



# Modelo neuronal para la determinación de viabilidad de los puntos de recarga tu llave en Bogotá D.C.

## Neural Model for Viability Determination of Tu Llave Recharge Points in Bogotá

José David Moreno Posada<sup>1</sup>

**Para citar este artículo:** Moreno, J. (2017). Modelo neuronal para la determinación de viabilidad de los puntos de recarga tu llave en Bogotá D.C. *TIA*, 5(1), pp. 65-74.

### ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**Fecha de recepción:**  
26-11-2015

**Fecha de aceptación:**  
10-05-2016

ISSN: 2344-8288

Vol. 5 No. 1

Enero - junio 2017

Bogotá-Colombia

### Resumen

En el siguiente artículo se presenta el desarrollo de un modelo neuronal capaz de determinar la viabilidad de ubicar un punto de recarga tu llave del Sistema Integrado De Transporte Público SITP, a partir de la latitud y la longitud del punto candidato. Para el desarrollo del modelo se tomaron datos reales ofrecidos por la Secretaria Distrital de Planeación acerca de la población y las hectáreas de cada localidad en la ciudad de Bogotá D.C., y los actuales puntos de recarga ofrecidos a través del portal web SITP; estos datos fueron sometidos a un modelo matemático para determinar la viabilidad de los puntos de recarga y, finalmente, sirvieron de entrenamiento para la elaboración del modelo neuronal.

**Palabras clave:** distribución espacial, punto de recarga, red neuronal, SITP.

### Abstract

The following article presents the development of a neural model capable of determining viability to locate a Tu Llave recharge point of the integrated public transport system, from latitude and longitude of the candidate point. For the development of real data model provided by the District Planning Department about population and hectares of each locality in the city of Bogota D.C., and the current recharge points offered through the system website. These data were subjected to a mathematical model to determine the viability of recharge points and, finally, they served as training for the elaboration of the neuronal model.

**Keywords:** spatial distribution, recharge point, neural network, public transport system.

<sup>1</sup> Ingeniero de aprendizaje automático en Colciencias, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: jodmorenop@correo.udistrital.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Uno de los puntos clave para el éxito del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) está en la facilidad con la que los usuarios puedan recargar sus saldos de la tarjeta Tu Llave, para lo cual Recaudos Bogotá S.A.S. ha destinado miles de puntos por toda la ciudad; sin embargo, aun con una disposición de puntos tan alta hay sectores de la ciudad donde encontrar un punto de recarga es difícil y otros donde la sobre oferta hace que los operadores de dichos puntos desistan del negocio.

En este artículo se plantea como objetivo la generación de un modelo neuronal capaz de determinar la viabilidad de un punto de recarga de Tu Llave dependiendo de la localidad, otros puntos de recarga y la venta conjunta de los operadores.

## MARCO REFERENCIAL

Las recargas de las tarjetas Tu Llave son un punto muy importante para la completa penetración del sistema integrado de transporte en la población capitalina, por lo que una correcta disposición de dichos puntos es importante no solo para el acceso del usuario sino para el óptimo funcionamiento de los intermediarios.

### Ausencia de puntos

Son constantes las quejas por parte de los usuarios al momento de recargar su tarjeta [1], donde se encuentran muchas veces con el impedimento de un punto fuera de línea o sin saldo, lo que implica una nueva movilización de los usuarios a un punto diferente para poder recargar su tarjeta. Esto se puede explicar como una gran demanda de recargas para un punto determinado, el cual termina agotando el saldo que tiene disponible para las recargas, y debido a la falta de una verdadera motivación económica (el operador del punto de recarga gana un 1% de las ventas) no ve la necesidad de aumentar su saldo. Lo anterior se ve

reflejado en la pérdida de credibilidad del sistema y la posible deserción de la movilización por dicho medio, además de una percepción negativa del mismo.

