

GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA ASOCIADA A VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Pierantonelli Mario¹, Medina Juan Cruz², Quintilla Tomás²

Licenciatura en Ambiente y Energías Renovables (LAER)- Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas-
 Universidad Nacional de Villa María (UNVM)- Arturo Jauretche 1555- V. María- Cba- CP 5900
 Tel. 0353-4539106- e-mail: mpierantonelli@unvm.edu.ar

Recibido 14/08/18, aceptado 26/09/18

RESUMEN: Se pretende investigar un esquema de movilidad urbana basado en móviles eléctricos alimentados por energía solar en cuanto a consumos, emisiones, efectos en las matrices energética y de transporte, sustentabilidad, así como la percepción de la sociedad.

Se adoptan dos líneas de investigación paralelas; una documental con seguimiento y análisis técnico de los modelos que presentan las automotrices y otra experimental que implica efectuar mediciones en móviles eléctricos y en una instalación fotovoltaica con inversor conectada a la red eléctrica, que permite diferir la carga del vehículo del ciclo diario solar y cuantificar el balance neto de energía.

La producción distribuida de energía fotovoltaica permitiría minimizar el impacto de la carga de los autos, ya que la red puede verse fortalecida si hay excedentes de energía o si se usan las baterías del auto como respaldo, incrementando la sinergia entre las partes.

Palabras clave: auto eléctrico, generación distribuida, sinergia, sustentabilidad

INTRODUCCION

Dentro de un esquema de desarrollo sostenible es imprescindible incluir al transporte de personas y cargas como sujeto de estudio dado el porcentaje de actividad y consumo de energía que implica en la matriz socioeconómica de la sociedad.

En el caso de estudio se centra la investigación en el traslado de personas en el ámbito urbano y suburbano.

El gráfico siguiente (Fig. 1) ilustra sobre la energía que se gasta por persona y por kilómetro en diferentes medios de transporte.

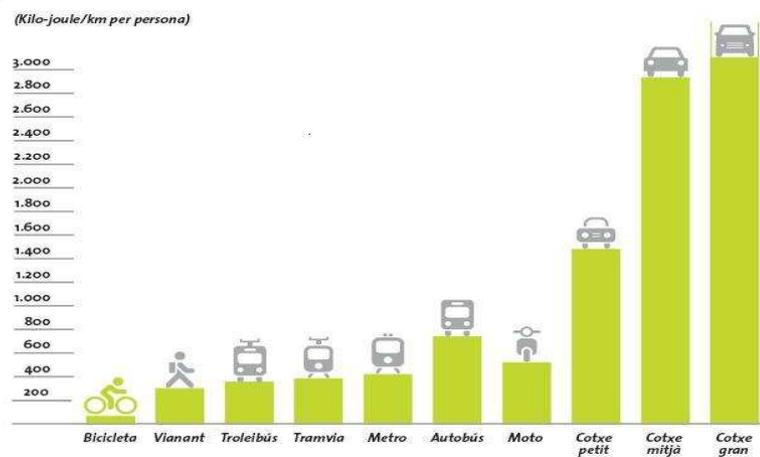


Figura 1: Energía en transporte. Fuente: Federación Catalana de Ciclistas

¹Ingeniero, Profesor LAER- UNVM

²Estudiantes LAER- UNVM

Otras variables tales como independencia, rapidez, practicidad, autonomía y las de tipo psicológico no son fácilmente mensurables, pero inciden fundamentalmente en la voluntad del individuo de adquirir o no un determinado tipo de vehículo para uso personal o familiar y han sido el motor de la industria del automóvil en los últimos cien años. El dilema es que esa gran industria que es fuente de trabajo para millones de personas está sustentada sobre un consumo de combustible cada vez mayor, incompatible con las reservas del planeta además de causar un deterioro ambiental por las emisiones derivadas de esos automóviles y la congestión en el tránsito en ciudades y autopistas. Cualquier acción que se tome en relación al transporte individual debe contemplar las consecuencias ambientales, energéticas y sobre el empleo y debe tener el consenso de gobiernos, empresas, particulares y organizaciones civiles. Es en este contexto donde la alternativa de propulsión eléctrica puede ser conveniente y sustentable ateniéndose a algunos preceptos básicos y que son objeto del estudio, que esté acompañada por una fuente de energía renovable y que tenga un efecto positivo o neutro en la matriz energética.

CONSIDERACIONES

El análisis del desarrollo del parque automotriz en retrospectiva muestra que en los años posteriores a la 2da. Guerra Mundial se produce un gran aumento de la cantidad de vehículos con tendencias definidas según los mercados.

Las automotrices europeas orientaron mayormente su producción hacia modelos pequeños y de baja cilindrada con consumos contenidos para lo que permitía la tecnología de la época. Estados Unidos hacía lo contrario, en la posguerra fabricaban autos de gran tamaño y consumo, que fueron aumentando ambos hasta la crisis del petróleo en los 70 en la que redujeron dimensiones y cilindradas y empieza el control de emisiones principalmente en California. Pasada la crisis, baja el precio del petróleo y tanto Estados Unidos como las fábricas de Europa y Asia que vendían en el mercado americano comienzan de nuevo la escalada de tamaño y consumos, este último se ve morigerado por los avances en las plantas motrices, no obstante, comienza una carrera por las prestaciones, velocidad, aceleración y confort que hace que los consumos no disminuyan.

