



Los estudios de Ad Astra Rocket Company Costa Rica en tecnologías de hidrógeno para el transporte

..... || **Juan Ignacio Del Valle**

Ingeniero mecánico.
Director de
Operaciones de Ad
Astra Rocket Company
Costa Rica (juan@
adastrarocket.com).



Durante la segunda mitad del siglo XX, Costa Rica ejecutó importantes proyectos en materia energética que impulsaron el desarrollo del país durante ese periodo. La mayor parte de esas acciones se centraron en la habilitación de una capacidad autónoma de generación de energía eléctrica basada en los recursos renovables disponibles en territorio nacional. El éxito de tales iniciativas aún resuena; durante los primeros meses de 2015, el Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) reportó 75 días continuos de generación eléctrica únicamente a partir de fuentes renovables. Si bien continuamente se debate sobre las consecuencias sociales, económicas y ambientales de seguir ampliando este modelo en la misma senda, es claro que la matriz de generación eléctrica costarricense posee importantes elementos de sostenibilidad que no están presentes en la mayoría de naciones del mundo.

Sin embargo, la electricidad solamente representa alrededor de la quinta parte del consumo energético del país (Molina, 2012). La energía extraída del petróleo y sus derivados comprende el 58,2 % de la energía total demandada



Volver al índice

en el país, con el sector transporte absorbiendo el 47,2 % del consumo total. Estos datos corresponden al año 2011, y posiblemente la proporción real del consumo de hidrocarburos en el país haya crecido más. Los insumos fuente para estos tipos de energía (los subproductos de la refinación del petróleo) son importados en su totalidad, puesto que Costa Rica no cuenta con fuentes de extracción de hidrocarburos (y, si las tuviera, su explotación comercial posiblemente entraría en conflicto con los esfuerzos de conservación ambiental que caracterizan a nuestra nación).

Esta fuerte dependencia en la importación de derivados de petróleo es el punto débil de la política energética del país. La gran dependencia de un insumo externo tiene un impacto voluminoso en la economía del país, pues las variaciones en los precios internacionales repercuten no solo en los costos del transporte sino también sobre toda la cadena de producción local. Además, la utilización de este tipo de combustibles produce en Costa Rica la mayor emisión de gases de efecto invernadero entre todos los tipos de fuentes categorizados de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Ramírez, 2014). A estos problemas deben sumarse las consecuencias sociales y económicas de las afecciones a la salud causadas por la contaminación del aire, sobre todo en la Gran Área Metropolitana debido a la densidad de población (Tapia, 1998).

Claramente, Costa Rica podría beneficiarse muchísimo del desarrollo de una capacidad autóctona para proveer la energía requerida por el sector transporte, en paralelo con el desarrollo de estrategias de diseño urbano que logren optimizar la movilización de personas en los cascos urbanos altamente poblados, de políticas de uso eficiente de la energía y de la optimización del aprovechamiento de las fuentes de energía renovable disponibles. Considerando la capacidad demostrada en el país para implementar una infraestructura de producción de energía eléctrica autónoma e independiente, Costa Rica tiene una oportunidad estratégica para hacer evolucionar su matriz de transporte hacia una preponderancia de los sistemas basados en vehículos eléctricos. Este concepto se denomina *electrificación del transporte*. En este caso, el insumo sería la energía eléctrica producida, de forma centralizada o distribuida, por el sistema eléctrico nacional y con una producción nula de emisiones nocivas al ambiente por parte de los motores de los vehículos.

Existen dos tipos principales de vehículos eléctricos en la actualidad. El primero es el de los *vehículos eléctricos de batería* que obtienen su energía motriz a partir de un banco de baterías, el cual debe ser cargado periódicamente para mantener un rango práctico de movilidad en el automotor. Su principal ventaja es la relativa disponibilidad comercial en la actualidad,

y sus desventajas son la poca densidad energética de las baterías -que genera rangos de autonomía menores a los vehículos actuales-, los tiempos necesarios para la carga de las baterías y los problemas asociados con la vida útil de estas y su correcta disposición. Los fabricantes trabajan continuamente por mejorar las tecnologías y reducir los tiempos de carga de las baterías.

