

## **Modelado en SimSee de demanda del parque automotor eléctrico**

*Pablo Caldeiro, Diego Oroño, Carlos Tutté*

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.*

*Julio 2011*

*Montevideo - Uruguay.*

**IMPORTANTE:** Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiante y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados.



## INDICE

1	OBJETO .....	5
2	OBJETIVOS PARTICULARES .....	5
3	TECNOLOGÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS <sup>[1] [2]</sup> .....	5
4	GESTIÓN Y PROMOCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS <sup>[2] [3]</sup> .....	6
5	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DEL ACTOR <i>VEHÍCULO ELÉCTRICO</i> EN SIMSEE .....	7
6	DESARROLLO DEL MODELO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO EN SIMSEE .....	9
6.1	Generación de la serie de vehículos eléctricos .....	9
6.2	Generación de sintetizador CEGH para vehículos eléctricos .....	11
7	ESCENARIO DEL TRANSPORTE CARRETERO Y PROYECCIÓN DE PARTICIPACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS 2010-2030 <sup>[4]</sup> .....	11
8	ESCENARIO BASE DE PROYECCIÓN 2010-2030 PARA OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	13
9	ELEMENTOS A ANALIZAR EN COMPARATIVO DE ESCENARIOS BASE Y CON VEHÍCULO ELÉCTRICO <sup>[2][3]</sup> .....	14
10	VALIDACIÓN DEL MODELO - RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN Y SIMULACIÓN .....	15
10.1	ESCENARIO 1: BAJA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	16
10.2	ESCENARIO 2: ALTA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	18
10.3	UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL COSTO MARGINAL .....	20
11	CONCLUSIONES .....	21
12	ASPECTOS A MEJORAR DEL MODELO .....	21
	Anexo A - Matriz de transiciones para automóviles particulares .....	23
	Anexo B - Cálculo de iteraciones y otras consideraciones del programa GeSeVe .....	23
	Anexo C - Obtención de sintetizador CEGH para vehículos eléctricos. Ejemplo Paso a paso para automóviles particulares .....	24
	Bibliografía: .....	25



## 1 OBJETO

Desarrollar dentro de SIMSEE un actor para representar los vehículos eléctricos, teniendo en cuenta las tecnologías y formas de gestión disponibles en la actualidad. Presentar las herramientas necesarias para el desarrollo de este modelo, permitiendo flexibilidad para futuras incorporaciones y/o modificaciones. Realizar corridas de largo plazo, para evaluar el comportamiento del modelo.

## 2 OBJETIVOS PARTICULARES

Desarrollo del modelo

1. Relevar en forma primaria las diferentes tecnologías de vehículos eléctricos.
2. Relevar los diferentes tipos de gestión y promoción de carga para vehículos eléctricos, de modo de analizar los comportamientos sobre los subsectores.
3. Definición y desarrollo de requisitos para el actor *Vehículo Eléctrico* a incluir en el SIMSEE.

Verificación del modelo

1. Realizar una proyección del subsector transporte carretero desde el 2010 hasta el 2030, incluyendo la participación de los vehículos eléctricos.
2. Utilizar la información de participación de vehículos eléctricos para evaluar el modelo desarrollado de vehículo eléctrico en el SIMSEE.
3. Acondicionar los datos de salida en una plantilla SimRes3

## 3 TECNOLOGÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>

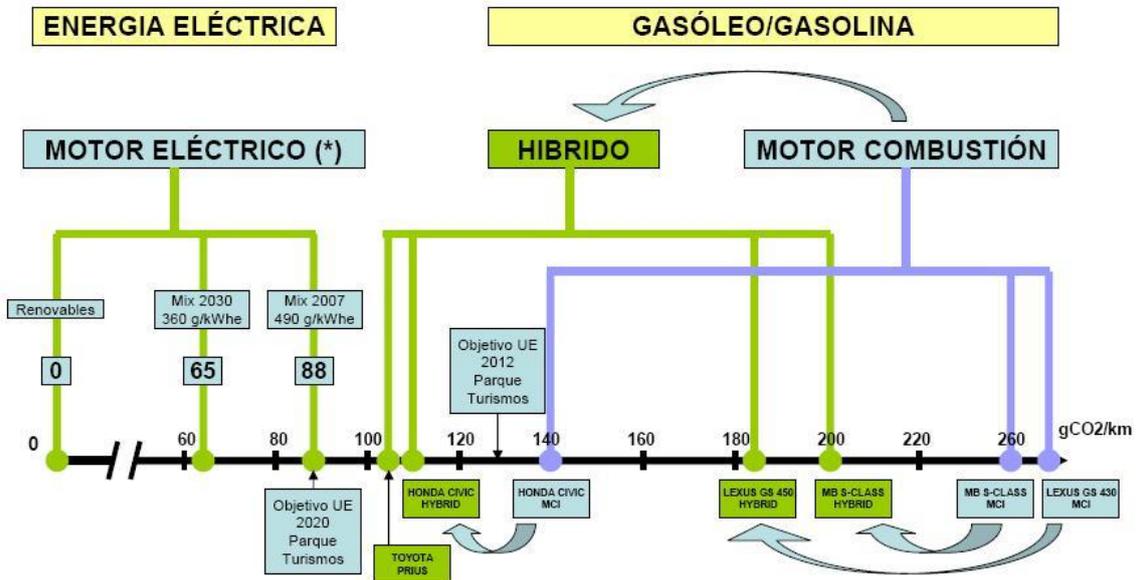
Las alternativas actuales eléctricas a la solución convencional para la propulsión de vehículos, son las siguientes:

- Vehículos eléctricos a baterías
- Vehículos híbridos
- Vehículos híbridos con conexión a red
- Vehículos eléctricos en base a celdas de combustible

Hoy puede decirse que estas tecnologías se encuentran en fases relativamente iniciales, cada una con mayor o menor desarrollo a nivel de prototipo o comercial, dependiendo de cada país o región, en función del apoyo recibido a nivel fiscal, entre otros.

A nivel general, estas parecen ser las soluciones que en las próximas décadas irán paulatinamente sustituyendo a los vehículos tradicionales movidos por combustibles derivados de fósiles; sin embargo no existe unanimidad en cómo cada una de estas tecnologías irá tomando participación en el mercado, ya que existen muchos factores en juego.

De cualquier modo, como regla general se estima que serán los vehículos híbridos que comenzarán participando de manera importante como puente tecnológico a vehículos eléctricos puros. La última etapa -que mejore la autonomía- se estima será de vehículos eléctricos en base a celdas de combustible. Esta evolución se muestra a modo de ejemplo en el programa MOVELE de España.



Como fue comentado, no se conoce con certeza como irán tomando parte del mercado, siendo incluso muy posible que varíe de un país a otro, y quizá pasando por alto alguna de estas etapas en función de en qué momento se tomen decisiones de apoyo a alternativas eléctricas. Sin embargo, existe bastante unanimidad en cuanto a la necesidad de llevar a cabo experiencias de tipo piloto con liderazgo público, para evaluar las alternativas con sus ventajas y desventajas, y de ese modo proyectar la expansión amplia a mediano y largo plazo. A los efectos del presente trabajo, se buscará realizar un modelo que contemple a estas alternativas en forma general, desde el punto de vista de su interacción con la red eléctrica.

## 4 GESTIÓN Y PROMOCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS [2] [3]

El caso de cualquier nueva tecnología representa un desafío, para el cual se deben vencer barreras que permitan su introducción a nivel comercial. Tal es el caso de los vehículos eléctricos, donde no solamente impacta el desarrollo que puedan tener a nivel tecnológico, sino otros aspectos como legales, económicos y de apoyo fiscal, cultural, entre otros.

Los principales aspectos a tener en cuenta en nuestro caso, se listan a continuación:

- Soporte normativo
- Oferta adecuada de vehículos y servicios asociados
- Adaptación de la demanda de usuarios del transporte
- Desarrollo de infraestructura, discriminación positiva

Los instrumentos utilizados pueden ser diversos, pero principalmente se basan en subvenciones directas para la adquisición de vehículos, convenios colaborativos de gobierno con municipios para el desarrollo de infraestructuras y difusión entre los diferentes actores.

Otras medidas pueden incluir las formas de gestión de la carga, que suele ser una de las diferencias importantes que ven los usuarios, ya que la misma puede demorar entre 4 y 8 horas en promedio para los vehículos eléctricos. En este caso, se estudia utilizar centros de carga donde se haga el recambio de la batería del vehículo sin tener que aguardar la carga de la misma.

Otras medidas que pueden tomarse de tipo económico son a través del incentivo a cargar los vehículos en horarios nocturnos, donde la demanda eléctrica tiene usualmente un valle.

En el caso de Uruguay, la principal acción que se ha tomado al día de hoy es la modificación del impuesto específico IMESI, con una importante reducción para vehículos híbridos y eléctricos, en tanto se aumentó este impuesto para vehículos de cilindradas mayores a 2.000 cc.

El impuesto pasó a ser del 3% para híbridos y del 5% para eléctricos, siendo el valor de la tasa de un 30% anterior a la modificación del 1º de enero de 2011.