En los 90 hubo algunos intentos de fabricar autos eléctricos que fueron discontinuados, el petróleo seguía siendo barato. Recién después del 2000, con crisis petroleras de fondo por las proyecciones de escasez del recurso las fábricas empiezan a pensar en modelos orientados al bajo consumo, tanto en plantas motrices de combustión interna como híbridasyeléctricas (Etchegaray et al, 2013).

Se pueden clasificar a los autos eléctricos en tres tipos básicos: híbridos, híbridos con recarga (plug in) y eléctricos puros.

Los automóviles eléctricos puros sólo cuentan con motores eléctricos y acumulan su energía exclusivamente en la batería, que puede ser recargada desde la red, se pueden dividir en tres categorías:

- Los de alta gama con una gran capacidad de batería (más de 60Kwh) y altas prestaciones,

Como ejemplo: Tesla roadster y Tesla S, Rimac, Fisker Karma, etc.

- Los medianos tales como el Mitsubishi i-Miev, Nissan Leaf, Renault Zoe; autos para cuatro personas con una autonomía entre 100 y 150 Km.

- Los chicos, para dos personas, generalmente en tandem, de muy bajo peso y muy aerodinámicos con una autonomía de hasta 100 Km. Esta última categoría es la más promisoría ya que son vehículos muy prácticos y ágiles, ocupan poco espacio en las calles (miden menos de tres metros de largo y alrededor de un metro de ancho), son muy livianos, aproximadamente 400 kg aún con las características de confort y seguridad modernas.

Un documento que avala la conveniencia de esta última categoría es un informe de la Oficina Federal de Estadística de Alemania según el cual un 60% de los trabajadores que viajan entre el hogar y el puesto de trabajo utilizan el coche y de estos un 90% viajan solos, y que el 73,9% recorren menos de 25 km para llegar al puesto de trabajo con lo que este tipo de autos cumpliría ampliamente con sus necesidades (Adler et al. 2006). Esto se puede extrapolar a cualquier gran ciudad, basta apostarse al costado de una autopista urbana en Buenos Aires y observar el porcentaje de autos en los que viaja únicamente el conductor.

En este contexto aparecen como solución los microcoches e incluso triciclos carrozados con control de inclinación, algunos con motor de combustión interna y otros eléctricos o híbridos que consumen y contaminan hasta 10 veces menos que un automóvil convencional, con la ventaja adicional de ocupar menos superficie en planta permitiendo mejorar el tránsito y el estacionamiento.

Se menciona como una clase aparte a los vehículos eléctricos con celdas de combustible que, aunque tienen emisión local cero conllevan los problemas de costo, generación, almacenamiento y distribución inherentes al hidrógeno.

A fines del año 2017 el parque automotor mundial es de aproximadamente 1300 millones de vehículos (OICA, 2018) (incluidos autos camiones y ómnibus), los autos circulando suman unos 850 millones y se fabrican anualmente 85 millones (IEA, 2017), de los cuales aproximadamente 1,1 millones son eléctricos (entre eléctricos puros e híbridos) (IEAGEVO, 2018).

El consumo anual de petróleo del 2017 llegó a los 98 millones de barriles por día, de este total el transporte se lleva aproximadamente 49 millones ($\approx 50\%$) y el transporte individual con vehículos livianos unos 23 millones de barriles ($\approx 25\%$) (BP, 2018). Los escenarios futuros que proyectan diferentes organizaciones de prestigio internacional en este ítem de transporte han cambiado en los últimos dos años debido a la aceleración de ventas de vehículos eléctricos, pero solo las alternativas más optimistas permiten cumplir con las metas de emisiones, por ejemplo, al 2040 (IEA, WEO 2017).

Si se enfoca el estudio en la fracción de transporte individual y especialmente en el urbano y el suburbano, se observa que este es un mercado absolutamente dominado por un grupo de corporaciones imbricadas en una maraña de asociaciones entre las mismas automotrices y las petroleras que por ahora suministran energía para producir y hacer funcionar los autos. Ateniéndose al porcentaje que se lleva el transporte del consumo mundial de petróleo (la mitad) se observa que continua la era del petróleo y más aún la del automóvil.

Un mínimo análisis de la sustentabilidad de este esquema conduce a pensar en un colapso en un plazo mediano de no haber un cambio sustancial en los consumos y en el enfoque del mercado hacia autos más durables y eficientes.

Es necesaria la introducción acelerada de vehículos biplaza, de bajo peso, aerodinámicos, ágiles y atractivos y que según estadísticas sobre porcentaje de ocupación de vehículos permitirían cubrir un porcentaje significativo del mercado y mantener el empleo en las fábricas.

La alternativa eléctrica presenta ventajas en cuanto a menor consumo, menor contaminación, menos ruido y si bien la autonomía es menor, en recorridos urbanos con frecuentes paradas y aceleraciones permite recargar parcialmente las baterías mediante frenado regenerativo con la energía de inercia del auto, que de otra forma se disiparía como calor en los frenos.

Otra ventaja significativa es que pueden ser recargados desde la red en las casas, lugares de trabajo, etc. En este caso tenemos que considerar la eficiencia del cargador, las pérdidas en la red y hay que considerar la eficiencia de origen de la energía eléctrica que en el caso de la energía solar, eólica o hidráulica podemos considerar del 100 % y emisión cero. Pero ocurre que la red eléctrica nacional tiene casi un 60 % de generación térmica con rendimientos diversos, hay centrales de ciclo combinado cercanas al 60% y centrales de pico con turbinas de gas tan bajas como un 20%, la eficiencia promedio es de alrededor del 40% (BEN 2016).