El segundo tipo de vehículos eléctricos es el de los *de celda de combustible*, que generan su energía eléctrica a partir de una celda de combustible. Las celdas son elementos electroquímicos que combinan gas hidrógeno -almacenado en un tanque dentro del vehículo- con el oxígeno presente en el aire, y producen electricidad y agua pura. La electricidad es utilizada para mover el motor eléctrico del vehículo y el agua es liberada al ambiente en forma de vapor. Sus principales ventajas son su rango de autonomía -comparable con la de los vehículos actuales- y la posibilidad de una muy rápida recarga del tanque en una estación dispensadora de hidrógeno. Estas características permiten a los vehículos de hidrógeno proveer a los usuarios de vehículos particulares una experiencia básicamente idéntica a la que brindan los vehículos actuales basados en hidrocarburos. Las desventajas principales de este tipo de vehículos son que, primero, hacen necesaria una infraestructura de producción y distribución de hidrógeno usualmente no disponible y, segundo, que la disponibilidad comercial de este tipo de carros es aún incipiente.

La mayor parte del hidrógeno industrial producido en el planeta proviene del proceso de reformado de vapor del gas natural, lo cual requiere como insumo otro hidrocarburo no disponible en el país -el gas metano-, y, además, produce considerables emisiones de gases de efecto invernadero. Es por esto que la estrategia adecuada en el país para generar este elemento es el proceso de *electrólisis del agua*, que combina agua y energía eléctrica en una celda electrolítica y la separa en sus componentes químicos: hidrógeno y oxígeno. Este proceso es esencialmente el opuesto al que ocurre dentro de los vehículos, por lo que globalmente la combinación de ambos produce un ciclo cerrado de aprovechamiento de la energía y del agua. Si bien este proceso agrega presión sobre la sostenibilidad del recurso hídrico, es perfectamente posible utilizar agua no potable para la generación de hidrógeno si se dispone de energía suficiente para los procesos de purificación. Además, estudios comparativos han determinado que los vehículos eléctricos de celda de combustible que operan con hidrógeno generado por electrólisis se encuentran entre los que menos agua consumen del medio ambiente (King y Webber, 2008).

Con base en los anteriores argumentos, la empresa Ad Astra Rocket Company Costa Rica inició, alrededor del año 2010, una serie de proyectos de investigación tendientes a demostrar la viabilidad tecnológica de los sistemas de transporte

