

LA TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO, UNA OPORTUNIDAD ESTRATÉGICA
PARA LA PERDURABILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO EN COLOMBIA

LUIS GABRIEL MORENO VALLEJO
CARLOS EDUARDO VARGAS GALLO

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN DIRECCIÓN Y
GERENCIA DE EMPRESAS

UNIVERSIDAD DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN
BOGOTÁ D.C., FEBRERO DE 2013

LA TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO, UNA OPORTUNIDAD ESTRATÉGICA
PARA LA PERDURABILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO EN COLOMBIA

LUIS GABRIEL MORENO VALLEJO
CARLOS EDUARDO VARGAS GALLO

TUTOR: Msc. Ing. ANDRÉS MAURICIO CASTRO FIGUEROA

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN DIRECCIÓN Y
GERENCIA DE EMPRESAS

UNIVERSIDAD DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN
BOGOTÁ D.C., FEBRERO DE 2013

DEDICATORIAS

Con amor para mis Padres, Beatriz y Luis Gabriel, quienes con el apoyo y oportunidades que me han brindado, han hecho realidad este y otros logros en mi vida.

A mi hermana Luz Adriana, por su apoyo incondicional y ejemplo de entrega académica y de decisión en el logro de sus metas.

A Catalina Diaz, quien con su compañía, apoyo y compromiso contribuyo a mi proceso de formación personal y al alcance de mis metas de vida.

A mi compañero y amigo Carlos Vargas, quien con su experiencia y formación profesional hizo posible que lleváramos a feliz término este reto académico y de vida.

A mi país Colombia, que ha sido fuente de inspiración y base para este proyecto de grado.

Luis Gabriel Moreno Vallejo

A mi hija Laura Sofía y a mi esposa Johanna Caicedo, que son la luz de mis ojos, quienes me inspiran día a día para lograr cada cosa que me propongo.

A mi madre Celia, a mi padre Eduardo y a mis hermanos Alejandro y Leticia, por su apoyo incondicional.

A Gabriel Moreno, Compañero y amigo porque sin el este proyecto hoy no sería una realidad.

Y a todas las personas que de una u otra forma han estado y están presentes en el largo camino, que es la vida.

Carlos Eduardo Vargas Gallo

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darnos la fuerza, capacidad, tiempo y la posibilidad para dar fin a la realización de este proyecto.

Un especial agradecimiento y reconocimiento al Dr. Andres Mauricio Castro, por su gran conocimiento y disposición, quien nos guió en la formulación, el desarrollo y la revisión de nuestro proyecto de grado y la más valiosa retroalimentación.

Al Dr. Francisco Restrepo, por su apoyo y colaboración durante el planteamiento y realización de nuestro proyecto de grado.

A Dr. Jorge Reynolds, quien nos sirvió de inspiración en la construcción del modelo.

A profesores y directivos de la Universidad del Rosario, quienes contribuyeron a nuestro proceso de formación académico y profesional.

A nuestros compañeros de Maestría, con quienes fuimos participes también de un proceso académico de formación mutua, que por la interdisciplinariedad de todos, nos brinda una visión complementaría al contenido impartido por la Universidad.

“¿Negará usted que un día se habrá extinguido completamente la provisión de carbón?”

-Los yacimientos de hulla son todavía muy considerables, y los cien mil obreros, que arrancan anualmente cien millones de quintales métricos de mineral, están muy lejos de agotar tan pronto los depósitos.

-Considerando la proporción creciente del consumo de carbón de piedra -repuso Gedeón Spilett-, se puede presumir que esos cien mil obreros serán pronto doscientos mil y que se duplicará la extracción.

-Pero después de los yacimientos de Europa, con el auxilio de nuevas máquinas podrán explorarse más a fondo. Las minas de América y de Australia suministrarán por largo tiempo todavía lo necesario para el consumo de la industria.

-¿Por cuánto tiempo? -preguntó el periodista.

-Al menos por doscientos cincuenta o trescientos años.

-Eso nos debe tranquilizar -intervino Pencroff-, pero es alarmante para nuestros bisnietos.

-Ya se inventará otra cosa -dijo Harbert.

-Esperemos -contestó Spilett-, porque sin carbón no hay máquinas, y sin máquinas no hay trenes, ni vapores, ni fábricas, ni nada de lo que exige el progreso de la vida moderna.

-Pero ¿qué se inventará? -preguntó Pencroff-. ¿Lo imagina usted, señor Ciro?”

-Algo, amigo mío.

-¿Y qué se quemará en vez de carbón?”

-¡Agua! -respondió Ciro Smith.