Si en cambio se asocia un techo solar fotovoltaico en los domicilios puede resultar en un círculo virtuoso que permita una economía energética cuasi-autónoma. La tecnología existe y está disponible y los precios de los paneles fotovoltaicos están en un nivel bajo de aproximadamente 0,3 U\$/Wp FOB en China para panel certificado (Photon Magazine, promedio 2017), aún queda una ventaja adicional y es que la batería del auto puede ser usada como amortiguador de picos de consumo en la red en un esquema V2G (Vehicle to grid) (Kempton et al. 2005).

METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS

Se analizan las características de automóviles eléctricos puros según las especificaciones de sus fabricantes y test de publicaciones especializadas y se comparan con las obtenidas en recorridos en el campus universitario con los dos móviles disponibles, un prototipo desarrollado en trabajos de investigación anteriores y uno construido por un particular.

Dentro de la categoría auto grande se considera al Tesla S:

Tesla S

Sedán 5 puertas- Peso: 2108 Kg-Motor: 260 KW- Baterías: Litio – 60 KWh

Veloc. Max: 210 Km/h- Autonomía: 333 Km- Consumo medio: 180 Wh/Km

Dentro de la categoría medianos se considera dos automóviles de serie que están en el mercado internacional, Nissan Leaf y Mitsubishi i-Miev.

Nissan Leaf:

Sedán 4 puertas- Peso: 1600 kg - Motor: 80kW- Baterías: litio – 24 KWh – 270 kg
Veloc. Max: 140 km/h- Autonomía: 160 km

Mitsubishi i-Miev

Monovolumen 4 puertas-Peso: 1080 kg- Motor: 49 kW -Baterías: litio –16 KWh
Veloc. Max: 130 km/h- Autonomía: 120 km

Dentro de la categoría micro coches se considerancinco autos presentados que creemos representativos de esta nueva oferta de la industria y que cumplen con los requisitos enumerados anteriormente sobre sustentabilidad:

Opel Rak-e

Monovolumen biplaza en tándem- Peso: 380 kg- Motor: 10.5 kW- Baterías: litio -5kwh
Veloc. Max: 120 km/h -Autonomía: 100 km - Consumo: equivalente a 0,6 lit/100 km

Renault Twizy

Monovolumen biplazaen tándem –Peso: 450 kg - Motor: 15 kW –Baterías: litio –7 KWh
Veloc. Max: 80 km/h - Autonomía: 100 km

Audi Urban Concept

Monovolumen biplaza desplazado- Peso: 480 Kg - Motor: 15 KW -Baterías: litio- 7 KWh –
Veloc. Max: 100 Km/h- Autonomía: 73 Km- ciclo NEOC

Volkswagen Nils

Monovolumen monoplaaza – Peso: 460 Kg - Motor: 15 KW-Baterías: litio – 5,3 KWh
Veloc. Max: 130 Km/h- Aceleración: 11 seg. de 0 a 100 Km/h - Autonomía: 65 Km

Toyota I-Road

Monovolumen biplaza – tres ruedas – Peso: 300 Kg- motor 4KW- Baterías: LitioAutonomía: 50 Km

Vehículo construido en la UNVM:

Fiat Uno eléctrico

Sedán bicuerpo, largo 3,64 m, alto 1,44 m, ancho1,54 m- Peso: 920 kg-

Motor: asincrónico 5,5 kW a 1500 rpm, torque 36,5 Nm

Baterías: Pb- Ac electrolito absorbido, 9,8 kwh – 264 kg

Veloc. Max: aprox. 60 km/h

Autonomía: aprox. 70 km, ciclo urbano.



Figura2: Móvil UNVM Figura3: Grupo motor-transmisión Fiat Uno

Se elaboran tablas de datos en base a las mediciones efectuadas en un recorrido establecido en el campus y sus inmediaciones que permiten obtener gráficos de energía y de potencia representativos del consumo del móvil:

Recorrido: 3053 m Tiempo requerido: 376 seg. Veloc. Media: 29,5 Km/h

Tensión de batería: 290 V Frecuencia de medición: 1 Hz

Peso en orden de marcha: 1090 Kg

La prueba se efectuó en un trazado que consta de 12 cambios de dirección de 90 ° y con dos personas a bordo. Las velocidades de esquina y curva se trataron de mantener menores a 20 Km/h para simular un recorrido urbano, en recta se mantuvo inferior a 60 Km/h.

En base a los datos recogidos en formato del equipo de medición y pasados a planilla de cálculo se confeccionan gráficos de la energía consumida, regenerada y neta (Fig.4) y de la potencia instantánea (Fig. 5).

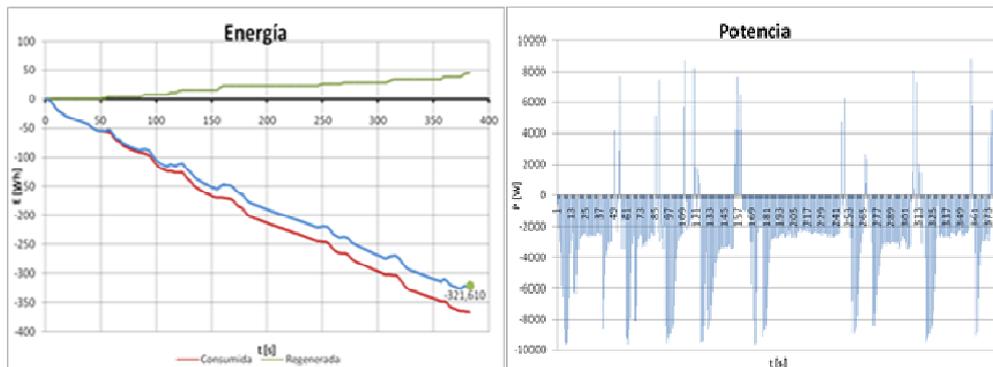


Figura 4: Gráfico de energía Fiat Uno Figura 5: Gráfico de potencia Fiat Uno

Con los datos de energía al final del recorrido se hace un balance:

