

PRODUCCIÓN Y USO DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO ALTERNATIVO EN LA ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Alejandro Ayala Garrido^{1*}, Rafael Serra Florensa, Mario López de Ávila M.²

¹ Universidad Politécnica de Cataluña – UPC, Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1
(CA1) Campus Diagonal Sud. Edificio A-7. Av. Diagonal, 649. 08028 Barcelona.

² Instituto de Empresa Business School – IE Madrid, España.

*Tel (55)51146541, ingenyaconsultores@yahoo.com.mx

RESUMEN

Para su presentación oral “Método de cálculo de un proyecto arquitectónico y/o urbano desarrollado con técnicas de diseño bioclimático, eficiencia energética y construcción sostenible con suministro de energía eléctrica mediante hidrógeno producido y usado *in situ*”.- Trata desde el quehacer Arquitectónico y Urbano de la producción y uso del hidrógeno como vector energético alternativo en la construcción, cualquiera que sea su género, pero principalmente residencial y de servicios, pública y/o privada que requerirán de suministro de energía eléctrica para su funcionamiento y/o habitabilidad para el hombre; Igualmente Redes y Estaciones de Servicio para el suministro del hidrógeno como vector energético. Se trata de realizar una praxis integral; esto significa que como aporte cualitativo indisoluble del método y por legítimo interés integramos Técnicas de Diseño Bioclimático para el Confort, Eficiencia Energética y Construcción Sostenible.

Actualmente el quehacer arquitectónico y urbano, particularmente la praxis del diseño arquitectónico bioclimático, eficiencia energética y construcción sostenible no considera *per se* la producción y uso del hidrógeno/”hidrógeno verde” como vector energético alternativo y viceversa ya que el principal interés no se centra en el uso doméstico/habitacional sino más bien para su consumo en la industria sobre todo la automotriz. Ver video-resumen (12 min.): <http://misitio.templeo.com/alxayala>

1.- Antecedentes

Estado del Arte.- Fundamento tecnológico y de investigación aplicada respecto a la producción y uso del hidrógeno como vector energético. [1]

La tecnología del hidrógeno.- De manera simultánea a la evolución técnica de concepción arquitectónica, urbana y constructiva, están en pleno desarrollo y maduración a nivel internacional las tecnologías para el aprovechamiento de nuevas alternativas energéticas menos dependientes de los combustibles fósiles; para el caso particular que nos interesa, considerar al hidrógeno como vector energético alternativo viable para el aseguramiento energético es una realidad con un potencial al que ya se dedican importantes y crecientes recursos de todo tipo. Son los países “desarrollados”, las grandes potencias económicas como EEU, Canadá, Japón, Reino Unido, Dinamarca, Alemania quienes encabezan el sector. Hasta ahora dicho desarrollo está liderado por las grandes compañías energéticas y la industria automotriz y militar; lo que sigue obedeciendo a un esquema de suministro energético concentrado-elitista; la tendencia se dirige más bien al establecimiento de redes, la descentralización de la producción de energía, hacia el objetivo de que la gente produzca *in situ* la energía que consume.

Rumbo a la economía del hidrógeno.- El desarrollo en la investigación y la producción del hidrógeno y las pilas de combustible está ya, como mejor ejemplo, dentro de los programas prioritarios de la Unión Europea para el aseguramiento e independencia energética. Así pues cabe tener presente: Fuentes de obtención del hidrógeno.- De combustibles fósiles: Petróleo, gas; cuyo problema, en el proceso de obtención de hidrógeno, es la liberación de carbono a la atmósfera; en el mejor de los casos podemos obtener más control capturando dicho gas, lo que puede ser; sin embargo la mayor apuesta se dirige al uso del agua como combustible.

“El agua es el carbón de hoy”.- Uno de los métodos de producción dominantes en la etapa de transición, como se predice en el informe de 2004 del Departamento de Energía - DOE, probablemente será la electrólisis. A través de un proceso electrolítico separamos, por

fisión en un electrolizador, la molécula del agua en sus dos elementos componentes: hidrógeno y oxígeno; el oxígeno puede ser liberado a la atmósfera y el hidrógeno almacenado en tanques a alta presión para su uso posterior; una vez obtenemos el hidrógeno éste es conducido y usado como vector energético en pilas de combustible para la generación de electricidad y cogeneración de calor. Esto a través de un proceso electroquímico inverso al de la electrólisis.



Figura 1. Equipo electrolizador para obtención de hidrógeno y pila de combustible para la generación de electricidad. Vapor de agua y calor como residuos.