### Oferta excedida

Un caso frecuentemente observado consiste en la ubicación de varios establecimientos cercanos con operadores de recargas de la tarjeta, ocasionando así una oferta por encima de la demanda para dicha zona, lo que termina en la retractación del operador por ofrecer dicho servicio y, por consiguiente, en una pérdida de recursos, tiempo y esfuerzo, desmotivando no solo al establecimiento sino al sector comercial que ingresa al negocio.

### Equilibrio de Nash

Es necesario entonces un escenario donde el operador de las recargas y el usuario resulten beneficiados, es decir, un modelo en el que el acceso a un punto de recarga por parte de los usuarios sea sencillo y rápido, y al mismo tiempo el operador tenga una ganancia estable y aceptable. Esto es un problema de decisión sobre dónde ubicar los puntos de recarga para estabilizar las ventas de todos los operadores y así que se llegue a un equilibrio de Nash [4] donde nadie quiera cambiar su ubicación, pues la demanda es constante para la zona escogida y, así mismo, los usuarios siempre tienen un punto de recarga cercano.

## METODOLOGÍA

Para poder ubicar un punto de recarga es importante diferenciar las zonas de la ciudad, donde tenemos zonas con una alta concentración residencial, ubicadas típicamente en localidades limítrofes de la ciudad, y zonas donde la concentración comercial e industrial es más alta, ubicadas hacia el centro geográfico de la ciudad. Tenemos entonces unas

localidades comerciales que son rodeadas por zonas residenciales cubriendo así el área de la ciudad (Figura 1).

Teniendo esto en cuenta, podemos describir la dinámica básica y mayoritaria de movilización de los capitalinos como la movilización desde zonas de alta concentración residencial hacia zonas de alta concentración comercial e industrial en horas pico de la mañana, y una movilización desde dichas zonas comerciales hacia zonas residenciales en horas pico de la noche.

## DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN

A continuación, se define un rango de edad objetivo para el estudio de quienes se movilizan a través del SITP, como el intervalo comprendido entre los 15 y los 70 años de la población general. Dicho dato se desprecia por localidad para así obtener un total de 6 303 110 de habitantes pertenecientes a la población objetivo en la ciudad de Bogotá D.C. [2], estos datos se pueden ver en la Tabla 1.

Junto con estos datos es posible obtener un porcentaje por localidad de la población objetivo de la ciudad; este porcentaje puede ser interpretado como la probabilidad de que

un ciudadano que está dentro de la población objetivo pertenezca a cierta localidad.

Teniendo en cuenta el pronóstico a mediano plazo de usuarios que se transportarán en SITP, es posible distribuirlos en dichas localidades, donde el total estimado en horas pico de la mañana para el 2015 es de 247040 pasajeros. A continuación, se expresa el área urbana por localidad en la Tabla 2.

Teniendo estos datos como base podemos definir las siguientes funciones:

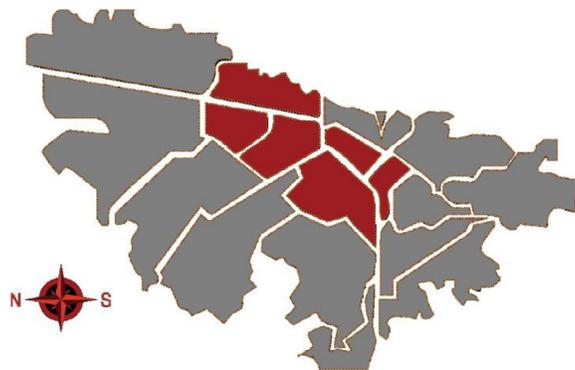
$\%PobObjetivo(l)$  es el porcentaje de la población objetivo total que se encuentra en determinada localidad  $l$ .