Energía consumida: 366,338 Wh Energía regenerada: 44, 728 Wh
 Balance energía: 321,610 Wh Consumo: 105 Wh/Km

Se observa que con el frenado regenerativo se produce un ahorro del 12,2 % de energía, en un trayecto en tránsito real donde hay más frenadas por esquinas o para evitar colisiones este porcentaje puede ser mayor. Estas pruebas se repitieron en diversas condiciones ambientales en el mismo circuito prácticamente sin cambios apreciables en los valores de consumo específico, por lo que los datos obtenidos se pueden considerar representativos de un consumo medio en condiciones normales de tránsito urbano. Dentro del mismo proyecto se hicieron mediciones de consumo de energía en un auto eléctrico construido por un particular utilizando el mismo instrumental y protocolo usado para nuestro vehículo. Estas mediciones y su análisis posterior agregan valor al trabajo de investigación ya que se trata de una topología totalmente diferente a la del Fiat Uno eléctrico de la UNVM.

Daihatsu eléctrico

Se trata de una camioneta Daihatsu (Fig. 6) a la que se le ha extraído el motor y el tren trasero reemplazando a este último por dos motores en rueda de 1,5 KW c/uno. En este caso es un vehículo más liviano y se obtienen consumos promedio en circuito urbano de 88 Wh/Km contra 105 Wh/Km del Fiat Uno. Cabe aclarar que el Fiat de la UNVM tiene frenado regenerativo y el Daihatsu no, pero hay una considerable diferencia en los pesos.

Daihatsu Van recortada- peso 550 Kg- dos motores en rueda de imán permanente de 1.5 KW c/uno, total 3 KW con dos controladores de switching con realimentación por efecto Hall- 5 baterías VRLA de 12 V -60 Ah que suman 60 V- peso de las baterías 120 Kg.



Figura 6: Daihatsu Figura 7: Instrumental

El instrumental utilizado en los dos casos es (Fig. 7):

- Pinza amperométrica TES 3060 TRMS con Datalogger conectado a Notebook Samsung con software Power Meter de TES, con conversor Manhattan.
- Shunt 100 A- 50 mV conectado a osciloscopio Hantek con Datalogger incluido y también a amperímetro analógico Igniter.

De esta forma se obtienen dos mediciones redundantes de corriente, una a través la pinza amperométrica optoacoplada con salida RS232 convertida a USB y entrada la PC y la otra desde el

shunt con filtro pasabajos RC al osciloscopio con datalogger, corroborados en forma visual con el amperímetro analógico. Esto permite garantizar la consistencia de los datos, que luego son transportados a una planilla de cálculo y se obtienen los promedios y gráficos que nos dan los consumos citados ut-supra.

Si se comparan los gráficos siguientes del Daihatsu con los anteriores del Fiat, se observa la ausencia de frenado regenerativo tanto en el de potencia(Fig. 8) como en el de energía (Fig. 9):

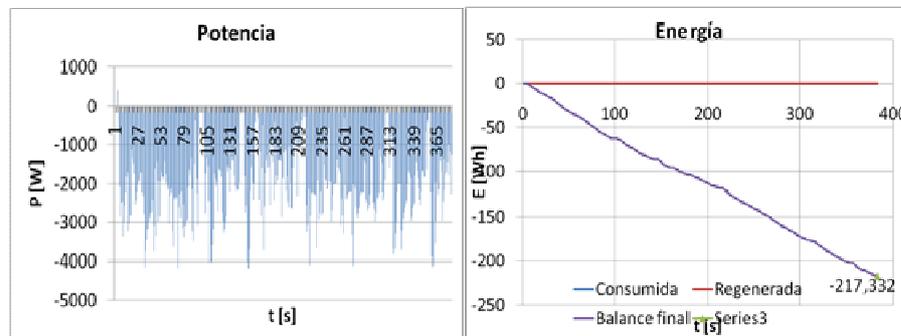


Figura 8: Gráfico de potencia Daihatsu *Figura 9: Gráfico de energía Daihatsu*

En la figura 10 se puede apreciar la eficiencia de los móviles eléctricos comparados con los otros medios de locomoción.

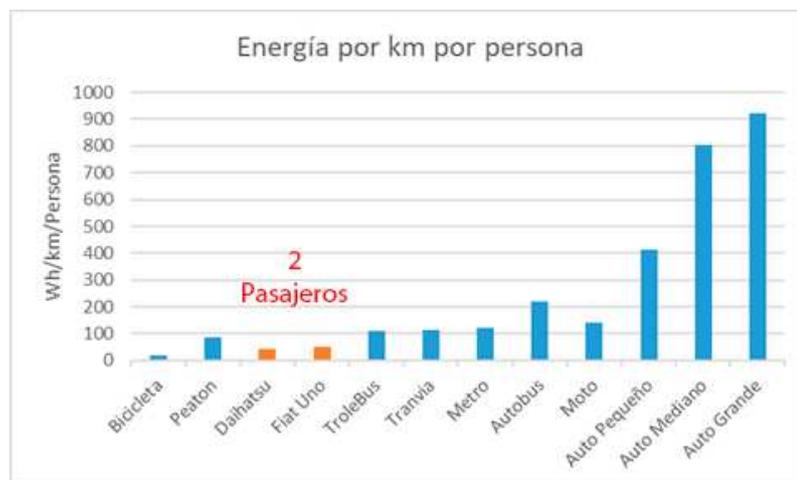


Figura 10. Elaboración propia basada en datos de la Federación Catalana de Ciclistas.