Otras tecnologías para el aprovechamiento de fuentes renovables.- Por otra parte y sin embargo seguimos necesitando energía para iniciar el proceso de producción de hidrógeno/”hidrógeno verde” mediante electrólisis; esto considera resolverse utilizando las tecnologías que ya aprovechan las fuentes renovables de energía, solar y eólica principalmente: placas solares fotovoltaicas y/o aerogeneradores; en este sentido el vector hidrógeno y las tecnologías que de aquí se derivan, para la generación de electricidad, unen y optimizan el sistema energético implementado para uso doméstico/habitacional. Proceso que en principio está exento de generación de bióxido de carbono - CO₂ uno de los gases de efecto invernadero.



Figura 2. Tecnologías para el aprovechamiento de fuentes renovables de energía: Placas solares fotovoltaicas y aerogeneradores.

El agua es hoy, como nunca, nuestro principal recurso de energía y de supervivencia; por lo cual se dedicará especial interés en la captación y tratamiento del agua pluvial para su eventual utilización para la generación de hidrógeno y otros usos más bien generales: riego, sanitario. Incluso se contempla la posibilidad de obtener agua apta para el consumo humano en caso de que ésta no sea más bien recuperada y reincorporada al proceso de producción de hidrógeno con lo cual está considerado establecer un ciclo cerrado.

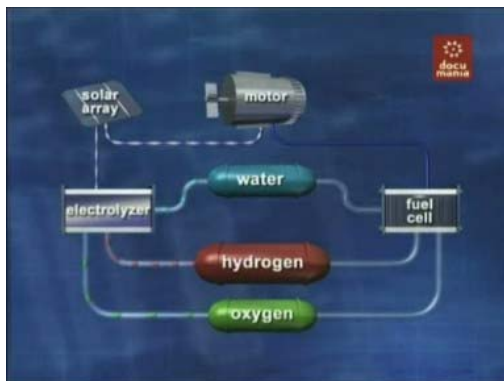


Figura 3. Integración de tecnologías para la producción de hidrógeno/”hidrógeno verde”, generación de electricidad y autonomía energética. Sistema energético optimizado

Ya es factible la generación de electricidad para su consumo *in situ* mediante el aprovechamiento de fuentes renovables de energía; es un sistema que consiste en el uso de placas solares fotovoltaicas y/o aerogeneradores para la producción de electricidad que puede ser usada directamente o bien almacenada en bancos de baterías para su uso posterior.



Figura 4. Integración de tecnologías para el aprovechamiento de fuentes renovables de energía solar y eólica, en este caso con banco de baterías.

En definitiva nuestro interés es la producción y uso de Hidrógeno/“Hidrógeno Verde”; no obstante no se descarta que en una primera etapa, de transición, se desarrollen y empleen sistemas energéticos híbridos que combinen los sistemas y combustibles existentes con la puesta en marcha de nuevas tecnologías. Por lo tanto: Son acciones dirigidas a una transición energética sostenible, cada vez menos dependiente de combustibles fósiles en un corto-mediano plazo. Evolucionamos hacia “La descarbonización” de los combustibles:

Madera→ carbón→ petróleo→ gases - hidrógeno.

Ejemplos sobresalientes.- Uso de hidrógeno doméstico/habitacional.- Existen extensos e interesantes ejemplos de investigación aplicada en el campo de las tecnologías del hidrógeno en todas sus etapas, desde su producción, almacenaje y uso; a continuación se presentan aquellos proyectos afines a nuestro concepto pero que sin embargo ninguno de ellos aborda o resuelve en si lo correspondiente al diseño arquitectónico-urbano bioclimático y/o construcción sostenible.

H2PIA Dinamarca.- Hidrógeno es la respuesta! H2PIA es una visión por una sociedad del hidrógeno del futuro, donde los ciudadanos producirán la energía que necesitan por ellos mismos. H2PIA nos mostrará como nosotros podemos desarrollarnos de una sociedad que produce energía quemando petróleo, carbón y gas, a una basada en el hidrógeno, independiente, y una comunidad libre de contaminación.