Como se ha visto, los aspectos que pueden cubrir los citados incentivos son múltiples, y de su aplicación conjunta dependerá como se vayan introduciendo las citadas tecnologías. Estos aspectos serán considerados en la etapa de validación del modelo a través de la suposición de dos escenarios de introducción del vehículo eléctrico y su comportamiento como tomando y consumiendo energía de la red dependiendo de las horas del día.

A los efectos del modelo del actor vehículo eléctrico en el Simsee, se buscará contemplar aquellos aspectos de la gestión y promoción que deban ser modelados.

## **5 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DEL ACTOR VEHÍCULO ELÉCTRICO EN SIMSEE**

Existen diversos parámetros para modelar de forma general un vehículo eléctrico en el simsee, los cuales pueden incluso ser afectados para tecnologías en particular, así como comportamientos de gestión, impulsados por políticas.

A los efectos de este trabajo, se optó por algunas simplificaciones que hicieron posible describir el vehículo de una forma relativamente simple y a su vez abarcar las variaciones que pudieran existir. Las hipótesis de trabajo que fueron realizadas acerca del vehículo se describen a continuación:

1. Los vehículos analizados son de tipo eléctrico enchufable.
2. Las baterías de los vehículos serán de tamaño estándar, determinado en el orden de unos 24 kWh. Este valor corresponde a una autonomía del vehículo del orden de los 160 kms, dependiendo del rendimiento. Teniendo en cuenta los principales vehículos eléctricos que existen en el mercado optamos por tomar un valor representativo dentro de este rango, como se puede observar en la tabla a continuación<sup>[5]</sup>.

Modelo	Autonomía (kWh)	Autonomía (km)	kWh <sub>Batería</sub> /100km
Reva L-ion <sup>4</sup>	11	120	9,17
Think City <sup>5</sup>	25	200	12,50
Mitsubishi i-Miev <sup>6</sup>	16	130	12,31
Citröen C-Zero <sup>7 8</sup>	16	130	12,31
Renault Fluence ZE <sup>9</sup>	22	160	13,75
Nissan Leaf <sup>10</sup>	24	160	15,00
Tesla Roadster 42	42	257	16,34
Tesla Roadster 70 <sup>11</sup>	70	483	14,49
<b>MEDIA</b>	<b>28,25</b>	<b>205</b>	<b>13,78</b>

3. Las baterías de los vehículos serán cargadas con cargadores lentos, que demoran en el entorno a 6 horas para su carga total.
4. Tanto la carga como la descarga de la batería (en particular cuando entrega energía a la red), fueron tomadas como constantes. O sea que si la batería tiene 24 kWh de carga y se carga en 6 horas, la potencia que tomará de la red será de 4 kW durante todo el período.
5. Las políticas acerca de vehículos eléctricos harán que la gestión de carga sea de tal modo que los vehículos tomen energía de la red en horario de demanda valle, y entreguen energía a la red en horarios de demanda pico. Se toma como horario promocionado para cargar entre las 0 y las 6 horas en la madrugada. El horario promocionado para entregar energía será de las 19 a las 23 hs.
6. También se asume la existencia de cargadores inteligentes, los cuales se podrán programar para optimizar su carga/descarga de la red en estos horarios.
7. Para la gestión, se supone que todos los vehículos gastan la carga de la batería durante el día, una parte mientras se encuentra andando, y el resto entregando una vez que se conecta. Esto nos lleva a que también todos los vehículos cargarán las baterías a pleno diariamente.

En el siguiente punto se verá como fue desarrollado el modelo de vehículo eléctrico para el Simsee, destacando que algunas de las hipótesis aquí enumeradas pueden ser modificadas a necesidad del usuario.

Algunas de ellas pueden requerir cambios simples, como ser la capacidad de la batería. Sin embargo, se deberán verificar las restricciones que sean necesarias en cada caso.

## 6 DESARROLLO DEL MODELO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO EN SIMSEE

Para el desarrollo del modelo de VE en el Simsee, se optó por tomar un actor existente (Generador Térmico con Potencia y Costo Variables), y realizar las adaptaciones que permitieran utilizarlo para nuestro caso.

Para ello, era necesario disponer de las Potencias por poste, generadas a través de una fuente aleatoria, basada en un sintetizador CEGH. Para crear este último, se debía disponer de valores históricos de oferta/demanda de los vehículos eléctricos (Series de valores).

Estos valores históricos de potencia se definieron para un conjunto de 1.000 vehículos, por lo que los valores futuros de potencia que se obtengan utilizando el sintetizador, representarán la misma cantidad. Las unidades existentes de vehículos eléctricos en el mercado se podrán cargar a través de las *unidades disponibles* en la ficha del generador térmico.

A continuación se describirán los pasos llevados a cabo para obtener las series de valores históricos, así como el sintetizador CEGH para vehículos eléctricos.

### 6.1 Generación de la serie de vehículos eléctricos

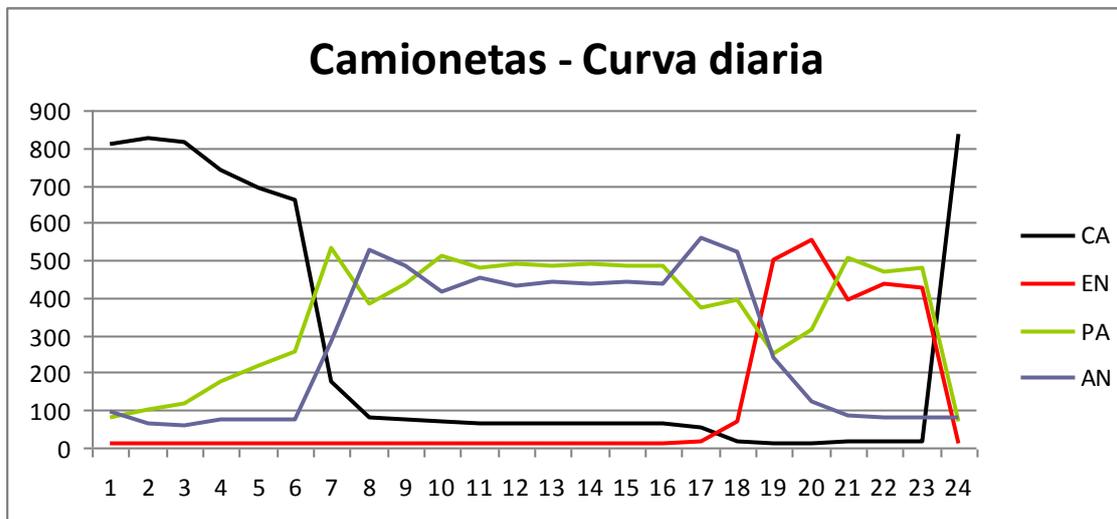
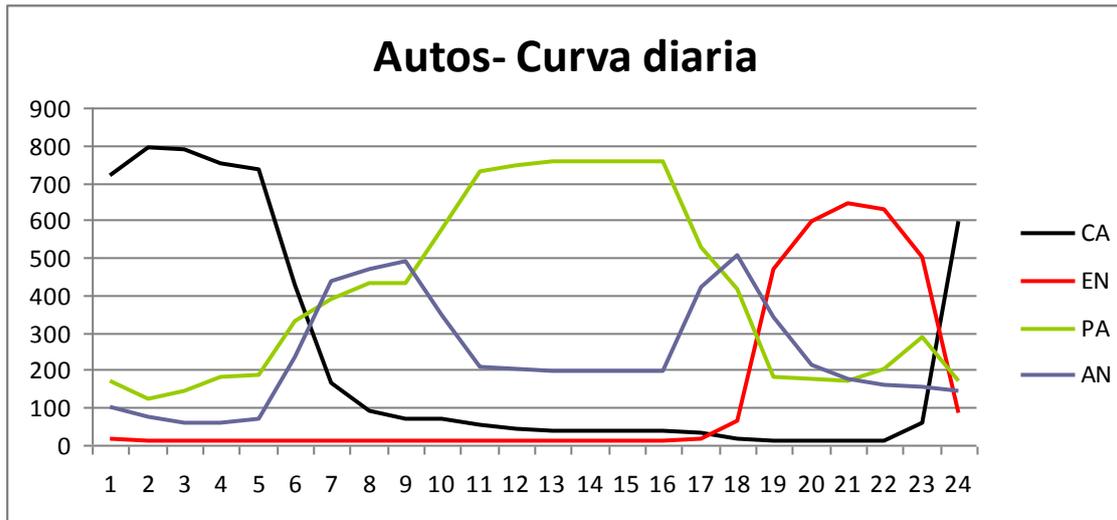
Para esta etapa se desarrolló un software (GeSeVe), el cual permite modelar y generar los valores de la demanda y generación de vehículos eléctricos a lo largo de un año.

Para modelar esto utilizamos cadenas de Markov. Una cadena de Markov es un tipo especial de proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior<sup>[6]</sup>. Por esto nos definimos los estados posibles por lo que puede pasar un vehículo y la probabilidad de transición entre un estado y otro. Dichos estados son: **cargando, entregando, parado y andando**.

