

# **OPTIMIZACIÓN DEL DESPLIEGUE DE UNA RED DE CARGADORES ELÉCTRICOS MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL**

**Amaro Garcia-Suarez<sup>1,\*</sup>, José-Luis Guisado-Lizar<sup>1</sup>, Fernando Diaz-del-Rio<sup>1</sup>,  
Francisco Jiménez-Morales<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Sevilla, España.*

<sup>2</sup> *Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Sevilla, España.*

E-mail de correspondencia: [amagarsua@alum.us.es](mailto:amagarsua@alum.us.es)

## **Resumen**

La sociedad se encuentra ante una revolución en el transporte y el modelo energético. Existen actualmente en España algo más de 5.000 puntos de recarga para dar servicio a 63.000 vehículos eléctricos. Se estima que para 2030, circularán entre 2,4 y 4,5 millones de vehículos eléctricos, lo que hará necesaria una red de unos 100.000 puntos de recarga. Es necesario realizar una planificación de la red de estaciones de recarga a desplegar para que cumpla eficientemente su cometido sin provocar problemas de congestión de tráfico.

Con esta investigación pretendemos establecer en qué casos es mejor, o bien tener una única estación de recarga con muchos enchufes, o por el contrario, múltiples estaciones distribuidas, manteniendo la capacidad total de la red constante y minimizando el tiempo invertido.

Para ello estamos realizando simulaciones sobre una ciudad sintética siguiendo dos modelos microscópicos: a) modelo de autómata celular donde los vehículos se mueven siguiendo unas reglas universales definidas, y b) modelo híbrido agente-autómata celular donde cada vehículo se dirige a un destino particular. Ambas simulaciones apuntan a que las múltiples estaciones distribuidas son más convenientes en la mayoría de los casos.

## **1. Introducción**

Los vehículos eléctricos no producen emisiones locales por lo que pueden ser una buena solución al creciente problema de contaminación del aire en las ciudades. En España se calcula que para el año 2030 se necesite una red de 100.000 cargadores

(Caballero, 2019). Para que esta red funcione de una manera eficiente y sin causar problemas de tráfico, es necesario que su despliegue responda a una planificación.

Con esta investigación pretendemos comprobar qué estrategia de despliegue causa menores incidencias en el tráfico maximizando la velocidad media del sistema, al mismo tiempo que maximizamos el uso de las estaciones de recarga, en definitiva, pretendemos comprobar qué estrategia causa que el tiempo total invertido por los usuarios en la recarga sea menor.

## **2. Modelos de simulación**

Para responder a la pregunta de investigación estamos realizando simulaciones computacionales siguiendo dos paradigmas microscópicos, es decir, donde se simula el movimiento de cada vehículo individualmente.

### **2.1 Modelo de autómata celular**

En un modelo de autómata celular, el espacio se discretiza en celdas formando un retículo regular, el tiempo también se discretiza en pasos de tiempo. A cada celda se le asigna un estado y en cada paso de tiempo se actualiza en función de su propio estado y el de las celdas vecinas que se combinan siguiendo sencillas reglas (Chopard, 2012; Ilachinski, 2003).

En nuestro caso tenemos una ciudad hecha sobre un retículo de 200 x 200 donde cada celda tiene un uso particular: algunas son edificios por donde los vehículos no pueden circular; celdas que tienen dirección, distinguiendo entre calles y avenidas, las segundas tienen el doble de velocidad y están formadas por dos carriles contiguos; por último, tenemos rotondas que son cruces libres, no tienen dirección.

Los vehículos se colocan en este retículo ocupando una casilla, distinguimos dos tipos, eléctricos y no eléctricos, únicamente los primeros pierden energía al moverse. Asumimos que la velocidad promedio es de 10 km/h y la batería de los vehículos es de 24 kWh. Para moverse los vehículos deben escoger una celda vecina, según el objetivo distinguimos dos modos de conducción: conducción normal en la que los vehículos avanzan hacia una dirección dada y conducción hacia estación en la que los vehículos se dirigen hacia una estación guiados por la distancia a esta. En cuanto las reglas de movimiento consisten en: no solaparse con otro vehículo, no ir en dirección contraria y no cruzar la mediana de las avenidas.

En cuanto a las estaciones, son celdas marcadas del retículo que tienen capacidad infinita para admitir vehículos, sin embargo, el número de cargadores es limitado,

asumimos que tienen una potencia de 7 kW. Cuando un vehículo quiere recargar escoge una estación de manera aleatoria de entre las cercanas.