Equipamiento de generación distribuida fotovoltaica

En junio del año 2017 se completó la instalación de los equipos (Fig. 11), la misma consta de 21 paneles fotovoltaicos SOLARTEC KS 46T con una potencia nominal de 46 Wp en condiciones STC (25°C temperatura de celda, irradiación 1000W/m², AM 1.5) cada uno, puestos en serie de 3 filas con 7 paneles, lo que daría un total de 966 Wp nominales. Cabe destacar que en realidad la mejor medición en condiciones óptimas de irradiación (1000 W/m² perpendicular a los paneles) fue de 820 Wp lo que representa un rendimiento de $\eta = 820 \text{ W} / 966 \text{ W} = 0.848$ (85%) respecto a la potencia pico declarada por el fabricante. De manera que estos paneles entregan un 15% menos de la potencia especificada, por lo cual se puede considerar como potencia nominal de la instalación 820W.

El resto de la instalación, cuenta con protección para los equipos y para el usuario y está compuesta por descargadores de tensión de CC y CA, llaves térmicas de CC y CA, disyuntor, el inversor SMA Sunny Boy de 1500W y un medidor de energía de CA.



Figura 11 y 12. Instalación fotovoltaica, auto electrico y equipo de trabajo.

Debido a cuestiones arquitectonicas la orientación de la instalación no es la optima (norte), siendo esta nornoroeste. Esto hace que la curva de generación se encuentre aplanada en las horas de la mañana.



Figura 13. Grafico de generación fotovoltaica. 24 de diciembre 2017. Inversor SMA Sunny Boy.



Figura 14.. Grafico de radiacion solar horizontal y temperatura del aire. Dia 24 de diciembre del 2017.

Fuente: Estacion Metereologica UNVM.

La energía entregada por el equipo a la red eléctrica de la universidad desde el 13 de junio del año 2017 durante un año fue de: 1175,87 kWh. Cabe destacar que el equipo no generó durante 36 días concentrados en el receso de verano, que normalmente son de gran insolación. La desconexión del equipo se debió a que el personal de infraestructura desconecta las llaves para tareas de mantenimiento, en esas condiciones el equipo no genera energía ya que se desconecta automáticamente por razones de seguridad (operación anti-isla).

Instalación y puesta en marcha del equipo fotovoltaico :13 de junio 2017

Orientación de la instalación Fotovoltaica: Nornoroeste

Inclinación de los paneles solares con respecto a la horizontal: 40°

Potencia Nominal: 966 Wp

Potencia Real: 820Wp

Generación anual: 13/06/2017 a 13/06/2018 Energía 1175.87 Kwh descontando 36 días con el equipo apagado (concentrados en los días de verano).

Promedio anual : 1175.87 kWh/ (365 días-36 días) = 3,574 Kwh / día

Horas equivalentes Pico Solar =3574 Wh/820W = 4,36 h

Mes-Año	Kwh Generado Mensual	Dias sin generacion(cortes)	Dias con generacion
jun-17	42,73	1	16
jul-17	76,66	0	31
ago-17	108,85	0	31
sep-17	104,30	0	30
oct-17	144,05	0	31
nov-17	110,74	5	25
dic-17	104,58	5	26
ene-18	96,45	10	21
feb-18	71,68	12	16
mar-18	128,99	2	29
abr-18	76,17	0	30
may-18	68,48	1	30
jun-18	42,19	0	13
Total	1175,87	36	329

Figura 15. Tabla de generación total. Elaboración Propia

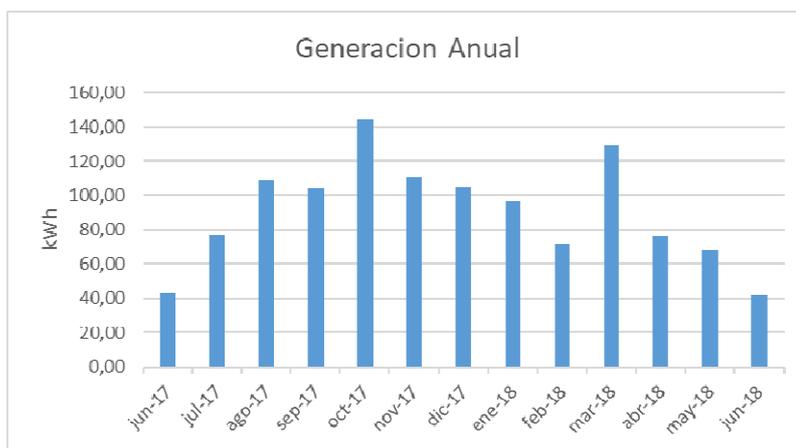


Figura 16: Grafico de generación Anual. Elaboración Propia

Durante el periodo de generación (329 días), se obtiene un promedio diario de 3,574 kWh, que con 820 W de potencia real representa un promedio de insolación a 1 kW / m² de 4,36 h (3574 Wh/ 820W) que esta dentro de los valores promedios de la latitud correspondiente de Villa María según las cartas de la Red Solarimétrica de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales que coinciden con los valores del Atlas de Energía Solar de la República Argentina del grupo GER Solar de la Universidad Nacional de Lujan (UNLU) (Grossi Gallegos, Righini) y que son muy aproximados a los datos que se obtienen con el programa RET Screen con datos de la NASA.

