

# 10 Chacras de hidrógeno en la Patagonia argentina\*

Juan Manuel Borthagaray y Carlos Bozzoli

**RESUMEN** El hecho del muy bajo nivel de población de la Patagonia argentina, particularmente en la meseta central de la provincia del Chubut, ha sido el generador de esta investigación. La zona es de clima seco y frío, con suelos muy pobres para la agricultura, con notable potencial minero, pero además tiene un recurso no suficientemente aprovechado hasta el momento, el viento. Este recurso, si es explotado con elementos que tengan un costo razonable para emprendimientos de pequeña escala, puede generar energía eléctrica que, a través de hidrolizadores, obtenga hidrógeno, transportable a centros de consumo o para uso en el mismo lugar. El estudio pone en juego las variables y su cuantificación. Los autores son conscientes de las dificultades que por el momento existen, pero confían en que una acción que procure abatir costos de instalación y explorar las aplicaciones del hidrógeno pueda hacer factible un desarrollo poblacional que supere la situación actual y contribuya así a la producción de energía limpia.

**Palabras clave** energía eólica | hidrógeno | hidrólisis | costos | demanda | colonización de la Patagonia

**Juan Manuel Borthagaray**

E-mail: manbort@gmail.com

**Carlos Bozzoli**

E-mail: cbozzoli@gmail.com

**Fecha de recepción:** 18 | 10 | 2011

**Fecha de aceptación final:** 21 | 08 | 2012

Facultad de Arquitectura,  
Universidad Abierta Interamericana,  
Buenos Aires, Argentina.

\* El presente artículo resume una investigación realizada por encargo de la Universidad Abierta Interamericana, Facultad de Arquitectura, Buenos Aires. El director del proyecto es el Dr. Arq. Juan Manuel Borthagaray, y el adjunto a la investigación es el Arq. Carlos Bozzoli. Los responsables de este proyecto agradecen la colaboración de las siguientes personas: Dra. Arienza, Marisa de Greencross International Argentina; Ing. Bolcich, Juan Carlos, presidente de la Asociación Argentina del Hidrógeno; Sr. Bortagaray, Juan Martín, intendente municipal de Dolavon, Chubut; Ing. Fermepein, Marcelo de Air Liquide SA; Dr. Arq. Fernández, Roberto, profesor titular FADU/UBA, investigador del CONICET; Dr. Gomes Serra, Geraldo de Medio ambiente y urbanismo (NUTAU) Universidad de São Paulo; Dra. Abuin, Graciela, Ing. Química, Universidad Tecnológica Nacional; Dr. Laborde, Mario, investigador de UBA; Ing. Lagrange, Eduardo de Albanesi SA; Dr. Lapeña, Jorge, presidente del Instituto Nacional de la Energía General Mosconi; Ing. Lerch, Carlos, Mg. en Política y Gestión de Ciencia y Tecnología UBA, profesor de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral; Dr. Marschoff, Carlos M. de Greencross International Argentina; Dr. Mattio, Héctor Fernando del Instituto Nacional de la Energía Eólica.

## Hydrogen farms in the Argentinean Patagonia

**SUMMARY** The main aim of this research is to take advantage of the wind/eolic energy of the central plateau of the province of Chubut, Patagonia, Argentina. The development of this resource may allow further progress in several fields. The idea is to create small homesteads to promote population, with settlers that would take care of turbines or windmills which would produce electricity, to feed hydrolysers which would, subsequently, release hydrogen, a potential energy resource that can be either transported or used in situ. The study connects several variables, and also intends to build up a quantification of its feasible worth. The authors are conscious of the setbacks of this idea, considering the current state-of-the-art, but they have trust that a consistent and focused action pursued with alacrity could be successful. Present day technology may be applied to reduce the costs, and may provide new opportunities to use Hydrogen as a clean source of energy, as much as possible.

**Key words** wind/eolic energy | hydrogen | hydrolysis | costs | requirements | colonization of the Patagonia

## 1. El proyecto inicial

La investigación se inició sustentada en una idea análoga a la que se aplicó exitosamente a partir de 1880 en la Argentina, cuando se extendieron las fronteras para utilizar las tierras en agricultura y ganadería, más allá de los estrechos límites que existían antes de esa fecha. La región donde se produjo esa transformación fue la *pampa húmeda*, en combinación con otros factores, como la extensión de la red ferroviaria y vial, la utilización del barco frigorífico, el aporte de mejores semillas para trigo, maíz, lino, sorgo, etc., el mejoramiento de las razas bovinas, y la posibilidad de acoger una numerosa inmigración en búsqueda de mejores condiciones de vida, provenientes en su mayoría de la Europa mediterránea.