$A(l)$  es el área urbana de determinada localidad.

$$p(l) = \text{Pronóstico(año)} * \%PobObjetivo(l)$$

Como la población estimada de usuarios de SITP en horas pico de la mañana en determinada localidad según la proyección total en cierto año o época.

$$r(l) = \frac{p(l)}{\text{capacidad\_punto}}$$



**Figura 1.** Localidades comerciales (rojo) y localidades residenciales (blanco)

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 1.** Distribución de población objetivo

Localidad	Total, población	Porcentaje
Usaquén	404.084	6,411%
Chapinero	114.552	1,817%
Santa Fe	86.660	1,375%
San Cristóbal	318.173	5,048%
Usme	336.412	5,337%
Tunjuelito	158.259	2,511%
Bosa	510.943	8,106%
Kennedy	859.166	13,631%
Fontibón	309.363	4,908%
Engativá	709.247	11,252%
Suba	950.279	15,076%
Barrios Unidos	195.282	3,098%
Teusaquillo	124.861	1,981%
Los Mártires	79.672	1,264%
Antonio Nariño	85.684	1,359%
Puente Aranda	208.286	3,304%
La Candelaria	20.020	0,318%
Rafael Uribe Uribe	296.807	4,709%
Ciudad Bolívar	535.360	8,494%

**Fuente:** elaboración propia.

Como el número de puntos de recarga que deberían encontrarse en una localidad determinada contando con un constante de capacidad de usuarios para toda la ciudad, el cual garantiza el equilibrio de Nash además de una estabilidad en ventas y servicio para el usuario.

Como el área que debe cubrir un punto de recarga por localidad para garantizar que en dicha localidad los puntos de recarga cubren áreas iguales.

Ahora se tiene el área que debe cubrir un punto de recarga para garantizar el acceso a los usuarios, donde las áreas no deben ser intersectadas entre sí, para garantizar el máximo de homogeneidad en ventas y acceso a los usuarios dentro de una localidad, por esta razón se recurre al empaquetamiento de círculos para cubrir la mayor parte de área posible con el mínimo de puntos. Este empaquetamiento de círculos tiene una

densidad de cerca del 90,69%, pero por efectos de practicidad no será tenido en cuenta dicho valor y se trabajarán las áreas circulares directamente sobre la superficie.

Ahora es posible encontrar un criterio de distancia para determinar si dos puntos se intersectan en su área efectiva de ventas; teniendo en cuenta el área de un círculo es:

$$A = \pi \text{radio}^2$$

Se puede inferir que el radio de alcance de un punto de recarga por localidad es:

$$\text{radio}(l) = \sqrt{\frac{A(l)}{\pi}}$$

**Tabla 2.** Área urbana por localidad

Localidad	Área (hectáreas)
Usaquén	3.807,21
Chapinero	1.315,95
Santa Fe	697,17
San Cristóbal	1.648,28
Usme	3.029,27
Tunjuelito	986,63
Bosa	2.393,56
Kennedy	3.859,29
Fontibón	3.326,82
Engativá	3.588,10
Suba	6.270,74
Barrios Unidos	1.190,35
Teusaquillo	1.419,32
Los Mártires	651,40
Antonio Nariño	487,95
Puente Aranda	1.731,11
La Candelaria	206,02
Rafael Uribe Uribe	1.387,87
Ciudad Bolívar	3.390,61

**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 2, la distancia mínima entre dos puntos de recarga debe ser igual a  $r$ , aquellos puntos cuya distancia a otros puntos ya establecidos se encuentre por debajo de dicho valor se considerarán no viables.

Estos registros sirvieron como base para el entrenamiento del modelo neuronal, donde se tomaron los registros ofrecidos por el portal web SITP [3] de los puntos de recarga disponibles en la ciudad de Bogotá D.C. y se determinó la viabilidad de cada punto usando el modelo matemático planteado anteriormente. El modelo neuronal fue entrenado con 2624 ejemplos de entrenamiento de los cuales el 72% resulto viable y el 28% inviable.