Si se relacionan estos valores con los consumos medidos de nuestros móviles eléctricos: 105Wh/km para el Fiat Uno y 88Wh/km para el Daihatsu se puede inferir que con una instalación de 1kWp en una vivienda se tendria energía suficiente para recorrer:

$$(4,360 \text{ Wh/día}) / (105 \text{ Wh/km}) = 41,52 \text{ km/día para el Fiat Uno}$$

$$(4,360 \text{ Wh/día}) / (88 \text{ Wh/km}) = 49,545 \text{ km/día para el Daihatsu}$$

Estos valores son teóricos ya que deben ser afectados por el rendimiento de carga y descarga de las baterías y de los cargadores. Si se estima conservadoramente en un 75%, los kilometrajes se reducen a:

$$(41,52 \text{ km/día}) * 0,75 = 31,14 \text{ km/día para el Fiat Uno}$$

$$(49,545 \text{ km / día}) * 0,75 = 37,16 \text{ km/ día para el Daihatsu}$$

Aun con estos coeficientes se observa que con un mínimo de superficie (entre 6m² y 7m² dependiendo del rendimiento de los paneles) se puede captar suficiente energía para cubrir los recorridos diarios de la gran mayoría de las personas que viven en ciudades medianas como Villa María. La forma más

económica y sustentable de utilizar esta energía es mediante la interacción con la red eléctrica en un esquema de energía distribuida, en el que se produce una compensación instantánea entre generadores y consumidores sin necesidad de recurrir a sistemas de almacenamiento de energía.

El efecto de las cargas de las baterías de los autos sobre las redes en cuanto a potencia se minimiza si hay simultaneidad con la generación fotovoltaica o si la carga se hace en hora de valle, y aun cuando se haga la carga en horas de pico, se mantiene el balance energético.

Desde el punto de vista económico, el balance también es favorable al vehículo eléctrico ya que si se estima un consumo de 10 km / litro en recorrido urbano para un automóvil convencional y 10km / kWh para un sedán eléctrico mediano promedio, se obtiene una relación de 10 a 1 en favor del eléctrico.

1 litro de nafta super = \$ 40 pesos argentinos

1 kWh de red promedio = \$ 4 pesos argentinos.

Si existiera simultaneidad entre la carga y la generación fotovoltaica la relación es aún más favorable al eléctrico.

En cuanto a la inversión, un presupuesto mínimo con inversor europeo de primera marca y paneles certificados con perfilera de hierro pintado, cables, protecciones y mano de obra esta en el orden de US\$ 3000 para 1 kWp.

4 paneles 250 W = US \$ 940

Inversor SMA 1,5 kW = US \$ 1400

Estructura, protecciones y cableado = US \$ 350

Mano de obra = US \$ 250

Precios obtenidos de: Enertik, TecSolar, Baratec.

Este precio es susceptible de ser mejorado con la nueva reducción de aranceles para insumos destinados a energías renovables. Por ejemplo en Chile el valor para instalaciones fotovoltaicas on-grid ha llegado a US\$ 1,5 el Wp (Rotter, 2016).

En referencia a la inversión en el vehículo los precios del mercado son muy elevados para la realidad nacional. La opción más conveniente sería la conversión de vehículos convencionales a eléctricos, mediante la importación de kits de conversión valuados en US\$ 2045 que incluyen: motor de inducción de 40 HP, controlador, acelerador y cargador de batería. Respecto al paquete de baterías de LiFePO4 con todo lo necesario para su instalación, se lleva la parte más abultada de la inversión, con un costo de US\$ 4300 por 10.8 kWh (72 V, 150 Ah). Precios obtenidos de Organización autolibre Uruguay.

DISCUSIÓN

La Ley Nacional n° 27.424 de Generación Distribuida con Energías Renovables se adapta a la perfección a este esquema, ya que permite el autoconsumo con inyección de excedentes a la red. No obstante, las distribuidoras presentan objeciones a esta implementación con argumentos tales como: disminución del VAD (valor agregado de distribución), uso espurio de las redes y posible inestabilidad de las mismas. Estos argumentos son refutables desde el punto de vista técnico ya que está garantizada la operación de los inversores homologados, en sus parámetros eléctricos (anti isla, forma de onda, estabilidad, factor de potencia) y avalados por una gran cantidad de instalaciones en todo el mundo e incluso en la República Argentina.

En esta experiencia donde se inyecta energía a la red interna de la UNVM, acredita más de 1 año de funcionamiento sin ningún problema técnico hacia la red.

Esta discusión se ha dado en el seno del Consejo Asesor de Políticas Energéticas de Córdoba (CAPEC) donde, además, las distribuidoras argumentan una pérdida de rentabilidad debido a que el autoconsumo provocaría un descenso en los niveles de facturación debido a un cambio de escalón de los consumidores. Este argumento carece de validez per se, pero además se contrapone con las políticas nacionales y provinciales de eficiencia energética que resultarían en reducciones de consumo aun sin generación distribuida.

En síntesis, un esquema virtuoso como es el de la generación distribuida con energías renovables se ve afectado por intereses corporativos que además estarían directamente en contra del derecho al autoconsumo que otorga expresamente la Ley Nacional n° 27.424.

