria es un reto, porque es multidimensional, espacial y temporalmente distribuido, multi-escala y porque procede de fuentes heterogéneas de datos como sonido, corriente de Foucault, ultrasonidos, informes –a veces escritos a mano sobre el rendimiento-, etc. Por otra parte, los datos se ven influenciados por factores externos específicos como el medio ambiente, las características de los actuadores, los errores de los propios sensores, imprecisiones, errores humanos, datos incompletos, que afectan a la capacidad de las metodologías convencionales para gestionar las variables clave y comprometer el rendimiento de los sistemas de soporte de decisiones.

### **Tren CTO para educación e investigación ferroviaria**

Los nuevos profesionales ferroviarios deberán enfrentar problemas prácticos y científicos relacionados con los dominios de Ingenierías Ferroviaria, Mecánica, Eléctrica, Sistemas y Control, Operaciones, Ciencias de la Computación y Sociales, entre otras. Pensando en que el modo ferroviario debe funcionar 24/7 para transportar carga y pasajeros, no hay tiempo para las operaciones de monitoreo de la infraestructura y su mantenimiento. En vías de muy alta demanda, una posible solución es el monitoreo ocupando los mismos trenes que están en operación. Y con respecto al mantenimiento, una nueva generación de robots inteligentes montados en los trenes, podrían llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento y renovación de rieles, pulido con esmeril a alta velocidad, reemplazo rápido de elementos de fijación y frisos, reemplazo automático de cables, realizando una molienda, apisonamiento, limpieza y renovación, local y rápida, sin afectar el funcionamiento. Estos son, entre muchos otros, los mayores desafíos que las nuevas generaciones de profesionales ferroviarios deberán solucionar en una industria que requiere de más y mejor servicio, pero con menores costos.

En infraestructuras muy grandes, las labores de monitoreo sin estar a bordo de un tren son prácticamente imposible o muy costosas en términos de horas hombre. El monitoreo a bordo de trenes en operación es mucho más difícil de realizar que las mediciones estáticas; pero, en su favor, logran entregar mucha más información al captar *in-situ* los modos naturales y de falla que la infraestructura posee durante su operación. Por ejemplo, en trabajos (Li *et al.*, 2015; Molodova *et al.*, 2014), se muestra como la medición de aceleración en los ejes de un tren en operación puede indicar la existencia de defectos muy pequeños en el riel que no pueden ser detectados con las técnicas convencionales de medición, ultrasonido o corrientes de Foucault. La detección temprana de defectos permite planificar el mantenimiento adecuado para eliminar sus efectos sin necesidad de reemplazar por completo el riel. En Núñez *et al.* (2014) se describe cómo es posible facilitar las decisiones de mantenimiento de los rieles ocupando información del tipo *Big Data* para el caso de vibraciones en el eje de los trenes. En Liu *et al.* (2016), se ocupan mediciones de la fuerza en el contacto entre el pantógrafo y el cable cobre de la catenaria para detectar puntos de falla del sistema eléctrico. Las mediciones dinámicas entregan más información de la calidad del contacto, al estar la fuerza directamente relacionada

con los modos de operación del sistema. En Faghieh-Roohi *et al.* (2016) se implementan redes neuronales para detectar defectos en rieles ocupando video e imágenes obtenidas por un tren a baja velocidad.

El tren CTO es una propuesta de la sección de Ingeniería Ferroviaria de la Universidad Tecnológica de Delft, en la que las más novedosas tecnologías de monitoreo de infraestructura a bordo de trenes en operación son probadas para verificar su operación y eficacia. A su vez, el tren es la sala de clases ideal para los estudiantes, donde pueden estudiar como funcionan las diversas tecnologías, evaluar el desempeño de sus propias aplicaciones, algoritmos o dispositivos e interiorizarse con las mediciones “*on the run*” (TUDelft, 2016). Estudiantes, investigadores y empresas están invitados a colaborar en el desarrollo de las mejores tecnologías. Actualmente, los sistemas de monitoreo presentados en Li *et al.* (2015), Molodova *et al.* (2014) y una adaptación basada en acelerómetros para emular los resultados de Liu *et al.* (2016) han sido probados. Otros sistemas como el láser, los colectores de energía, y las video cameras han sido también testeados.