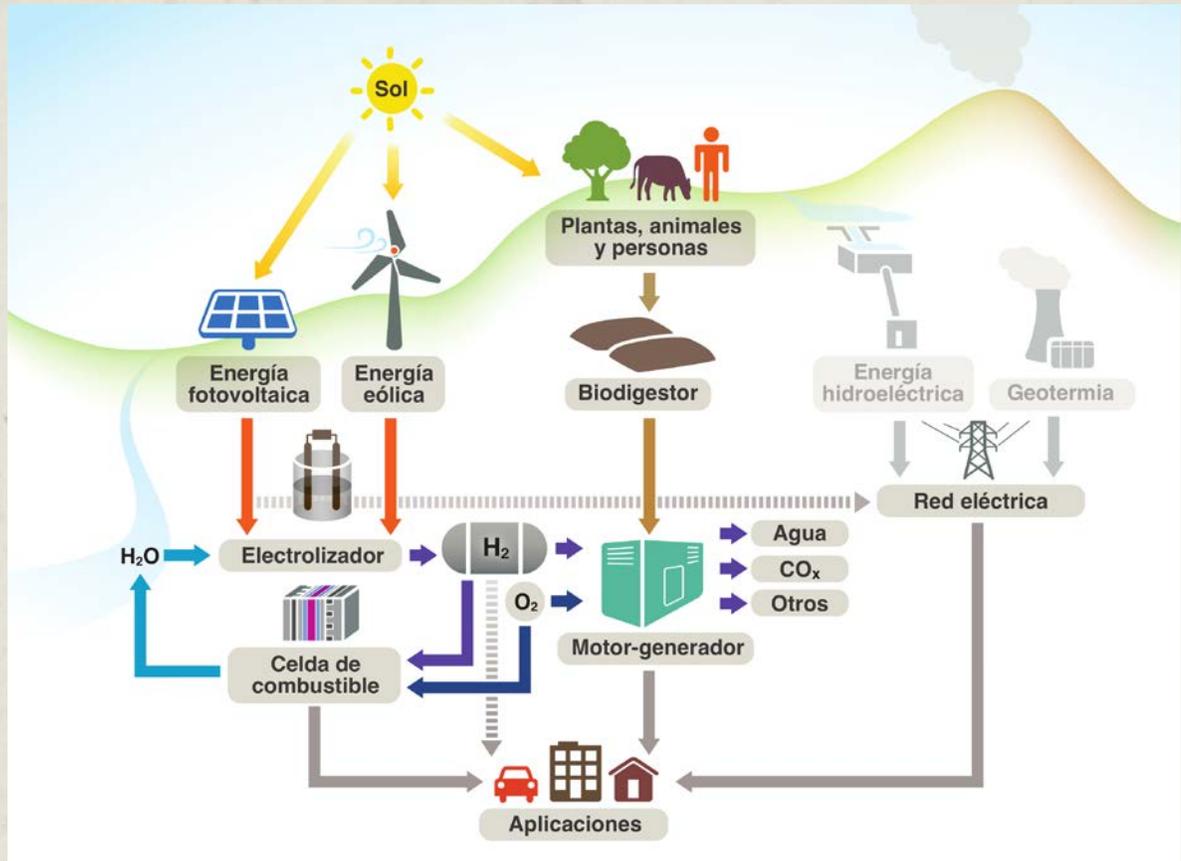


Figura 1. Visión sobre el aprovechamiento y utilización de la energía del programa de investigación de Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica

basados en hidrógeno en Costa Rica y otros países con características similares. La estrategia consiste en demostrar la capacidad técnica de desarrollar una infraestructura distribuida de generación de hidrógeno basada en fuentes de energía eléctrica renovables, utilizando el mismo gas hidrógeno como vector energético para mitigar la variabilidad natural de los recursos solar y eólico, e implementar demostraciones operativas de vehículos de hidrógeno para aplicaciones de transporte público y privado. La visión

global que se planteó el programa de investigación está plasmada en el diagrama de aprovechamiento y utilización de la energía mostrado en la figura 1.

La investigación inició con tres proyectos simultáneos. El primero fue el desarrollo de la capacidad local de diseñar, manufacturar e integrar aerogeneradores de medianas potencias (1 kW – 10 kW) y bajo costo, como un complemento necesario de la tecnología fotovoltaica en el proceso de optimización de la generación distribuida de energía eléctrica en un

punto dado. El segundo paso en el proceso fue el desarrollo de una infraestructura demostrativa de producción, almacenamiento y dispensado de hidrógeno para aplicaciones vehiculares. Este paso, al ser el de mayor complejidad y costo, se materializó mediante una alianza público-privada con la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope). El tercer elemento, sería la puesta en marcha de un grupo piloto de vehículos eléctricos de hidrógeno, en aplicaciones comerciales reales alrededor de la estación desarrollada conjuntamente con Recope.

La alianza entre Ad Astra Rocket Company Costa Rica y Recope para la ejecución del proyecto se materializó mediante convenios de cooperación que normaron todos los aspectos de la relación. Se conformó un equipo de trabajo, integrado por cinco investigadores colocados por Ad Astra Rocket Company Costa Rica y tres por parte de Recope, dentro del que cada empresa nombró un coordinador. La propiedad intelectual generada la comparten ambas empresas equitativamente. Aparte del personal asignado, Recope aportó los recursos financieros necesarios para ejecutar el proyecto y su conocimiento del mercado energético del país y sus necesidades. Ad Astra lideró la administración técnica del proyecto, se encargó de la ejecución de los procesos de compra y nacionalización de equipos y de la construcción e integración de todos los elementos físicos que no requirieron ser importados. Al aportar Recope la totalidad de recursos financieros de la investigación, los equipos

adquiridos durante esta le pertenecen y son parte de sus activos.