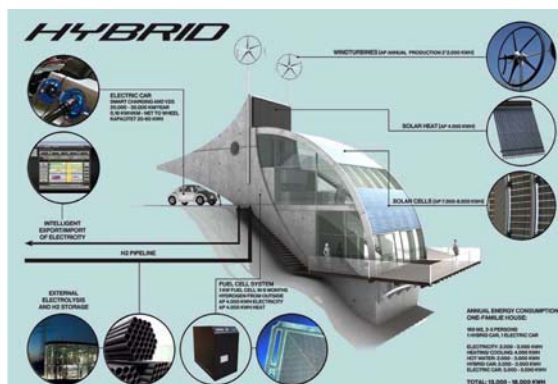


Figura 5. Proyecto H2PIA – Dinamarca.

Mas Roig -en Llagostera, Girona-Barcelona, España.- Francesc Sureda Alsina.- Es médico, su inquietud por los problemas ambientales que ocasionan los residuos y el consumo de energía le ha llevado a convertir su casa de campo, el Mas Roig -en Llagostera, Girona- en un lugar sostenible. Considera la producción de “hidrógeno verde”.

Michael Strizki.- Ingeniero Civil de New Jersey energiza su casa con paneles solares y tanques de hidrógeno. Vive en la primera casa solar. La tecnología de este ingeniero civil está en posibilidades de hacer trabajar juntas paneles solares, pilas de hidrógeno, tanques de almacenamiento y un electrolizador que provee de electricidad a su casa durante todo el año, incluso en los días nublados de invierno.

Bryan Beaulieu – 2005.- Ingeniero mecánico del norte de Scottsdale (Tusayan Trail and Happy Valley Road), ha venido trabajando con la Asociación Americana del Hidrógeno, con el arquitecto Bob Bacon, y el Scottsdale Green Building Program. Su objetivo central es producir hidrógeno como combustible para calentar agua para las necesidades de calefacción interior, para cocinar, hacer funcionar generadores eléctricos, limpiar el aire y como combustible de autos.

New Cork Institute of Technology/U.S. Merchant Marine Academy’s solar-hydrogen home – 2005.- Proyecto ganador de la 2005 Solar Decathlon Team patrocinada por la U.S. Department of Energy. Donde participaron 18 escuelas de 13 estados, Canadá, España y Puerto Rico.

NYIT/USMMA fue el único equipo que usó tecnología Solar-Hidrógeno. Los componentes clave del sistema incluye un “KIT” de pila de combustible de 5 kW, un electrolizador y paneles fotovoltaicos.

Apparatus for supplying power to buildings using solar power as a power source. Weltorganisation für geistiges Eigentum Internationale Büro. WO 2007/098895 A1. 7. September 2007 (07.09.2007).- Un aparato para suministrar energía a edificios o complejos de edificios usando energía solar como fuente de energía, tiene una primera celda solar para

convertir la energía solar en energía eléctrica, una segunda celda solar para convertir la energía solar en energía térmica, un elemento electrolizador para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno a través de la energía liberada por la primera celda solar, un depósito para el hidrógeno y almacenador de electricidad.

Energy supplying device for building using solar energy as source, has two solar cells, for converting solar energy into electrical and heat energy and fuel cell blocks connected with hydrogen storage device for generating electrical energy. Gutfleisch Siegfried (DE). Patent No.: DE102006010111 A1; US2009025315 A1; WO2007098895A1; EP1989441A1. Pub. Date: Aug. 30, 2007.

Multi home energy supply system using fuel cell.- Ha Sam Chul (KR), Ryoo Sung Nam (KR), Park Myung Seok (KR). Clasificación.- Internacional: H01M8/04. Fecha de publicación: Aug. 27, 2007.

Home use fuel cell system. Tsutomu Okusawa (JP). Patent No.: US 7,091,625 B2. Date of Patent: Aug. 15, 2006.- La presente invención se refiere a un sistema de suministro de energía compacta utilizando una pila de combustible como una fuente de alimentación principal, y más en concreto, se refiere a un sistema de pila de combustible de uso doméstico adecuado para una casa.

Integrated full processor, furnace and fuel cell system for providing heat and electrical power to a build. Jeffrey S. Chen (US), Wenhua Huang (US), William P. Acker (US). Patent Number: 5, 985, 474. Date of Patent: Nov. 16, 1999.

Energy distribution network.- Matthew J. Fairlie (CA), William J. Stewart (CA), Andrew T. B. Stuart (CA), Steven J. Thorpe (CA), Charlie Dong (CA). Patent No.: US 7, 062, 360 B2. Date Patent: Jun. 13, 2006.

Method of supplying heat for a building or part of building, involves formation of hydrogen for heating purposes.- Seeman Berthold W. (DE). Patent No.: DE10032528 A1. Patent Date: Jan. 17, 2002.