**Figura 1.**

Imagen nocturna del territorio argentino



**Figura 2.**

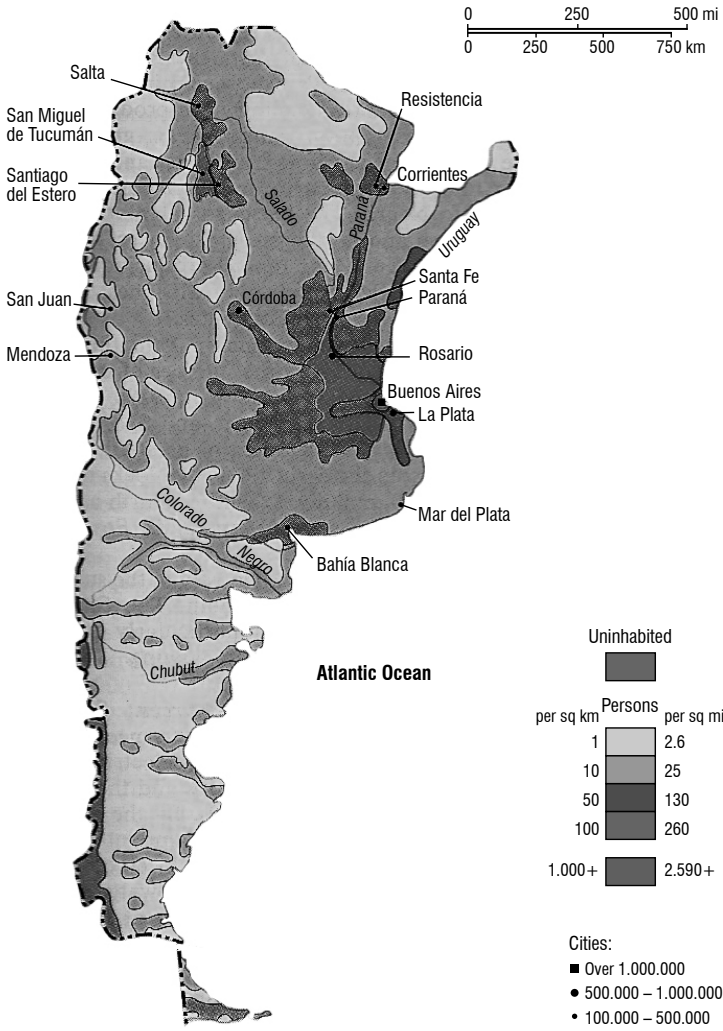
Imagen nocturna ampliada del centro del país



Trasladada al momento actual, si se considera que la región patagónica tiene bajísima densidad de población comparada con el resto de las regiones argentinas, y que existe una fuente de energía renovable, no convencional, como el viento, la idea se define como la posibilidad de generar las condiciones de colonización.

Consiste en la creación de chacras que, en lugar de dedicarse a la agricultura o la ganadería (de difícil implementación en esa región por el tipo de suelos y el régimen de lluvias), se dedicaran a la captación (cosecha) de energía eólica con molinos de viento, para que eso luego se transformara en energía eléctrica para accionar hidrolizadores que, a su vez, produjeran hidrógeno almacenable y transportable por vehículos de carga a los centros de consumo.

**Figura 3.**  
Distribución poblacional de la Argentina



La existencia dentro de la Argentina de un territorio de un millón de km<sup>2</sup> de extensión, con una población de menos de un habitante por km<sup>2</sup>, con posibilidades mínimas de explotación productiva, salvo por la extracción de recursos minerales y de petróleo (su manto vegetal es tan frágil que hasta la ganadería ovina extensiva termina desnudando los suelos), hace que sea necesario buscar otras alternativas de producción, en este caso la energía que provee el viento.

La Argentina sufre y ha sufrido desde el inicio de su desarrollo industrial (1900 en adelante) varias crisis energéticas crónicas que se intentaron resolver con la exploración y explotación de hidrocarburos (tanto en la Patagonia como en Mendoza y Salta) con los consecuentes cortes que interrumpen pensosa y repetidamente los consumos domésticos e industriales. En muchas oportunidades las repercusiones políticas de estas necesidades insatisfechas dieron lugar a prolongados debates donde se plantearon opciones a veces contradictorias: la autarquía energética (con la creación de YPF hacia los años 1920), la concesión a compañías multinacionales, el recurso fácil pero oneroso y dependiente de la importación de petróleo, carbón y gas.

Para un simple ejemplo, las posturas oscilantes del primer gobierno del Gral. Perón, que en principio potenció el desarrollo autárquico y terminó, en 1954, otorgando concesiones a compañías extranjeras; la en su momento famosa «Batalla del Petróleo» iniciada por el presidente Frondizi en 1958, a través de confiar extensas regiones a la exploración y explotación a compañías multinacionales; la reacción del presidente Illia cuando en 1963 anuló esos mismos contratos propuestos por su antecesor, Frondizi; en períodos posteriores, una política de desarrollo mixto (YPF y el capital privado, nacional o extranjero) y finalmente la privatización de YPF por el presidente Menem en la década del 1990.

Hoy el mundo está sediento de energía y a la vez cada vez más preocupado por las consecuencias ambientales de la producción de la misma por los métodos predominantes (2010) a través de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados) con sus consecuencias de emisión de gases de efecto invernadero CFC<sup>1</sup> que inciden sobre el cambio climático.

Existen hoy grandes esperanzas de una inagotable fuente de energía nuclear limpia de Gases de Efecto Invernadero hasta hace poco consideradas la alternativa mejor (alto costo de inversión, bajo costo de producción) pero que hoy se ven con menos optimismo luego de las tragedias de Chernobyl en la ex URSS, y recientemente en Fukushima, Japón, con la consecuente generación de una desconfianza pública con repercusiones políticas hacia la energía nuclear por su falta de seguridad, a pesar de los altos niveles de estándares técnicos alcanzados en ese campo.

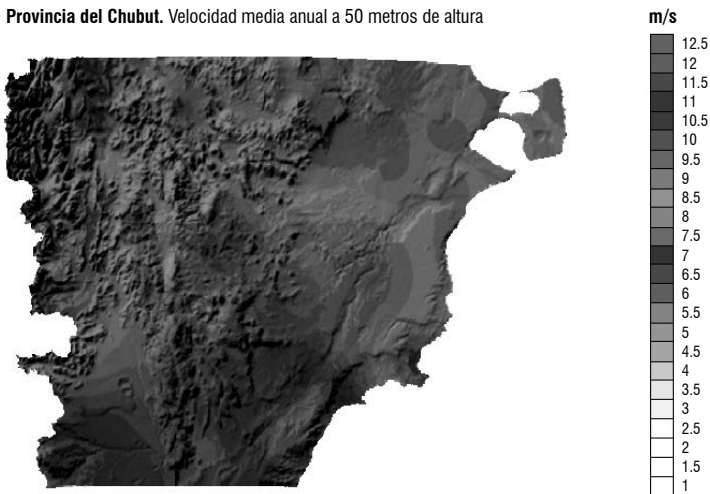
1 Clorofluorocarburos; la sigla CFC coincide también en ingles, *Chlorofluorocarbons*.