Luego, debimos asignar las probabilidades de transición de un estado a otro y para cada hora del día, esto es para el estado “cargando” y la hora 0, asignar la probabilidad de ir hacia “entregando”, hacia “parado”, “andando” o no moverse del estado, y así para cada estado y hora (La suma de probabilidades debe ser 1). Para una correcta manipulación del input del programa, esta matriz se realizó en Excel, y fue salvada como archivo csv (coma separated values). Se realizó una matriz de transiciones para autos particulares, y otra para camionetas.

Algunas restricciones fueron tomadas en cuenta, tales como el total de horas diarias que los vehículos se encontraban cargando o entregando, las horas en que mayoritariamente operaban como oferta o demanda, en función de las hipótesis realizadas en el punto anterior.

En el *anexo A* se puede observar la matriz de transiciones obtenida para autos particulares. A continuación se muestran un ejemplo de las curvas de vehículos en cada estado en función del horario (sobre un total de 1.000).



El programa GeSeVe realiza los siguientes pasos:

- 1) Lee la matriz de transiciones entre estados para cada hora.
- 2) Inicializa y mantiene un vector de vehículos, en el que para cada vehículo recuerda en qué estado esta (ya que para aplicar Markov es necesario mantener la memoria ya que no trabaja como sucesos independientes)
- 3) Luego, para generar la serie anual se hacen 365 iteraciones de un día en los que se va calculando para cada hora la cantidad de vehículos en cada estado.

Se genera la salida en la que para cada día y hora se cuentan cuantos vehículos hay en cada estado. Dicha salida debe estar también en formato csv para su correcta visualización y manipulación. En el *Anexo B* se detalla el modo en que el programa GeSeVe realiza las iteraciones, así como otras consideraciones adicionales.

Una vez obtenido este archivo, se debe adecuar la salida para el módulo básico de 1.000 vehículos (el .csv de salida del GeSeVe tiene una salida para 100 vehículos). A continuación se debe calcular el balance de vehículos entregando y consumiendo de la red eléctrica para cada hora. Multiplicando este valor por la potencia que toma/entrega a la red (4 kW bajo las hipótesis del trabajo), se obtiene el saldo de potencia horaria.

Se debe recordar que al tratarse de un actor que es un generador, el saldo debe ser positivo cuando entrega a la red y negativo cuando está tomando (cargando).

## 6.2 Generación de sintetizador CEGH para vehículos eléctricos

A continuación, se debe tomar el archivo de series de potencia horaria para calcular la potencia media por poste. Los postes resultan de los postes horarios definidos en la sala de Simsee, y a qué horas corresponderán resultará del modelo de demanda utilizada.

El resultado es un archivo donde se tiene para cada día, la potencia promedio por cada poste; este archivo de texto será utilizado para la posterior generación del sintetizador. Un ejemplo se muestra a continuación para el archivo obtenido de automóviles particulares.

	poste 1	poste 2	poste 3	poste 4
01/01/2009	2,12	2,24	-0,50	-2,47
02/01/2009	2,32	2,13	-0,58	-2,15
03/01/2009	1,96	2,03	-0,48	-2,43
04/01/2009	2,40	2,11	-0,44	-2,53
05/01/2009	1,92	2,21	-0,50	-2,41
06/01/2009	2,56	2,14	-0,52	-2,43
07/01/2009	2,56	2,12	-0,54	-2,34
08/01/2009	2,56	2,05	-0,59	-2,65
09/01/2009	2,28	2,19	-0,48	-2,39
10/01/2009	2,32	2,11	-0,48	-2,47
11/01/2009	2,56	2,13	-0,48	-2,29
12/01/2009	2,00	2,07	-0,51	-2,53

Para obtener el sintetizador se debe utilizar el programa de Análisis Serial (analisisserial.exe), el cual utiliza como insumo el archivo anterior.

Más detalles de cómo se obtuvieron paso a paso los archivos de sintetizador CEGH para este estudio se encuentran en el *anexo C*.

Este sintetizador obtenido será la base para la generación de una Fuente Aleatoria de tipo Sintetizador CEGH en el Simsee, que será utilizada en el Generador Térmico.

## 7 ESCENARIO DEL TRANSPORTE CARRETERO Y PROYECCIÓN DE PARTICIPACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS 2010-2030 <sup>[4]</sup>

En el marco de la evaluación del modelo realizado del actor vehículo eléctrico en el Simsee, será necesario plantear el escenario actual del subsector transporte carretero, así como su crecimiento en el mediano plazo (2010-2030). Por otro lado, deberá también estimarse cuál será la participación de los vehículos eléctricos en el mercado en general, y teniendo en cuenta cada una de las categorías (particulares, taxis, camionetas, etc.)

Este trabajo no pretende realizar una proyección a fondo en el tema, por lo cual los supuestos de crecimiento del subsector transporte carretero y la participación de vehículos eléctricos, si bien intentarán ajustarse a valores esperables, serán únicamente ilustrativos

El escenario base del transporte carretero fue tomado del anuario 2009 de la Dirección Nacional de Transporte del MTOP, el cual se detalla en la siguiente figura.

<b>Subsector de transporte carretero</b>	
	Parque vehicular
<b>Parque vehicular</b>	<b>2006</b>
Autos y camionetas particulares	421.386
Taxis y remises	5.502
Omnibus mvd	5.539
Omnibus interurbano	0
Motos	113.890
Camionetas comerciales	52.917
Camiones <2 ton	876
Camiones 2-5 ton	12.343
Camiones > 5 ton	12.534

Para obtener la proyección del mercado automotor, se consideró un crecimiento del parque de un 4% acumulado anual en el período 2010-2030.

Como referencia, se puede decir que teniendo en cuenta los aumentos de eficiencia por tecnologías más modernas y uso de mejores prácticas en el orden de un 25%, este crecimiento estimado en cantidad de vehículos se traduciría en un 3% de crecimiento del consumo energético del sector.

En el siguiente cuadro se muestran los valores que se utilizarán como proyección para el plazo considerado.

Parque vehicular	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Autos y camionetas particulares	421.386	512.680	623.754	758.892	923.309	1.123.346
Taxis y remises	5.502	6.694	8.144	9.909	12.056	14.667
Omnibus mvd	5.539	6.739	8.199	9.975	12.137	14.766
Omnibus interurbano	0	0	0	0	0	0
Motos	113.890	138.565	168.585	205.109	249.547	303.612
Camionetas comerciales	52.917	64.382	78.330	95.301	115.948	141.068
Camiones <2 ton	876	1.066	1.297	1.578	1.919	2.335
Camiones 2-5 ton	12.343	15.017	18.271	22.229	27.045	32.904
Camiones > 5 ton	12.534	15.250	18.553	22.573	27.464	33.414

Proyectos como el de IDAE tienen en cuenta para el ingreso de vehículos eléctricos para las categorías de vehículos más pequeños, no considerando camiones.

Por un aspecto simplificador a la hora de estimar la proyección a mediano plazo, se considerará la participación de vehículos eléctricos exclusivamente para autos y camionetas particulares, y camionetas comerciales. Otras categorías pueden ser implementadas siguiendo la metodología que se describirá en capítulos siguientes para generar un actor *vehículo eléctrico* en el Simsee.

Se tendrán como referencia dos escenarios de proyección de los vehículos eléctricos en el mercado: un escenario de baja participación, y otro de alta participación. En capítulos posteriores se analizarán los resultados obtenidos para cada uno.

Para el caso de un escenario de baja participación del VE, se puede tomar como referencia el plan de IDAE donde se considera la participación de un 1% del mercado de vehículos particulares y flotas para el año 2014, a través de flotas (85%) y particulares (15%).

Para nuestro caso de análisis, se supondrá que se alcanza para el 2030 una participación del orden del 5% y 14% para automóviles y camionetas comerciales respectivamente. Los valores de vehículos eléctricos proyectados en el mercado se muestran en el siguiente cuadro.

Escenario 1 - Baja penetración	2010		2015		2020		2025		2030	
Autos particulares	0,0%	0	1,6%	10.000	3,3%	25.000	4,3%	40.000	5,3%	60.000
Camionetas comerciales	0,0%	0	6,4%	5.000	10,5%	10.000	12,9%	15.000	14,2%	20.000

En el caso de alta participación del VE, se considera un crecimiento que sea para el 2030 del orden de un 50% del total de vehículos, tanto para autos particulares como camionetas comerciales. Un detalle de los valores se muestra en el siguiente cuadro.