Hydrogen/electric energy distribution system. GENERAL HYDROGEN CORPORATION (US/CA), Routtenberg, Michael (CA), Merida-Donis Walter Roberto (CA) Rusyn, Paul, F. et al (US). Pub. No.: WO/2001/028017. Date of patent: Apr. 19, 2001.

Home hydrogen fueling station. Bor Z. Jang (US). Pub. No.: US 2008/0135403 A1. Pub. Date: Jun. 12, 2008.- Este invento provee un sistema personal de abastecimiento de hidrógeno para una casa o un negocio. Este invento proporciona un método eficiente de utilización de la energía solar, de dos maneras convertida en energía eléctrica y energía térmica mediante electrolisis de agua en hidrógeno y oxígeno y almacenando hidrógeno a un medio de relativa alta capacidad a relativa baja presión.

Proyecto ejemplo de diseño bioclimático, autosuficiencia energética y construcción sostenible pero que no considera en si la producción y uso de hidrógeno como vector energético: FabLab House 2010.- Se trata de una vivienda autosuficiente energéticamente diseñada por el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC). Este prototipo de vivienda cuenta con una estructura de madera en forma de costillas que puede deformarse adecuándose para el seguimiento solar (por año y por día), y es susceptible de ser cubierto por textiles impresos fotovoltaicos. La idea es lograr un comportamiento bioclimático, haciendo uso de estrategias de ventilación de la doble piel, humidificación del aire, y otras estrategias.

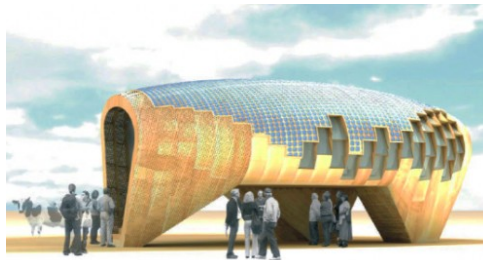


Figura 6. Proyecto FabLab House – Barcelona, España.

2.- Descripción detallada de la propuesta

El Concepto integral.- Lo que se hace desde el ámbito arquitectónico, urbano y constructivo es incorporar y utilizar las tecnologías inocuas para la producción, almacenaje, control y uso de hidrógeno/"hidrógeno verde" *in situ* como vector energético alternativo para la producción y suministro de energía eléctrica, conjuntamente con técnicas de control térmico-acústico-lumínico-olfativo e integración plástica que permitan óptimos niveles de confort y estética de los espacios arquitectónicos y urbanos así concebidos; singulares por su diseño y previsiones energéticas. Se sincronizan y extrapolan las virtudes de los avances tecnológicos sobre producción, uso y control de hidrógeno y fuentes renovables de energía para tener autonomía energética con la praxis del diseño arquitectónico y urbano bioclimático, eficiencia energética y construcción sostenible; se trata de un ejercicio de actualización e innovación permanente ya que cada proyecto tiene características únicas acordes a las necesidades del usuario final que lo hacen muy dinámico.

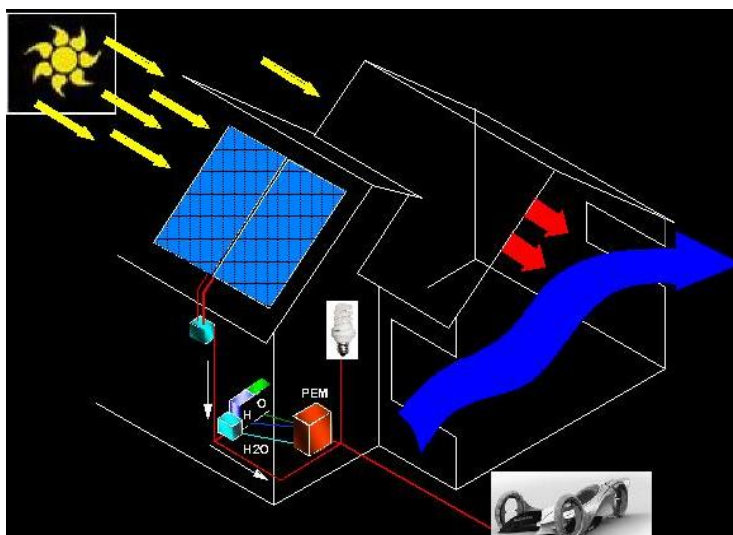


Figura 7. Vista isométrica de "El Concepto integral".