La situación internacional, especialmente en Medio Oriente, fuente principal del petróleo que consume el mundo, ha originado picos de precios del petróleo crudo, además de perturbaciones políticas que han llegado a ocasionar conflictos bélicos, como las intervenciones internacionales con fuerte componente norteamericano en el Golfo Pérsico, en Irak, y ahora en Afganistán.

Todos estos hechos han intensificado el interés por las fuentes limpias y renovables, principalmente las solares y eólicas. Pero además se ha generado un creciente interés con el que se ha comenzado a considerar al hidrógeno como el vector energético ideal, dado que su combustión sólo produce vapor de agua, de manera que evita simultáneamente los desechos emitidos por la combustión de los hidrocarburos (que aceleran el cambio climático) y el peligro latente de las plantas nucleares (que provoca catástrofes cuando se descontrola la radiación nuclear).

**Figura 4.**  
La intensidad del viento en la provincia del Chubut

**Provincia del Chubut.** Velocidad media anual a 50 metros de altura



Esta concatenación de circunstancias indujo a estos investigadores a concebir una visión de colonización del desierto patagónico argentino a través de *clusters* de chacras de hidrógeno. Según la hipótesis, ¿cómo serían estas chacras?

Serían PyMEs familiares dedicadas a cosechar energía eléctrica con molinos generadores y a aplicarla en hidrolizadores que producirían hidrógeno a partir de agua.

La familia chacarera viviría de la venta de hidrógeno a usuarios más o menos remotos, entradas que deberían bastar para pagar los equipos y asegurar un nivel de vida confortable.

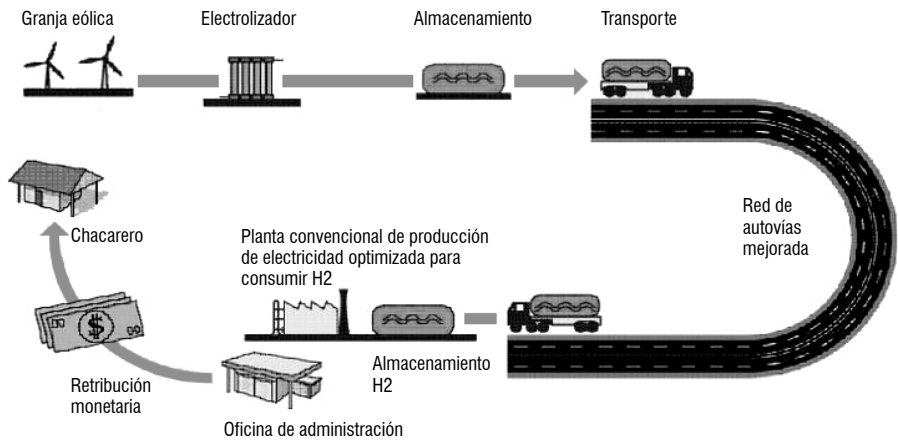
**Figura 5.**

Una posible pero aproximada visión de una chacra cosechadora de hidrógeno



**Figura 6.**

Esquema integral de las partes componentes de la idea



A pesar de las favorables condiciones ambientales para que sea desarrollada en nuestro país, la hipótesis no se ha verificado por varios motivos:

Porque el costo de los equipos no está al alcance de una PyME, aunque se cuente con una generosa línea de créditos. Un molino-generador de 1 Mw de potencia está en el orden del millón de dólares. En cuanto a los hidrolizadores, el costo, aunque no tan abrumador, es también considerable.

Además, el almacenamiento y el transporte del hidrógeno presentan problemas aún mayores incluso a las máximas presiones, y el contenido energético, y por ende el precio, de una camionada de hidrógeno es demasiado bajo como para justificar el movimiento. Llevarlo a su máxima compresión, al estado líquido, significa trabajar a temperaturas bajísimas con los consecuentes costos que hacen la operación impracticable.

No obstante estos impedimentos, decisivos en el presente estado de la tecnología, todas las poderosas razones que llevaron a la formulación de la hipótesis siguen estando allí, de manera que se justifica una actitud expectante ante la posibilidad de modificar alguno de los términos de la ecuación.

La historia de la ciencia y la tecnología nos remite a ejemplos de ideas que no prosperaron por falta de algún factor a la sazón inexistente.

Entre ellos, la invención del avión y el helicóptero como objetos que, a pesar de ser más pesados que el aire, podrían volar, planteados ya por Leonardo da Vinci entre los siglos XV y XVI y que fracasaron por la falta de un motor productor de una energía que el cuerpo humano no podría nunca alcanzar. Esto, como es bien sabido, se resolvió a fines del siglo XIX con la invención del motor a explosión usando derivados del petróleo como combustible. Podría haberse producido antes, con la invención de la máquina de vapor, pero la relación peso-potencia no era adecuada por su enorme peso para poder elevar cualquier artefacto. También la invención de un producto emblemático del siglo XX, el automóvil, técnicamente posible a partir de su invención en 1865 pero que no impactó hasta que la manera revolucionaria de producirlo (por Henry Ford, en Detroit, en 1905) lo hizo accesible al gran público. Algo semejante ocurrió con otros productos propios del siglo XX y también del XXI, como la computadora, que requirió un largo proceso de desarrollo que hubiese parecido milagroso por el camino de miniaturización de componentes electrónicos desde aquel armatoste mecánico que fue la máquina de Babbage de 1837 hasta las diminutas computadoras personales actuales. O también como el teléfono móvil que, además de un proceso semejante del producto en sí, requirió el establecimiento de redes logísticas de servicio mundiales para llegar al asombroso estado actual.