El primero de estos convenios se suscribió el 12 de octubre de 2011 y tuvo una duración de seis meses. El resultado de esta fase, denominada internamente Fase A, fue un estudio de factibilidad del estado del arte de las tecnologías de almacenamiento y una propuesta conceptual de un sistema experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno. El convenio se dio por concluido el 12 de abril de 2012.

La Fase B de la investigación inició el 24 de julio de 2012. Esta fue precedida por la firma de un decreto ejecutivo (37222-Minaet), un Convenio Marco de Cooperación entre Minae, Recope, Ad Astra Rocket y Universidad Earth y, finalmente, por la firma del Convenio Específico de Cooperación que rigió la segunda etapa del proyecto. Esta consistió en el diseño detallado, compra de equipos, integración y puesta en marcha de una planta experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno, cuyo diseño conceptual había sido determinado en la fase anterior. Esta planta se ubica en las instalaciones de Ad Astra Rocket Company, en Liberia, y su propósito es la demostración de las tecnologías del hidrógeno, la generación de experiencia en el manejo de este combustible y de todas las normas de seguridad y operación relacionadas con él. La planta fue puesta en operación en diciembre de 2013 y el proyecto fue cerrado el 20 de diciembre de ese año (ver figura 2).



Figura 2. Planta experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno, propiedad de Recope y desarrollada en conjunto con Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Los logros alcanzados durante estas primeras dos etapas del proyecto de investigación pusieron a Costa Rica dentro del selecto grupo de naciones pioneras en la implementación de tecnologías de hidrógeno para el transporte. La figura 3 muestra cómo el esfuerzo realizado por Ad Astra y Recope constituye apenas la tercera estación de dispensado de hidrógeno vehicular en América Latina, y uno de los pocos proyectos de este tipo ubicados fuera de las naciones industrializadas de Norteamérica, Europa y Asia.

La tercera etapa, denominada C1, inició el 20 de febrero de 2014 y tuvo una

duración de seis meses. Sus objetivos principales fueron dos: la operación y caracterización de la planta experimental implementada durante la Fase B, y el diseño detallado de los módulos adicionales necesarios para transformar la planta experimental en una estación dispensadora de hidrógeno vehicular basada en energías renovables. Este diseño detallado incluye un cronograma de trabajo, un presupuesto y la distribución del recurso humano, los cuales forman la base de la propuesta para la Fase C2, que será descrita más adelante. La Fase C1 concluyó el 14 de agosto de 2014.



Figura 3. Mapa de las estaciones de hidrógeno vehicular, activas o en planificación, en marzo del 2015.

Fuente: Ludwig Bolkow Systemtechnik, www.h2stations.org.

La inversión total de Recope en estas tres primeras fases del proyecto fue de US\$ 2,1 millones, de los que alrededor de US\$ 428.000 corresponden a la inversión hecha en la compra y nacionalización de los equipos de la planta. El resto corresponde a los costos operativos del proyecto y al aporte en recurso humano de parte de Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Durante las tres etapas del proyecto ejecutadas hasta el momento, el equipo conjunto de investigación, formado por Ad Astra Rocket y Recope, demostró la capacidad de diseñar y construir los elementos de infraestructura necesarios para producir y suministrar hidrógeno a vehículos eléctricos de celda de combustible, aplicando las correspondientes normas de diseño y seguridad vigentes

internacionalmente en la actualidad. Se desarrolló una red de contactos y alianzas con los principales proveedores de equipos de hidrógeno para vehículos alrededor del mundo. En varias ocasiones a lo largo de las fases B y C1 del proyecto, se demostró la capacidad de generación, presurización y almacenamiento de hidrógeno de alta pureza a presiones de 70 MPa, el valor estándar para los vehículos de celda de combustible de última generación.