Escenario 2 - Alta penetración	2010		2015		2020		2025		2030	
Autos particulares	0,0%	0	12,8%	80.000	26,4%	200.000	37,9%	350.000	49,0%	550.000
Camionetas comerciales	0,0%	0	15,3%	12.000	25,2%	24.000	43,1%	50.000	56,7%	80.000

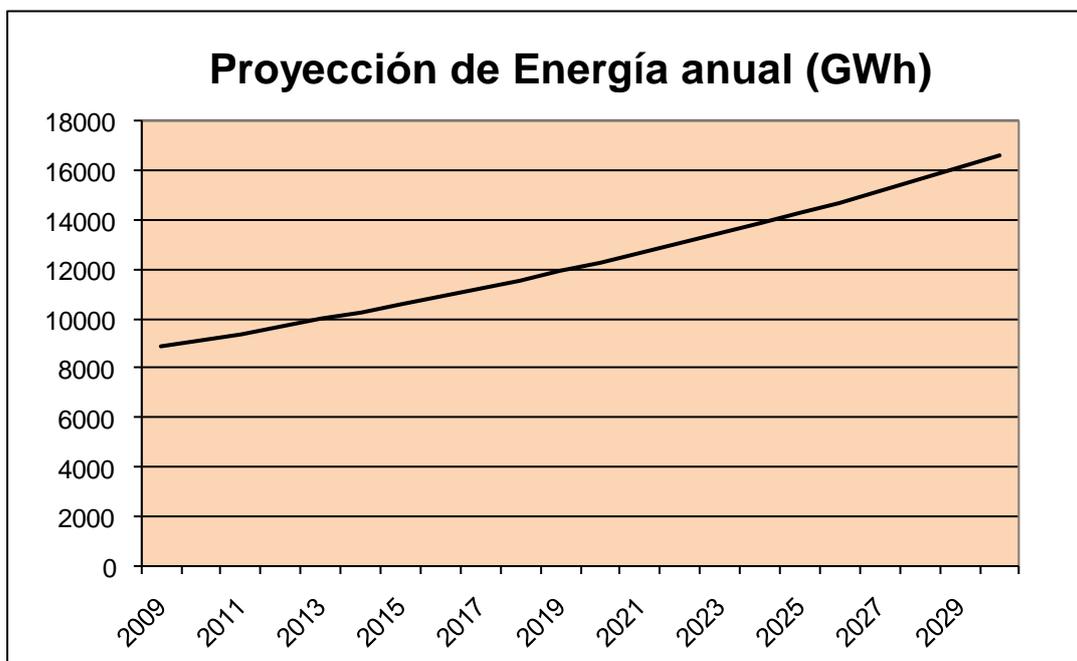
## 8 ESCENARIO BASE DE PROYECCIÓN 2010-2030 PARA OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Como modo de ver el impacto de la introducción del vehículo eléctrico, se debe establecer cuál será la proyección tanto de la oferta como de la demanda de energía eléctrica.

El período tomado para estudiar el impacto del vehículo eléctrico será 2010-2030, y la proyección será la brindada durante el curso para corridas de largo plazo (archivo "x\_147007.es").

### Proyección de la demanda

A continuación se muestra el gráfico con la evolución anual de la demanda. El comportamiento estacional y diario es el observado en la demanda al año 2007, de acuerdo al archivo base utilizado.



### Proyección de la oferta

La proyección de la oferta de energía tiene en cuenta las metas propuestas en la política energética 2005-2030, donde existe una apuesta a las energías renovables no tradicionales.

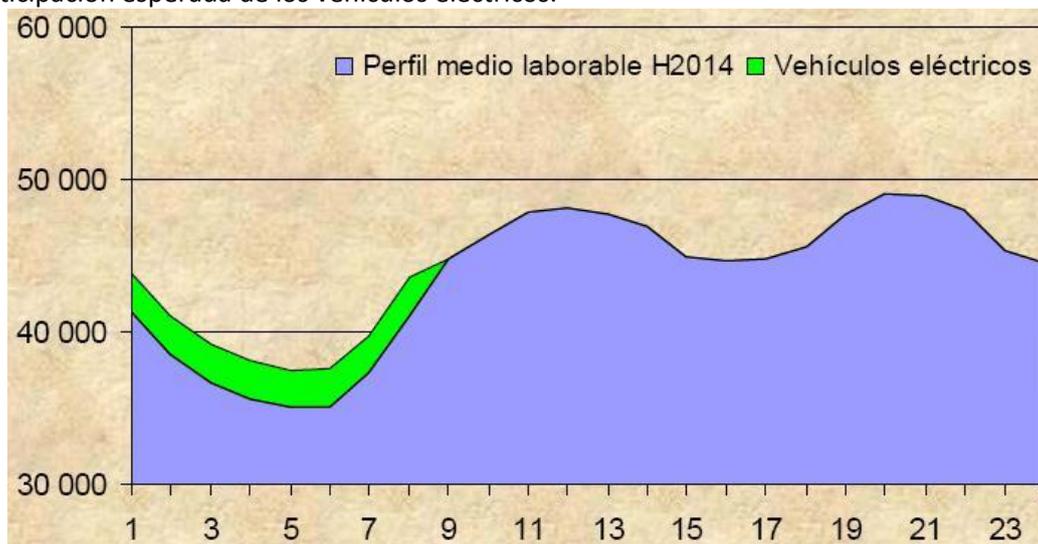
La participación principal será a través de la energía eólica, biomasa y también la construcción de plantas de generación de ciclo combinado, una vez se tenga instalada la regasificadora.

Por otro lado, otras plantas térmicas (Central Batlle) irán saliendo de servicio una vez alcanzado el fin de su vida útil.

Más detalle del modo en que se realizó la proyección se puede ver específicamente en el Simsee, utilizando el archivo "x\_147007.es" que describe la sala utilizada para la optimización y simulación.

## 9 ELEMENTOS A ANALIZAR EN COMPARATIVO DE ESCENARIOS BASE Y CON VEHÍCULO ELÉCTRICO<sup>[2][3]</sup>

Estudios iniciales sobre como participa el vehículo eléctrico en la red, están de acuerdo en aprovechar los horarios de valle como carga de las baterías, como modo de utilizar de manera más eficiente las inversiones realizadas en la infraestructura de la red eléctrica. Un ejemplo se obtuvo del plan MOVELE hasta el 2014, donde se muestra una curva de demanda y la participación esperada de los vehículos eléctricos.

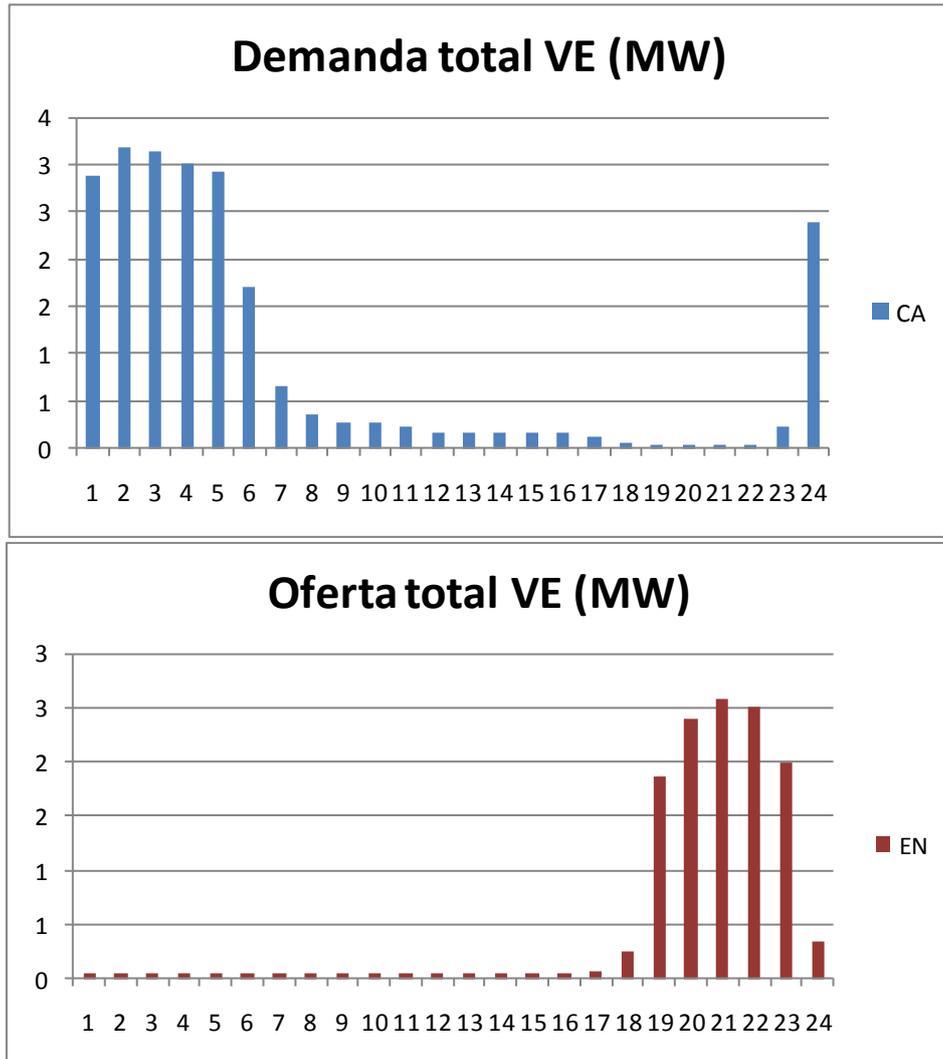


En escenarios a futuro, se ve con gran interés la participación de los vehículos eléctricos no solamente como demanda que aplanar la curva, sino como posible oferta en horarios pico. Tal modo de operación permitiría la inclusión de mayor oferta de energía de origen renovable, ya que mejoraría la gestión, aspecto de especial interés sobre todo en el caso de energía eólica y solar.

Esta tecnología de carga inteligente se conoce como V2G (vehicle-to-grid), aspecto que debe ser complementado con otros incentivos –principalmente económicos– que modifiquen la conducta de los propietarios de los vehículos.