Considerando las posibilidades potenciales de la idea, a pesar de los obstáculos, no creemos que este proyecto de las chacras haya muerto, sino que está en suspenso, a la espera de los *breakthroughs* tecnológicos necesarios para que pueda convertirse en una posibilidad práctica. Creemos que el mundo, y nuestro país con él, necesitan marchar en esta dirección para hacer que los costos de los equipos (por rediseño o revolución de los modos de producción, a semejanza de lo ocurrido con los automóviles, computadoras o teléfonos móviles) bajen hasta hacerlos accesibles.



En cuanto a los problemas de almacenamiento y transporte, cabe destacar que en este momento científicos argentinos, entre ellos el Dr. Ing. Miguel Laborde<sup>2</sup> y un calificado grupo con sede en el Centro Atómico Bariloche, se encuentra trabajando en el tema.

Pero aun sin estas soluciones, el hidrógeno permite ya salvar uno o tal vez el mayor problema de la fuente eólica, que es la intermitencia. La acumulación de pequeñas cantidades de este elemento permitiría accionar un motor de combustión interna acoplado a un generador para asegurar un flujo constante de energía eléctrica, a semejanza del dispositivo MAEL,<sup>3</sup> desarrollado y patentado por el ITBA,<sup>4</sup> en uso para proveer energía constante a una de nuestras bases científicas antárticas. En este caso, las chacras no serían para cosechar hidrógeno sino energía eléctrica constante, y la clave sería encontrar a qué producción local podría agregar valor la aplicación de la misma.

Desde ya que la actividad minera y el confort habitacional del personal involucrado podrían ser respuestas inmediatas, aunque puntuales, a esta pregunta.

En cuanto al proyecto original de las chacras de hidrógeno, su estado actual es el que comentamos a continuación.

Hay que ponderar positivamente el estadio alcanzado a partir de una simple visión de indefinición total en que todas eran incógnitas, variables independientes, y se ha podido llegar a una matriz completa en la que todo está expresado con sus unidades correspondientes y que se cierra en un bucle de proceso que se desea autosustentable por retroalimentación.

Las ideas fuerza del proyecto son la entrada en el campo de la producción de energía de nuevos actores (PyMEs familiares) que son, sin duda, el sector más dinámico y creativo de la sociedad; la colonización de áreas hoy totalmente improductivas, con énfasis en la Patagonia, por medio de «chacras de hidrógeno» en las que se cosecharía energía eólica, cuyo proceso de producción no es contaminante; el almacenamiento en forma de hidrógeno de la energía cosechada; el traslado de esta energía, vale decir del hidrógeno, desde estas fuentes de oferta a los focos de demanda, donde se usaría como combustible con la ventaja de resolver la situación actual, en la que la concentración de vehículos de transporte individual y masivo en las ciudades, con su consumo de derivados del petróleo, contamina seriamente el aire respirable urbano a la vez que agrava el efecto invernadero.

No obstante, por el momento hay obstáculos no salvables porque, para una primera puesta en marcha del proyecto chacras, los centros de consumo urbano están demasiado alejados y se requiere una red de estaciones de servicio de H<sub>2</sub>, hoy existente sólo a nivel experimental en Europa y los EE. UU.

<sup>2</sup> Actual director del Laboratorio de Procesos Catalíticos que pertenece al Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Comenzó sus actividades en 1992.

<sup>3</sup> Sigla por «Modulo Argentino de Energía Limpia», desarrollado por el ITBA para su uso en la Antártida Argentina.

<sup>4</sup> Instituto Tecnológico de Buenos Aires, institución universitaria de Buenos Aires, Argentina.

Pero para que esto fuese posible deberían resolverse dificultades de dos órdenes: las derivadas del alto costo de los equipos necesarios y las que surgen del presente estado del arte, donde algunos pasos son imposibles, o casi, de implementar aun a costos muy elevados.

A pesar de ello, existen indicios prometedores de éxito. La arquitectura de equipos y procesos con la que se piensa encarar las primeras chacras está inspirada en dos ejemplos preexistentes en nuestro país: el MAEL antártico desarrollado por el ITBA y la estación experimental de Pico Truncado.<sup>5</sup> Básicamente, esta arquitectura consiste en: molinos generadores para convertir la energía del viento en electricidad, electrolizador para producir H<sub>2</sub> a partir de agua, tanque de acumulación del H<sub>2</sub> producido y camiones semirremolque para trasladar el H<sub>2</sub> hasta el punto de consumo.

En cuanto al molino–generador, existen excelentes modelos en nuestro mercado, aunque su precio es un inconveniente serio, razón por la cual se están investigando posibles alternativas más accesibles basadas en turbinas *Savonius*,<sup>6</sup> lo que permitiría la aplicación en torres mucho más baratas.

Se ha consultado al profesor Erico Spinadel,<sup>7</sup> reconocida autoridad internacional sobre el tema, para profundizarlo. Como electrolizador se considera ideal el modelo desarrollado por el ITBA y aplicado en el MAEL, por cuanto puede entregar el H<sub>2</sub> a presiones interesantes sin uso de compresor. No puede abrirse juicio sobre su precio, pues aún falta desarrollo específico, pero la tecnología está. En cuanto al tanque y semirremolque, el problema es uno solo.

### 1.1. Cuantificando el modelo

Para avanzar en las necesarias definiciones que reclaman los temas enumerados, debe partirse de que la chacra debe ser económicamente sustentable. A estos efectos se ha tomado como hipótesis que se requiere una entrada semanal, por venta de H<sub>2</sub>, de U\$S 5000 valor a tranquera de chacra, vale decir, esta cifra más flete como piso de precio para el usuario final. Éste debe encontrar una ventaja, o por lo menos una equivalencia, en dinero, con respecto a su combustible habitual, en este caso el gasoil.