En paralelo a las demostraciones prácticas ejecutadas durante la investigación, se desarrollaron algunos estudios iniciales para analizar el potencial impacto económico y ambiental de introducir gradualmente estas tecnologías en la flota vehicular costarricense. La actual planta de producción y almacenamiento

de hidrógeno es capaz de producir y presurizar 1 kg de hidrógeno a la presión de operación (70 MPa) con un consumo energético de aproximadamente 72 kWh de electricidad. Utilizando los costos energéticos vigentes hacia mediados del año 2014, esta energía equivale a un valor de aproximadamente ¢9.900 [colones].

Para poder analizar los anteriores valores en perspectiva, debe considerarse que los vehículos eléctricos de celda de combustible son capaces, en promedio, de recorrer 100 km por cada kilogramo de hidrógeno almacenado en sus tanques. La capacidad de almacenamiento usual en los vehículos de última generación es de alrededor de 5 kg, por lo que esto implicaría un costo aproximado de ¢49.500 para llenar completamente los tanques de un vehículo. Este valor es bastante superior al costo actual promedio en Costa Rica de llenar el tanque de un automóvil convencional de gasolina que posee un rango de autonomía similar. Esto se explica por el carácter experimental de la actual planta, que no posee un escalamiento en el diseño que optimice los consumos energéticos y sí posee muchos elementos innecesarios en un sistema comercial convencional -sensores, equipos de control y monitoreo, equipos de registro de información y otros-.

Con base en la información recopilada y la experiencia adquirida con la implementación de la actual planta, el equipo de investigación desarrolló también

herramientas básicas de software que permiten indagar el rendimiento económico de futuras estaciones dispensadoras y los costos correspondientes del hidrógeno en Costa Rica. Las estimaciones dependen fuertemente de la capacidad de producción diaria del gas, la generación de energía eléctrica renovable en el sitio de la estación, la demanda que vaya a tener la estación y la velocidad deseada de llenado de los vehículos.

Si bien los costos iniciales de capital de estas estaciones son altos, debido a la novedad de la tecnología y la falta de maduración de estos mercados, una estación capaz de generar 30 kilogramos de hidrógeno al día, generando por lo menos un 50 % de su demanda eléctrica mediante fuentes renovables en sitio, podría tener costos de operación en la producción del hidrógeno de aproximadamente ¢5.264,40 por kilogramo. Esto correspondería a un costo de aproximadamente ¢26.322 para un tanque vehicular de 5 kilogramos, lo cual ya es comparable con los costos actuales en Costa Rica de llenado del tanque de gasolina de un automóvil de pasajeros. Las anteriores aproximaciones no contemplan el costo de inversión requerido para implementar una estación de este tipo, que fácilmente podría aproximarse a los \$2,5 millones según el diseño técnico escogido.

La clave para catalizar la transición hacia este nuevo modelo de transporte es encontrar los mecanismos adecuados para financiar las inversiones iniciales de capital, los cuales deberían combinar

esfuerzos del sector gubernamental, alianzas con el sector privado y apoyo de los organismos financieros internacionales, así como aprovecharse de otras fuentes de amortización del proyecto como las retribuciones mediante bonos de carbono.

La fase C1 de la investigación contempló también la elaboración de un estudio preliminar sobre los impactos económicos y ambientales de la introducción gradual de vehículos de hidrógeno en el parque vehicular costarricense, concebido como un complemento a un estudio previo similar elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Costa Rica, el Ministerio del Ambiente y Energía y el Centro de Investigaciones en Política Económica de la Universidad Nacional de Costa Rica (PNUD, 2013). Las conclusiones principales de este análisis determinan que, al igual que otras tecnologías de vehículos eléctricos y alternativos, el impacto económico del cambio tecnológico se logra observar en un periodo que ronda los 25-30 años, por lo que es importante contar con una estrategia de país que promueva la transición. Además, la reducción de emisiones contaminantes en el sector de transporte público es sustancialmente importante, en particular para los autobuses que operan rutas urbanas dentro de la Gran Área Metropolitana en el centro del país.