Actualmente el quehacer arquitectónico y urbano, particularmente la praxis del diseño arquitectónico bioclimático, eficiencia energética y construcción sostenible **no considera per se** la producción y uso de hidrógeno/"hidrógeno verde" como vector energético alternativo y viceversa ya que el principal interés para producir y usar hidrógeno no se centra en el uso doméstico/habitacional sino más bien para su consumo en la industria sobre

todo la automotriz. Estamos en el período de transición en el cual por convicción necesitamos aprovechar de manera más eficiente las reservas de unos combustibles fósiles cada vez más escasos, al tiempo que somos partícipes de la evolución tecnológica dirigida al aprovechamiento más sostenible de los recursos y nuevas alternativas para la generación de energía; en este sentido sabemos que existe un traslape entre las actuales y las nuevas soluciones técnicas.

De esta manera la base es pasar:

-De la generación convencional de energía, a través del uso de combustibles fósiles/NO renovables que generan= 0,44 a 1,45 kg CO₂/kwh. gas natural y carbón respectivamente.

-A la generación de energía 100% proveniente de Fuentes Renovables y Alternativas de Energía que generarán= 0 kg CO₂/kwh. Solar y eólica principalmente; geotérmica, mareomotriz, biogás y otras según los recursos naturales existentes en la localidad.

Así atendemos de manera integral necesidades de habitabilidad, suministro y uso eficiente de la energía desde una visión sostenible, acorde al paradigma de “La Economía del Hidrógeno.- La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la Tierra” - La próxima gran revolución económica _ Jeremy Rifkin. [2]

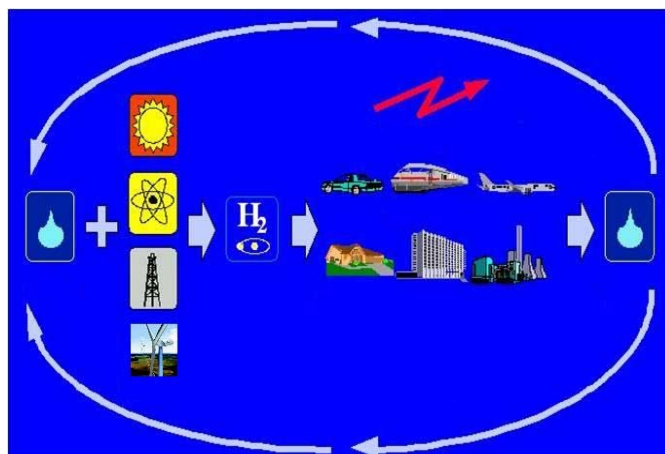


Figura 8. Esquema “La Economía del Hidrógeno”.

El concepto de creación arquitectónica y urbana.- La “piel envolvente” de nuestros proyectos, los paramentos que la conforman, participan activamente en todo el proceso ya que además de dar cobijo a las actividades que en él se desarrollan es la receptora y filtro de los elementos externos benignos y/o dañinos; también es el soporte físico de los diferentes sistemas activos y/o pasivos, y criterios de actuación bioclimática sostenible que dan “vida” al conjunto funcionando en un esquema de relación simbiótica. Nuestro ejercicio considera como fundamento la integración formal y expresa de las tecnologías para la producción y uso del hidrógeno como vector energético alternativo y el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía que para el abastecimiento energético hemos de utilizar; esto significa considerar desde un inicio la incorporación plástica y formal de dichos elementos a la “piel envolvente” del proyecto. Igualmente se considera el desarrollo y puesta en marcha de proyectos de estaciones de servicio redes para el aprovisionamiento de hidrógeno para uso vehicular.

3.- Método de actuación para la ejecución del “encargo” arquitectónico

En la praxis del diseño bioclimático y sostenible para el confort y eficiencia energética, es inherente a nuestros principios actuar sobre la base de un amplio estudio, conocimiento y dominio de las condicionantes físicas del entorno natural y/o urbano a tomar en consideración como elementos de juicio importantes para definir o re-definir de manera óptima el “encargo” encomendado, una vez dadas su naturaleza y requerimientos de partida. Entendemos el “encargo” como la solicitud expresa por parte del “cliente” para ejecutar y construir un proyecto arquitectónico-urbano determinado. El sello distintivo y aporte cualitativo innovador del proyecto es la creación de entidades arquitectónicas, urbanas y constructivas basadas en la producción y uso, *in situ*, de hidrógeno como vector energético alternativo; lo que las hace capaces de ser autónomas energéticamente y sostenibles en todos los sentidos posibles.