Como método, se tomará el precio que se paga en usina por un litro de gasoil y se lo dividirá por la cantidad de Kcal contenidas en esa unidad. Con este precio de la Kcal se deducirá lo que se puede pagar por la camionada de gasoil.

<sup>5</sup> Planta experimental de producción de hidrógeno a través de la energía eólica, dirigida por el Ing. Juan Carlos Bolcich desde 2002.

<sup>6</sup> Inventadas por el Ing. Sigurd Savonius en Finlandia en 1922.

<sup>7</sup> Actual presidente de la Asociación Argentina de Energía Eólica (AAEE), que fue creada en 1996 por un grupo de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Idealmente, se piensa que la camionada debería contener la producción de H2 de una semana, que sería entonces el tope de almacenamiento de H2 en chacra. Al cabo de la semana, vendría un tractor con un semirremolque vacío que se dejaría en sustitución del lleno que se lleva.

La logística respecto de cuántos semirremolques serían necesarios y cómo irían llegando a la usina para ser consumidos sin que se acumulen cantidades de manejo peligroso, es cuestión aparte a la de las chacras propiamente dichas.

El volumen de esta camionada semanal nos dará el parámetro de producción de H2 por hora que deberá rendir el hidrolizador, lo que a su vez dictará el requerimiento de energía eléctrica a generar por el molino.

Del conjunto de cuestiones, la más problemática parece ser la del tanque semirremolque, al que le hemos fijado el rol de contener U\$S 5000 de H2 que, al precio actual del gasoil, parece requerir un volumen de N/m<sup>3</sup> de H2 inmanejable. El Ing. Alberto Calsiano<sup>8</sup> aconseja buscar una entrevista con el Ing. Osvaldo Bianchi, quien podría asesorarnos. Si no se resolviese el problema del tanque fijo/móvil (que soportase un viaje de 300 km aprox.), por ahora la iniciativa resultaría inviable.

Por lo tanto, las conclusiones hasta el momento indican que, si bien no se ha demostrado la factibilidad de las chacras de hidrógeno, se ha logrado un modelo completo que permite jugar con sus variables.

## 1.2. Necesidad de la alineación de variables

Para evaluar la factibilidad del proyecto «Chacras de Hidrógeno» es necesario ponderar la correlación de una serie de variables dependientes, de cuya alineación armoniosa depende en última instancia.

La primera variable es el precio del hidrógeno en tranquera de chacra. Debe ser tal que permita la amortización del crédito que se supone que el chacarero ha debido tomar para adquirir el tren de equipamiento necesario para establecerse como productor de hidrógeno a partir de la captación de energía eólica, cubrir los gastos de explotación, de repuestos y reparaciones y, además, permitir un nivel de vida atractivo para su familia.

La segunda variable es el precio que la demanda esté dispuesta a pagar ya que dicho precio debe atraer a los eventuales compradores. Ésta es una variable muy difícil de ponderar pues inciden en ella muy diversos factores,

<sup>8</sup> Actual jefe del Departamento de Infraestructura de la UIA (Unión Industrial Argentina). Ingeniero Electromecánico. Integra el Comité Asesor de Carreras en Electrónica y Eléctrica del ITBA. También forma parte de la Mesa de Trabajo Ciencia, Tecnología e Innovación para el Sector Energía (Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011/2014 –Ministerio de Ciencia y Tecnología).

pero a falta de mejor criterio se propone tomar como valor de indiferencia el del equivalente en unidades de energía en gasoil. Este precio de indiferencia no provee un criterio absoluto, pues además hay que tener en cuenta la resistencia a la innovación de los eventuales usuarios y las necesidades de adaptación entre el almacenamiento del combustible en lugar de consumo, hoy generalizado para el gasoil y por verse en el caso del hidrógeno, en la Argentina, aun cuando en Europa y en el Estado de Arizona, en EE. UU. ya existen redes de estaciones de servicio con surtidores de hidrógeno.<sup>9</sup>

Incluso cuando el modelo pudiese correr sobre la base de un precio de equivalencia hidrógeno–gasoil, eso no quiere decir que este hecho asegure la factibilidad sino que, a los efectos de esta ponderación, se lo considera un tope absoluto de precio factible.

La tercera variable es la capacidad de los medios de transporte; a los efectos de este análisis se ha considerado que, tanto el transporte del hidrógeno producido como el almacenamiento entre entregas de gasoil en chacra, se harán en un semirremolque que, un vez colmatado, se reemplazará por uno vacío traído por el tractor que viene a buscar el lleno. Apuntando a una periodicidad razonable para esta operación de reemplazo, se ha pensado en que sea semanal. Y esta periodicidad deberá atender, por una parte, a un volumen de entradas mensual que permita atender las necesidades enumeradas en el apartado anterior, lo que, por otra parte, determina la capacidad del semirremolque–tanque y la capacidad de producción del hidrolizador. De la capacidad horaria absoluta semanal de producción del hidrolizador habrá que deducir una estimación de horas no productivas por falta de viento. Con el fin de reducir las indeterminaciones de producción del sistema, se propone que las necesidades de energía de la chacra no relacionadas directamente con la producción de hidrógeno, como las hogareñas, etc., sean atendidas con una instalación eólica independiente *ad hoc*.

La cuarta variable es la capacidad horaria de producción del hidrolizador, que surge de las consideraciones del apartado anterior, pues debe ser tal que asegure, en el total de horas semanal de viento suficiente probable, la colmatación del semirremolque tanque. Una producción en defecto produciría falso flete, y falta de entrada por venta de producto, y una en exceso, el funcionamiento en falso, pues no habría dónde almacenar el producto.