La sinergia entre los vehículos eléctricos y la generación distribuida se expresa claramente en los cálculos anteriores y es debida al altísimo rendimiento de los motores eléctricos, los nuevos controles de velocidad, el frenado regenerativo, el avance en la tecnología de baterías de bajo peso y alta

capacidad de almacenamiento y desde el lado de la generación, la disponibilidad de paneles solares de alto rendimiento y bajo costo, y el hecho que otros usuarios de la red eléctrica consumen los excedentes y la misma red actúa como backup en los momentos de ausencia de insolación. Esta sinergia se vería incrementada notablemente si se pudiera adoptar un esquema V2G (vehicle to grid), donde el automóvil con su capacidad de almacenamiento de energía en las baterías y mientras está conectado al cargador, actúa como una reserva de disponibilidad inmediata para absorber picos de consumo de la red. Esto requiere una red inteligente e inversores inteligentes, y ya está siendo implementado en algunas ciudades del mundo, ya se venden autos (Hyundai Ioniq, solo algunos modelos) con inversores inteligentes incorporados que se configuran de acuerdo a las necesidades del usuario y de la red.

Otra consideración en cuanto a los vehículos medidos es que no representan lo mejor de la tecnología actual en cuanto a rendimientos, han sido construidos con los elementos disponibles en el país en su momento, y los avances en el tema son cotidianos. Las baterías usadas son de plomo con la desventaja del peso y el rendimiento de carga y descarga, si se usaran baterías de litio se podría reducir el peso casi a la cuarta parte con una consecuente disminución de consumo.

Aún con estos elementos que no son óptimos se puede concluir que una vez realizada la inversión se obtendría combustible gratis para desplazamientos urbanos por un período mínimo de 30 años de acuerdo a la vida estimada de los paneles e inversor además de evitar las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero de los autos a los cuales se reemplazaría.

CONCLUSIONES

Los automóviles eléctricos pueden contribuir a que una ciudad sea más limpia, silenciosa y confortable. Para que además sea sustentable en términos globales deben cumplirse conceptos de diseño estrictos, sobre todo en el peso de los móviles y fundamentalmente contar con fuentes de energía eléctrica renovables o de alta eficiencia y bajas emisiones.

En este punto van a tener un rol importante la generación distribuida, las redes eléctricas inteligentes y las implementaciones V2G (Vehicle to Grid) en las que la capacidad de almacenamiento de las baterías de los vehículos es usada como amortiguador y reserva para las fluctuaciones en el suministro de energía proveniente de solares y eólicos de carácter eminentemente alternativo.

La característica modular de los paneles fotovoltaicos hace que la instalación sea fácilmente escalable a potencias mayores, o sea que un usuario puede empezar con pocos paneles y después agregar más de acuerdo a su capacidad adquisitiva.

En la transición hacia la electrificación van a convivir un tiempo importante con los vehículos de combustión interna de alto rendimiento y con los híbridos.

A la alta eficiencia inherente a los motores eléctricos se le suma un escaso o nulo mantenimiento de la planta motriz debido a que todos los movimientos son de rotación.

Es muy difícil competir con la alta densidad de energía de los hidrocarburos (aprox. 12.000 Wh/Kg) contra 100 a 150 Wh /Kg de las baterías de litio o apenas 37 Wh/Kg de las baterías de plomo-ácido de electrolito absorbido utilizadas.

Es el avance en la tecnología de acumuladores lo que va a definir el crecimiento del sector. Al día de hoy las baterías de litio siguen siendo la alternativa dominante, siendolos próximos pasos a seguir la eliminación del cobalto y la entrada en producción de las baterías de electrolito solido que representan un aumento considerable en la densidad energética, en el número de ciclos de descarga y en la seguridad (Braga, Goodenough, et al, 2018). Si bien por el momento no está claro que material sustituirá al litio en el futuro, son promisorias las investigaciones en baterías de calcio (Palacin, et al, 2018), Zinc Aire (Lee et al, 2013) y Sodio en estado sólido (Zhou, Goodenough et al, 2018).

También los avances en supercapacitores permiten implementar mayores corrientes de frenado regenerativo sin afectar a las baterías, lo que se traduce en un importante aumento de rendimiento en ciclos urbanos.

Las mediciones realizadas en el prototipo permiten inferir un comportamiento eficiente a pesar del elevado peso. Esto permite afirmar que con materiales livianos para la carrocería, baterías livianas, motores de imanes permanentes y controladores de alta eficiencia el consumo puede ser notablemente mejorado, y si además se disminuyen los tamaños de estos móviles urbanos se puede bajar de 50 Wh/Km con facilidad, que comparados con los 1100 Wh/Km que consume en promedio en recorrido

urbano un auto mediano a gasolina actual da una idea del ahorro en combustible, emisiones, ruido y ocupación en planta que se lograría con estos vehículos.

La sinergia que se produce entre los automóviles eléctricos y la energía solar fotovoltaica hacen altamente recomendable el “apalancamiento” mediante créditos subsidiados de la compra de un automóvil eléctrico con una cantidad de paneles fotovoltaicos suficientes para abastecerlo de energía en algún porcentaje a determinar (en los casos en que hay techos o espacio disponible). También es aconsejable para nuevas construcciones tener en cuenta la orientación e inclinación de los techos para facilitar la incorporación de paneles.