En nuestro caso, dadas las matrices de transición utilizadas para generar los sintetizadores del vehículo eléctrico, éstos actuarán tanto como oferta como demanda en el sistema eléctrico, dependiendo de las horas del día.

Como ejemplo del aporte que tendrán hora a hora, se calculó el valor utilizando la matriz de transición (valor esperado de la potencia que entregan o toman de la red), lo cual se muestra en los siguientes gráficos. En este caso, la referencia es un parque de 1.000 vehículos.



Este efecto se visualizará en los valores de potencia en los horarios valle y pico de la demanda total, que serán manejados a través de postes en las corridas del Simsee.

Sería esperable que en horario pico (Poste 1), la contribución de los vehículos eléctricos muestre una disminución de la potencia en el poste, respecto a un escenario sin vehículos eléctricos.

Por otro lado, se espera que en horario valle (Poste 4), el aporte de los vehículos eléctricos muestre un aumento de la potencia en el poste, respecto a un escenario sin vehículos eléctricos.

En resumen, la curva diaria de demanda sería más “suave” que la actual.

## 10 VALIDACIÓN DEL MODELO - RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN Y SIMULACIÓN

Con las condiciones presentadas en el punto 8 está armada la sala x\_147007.es, sobre la misma introducimos dos actores del tipo “Generador Térmico con potencia y costo variable”, los mismos son dos paquetes de mil autos y mil camionetas respectivamente, construidos siguiendo los pasos explicados en el punto 6. En esta primera aproximación, el costo fue asignado de una fuente aleatoria “cero” para que se despache siempre, en un futuro el modelo

debería incorporar la opción de poner un pago por potencia por afuera del costo de despacho tal como es el caso de la biomasa autodespachable (ver punto 12).

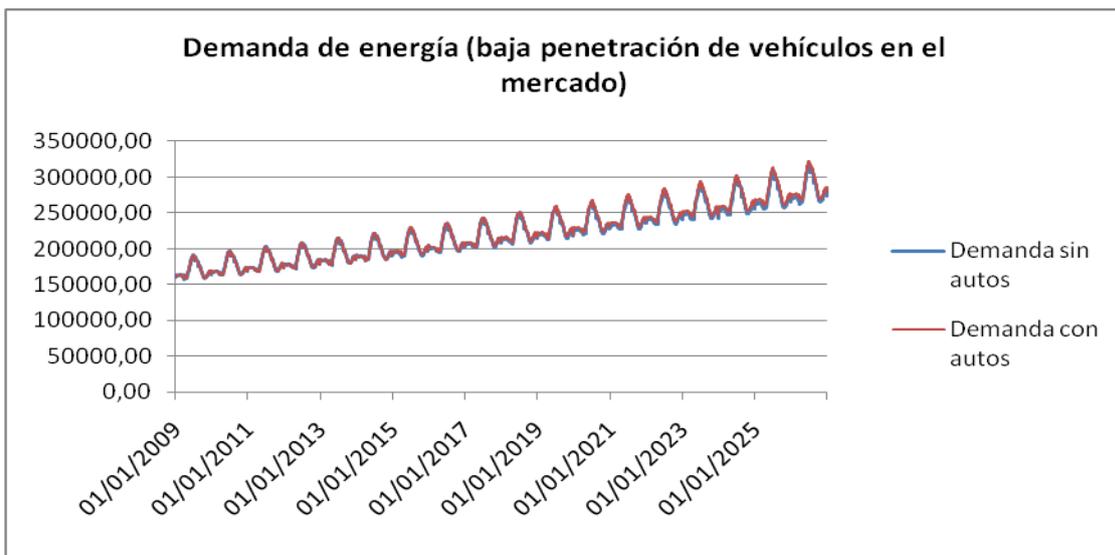
Luego de creados los dos actores editamos las unidades disponibles para generar los dos escenarios anteriormente mencionados, el de baja y el de alta penetración de vehículos eléctricos respectivamente.

A su vez para un mejor análisis de los resultados se hicieron algunas modificaciones a la plantilla SimRes3 de forma tal de poder apreciar la generación (demanda) de los autos en los diferentes postes, entre otras cosas, para así poder apreciar el impacto en el sistema eléctrico. Antes de seguir adelante y presentar los resultados obtenidos es importante recalcar que estas corridas fueron realizadas particularmente con el objetivo de brindar una primera validación al modelo y no pretenden ser base de estudios profundos sobre el tema, sino que comenzar a afinar la herramienta que permitirá en el futuro realizar estudios de estas características.

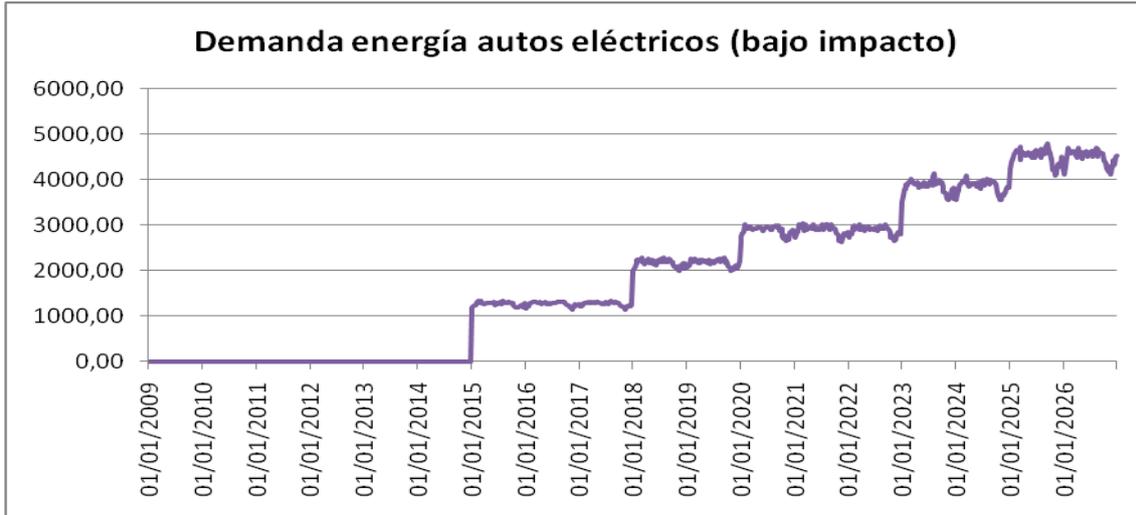
Nota: En los gráficos presentados las unidades energía se encuentran en MWh.

### 10.1 ESCENARIO 1: BAJA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

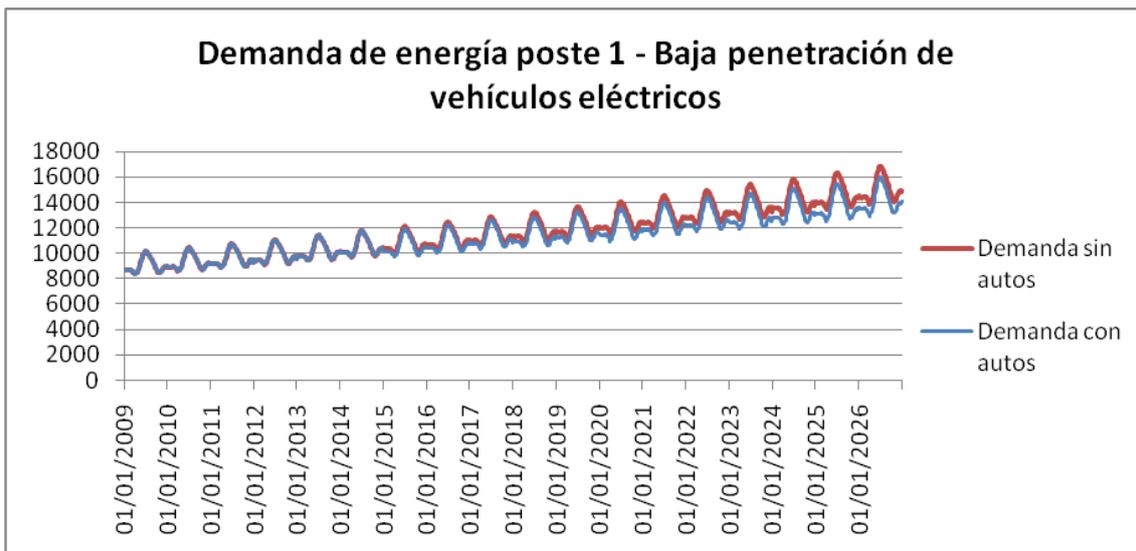
Considerando el incremento gradual del parque automotor eléctrico desde el 2015 al 2030, llegando en este punto a un 5% del mismo, fue que se realizaron estas corridas. En una primera instancia se observa el impacto en la demanda neta de energía y luego se discrimina por postes.