La quinta variable es la potencia del molino generador, que está directamente determinada por el requerimiento del hidrolizador, hasta tal punto que podría considerarse que molino y generador constituyen una única unidad compacta. Convendrá analizar si estas características no señalan alguna pauta de diseño.

Teniendo en cuenta lo dicho, toda especulación sobre las variables empezarán por considerar las entradas por venta de hidrógeno.

<sup>9</sup> En nuestro país ya hay experiencias concretas, como el caso de la flota de camionetas de la Municipalidad de Pico Truncado, que funcionan con una mezcla de GNC e hidrógeno.

Si se desea que el chacarero y su familia estén tentados a radicarse en algún lugar desértico, y desarraigarse de su inserción precedente, deberían tener una perspectiva de un buen nivel de vida, digamos el equivalente a U\$S 5000 mensuales.

Deberían vender H<sub>2</sub>, en tranquera de chacra, por un monto que asegure esta entrada, más una cuota que permita amortizar el equipamiento de la chacra, que esperamos contener dentro de los siguientes parámetros: Dos molinos generadores a U\$S 100 000 cada uno, lo que significa U\$S 200 000, un hidrolizador modelo ITBA (U\$S 100 000) más un tanque semirremolque (U\$S 200 000), sumando un total mínimo de U\$S 500 000.

Para amortizar este equipo, en 6 años deberá pagar este capital más intereses totales, digamos U\$S 200 000, lo que suma un total de U\$S 700 000 y que en 72 meses (6 años) representa aproximadamente U\$S 10 000.

Si a esta cantidad le sumamos lo que necesita para vivir, llegamos a los U\$S 15 000 mensuales. Deberá facturar, entonces, aproximadamente U\$S 3500 semanales en tranquera de chacra.

Para que el cliente, comprador y/o consumidor del H<sub>2</sub> esté en un punto de indiferencia, a un precio de U\$S 1,00 por litro de gasoil, y considerando que el gasoil tiene un potencial calórico de 10 000 a 10 500 Kcal/Kg, se toma un valor promedio de 10 250 Kcal /Kg; como el gasoil tiene un peso específico de 0,840 Kg/litro, resulta que el litro de gasoil contiene  $10\,250\text{ Kcal/Kg} \times 0,84 = 8600\text{ Kcal/litro}$ .

Si para facilitar el cálculo tomamos un valor de U\$S 1,00/litro gasoil, para llegar a un punto de indiferencia con U\$S 3500 semanales de H<sub>2</sub> tenemos que proveer 30,7 millones de Kcal de hidrógeno por semana, equivalentes a 3570 litros de gasoil por semana.

Este dato puede hacer abortar el modelo aun antes de la dificultad para trasladar el H<sub>2</sub>, pues la cantidad de N/m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub> puede ser muy superior a la que pueda producir un hidrolizador potente a 10 horas diarias por siete días, en 70 horas semanales.

Se ha tomado por hipótesis que las chacras estarán sobre parcelas de 30 has de extensión. No se ha considerado el valor de la tierra, porque se toma como hipótesis que las parcelas serán cedidas por un Instituto Provincial de Colonización o por propietarios privados de grandes extensiones que obtendrían, con el establecimiento de un *cluster* de chacras, un notable incremento en el valor del resto de su propiedad.

En cuanto a la casa habitación, perforación y tanque, se parte de la hipótesis de que serán financiados dentro de la cuota FONAVI para vivienda rural de la Provincia respectiva. Se estima que el monto de la cuota FONAVI es fácilmente absorbible dentro de los U\$S 5000 mensuales estimados para que la familia tenga un nivel de vida tentador.

Si el proyecto no fuese viable dentro de los parámetros fijados hasta acá, corresponde jugar con la sensibilidad de las variables hasta encontrar un punto en que sí lo sea. Por ello es necesario detallar aquellas variables que son inamovibles de las que no lo son o podrían variar en un futuro próximo.

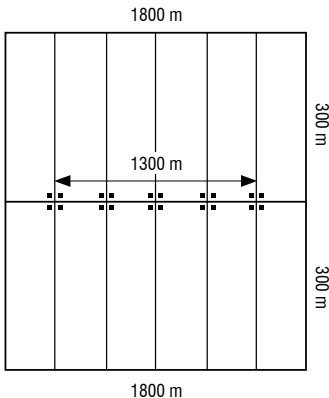
Las variables en juego podrían ser descritas como se indica más abajo.

- a) Variable nivel de vida en U\$S 5000, se considera invariable.
- b) Costo de los equipos, en U\$S 500 000. Se considera que el valor de los molinos y del hidrolizador es muy ajustado, son valores a lograr, no es posible obtener estos equipos a estos precios hoy en día.
- c) Tanque semirremolque: una variante de mucho peso sería que los tanques semirremolques no fuesen del chacarero sino del consumidor o bien de una empresa de logística.
- d) Tampoco haría falta el tanque semirremolque si el H2 se consumiese tranquilas adentro de la chacra, en algún proceso productivo hidrógeno intensivo, que resultase en productos de valor intrínseco por m<sup>3</sup> o tonelada, mucho más alto que el de H2 crudo.
- e) Otros usos de la chacra: dada la extensión de las parcelas, puede pensarse en cultivos bajo riego por goteo, cuya cosecha se procese con H2.

Si se dieran las condiciones anteriores,<sup>10</sup> el crédito a amortizar sería de un monto de U\$S 300 000 y, además, puede considerarse un crédito de la línea más favorable que el Banco de la Nación Argentina tenga para bienes de capital para PyMEs, en cuyo caso, para un crédito de U\$S 300 000 puede pensarse en una cuota mensual de aproximadamente U\$S 1700, incluyendo los intereses, pagaderos en 20 años.