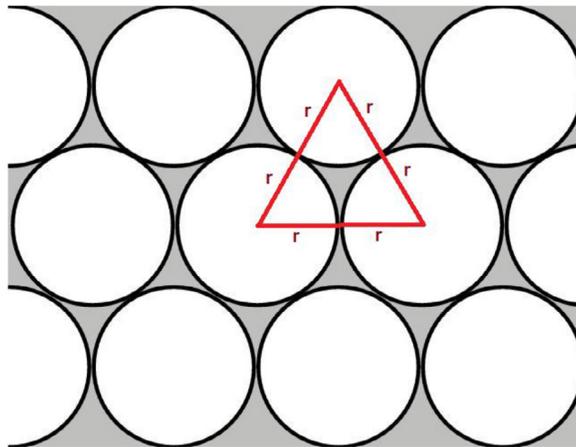
Para la determinación de la topología de la red se probaron los candidatos mostrados en la Tabla 3.

Estos fueron sometidos a una función de escogencia donde a cada variable se le asignó una ponderación.

La función de escogencia arrojó como resultado la topología de diez capas ocultas.

## IMPLEMENTACIÓN

Después del entrenamiento de los puntos de recarga STIP, se desarrolló un aplicativo en el lenguaje de programación PHP en donde se aprecia en el mapa de la ciudad de Bogotá D.C. la ubicación de los puntos de recarga tu llave, el área abarcada por cada punto y la viabilidad del punto señalado; mostrando en verde si el punto es viable y en rojo si no lo es. En las figuras presentadas a continuación se muestran los resultados más significativos obtenidos por el *software* (Figuras 3, 4 y 5).



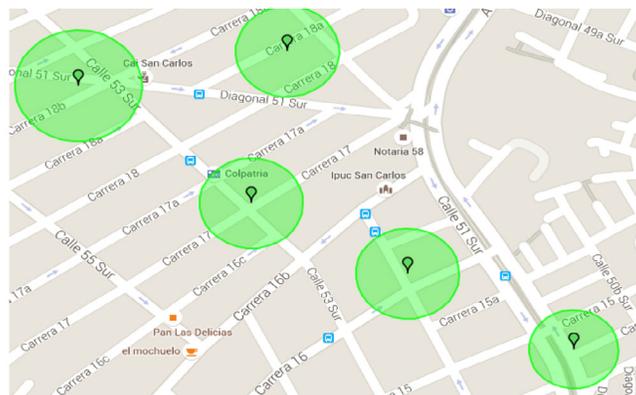
**Figura 2.** Distancia entre puntos de recarga en empaquetamiento de círculos

Fuente: elaboración propia.

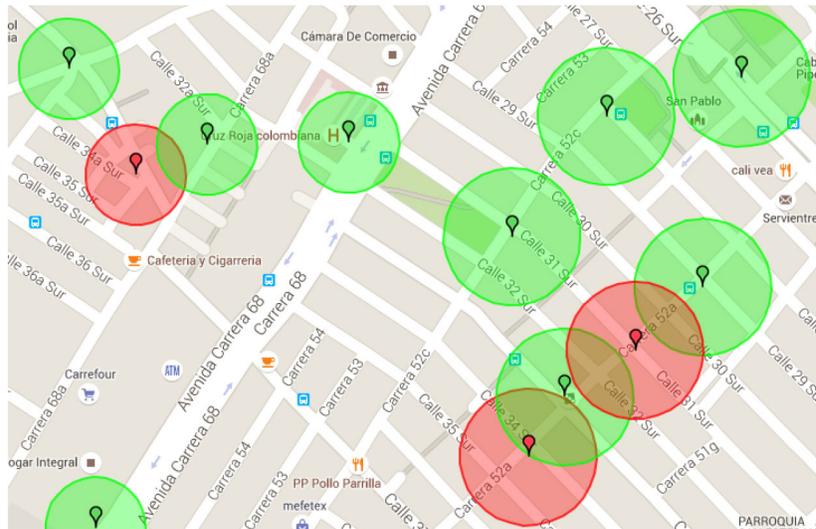
**Tabla 3.** Candidatos solución topología red neuronal

Capas	Épocas	CE	%E
2	25	3,58E-01	26,14213
3	14	3,71E-01	27,41116
4	23	3,61E-01	30,45685
5	10	3,72E-01	26,39593
6	19	3,54E-01	28,42639
7	20	3,57E-01	25,888832
8	12	3,32E-01	28,6802
9	12	3,86E-01	30,71065
10	21	3,56E-01	24,87309
20	17	3,65E-01	26,903555
30	18	3,66E-01	27,41116
40	29	3,62E-01	27,41116
50	14	3,63E-01	30,96446

Fuente: elaboración propia.