Resaltar que cabe reivindicar prácticas urbano-arquitectónicas desde hace tiempo soslayadas que hablan de un mayor diálogo y respeto al entorno, paralelo al bienestar del usuario final, por lo que debemos atender los siguientes **Criterios de actuación**

bioclimática y sostenible: Análisis micro climático del sitio de ubicación del proyecto.- análisis e las condiciones existentes; Estudios de geometría e incidencia solar en el edificio seleccionado; Diseño y evaluación de dispositivos de control solar; Análisis de los requerimientos de confort ambiental integral de los usuarios: Térmico, lumínico y visual, auditivo y olfativo.- análisis de las condiciones deseables; Análisis y estrategias de diseño bioclimático aplicadas al proyecto; Análisis de los sistemas “pasivos”, “activos” e “híbridos”, necesarios para satisfacer los requerimientos de confort ambiental de los usuarios; Balance energético. Cálculo y diseño de los sistemas de adecuación ambiental del edificio; Análisis y diseño de los sistemas eco energéticos aplicados al proyecto, para contribuir al ahorro, uso eficiente y generación de energía; al ahorro y uso eficiente del agua, recuperación y tratamiento del agua pluvial; al manejo adecuado de los desperdicios orgánicos e inorgánicos; Ciclo de materiales: Desde su origen hasta su recuperación y reutilización para nuevos procesos. “De la cuna a la cuna”; Evaluación y retroalimentación de todas las fases del proyecto. [3 y 4]

La estrategia a corto-mediano plazo es alcanzar la autonomía energética de nuestros proyectos, incluso con la expectativa de ser cogeneradores de energía. En este sentido nos apegamos y respaldamos la realización, revisión, publicación y puesta en marcha de leyes, normativas y reglamentos en el campo de las fuentes renovables y alternativas de energía, ahorro y uso eficiente de energía como parte de una legítima Reforma Energética Mundial cuyos principios se apegan a la equitativa redistribución de los recursos.

4.- Escenario para el desarrollo del prototipo: ITESM Campus Ciudad de México

Se tiene la invitación confirmada para llevar e incluir la propuesta en la agenda de proyectos de la Incubadora de Alta Tecnología, Escuela de Ingeniería y Arquitectura - ITESM Campus Ciudad de México. Esto con la finalidad de Desarrollar el Prototipo correspondiente, previa revisión de los avances realizados en cuanto a la propuesta técnica y el plan de negocio que ya se tiene y que habrá que retomar y adaptar a las condiciones nacionales. Los recursos necesarios para llevarlo a cabo son importantes y cabe encausarlo de la mejor manera posible para llevarlo a cabo.

5.- Agradecimientos

El autor agradece por su apoyo permanente e incondicional para continuar con el desarrollo del proyecto a.- Dr. Rafael Serra Florensa - UPC Barcelona; Mario L. de Ávila - Instituto de Empresa Business School – IE Madrid, España; La Universidad La Salle Barcelona; Proyecto de TV “GENERACIÓ XXI” de apoyo a emprendedores, dirigido y conducido por Manuel Campo Vidal – Barcelona; Dr. Omar Solorza CINVESTAV – IPN; Dr. Ulises Cano – IIE; Dr. Arturo Fernández - CIE UNAM; Mtra. Karla de la Torre Directora Incubadora de Alta Tecnología ITESM Campus Cd. de México; Ing. Gabriel Ibarra Elorriaga Director Corporativo de Desarrollo – ICA; Prensa: Periódico CINCO DÍAS España; Periódico REFORMA México; revista “esencia y espacio” ESIA – IPN México.

6.- Referencias

- [1] *I Simposium Ibérico de Hidrógeno, Pilas de Combustible y Baterías Avanzadas-HYCELTEC2008. Bilbao, País Vasco.*
- [2] J. Rifkin, *La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra. Barcelona: Editorial Paidós, 2002, 324 pp.*
- [3] A. Ayala Garrido, *Club de Industriales del Bajío en Celaya Guanajuato, Un proyecto Sustentable. Metodología para la investigación y la práctica urbano-arquitectónica sustentable. 341 diap. (ppt) +80 documentos, México (2001).*
- [4] W. McDonough, M. Braungart, *Cradle to Cradle. Remaking the way we make things. 188, (2005).*

7.- Video-Resumen en internet

Para mayor información respecto al proyecto favor de consultar la siguiente página web donde se muestra e perfil del autor e incluye igualmente un video-resumen (12 min.) de la propuesta:

<http://misitio.templeo.com/alxayala>