Los datos recopilados por el tren CTO pueden convertirse en información útil cuando las características únicas y actuales de los componentes físicos de los sistemas de ferrocarriles están incluidos explícitamente en el monitoreo de la condición, el modelado, el análisis y el control de diseño estructural. Esos diseños están destinados a desempeñar un papel importante en los sistemas de apoyo a las decisiones de mantenimiento. Las decisiones finales se implementan de forma automática o manualmente por los operadores (agentes de decisión) en base a los datos recogidos (colección automática o manual de la información) y en su propia experiencia sobre el sistema (fuentes de conocimiento).

## Conclusiones

En el tren CTO se logra una conexión de lo teórico que se aprende en la sala de clase, lo práctico al tomar el mismo estudiante sus propios datos y es una plataforma para la innovación. Si bien, el tren se ha ocupado por el momento sólo para labores de investigación, el tener clases en el tren puede atraer el interés de varios estudiantes y facilitar el aprendizaje de métodos de medición a bordo del tren a velocidades comerciales.

Parte de la investigación futura está en evaluar las mejores metodologías pedagógicas a bordo de un tren en movimiento. Los sistemas de audio, video y comunicación entre alumnos y profesores deben ser diseñados para maximizar la experiencia educativa. Es posible que algunos estudiantes se desconcentren y que no encuentren necesario tener clases en un tren. Antes de implementar las clases se debe evaluar la impresión de los alumnos al respecto y cumplir con las expectativas. Dentro de los problemas logísticos está el caso de que algún alumno llegue tarde. Se podría evaluar la realización de algunas paradas en estaciones o transmitir las clases *online*.

## Referencias bibliográficas

European Commission, *Roadmap to a single European transport area - Towards a competitive and resource efficient transport system*. Recuperado de: [http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011\\_white\\_paper/white\\_paper\\_com\(2011\)\\_144\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white_paper_com(2011)_144_en.pdf)

Li, Z., Molodova, M., Núñez, A. y Dollevoet, R. (2015). Improvements in axle box acceleration measurements for the detection of light squats in railway infrastructure. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62 (7), 4385-4397. Doi:10.1109/TIE.2015.2389761.

Liu, Z., Wang, H., Dollevoet, R., Song, Y., Núñez, A. y Zhang, J. (2016). Ensemble EMD-based automatic extraction of the catenary structure wavelength from the pantograph-catenary contact force. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 65(10), 2272-2283. Doi: 10.1109/TIM.2016.2579360.

Faghih-Roohi, S., Hajizadeh, S., Núñez, A., Babuska, R. y De Schutter, B. (2016). *A deep learning approach for detection of rail defects*. Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence, IEEE WCCI 2016, Vancouver, Canada, 25-29 July.

Molodova, M., Li, Z., Núñez, A. y Dollevoet, R. (2014). Automatic detection of squats in the railway infrastructures. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 15(5), 1980-1990. Doi: 10.1109/TITS.2014.2307955.

Núñez, A., Hendriks, J., Li, Z., De Schutter, B. y Dollevoet, R. (2014). *Facilitating maintenance decisions on the Dutch railways using Big Data: The ABA case study*. Proceedings of the 2014 IEEE BigData Conference (pp. 48-53). Bethesda, Maryland, USA. Doi: 10.1109/BigData.2014.700443.1

TU Delft, CTO (2016). *Measurement train* [Video]. Recuperado de: <https://www.facebook.com/TUdelft/videos/1032978740115272/>.

## **Agradecimientos**

H2020 Project "Needs Tailored Interoperable Railway" (NeTIRail-INFRA) y ProRail.