Una visión de conjunto del *cluster*<sup>11</sup> de chacras podría ser ésta: si pensáramos en un *cluster* de 12 chacras de 30 has cada una, y a los efectos de asegurar una vida lo más urbana posible, como de aldea, y las dispusiéramos a lo largo de una calle suponiendo una profundidad de parcelas de 1000 m, nos daría 300 m de frente de parcela. Su poniendo que las chacras se extendieran a uno y otro lado de esta calle, la extensión de la misma sería de 300 x 6 = 1800 m, distancia compatible con una vida social amable; y la distancia entre las dos casas extremas se reduciría aún más si consideráramos que las casa de las chacras de los extremos están cerca de los bordes internos de sus parcelas, digamos a 50 m, por lo que tendríamos entonces  $4 \times 300 \text{ m} = 1200 \text{ m} + (50 \text{ m} \times 2 = 100 \text{ m}) = 1300 \text{ m}$ .

**Figura 7.**  
Esquema de los lotes de las chacras a lo largo de una ruta



<sup>10</sup> Particularmente, el no considerar el costo del tanque semirremolque si no fuera propiedad del chacarero. Recuérdese que el tanque semirremolque se ha estimado en U\$S 200 000.

<sup>11</sup> Del inglés, grupo o agrupación de objetos o edificios.

## 2. Descripción del desarrollo del proyecto alternativo al anterior

La descripción efectuada en el punto 1 de este informe indica que, por el momento, la investigación no puede continuarse dada la aparición de obstáculos hasta ahora no salvables. Sostenemos, sin embargo, que las condiciones regionales siguen siendo una oportunidad para ulteriores desarrollos, esta vez no basados en la producción de hidrógeno que sea transportable sino en la utilización de la energía eólica para brindar posibilidades de arraigo a colonos, que podrían disponer de energía ilimitada y además no contaminante para cultivos o para dar apoyo a la industria minera, que tarde o temprano llegará para explotar los recursos subterráneos.

## 3. Posibles escenarios para continuar el proyecto

Tal como fue concebido, como medio para colonizar y desarrollar territorios patagónicos desiertos por medio de la cosecha de energía eólica utilizando el hidrógeno como vector acumulativo de energía y a su vez convertirlo en una *commodity*<sup>12</sup> transable y transportable desde la chacra patagónica, donde se produce, hasta el centro donde se consume, no es practicable hoy en día por las razones que se detallan: la falta de tecnología accesible para acumular el hidrógeno producido en la chacra durante un período razonable, digamos una semana, o quincena; la falta de tecnología accesible para transportar una cantidad semejante a lo largo de distancias medias a relativamente largas; el elevado costo de los molinos generadores de capacidad suficiente para accionar hidrolizadores que produzcan una cantidad razonable de hidrógeno; el también alto costo de los hidrolizadores que produzcan una cantidad razonable de hidrógeno.

Si se hace un análisis de situación, podría pensarse que se ha perdido una batalla pero no la guerra. Si se evalúa la presente situación, surgen las siguientes posibilidades: podar, hasta nuevo aviso, el tramo de llegar hasta el desarrollo del hidrógeno como *commodity* transable y transportable (y hasta exportable) y plantear su uso en el lugar de producción, vale decir, la propia chacra. Pensar en los usos posibles de la energía generada es responder a la pregunta: ¿cuál sería el uso más rentable de ese hidrógeno, producido y almacenado en cantidades reducidas, que no presenten problemas en el estado actual del arte?

<sup>12</sup> Del inglés, producto básico de consumo masivo con precios establecidos por el mercado mundial.

Dejando esta pregunta abierta, una respuesta inmediata podría ser la utilización de ese elemento como combustible para un motor de combustión interna que mueva el generador en los períodos de viento flojo o inexistente. De esta manera, replicando el modelo usado por el MAEL antártico desarrollado por el ITBA, tendríamos un dispositivo consistente en un molino de viento que generase electricidad tanto para su consumo inmediato como para alimentar un hidrolizador de rendimiento modesto que llenase un tanque de hidrógeno de baja capacidad, para consumir en un motor de combustión interna acoplado al generador, para asegurar la producción de energía cuando no hay viento suficiente.

Queda intacto el problema de abatir los costos de semejante tren de dispositivos hasta hacerlos accesibles a una Pyme auxiliada por un crédito de fomento del tipo de los del Banco de la Nación o provinciales.

Otro factor a tener en cuenta es el de que cantidades de energía de los montos que podría producir una de estas Pymes no justifican el tendido de líneas para transportar la energía, y vale también en este caso la conveniencia de consumir la energía lo más cerca posible del lugar de producción, es decir, en la propia chacra.

¿Cuáles serían los usos más rentables para convertirla *in situ*?

- a) El del confort hogareño de la propia chacra o de los pequeños poblados de la Meseta Central de la provincia de Chubut, lugar que fue pensado como óptimo para el proyecto.
- b) La implantación de *clusters* de estas chacras en los poblados permitiría pensar en riego por bombeo de agua subterránea, para cultivos que generasen productos de alto valor agregado que, éstos sí, justificaran su transporte hasta los centros de consumo. Con toda probabilidad, los cultivos deberían hacerse en invernáculos para protegerlos del frío y del viento.
- c) Posibilidad de realizar cultivos intensivos en invernaderos calefaccionados.
- d) La existencia de energía a bajo costo, una vez instalados los dispositivos, abre a su vez un campo de oportunidades de desarrollo (minería, manufacturas de alto consumo de energía, etc.) que merecen ser estudiadas en paralelo y en profundidad.

La región donde se proyecta aplicar esta idea es, como se ha dicho anteriormente, la Meseta Central de la provincia del Chubut, que tiene una superficie de 100 000 km<sup>2</sup> y una población de apenas 6000 habitantes. Esta zona es muy similar a la del sur de la provincia de Río Negro, donde podría ampliarse la aplicación del proyecto. Es una zona que pierde población, que emigra o a la Comarca Andina o a la Comarca Atlántica de la provincia del Chubut.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> El gobierno de la provincia de Chubut ha dividido la provincia en Comarcas.