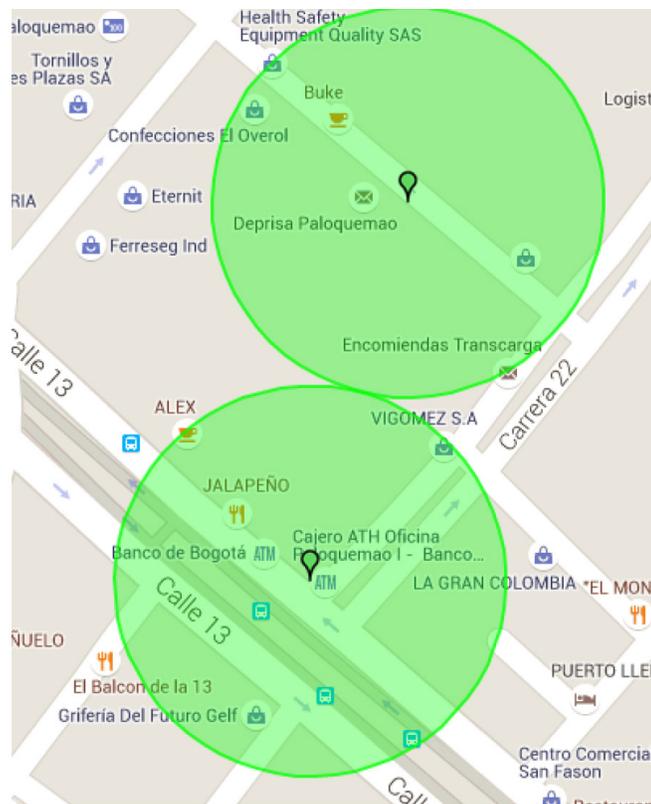


**Figura 3.** Diferencia de radios de cobertura según localidad



**Figura 4.** Viabilidad de puntos según intersección de áreas

Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** Ubicación ideal de puntos de recarga

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de rendimiento obtenidos por el modelo planteado descrito anteriormente.

### Ausencia de puntos

En la Figura 6 se presenta la entropía cruzada para cada época de entrenamiento de la red, discriminándola en tres factores: entrenamiento (línea azul), validación (línea verde) y pruebas (línea roja). Se puede apreciar la fuerte correlación

de las curvas mostradas y el punto en el cual se encuentra la mejor validación.

### Curva ROC

La característica del modelo del receptor (ROC), se aprecia cómo los puntos fueron clasificados por la red como verdaderos o falsos positivos. La línea punteada describe el ideal de clasificación y la línea azul muestra el comportamiento ofrecido por la red, se puede apreciar una fuerte correlación entre ambas líneas indicando un desempeño aceptable para la red (Figura 7).

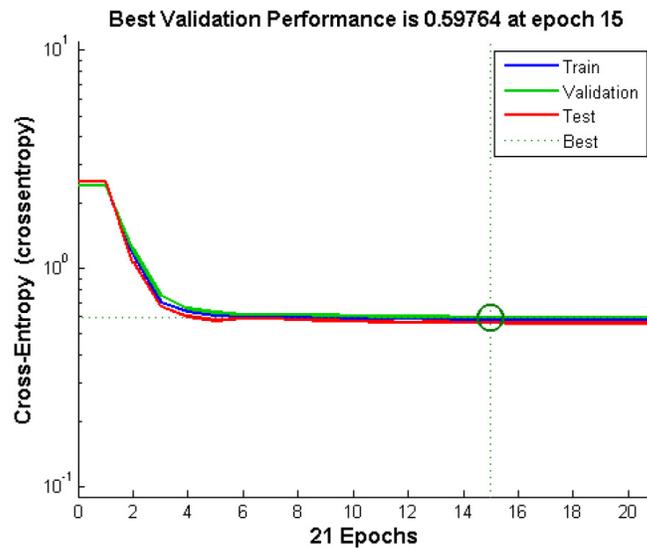


Figura 6. Resultado de análisis de entropía cruzada

Fuente: elaboración propia.