El impacto de la recarga de los autos en redes eléctricas débiles, puede ser considerable. La producción distribuida de energía fotovoltaica permite minimizar este impacto, y hasta hacerlo positivo, ya que la red puede verse fortalecida si hay excedentes de energía. En general con 1KWp de paneles se cubre con creces el recorrido urbano diario típico de un sedán para cuatro personas en ciudades medianas, para ciudades grandes el esquema es especialmente adaptable a individuos que viven en countries o barrios periféricos y se desplazan diariamente al trabajo en auto, en estos casos con 2 kWp fotovoltaicos y pequeños autos de unos 50 Wh/Km se pueden recorrer entre 120 a 150 Km. Los resultados favorables obtenidos aconsejan la implantación de esta tecnología en la matriz de transporte de cualquier ciudad.

Una ventaja adicional es la posibilidad de manufactura local de algunos componentes, especialmente si prospera el proyecto de fabricación nacional de baterías de litio (Cabido, 2015), que es el elemento más crítico.

BIBLIOGRAFIA

- Adler Walter, Schoer Karl** – 2006- The German sectoral reporting module on transport and environment-Statistisches Bundesamt Deutschland- DEStatis.
- Bloomberg New Energy Finance (BNEF)**, Electric Vehicle Outlook 2018 (EVO 2018).
- Braga María Elena, Goodenough John et al.** Non-Traditional, Safe, High-Voltage Rechargeable Cells of Long Cycle Life. 2018
- British Petroleum (BP)**, British Petroleum Statistical Review of World Energy Jun 2018.
- Cabido Daniel**- 2015- Aportes para construir una estrategia regional de defensa soberana del litio como recurso estratégico- Centro de Estudios Avanzados- UNC – Edit. Advocatus – Córdoba.
- Etchegaray, Georgina;** Pierantonelli, Mario; Picca, Gustavo; Sassia, Gerardo; Barufaldi Gastón – 2013 Movilidad Urbana Sustentable, Alternativa Eléctrica, Rendimiento Mejorado – III Congreso de Ambiente y Energías Renovables – UNVM- ISBN 978-987-1930-11-1
- International Energy Agency, IEA.** World Energy Outlook 2017.
- International Energy Agency, IEA.** Global Electric Vehicle Outlook 2018, GEVO 2018.
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, OICA.** World Vehicles in use- All vehicles. 2018.
- Kempton W.** and Tomic J – 2005 – Vehicle to grid fundamentals – Journal of Power Sources 144 – 1 June 2005 –pp 268-279- USA.
- Lee Dong Un et al,** Advanced Extremely Durable 3D Bifunctional Air Electrodes for Rechargeable Zinc-Air Batteries. 2013.
- Matsushita** Technical Journal – August 2006 – Development of Lithium-ion batteries.
- Páginas oficiales** de empresas automotrices.
- Palacin Rosa, et al,** Electrochemical Calcium extraction from 1D-Ca₃Co₂O₆. Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona, CSIC. 2018
- Pierantonelli Mario,** Prato Laura, Rodríguez Marta, Picca Gustavo, Riera Javier, Sassia Gerardo- 2009- Transporte Personal Urbano, alternativa eléctrica –Art. 02-029 - I Congreso de Ambiente y Energías Renovables -. Universidad Nacional de Villa María (UNVM)- ISBN 978-987-1253-62-3.
- Pierantonelli Mario,** Barral Jorge, Gudemos Emilio- 2013 – Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba- Devalis Sergio – 149. 175- Pautas para el desarrollo de la energía solar en Córdoba – Córdoba- ISBN 978-987-1847-11-2
- Pierantonelli Mario,** Sassia Gerardo, Paris Marcelo- 2011- Movilidad Urbana Sustentable, Alternativa Eléctrica - II Congreso de Ambiente y Energías Renovables- Pag. 372-384 – Universidad Nacional de Villa María – ISBN 978-987-1253-89-0.

Rotter, Germán-Evolución de la Energía Solar en Chile. 1° Encuentro Nacional sobre Generación Eléctrica Distribuida mediante Energías Renovables. Mayo 2016 - San Miguel de Tucumán.
Secretaría de Energía y Minería de la Nación. Balance Energético Nacional. BEN 2016.
Sperling D – 1997- Electric vehicles and sustainable transportation –Scientific American – January 1997.
Verein Jean Pierre - La bicicleta – Centre National de la Recherche. -Mundo Científico N° 10.
www.baratecsolar.com.ar
www.clima.omixom.com/graficos.php
www.enertik.com.ar
www.greencarcongress.com – Technologies for Sustainable Mobility.
www.photon-magazine.com/newsletter
www.tecsolar.com.ar
www.toyota-global.com/innovation/.../Grenoble/
Zagorodny Juan – 2012 – Argentina necesita leyes de Vehículos eléctricos- Foro Estratégico para el Desarrollo Nacional- Buenos Aires, 14 de junio de 2012.
Zhou Widong, Goodenough John et al. Rechargeable Sodium All-Solid State Battery. 2018.

ABSTRACT:The aim is to investigate an urban mobility scheme based on electric vehicles powered by solar energy in terms of consumption, emissions, effects on energy and transport matrices, sustainability, as well as the perception of society.

Two parallel lines of investigation are adopted; a documentary with follow-up and technical analysis of the models presented by the automakers and an experimental one that involves making measurements on electric vehicles and a photovoltaic installation connected by means of an on grid inverter to the electricity grid, which allows to defer the load of the solar daily cycle vehicle and quantify the net energy balance.

The distributed production of photovoltaic energy would allow to minimize the impact of the load of the cars, since the network can be strengthened if there is surplus of energy or if the batteries of the car are used as backup, increasing the synergy between the parts.

Keywords: Electric car, distributed generation, synergy, sustainability