Se han realizado ya estudios sobre la región, según se indica a continuación.

La fundación Greencross efectuó un estudio de la provincia del Chubut dividida por Comarcas: Andina, Atlántica, Cordón petrolero del sur, y la Meseta Central. A la provincia le interesa saber qué se puede hacer en la Meseta Central. Hay allí un potencial desarrollo de minas de oro, cobre, plata, y uranio. Para ello habrá que radicar gente, y esto quiere decir que se necesitarán viviendas. La fundación Greencross sostiene que necesario diseñar algo especial allí. El viento es permanente, por lo que no hay que renunciar a la chacra eólica.

El Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) propone usar turbinas de eje vertical. Usar turbinas de eje horizontal es muy caro porque obliga a elevar una torre sin tensores pues éstos impedirían el giro necesario para enfrentar al viento al chocar con los tensores, que abaratarían los costos, de allí la ventaja de las turbinas de eje vertical.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA) ha ya realizado exploraciones mineras en Gaiman y Paso del Indio para explotar uranio. En la actualidad, las minas están abandonadas porque hay abundante uranio en el mundo, y conviene importarlo y no explotarlo.

A fin de continuar el proyecto, teniendo en cuenta las dificultades y oportunidades descritas, se propone el plan siguiente: continuar con la búsqueda de soluciones más económicas para reducir costos de los molinos de viento, los generadores de electricidad, los hidrolizadores y los contenedores de hidrógeno. Como ejemplo de aplicaciones del hidrógeno, se puede citar el prometedor e inminente desarrollo de las así llamadas «celdas de combustible» (*fuel cells*) que abren un campo interesante, por el cual la energía puede ser conservada mucho más eficientemente que con el sistema de baterías por intercambio iónico hasta ahora utilizado.

Asimismo, explorar la introducción de actividades económicamente viables, aparte de las ya descritas (minería, explotaciones agrícolas, cultivos de piscicultura, turismo, etc.). Para esto es útil ver qué hace el resto del mundo con estas regiones, que las debe haber parecidas en otras partes, lo que implica una investigación geográfico-económica.

Relevar las fuentes de contacto con interesados en el tema; esto significa estrechar relaciones con los contactos ya establecidos (Albanesi SA, Air Liquide SA, Fundación Greencross, Provincia del Chubut, ITBA, UBA, etc. y buscar otros, sea en el país o en el extranjero. Realizar un plan maestro de integración económica y urbanística, lo cual implica consultar a urbanistas, economistas, antropólogos, sociólogos, geólogos, geógrafos, etc., sean provenientes de universidades, organismos públicos, ONG o de empresas privadas, como las que ya se han citado.

Como comentario final, debemos señalar que la continuación de este proyecto depende del desarrollo de dos ideas principales: abatir costos de equipamiento y encontrar aplicaciones factibles de explotar para la utilización del hidrógeno producido por energía eólica.

## Registro bibliográfico

J.M. Borthagaray  
y C. Bozzoli  
«Chacras de hidrógeno en  
la Patagonia argentina».  
*Pampa. Revista  
Interuniversitaria de  
Estudios Territoriales*,  
año 8, n° 8,  
Santa Fe, Argentina,  
UNL (pp. 235–252).

## Bibliografía

- AAEE** (2012). *Boletín de la Asociación Argentina de Energía Eólica*. Disponible en <http://www.argentinaeolica.org.ar/portal/index.php>
- Dirección Provincial de Minería, Provincia del Chubut** (2008). *Recursos Hídricos: Aguas subterráneas*. Rawson, Chubut.
- Hoffman, P.** (1981). *Forever Fuel: The history of Hydrogen*. Nueva York: Westview press.
- (2002). *Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet*. Boston: MIT Press.
- (2009). *The Energy Challenge; La gran esperanza del hidrógeno*. Project Syndicate. Traducción de Claudia Martínez. Disponible en [www.project-syndicate.org](http://www.project-syndicate.org)
- (2012). *Two Companies Announce Plans for 500 Fuel Cell–Powered Eco–Homes in Greece by 2015*. The Hydrogen & Fuel Cell Letter. Disponible en [www.hfcletter.com](http://www.hfcletter.com)
- Jáuregui, G.B.; Acosta, M.Z.; Jiménez, Laura R. y Lema C.A.** (2008). *Contra el mito de la Patagonia desértica. El valle del arroyo Telsen y las posibilidades de un desarrollo sustentable. Contribuciones Científicas GAEA*, Vol. 20. CONICET.
- Lauretta, Ricardo** (2009). *Módulo Argentino de Energía Limpia. Reactores electrolíticos para la producción de hidrógeno y oxígeno a alta presión*. Revista *Petrotecnia*, del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. Buenos Aires.
- Motavalli, Jim** (2012). «Preguntas para Peter Hoffmann: un partidario del hidrógeno cuyo tiempo parece haber llegado.» *New York Times*. Nueva York. Traducción nuestra.
- Rifkind, Jeremy** (2003). *The Hydrogen Economy*. Nueva York: Penguin groups.
- Spinadel, Erico** (2009). *Energía Eólica. Un enfoque sistémico multidisciplinario para países en desarrollo*. Nueva Librería.
- Von Rave, Héctor** (2012). *Energía eólica*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y AAPURE (Asociación Argentina para el Uso Racional de la Energía. Buenos Aires.

## Otras fuentes

«Un mega–acuifero en la meseta chubutense.» Artículo publicado sin firma *Jornada*, periódico de Chubut, 28 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.diariojornada.com.ar/>