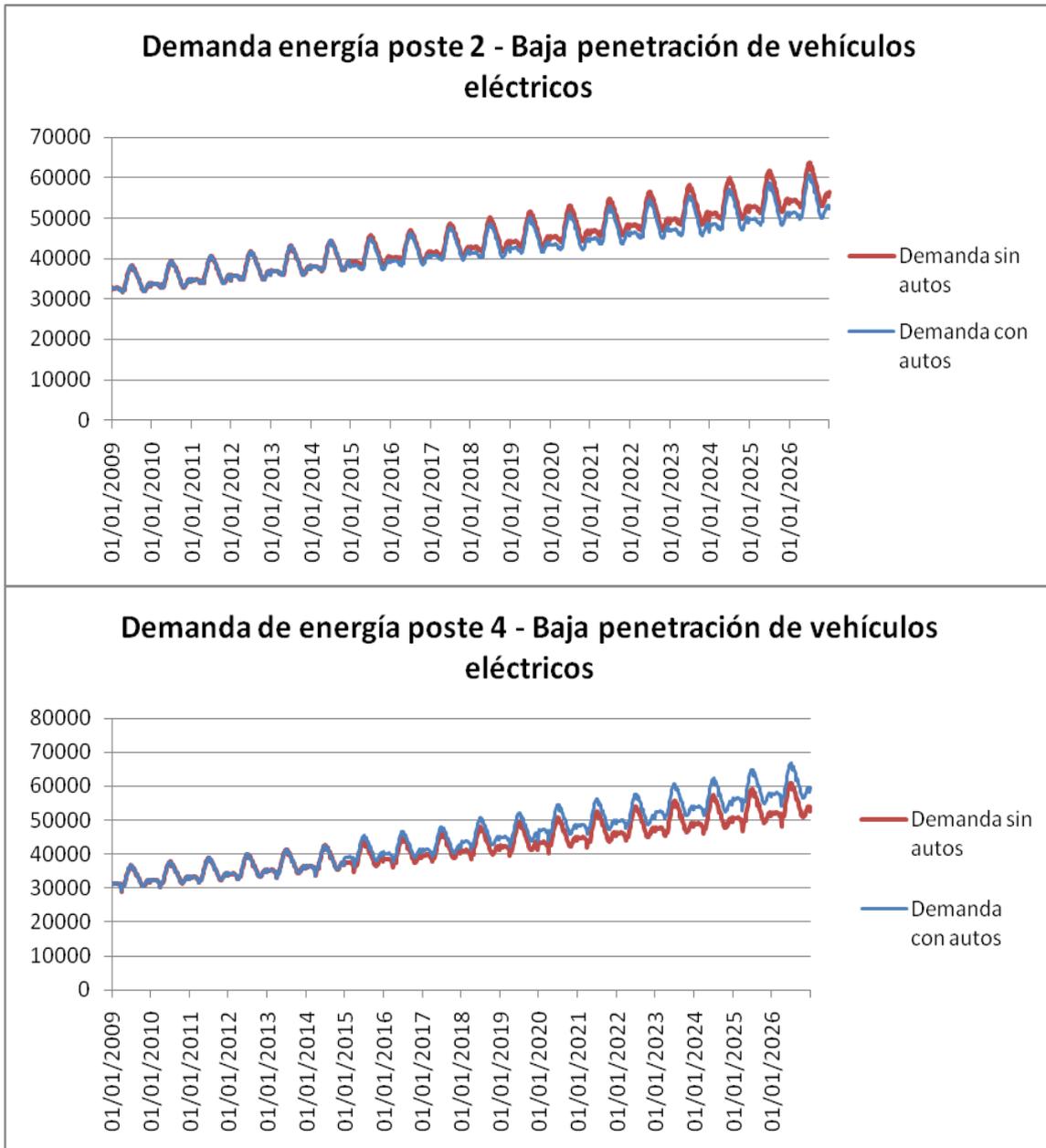


Si bien se aprecia una diferencia en el gráfico, queda de manifiesto que la misma no es tan grande siendo para 2026 del entorno de un 1.5% mayor para el caso de la incorporación de vehículos eléctricos. A continuación observamos cómo sería el incremento en la demanda debido al parque automotor en el correr de los años.



Otro análisis interesante que correspondería hacer es observar la curva de la demanda diaria cuando estén incorporados dichos autos en el sistema, en nuestro caso reconstruir esta curva no es posible puesto que el paso de simulación lejos de ser horario, es semanal. De cualquier manera podemos hacer una aproximación de cómo se deformaría dicha curva, haciendo un análisis por poste. Los postes 1 y 2 corresponden al pico y al entorno del mismo con lo cual es de esperar un descenso de la demanda en este horario, teniendo en cuenta el comportamiento descrito anteriormente donde el modelo prioriza la entrega a la red del remanente de carga de las baterías en este horario. El poste 4 corresponde al valle, y es aquí donde se esperaría encontrar el comportamiento inverso al anterior debido a la masiva entrada al sistema de los autos a cargar. Tal como fue dicho, este comportamiento debería ser orientado por cargadores inteligentes. A continuación se observan los gráficos correspondientes.



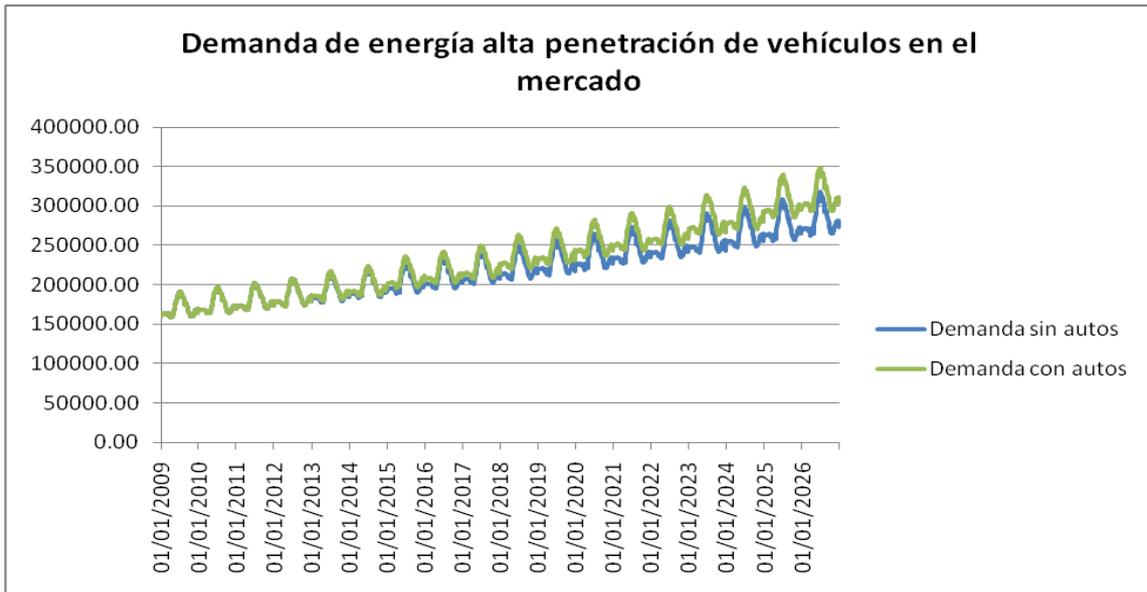


Resumiendo estos resultados se puede estimar:

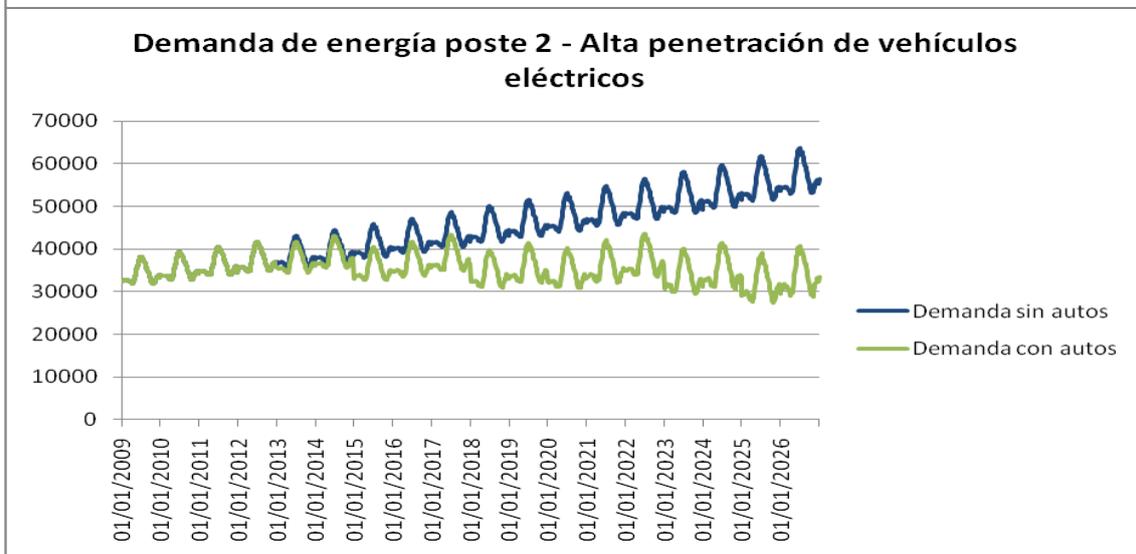
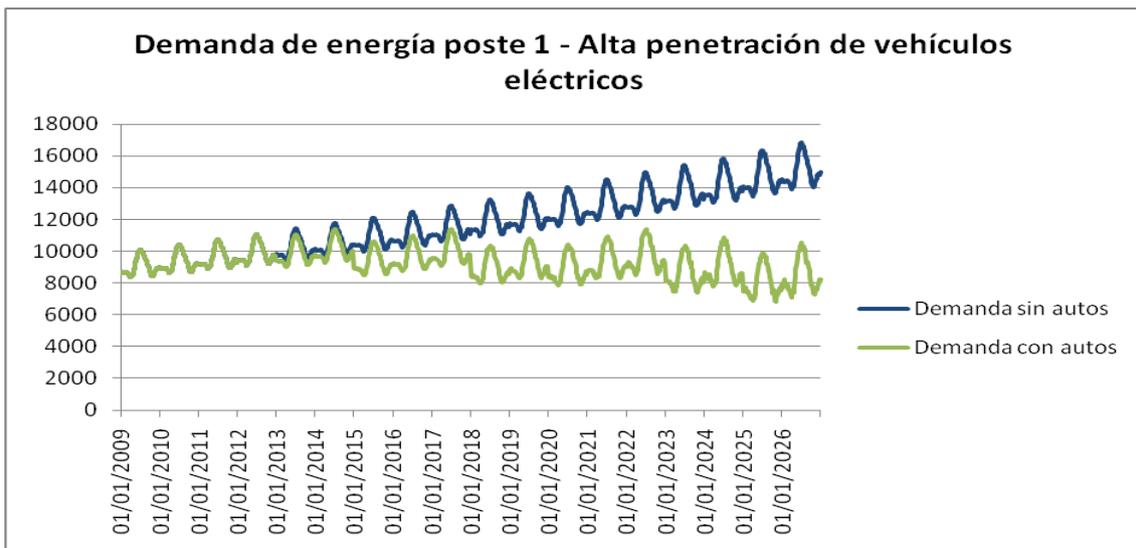
- Para el poste 1: Un descenso en la demanda de un 6.5% aproximado.
- Para el poste 2: Un descenso en la demanda de un 6% aproximado.
- Para el poste 4: Un aumento en la demanda de un 9.5% aproximado.