La cuarta y última fase de esta etapa inicial de la investigación se denominó Fase C2, y consiste en la agregación a la planta experimental actual de una serie de módulos adicionales que la

convertirían en la primera estación demostrativa de producción y dispensado de hidrógeno para vehículos de celda de combustible en Costa Rica. Estos módulos adicionales comprenden fuentes de energía eléctrica renovable para demostrar la capacidad de generación parcial de energía en sitio, un dispensador de hidrógeno para vehículos de celda de combustible y los subsistemas relacionados, un vehículo de celda de combustible para realizar demostraciones prácticas y medir su rendimiento en las condiciones del país y una celda de combustible estacionaria para demostrar la capacidad de la estación de almacenar energía para operar sus sistemas básicos en forma autónoma por breves periodos de tiempo (véase figura 4).

El diseño detallado de ingeniería de estos nuevos módulos, el cronograma de ejecución y el presupuesto correspondiente fueron parte de los entregables producidos por el equipo de investigación al cierre de la Fase C1 en agosto de 2014. Esta última etapa del proyecto tendría una duración de dos años y una inversión correspondiente de aproximadamente \$2,24 millones, de los que \$1,25 corresponden a los costos de compra y nacionalización de los equipos del proyecto, que pasarían nuevamente a ser propiedad de Recope. En este momento (junio 2015), la ejecución de esta fase está paralizada pues, a raíz de varios análisis de la Dirección Jurídica de Recope, la Junta Directiva de esta entidad pospuso, en diciembre de 2014, tomar una decisión al respecto. Esto luego de que informes jurídicos de



Figura 4. Diagrama de la arquitectura propuesta para la ampliación de la planta experimental durante la Fase C2 de la investigación conjunta entre Recope y Ad Astra Rocket.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

la Contraloría General de la República y de la Procuraduría General de la República pusieron en duda la capacidad legal de la institución para involucrarse en investigación y producción de biocombustibles. Estos criterios fueron aplicados, por analogía, al proyecto de investigación en tecnologías de hidrógeno, y esto provocó la suspensión de la investigación. Por su parte, Ad Astra Rocket Company expresó su interés en continuar con el proyecto de investigación cuanto antes, pero a la vez manifestó su imposibilidad de mantener

viabile el proyecto por tiempo indefinido a la espera de una decisión. Los equipos de la planta, propiedad de Recope, permanecen en las instalaciones del laboratorio de Ad Astra Rocket esperando la reactivación de la investigación para recibir el mantenimiento necesario. En este ínterin, Ad Astra ha enfocado su equipo humano en otras actividades dentro de su portafolio de proyectos de investigación.

La experiencia acumulada por parte del equipo conjunto de investigación de Ad Astra y Recope durante los tres

años que permaneció activo el proyecto demuestran la capacidad existente en el país para desarrollar, con celeridad, soluciones tecnológicas a los problemas más apremiantes de nuestra sociedad. La formación de una alianza público-privada de investigación creada para este proyecto es única en la historia reciente del país. Estos logros se unen a otros esfuerzos pioneros, realizados en los sectores público, académico y privado, tendientes a mostrar la viabilidad de los vehículos eléctricos en Costa Rica. El país tiene la oportunidad, en los años venideros, de independizar su sistema de transporte de la importación de combustibles derivados del petróleo y de definir una estrategia soberana basada en el aprovechamiento sostenible de recursos nacionales, como ya lo hizo en el siglo XX con la generación de energía eléctrica. Será responsabilidad de los distintos actores involucrados en este proceso el mostrar la suficiente visión y ambición para lograr este objetivo.

Referencias

- King, C. W. & Webber, M. E. (2008). Water intensity of transportation. *Environmental Science & Technology*, 42 (21), 7866-7872.
- Molina, A. (2012) *Balance Energético Nacional de Costa Rica 2011*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Costa Rica. (2013). *Rumbo a la carbono neutralidad en el transporte público de Costa Rica*. Costa Rica: PNUD.
- Ramírez, F. (2014) *Tercera comunicación nacional Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Tapia, J. (1998) La reducción del tráfico de automóviles: una política urgente de promoción de la salud. *Revista Panamericana de Salud Pública* 3(3), 137-151. Disponible en http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49891998000300001&lng=en&tlng=es.10.1590/S1020-49891998000300001.