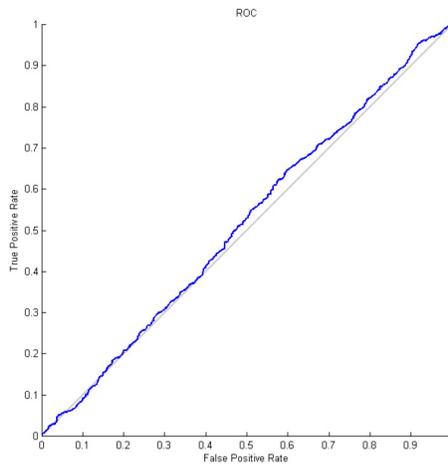


Figura 7. Resultado análisis ROC

Fuente: elaboración propia.

## Déficit de puntos de recarga

En la Tabla 4, se muestra el número de puntos estimados por el modelo, puntos viables, no viables para cada una de las localidades de Bogotá D.C. Finalmente, en la última columna se muestra el número de puntos excedidos (representado como un entero positivo) o faltantes (representado como un entero negativo).

## CONCLUSIONES

Luego de haber apreciado la implementación del modelo planteado, se obtiene un modelo

eficiente y de buen rendimiento, capaz de adaptarse al ingreso de nuevos puntos de recarga al sistema SITP, la variación de la población en la localidad, la proyección de usuarios en horas pico estimadas por el SITP y el número de usuarios atendidos por punto de recarga; sin embargo, se aprecia que la cantidad de puntos de recarga SITP actuales no satisface la demanda obtenida por el modelo en la mayoría de localidades de la ciudad de Bogotá D.C., y que aproximadamente un 27% de estos puntos no se encuentran ubicados correctamente. Actualmente, la localidad de Suba es la más crítica, ya que requiere más puntos de recarga del SITP según los resultados obtenidos.

**Tabla 4.** Déficit de puntos de recarga

Nombre	Viables	No Viables	Puntos Estimados	Faltantes / Excedidos
Usaquén	112	56	158	46
Chapinero	53	34	45	-8
Santa Fe	42	19	34	-8
San Cristóbal	106	43	125	19
Usme	76	31	132	56
Tunjuelito	44	16	62	18
Bosa	186	72	200	14
Kennedy	269	90	337	68
Fontibón	72	22	121	49
Engativá	225	76	278	53
Suba	189	59	372	183
Barrios Unidos	58	13	77	19
Teusaquillo	60	27	49	-11
Los Mártires	55	23	31	-24
Antonio Nariño	36	11	34	-2
Puente Aranda	91	37	82	-9
La Candelaria	10	2	8	-2
Rafael Uribe Uribe	96	26	116	20
Ciudad Bolívar	132	55	210	78

**Fuente:** elaboración propia.

## REFERENCIAS

- [1] RCN Noticias. (2015). *Cartografía de la inseguridad de Bogotá*. Recuperado de: <http://www.noticiarscn.com/especialesrcn/inseguridad-bogota/>
- [2] Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2015). *Dirección de Información, Cartografía y Estadística. Aspectos Demográficos 2015*. Recuperado de: <http://www.sdp.gov.co/PortalsDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion>
- [3] Tullave. (2015). *Información del Sistema*. Recuperado de: <http://www.tullaveplus.com/index.php?id=EA743778>
- [4] Edumed. (2015). *El equilibrio de Nash*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/bg-micro/5b.htm>