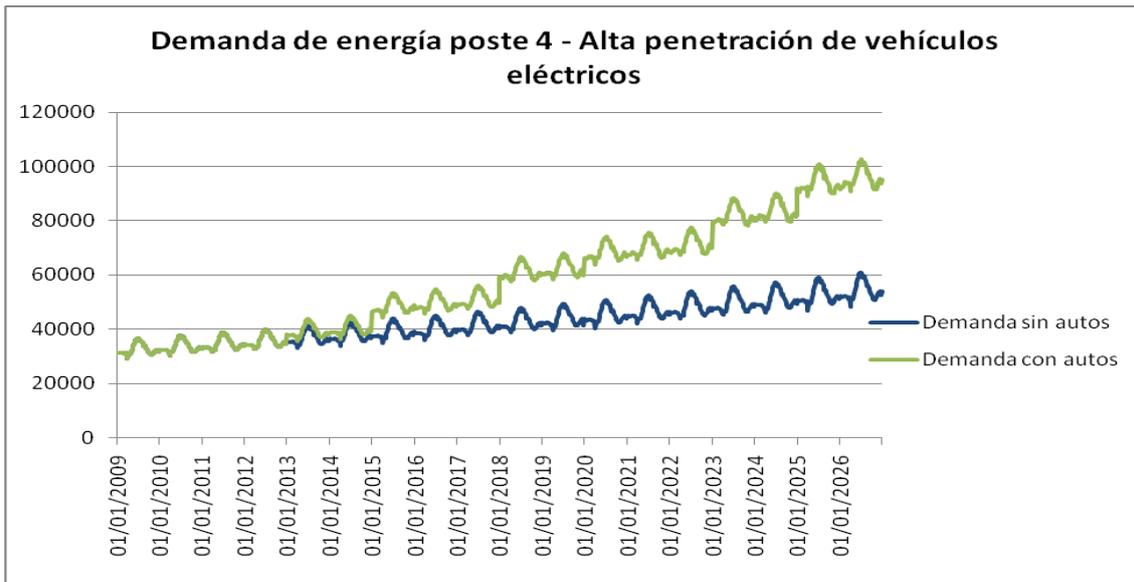
## 10.2 ESCENARIO 2: ALTA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Este caso supone una participación del 50% del parque automotor para el año 2030, tal como fue descrito en la sección 7 de este trabajo, para estudiar el modelo nuevamente se realizaron los mismos estudios que en el caso anterior, a continuación se presentan los resultados correspondientes.



En este caso la demanda aumentaría aproximadamente un 11% en caso de incorporar vehículos para el año 2025.





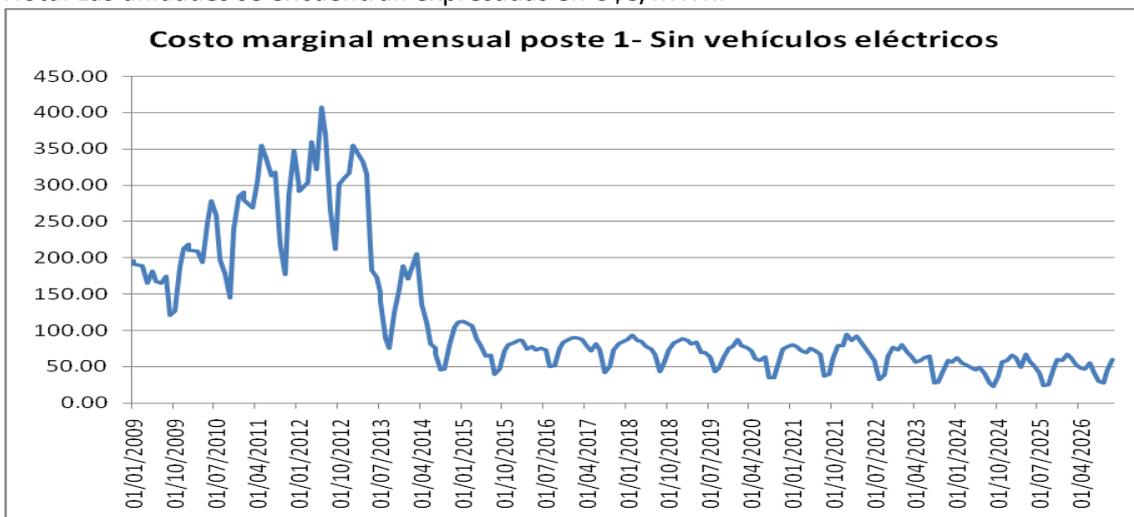
Queda de manifiesto que en este caso las diferencias son notables. Porcentualmente, volviendo a hacer el análisis se observa que:

- Para el poste 1: Un descenso en la demanda de un 45% aproximado.
- Para el poste 2: Un descenso en la demanda de un 42% aproximado.
- Para el poste 4: Un aumento en la demanda de un 75% aproximado.

### 10.3 UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL COSTO MARGINAL

Teniendo en cuenta que la manera de construir el actor en nuestro caso, fue con costo variable nulo, de forma tal que siempre se pudiera despachar, no es posible hacer un estudio del impacto económico. Pero como primera aproximación, de forma de reflexionar cuánto estaría dispuesto el sistema a pagar por la energía de los autos, se realizó una corrida del sistema sin autos observando el costo marginal mensual en el poste 1.

Nota: Las unidades se encuentran expresadas en U\$S/MWh.



Del gráfico se desprende que para 2025 el cmg ronda los 50 dolares, por lo que debería ser una consideración a tener en cuenta a la hora de establecer políticas de precios vinculado con esta materia.

## 11 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo consistía en brindar un primer modelado de la demanda de los vehículos eléctricos, llevándola a un actor dentro del SimSee para poder representar a los mismos. En el transcurso de este trabajo dicho objetivo fue completado satisfactoriamente habiendo sin duda infinidad de aspectos para mejorar de este modelo de forma tal que el mismo sea una representación más fehaciente de la realidad.

Por otra parte en lo que respecta al manejo del SimSee el trabajo nos permitió, incorporar el manejo de varias funcionalidades del mismo a saber: se utilizó el paquete análisis serial para poder generar una fuente aleatoria del tipo CEGH, se creó un actor del tipo “Generador térmico” teniendo que ahondar por las diferentes alternativas para llegar a la correspondiente a nuestras necesidades. A su vez para el análisis de resultados se edito la plantilla SimRes3 generando índices, variables crónicas, operaciones crónicas y post operaciones así como también representaciones gráficas. Por lo que dicho objetivo también estaría saldado.

Por último se realizó un análisis de los resultados obtenidos donde se empieza a vislumbrar el gran impacto que tendría en el Sistema eléctrico uruguayo la presencia de un parque automotor del tipo eléctrico a gran escala. Si bien cabe recordar que estos estudios se hicieron para evaluar el modelo realizado. Es de esperar que al mejorar este modelo los estudios se puedan realizar tal como corresponde.

Para finalizar el trabajo creemos que es importarte destacar algunos de los aspectos a mejorar del modelo, los cuales serán la base del trabajo a futuro.