## 2.2 Modelo híbrido agente-autómata celular

Para hacer más realista el modelo, lo extendemos a un modelo híbrido agente-autómata celular donde cada vehículo se dirige a un destino específico. A partir del retículo, dándole direcciones a todas las celdas, obtenemos un grafo dirigido y ponderado según el tipo de vía. Con este grafo cambiamos el funcionamiento de los vehículos de manera que ahora en lugar de desplazarse hacia una dirección dada, lo hacen siguiendo un sistema de trayectorias de origen y destino. Con un algoritmo A\* se calcula el camino óptimo entre dos puntos y el vehículo lo sigue mientras pueda, cuando la casilla del camino esté ocupada, con cierta probabilidad se moverá hacia otra celda del vecindario.

## 78. Resultados y discusión

A continuación, se presenta el resultado de ejecutar distintas simulaciones. Por un lado, tenemos simulaciones donde solo hay una estación en el centro del retículo (rojo), otras donde hay 4 estaciones situadas de la manera más equidistante posible (verde) y simulaciones donde hay 36 estaciones (azul). El número de cargadores es constante, 72. Para cada despliegue anteriormente comentado se hacen simulaciones donde se varía la proporción de vehículos eléctricos frente al total y la cantidad total de tráfico.

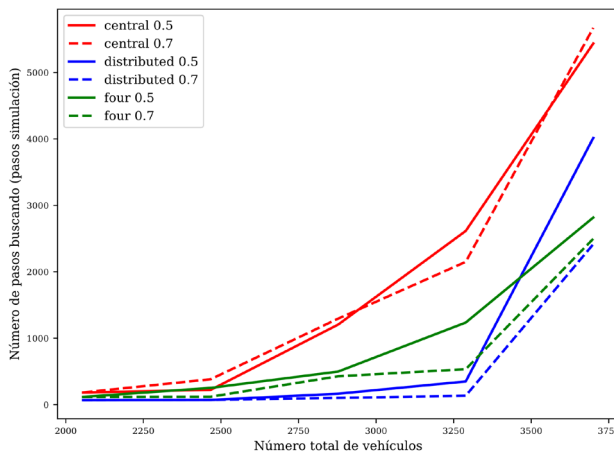
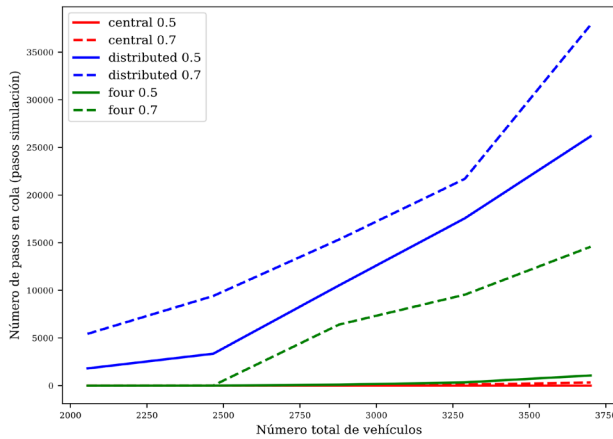


Figura 1. Tiempo medio que los vehículos tardan en llegar a la estación.



**Figura 2.** Tiempo medio que los vehículos pasan en cola.

### 3. Conclusiones

El simulador arroja resultados razonables, indicando que está reproduciendo bien el sistema real y que puede ser el punto de partida de investigaciones futuras. En cuanto a la pregunta de investigación, nuestros resultados preliminares indican que el despliegue óptimo se encuentra en un compromiso entre el grado de distribución de las estaciones, aumentando el tiempo de búsqueda con menor distribución, y el número de cargadores por estación, aumentando cuando hay pocos cargadores. Con el algoritmo de búsqueda actual de la simulación es preferible tener pocas estaciones con muchos cargadores. Sin embargo, sería interesante estudiar qué pasaría si utilizáramos un algoritmo de búsqueda más inteligente.

### Referencias bibliográficas

- Caballero, A.** (2019). *Guía de movilidad eléctrica para las entidades locales*. [https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/Guia\\_movilidad\\_electrica\\_para\\_entidades\\_locales.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/Guia_movilidad_electrica_para_entidades_locales.pdf)
- Chopard, B.** (2012) Cellular Automata Modeling of Physical Systems. En Meyers, R. (eds) *Computational Complexity*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9_27)
- Ilachinski, A.** (2003). Cellular Automata – A Discrete Universe. *Kybernetes*, 32(4). <https://doi.org/10.1108/k.2003.06732dae.007>