## 12 ASPECTOS A MEJORAR DEL MODELO

Para que el actor “auto eléctrico” pudiera ser autodespachado, debimos ponerle costo 0. A futuro debería crearse un actor similar al caso de biomasa, en el que se pueda poner un costo de despacho (para que sea autodespachable), y otro al precio de kWh.

Actualmente se supone el mismo comportamiento diario para todos los vehículos. Dicho comportamiento debería variar los fines de semana, y también debería contemplarse el cambio estacional, es decir que el comportamiento va variando según la época del año.

Actualmente solo tenemos en consideración autos puramente eléctricos, pero también deberían incluirse autos híbridos enchufables al modelo (autos que además de ser eléctricos, funcionan a combustible). Si bien es posible incluirlos a través de la matriz de transiciones, se debería realizar un estudio del comportamiento para poder construirla.

Solo consideramos un modelo de auto eléctrico suponiendo una carga de 6 horas constante y capacidad de 24kWh. Teniendo en consideración que además los autos pueden ser híbridos, o con diferente capacidad, esto hace variar el comportamiento.

No estamos considerando los avances tecnológicos que pueden traer menores tiempos de carga o mayor capacidad en la batería, esto también afecta a la curva.

El crecimiento de la cantidad de vehículos eléctricos es estimada linealmente, deberían hacerse estudios más detallados de cómo sería el crecimiento del parque automotor y las centrales de carga y como esto afectaría a la cantidad de vehículos eléctricos. Como resultado,

el crecimiento debería ser de mínimo impacto al comienzo, adecuándose a la introducción de vehículos eléctricos a medida que se van sustituyendo los autos a combustible.

Pudimos ver que gracias a la entrega de energía, hubo disminución del pico a costa de un aumento en el valle, dicho cambio en el comportamiento es muy brusco (por ejemplo en el escenario de alto impacto, se generaría cerca de 1 GWh repentinamente en el pico horario). Debería buscarse una solución para que los cargadores inteligentes no comiencen todos a la misma hora, por ejemplo comunicación remota con el cargador para ir permitiéndolos ingresar escalonadamente.

Debería hacerse un estudio más profundo de la utilización de vehículos y distancias recorridas para la generación de la serie utilizando Markov para poder afinar los cálculos.

También se debe tener en cuenta analizar de qué manera la existencia de un mercado de vehículos eléctricos posibilita o favorece la introducción de energías renovables, como ser el caso de eólica. De este modo, podría estudiarse la remuneración de la energía cuando se entrega a la red, y el costo para los usuarios cuando consumen, en función de los beneficios que introducen al permitir la instalación de energía limpia y a menor costo que la actual térmica.

Otras externalidades deberían analizarse, aunque no estén directamente involucradas con la red eléctrica. Como ejemplo se cita la disminución de uso de combustibles derivados del petróleo, que podría evitar (o aplazar) inversiones en la refinería de ANCAP, o evitar importaciones.

## Anexo A - Matriz de transiciones para automóviles particulares

INICIAL	FINAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
CA	CA	90	90	90	90	90	50	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90			
CA	EN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
CA	PA	4	4	4	4	4	29	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30	4			
CA	AN	5	5	5	5	5	20	44	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	5			
EN	CA	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	4	4	1	1	1	1	5	60			
EN	EN	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	80	80	79	79	74	55	10			
EN	PA	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	14	15	15	20	35	25		
EN	AN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
PA	CA	60	60	30	10	15	15	15	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	50			
PA	EN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	65		
PA	PA	24	29	64	84	74	45	34	34	34	48	80	80	80	80	80	80	54	34	10	19	19	19	20	10			
PA	AN	15	10	5	5	10	39	50	60	64	50	18	18	18	18	18	18	44	64	35	35	35	35	30	30			
AN	CA	36	36	36	36	36	36	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	1	1	1	1	10	65			
AN	EN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	38	43	43	43	40	5			
AN	PA	43	43	43	43	43	43	53	53	53	69	69	69	69	69	69	69	53	53	25	20	20	15	10	10			
AN	AN	20	20	20	20	20	20	36	36	36	20	20	20	20	20	20	20	36	36	36	36	36	36	35	20	20		
<b>Unidades</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	HS-AUTO		
CA	500	719	794	786	752	733	428	166	88	68	68	56	42	40	39	39	39	31	13	11	11	11	11	11	60	597	<b>5604</b>	
EN	120	14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	18	62	468	597	644	628	500	87	200	287	<b>3174</b>
PA	150	168	122	142	178	189	328	386	431	432	573	727	748	754	755	756	756	528	418	182	177	171	200	287	171	200	287	<b>9582</b>
AN	230	100	73	61	59	68	234	437	471	489	348	207	200	196	195	195	195	422	506	338	215	174	160	153	145	145	145	<b>5641</b>
	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	<b>24000</b>

## Anexo B - Cálculo de iteraciones y otras consideraciones del programa GeSeVe

El cálculo de iteraciones funciona de la siguiente manera:

- 1) Estando en la hora "k" y para calcular el estado en la hora "k+1".
- 2) Tomamos un vehículo y nos fijamos cual es su estado actual.
- 3) Luego mirando la tabla columna correspondiente a la hora "k" y las transiciones que parten desde el estado actual de la matriz de transiciones, calculamos cual será su nuevo estado (ponderando según la probabilidad asignada a cada transición).
- 4) Repetimos 3) para todos los vehículos (según el estado inicial de cada uno) y así calculamos el estado siguiente.
- 5) Para calcular la serie diaria, debemos repetir los pasos del 1) al 4) 24 veces.
- 6) Luego para calcular la serie anual, debemos repetir los pasos del 1) al 5) 365 veces.

Consideraciones adicionales

Debido a que las cadenas de Markov convergen al ser determinísticas, no es posible trabajar con el valor esperado de las transiciones, sino que hubo que agregarle ruido blanco Gaussiano.

Para hacer esto lo que se hizo fue sortear cada auto independiente y no como paquetes, agregando aleatoriedad al resultado. Además si la cantidad de autos es muy elevada, se estaría cumpliendo el valor esperado, por lo que usamos un cantidad de vehículos pequeña (100 en nuestro caso) para agregar todavía más peso a la aleatoriedad.

## Anexo C - Obtención de sintetizador CEGH para vehículos eléctricos. Ejemplo Paso a paso para automóviles particulares.

1-Definir las matrices de transición en el documento de Excel, verificando las restricciones que puedan existir en cada caso.

2-Guardar las matrices en formato CSV utilizando un archivo con la matriz superior (Ejemplo "MTautos.csv")

3-Estos datos que están en los archivos .csv son los que utiliza el programa GeSeVe para generar las series de vehículos.

4-Ejecutar el GeSeVe

5-Primero solicita el archivo de serie de datos de vehículos (matriz de transición en csv, en nuestro caso "MTautos.csv"). *Atención: Se debe colocar en un directorio que no contenga espacios.*

6-La salida del programa es un archivo con el nombre Test.csv con los resultados (día, hora y cantidad de autos en cada estado)

7-Los datos obtenidos son para 100 autos y los hace para 365 días.

8-Para generar el sintetizador CEGH EV, se precisan transformar estos archivos Test. En nuestro caso lo renombramos como "SeriesPot\_VEautos\_24kWh\_1000.xls", y aplicamos las siguientes transformaciones.

Hacer para un paquete de 1.000 vehículos (la salida era para 100)

Se toma una potencia de consumo o tomada de 4 kW.

El dato a utilizar es el de saldo de potencia (Entregado menos consumido), ya que el sintetizador se usará para un generador térmico.

9-Transponer los datos de saldo de potencia para 1000 vehículos en el archivo "SeriesPot\_VEautos\_24kWh\_1000.xls"

10-Calcular los promedios de potencia por poste para cada fecha en el mismo archivo.

Para calcular que horas entran en que poste, tomar los postes de la demanda utilizados en la sala.

Se debe tomar el archivo de demanda a utilizar en la sala (p.ej. emandaAnioBase2007).

Si la demanda no se tiene en formato xls, se debe convertir utilizando el programa bin2xlt.exe, que se encuentra en carpeta bin del Simsee.

10-Copiar un archivo de series anterior y abrirlo con Excel. Cambiar los datos de encabezado y copiar las nuevas series con las potencias por poste calculadas en el punto anterior.

Atención: El archivo debe tener punto "." como separador de decimales, sino da error al ejecutar el análisis serial.

Este archivo "SeriesPot\_VEautos\_24kWh\_1000.txt" es el que se utilizará para generar el sintetizador de VE con el programa de Análisis serial.

## Bibliografía:

- [1] Tomado del documento de FING, basado en *The state of the art of electric, hybrid and fuel cell vehicles* / C.C. Chan / *Proceedings of IEEE*, Vol. 95 No. 4, April 2007.
- [2] *Proyecto piloto de movilidad eléctrica (MOVELE) – España*
- [3] REVE – Regulación eólica con vehículos eléctricos – [www.ewind.com](http://www.ewind.com)
- [4] Anuario 2009 de la DNT-MTOP
- [5] [http://es.wikipedia.org/wiki/Vehículo\\_eléctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Vehículo_eléctrico)
- [6] [http://es.wikipedia.org/wiki/Cadenas\\_de\\_Markov](http://es.wikipedia.org/wiki/Cadenas_de_Markov)