-¡Agua! -exclamó Pencroff-. ¡Agua para calentar las calderas de los vapores y de las locomotoras, agua para calentar el agua!-Sí, amigo mío -repuso Ciro Smith-; agua descompuesta sin duda por la electricidad y que llegará a ser entonces una fuerza poderosa y manejable. Todos los grandes descubrimientos, por una ley inexplicable, parece que se encadenan y se completan en el momento oportuno. Sí, amigos míos, creo que el agua se usará un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados aislada y simultáneamente, producirán una fuente de calor y de luz inagotable y de una intensidad mucho mayor que la de la hulla. Un día el pañol de los vapores y el tender de las locomotoras en vez de carbón se cargarán de esos dos gases comprimidos, que arderán en los hornos con un enorme poder calorífico. No hay que temer, pues, mientras esta tierra esté habitada, suministrará elementos para satisfacer las necesidades de sus habitantes, los cuales no carecerán jamás de luz ni de calor, como tampoco de las producciones de los reinos vegetal, mineral y animal. Creo que, cuando estén agotados los yacimientos de hulla, se producirá el calor con agua. El agua es el carbón del porvenir.”¹

¹ Fragmento del Libro *La Isla Misteriosa* – Julio Verne (II. EL ABANDONADO – 11. De nuevo el invierno. Discusión sobre el Combustible) – 1874

Tabla de Contenido

LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
GLOSARIO	10
RESUMEN.....	13
PALABRAS CLAVES.....	14
ABSTRACT.....	15
KEY WORDS.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
3. MARCO TEÓRICO	24
3.1. TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO Y PILAS DE COMBUSTIBLE	24
3.1.1. Producción de Hidrógeno.....	26
3.1.2. Almacenamiento de Hidrógeno	31
3.1.3. Aplicación de la Tecnología – Motores de Combustión Interna y Pilas de Combustible.....	38
3.1.4. Visión del Hidrógeno como Vector Energético	41
3.2. HERRAMIENTAS DE PROSPECTIVA UTILIZADAS EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN	44
3.2.1. Análisis Estructural método MICMAC	44
3.2.2. Análisis de Estrategias de Actores método MACTOR.....	47
4. DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES CON EL HIDRÓGENO.....	50
4.1. AMÉRICA DEL NORTE	50
4.1.1. Estados Unidos de América	50
4.1.2. Canadá.....	56
4.2. EUROPA.....	60
4.2.1. España	60
4.2.2. Alemania	64
4.2.3. Francia	68
4.2.4. Unión Europea	70
4.3. ASIA.....	71

4.3.1. India	71
4.3.2. China.....	72
4.3.3. Japón	77
4.4. AMÉRICA DEL SUR	78
4.4.1. Argentina.....	78
4.4.2. Brasil	84
4.4.3. Chile	88
4.5. SÍNTESIS DE LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES POR CONTINENTE..	89
5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE ACTORES DEL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO COMO PANORAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO	93
5.1. INVENTARIO DE VARIABLES DE SISTEMA	93
5.2. ESTRUCTURA DE LA RED DE INTERRELACIONES.....	98
5.3. VARIABLES RELEVANTES DEL SISTEMA.....	103
5.4. METAS, LIMITACIONES Y MEDIOS DE ACCIÓN DE CADA ACTOR...	106
5.5. ESTRATEGIAS Y OBJETIVOS ASOCIADOS CON LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES	121
5.6. RELACIONES DE PODER Y RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS PARA CADA ACTOR, SEGÚN LAS PRIORIDADES DE LOS OBJETIVOS DE CADA ACTOR Y LOS RECURSOS DISPONIBLES.	123
5.7. PROPUESTA DE MODELO GRAFICO DE ANÁLISIS DE NIVEL DE INTEGRACIÓN TRIANGULAR POR ÁREAS - ATRIA.....	129
5.8. PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN COLOMBIA - APLICACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS DE NIVEL DE INTEGRACIÓN A LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (MICMAC) Y ANÁLISIS DE ACTORES (MACTOR)	132
6. CONCLUSIONES	137
7. RECOMENDACIONES.....	141
BIBLIOGRAFÍA.....	142
Anexo I Matriz de Influencia Directa – MID	147
Anexo II Matriz de Influencia Directa – MID entre Actores.....	148
Anexo III Matriz de Actores Objetivos – MAO	149

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Estado actual de las tecnologías para la producción de hidrógeno	28
Tabla 2: Costos de la producción de hidrógeno.....	29
Tabla 3: Comparación de métodos de producción de Hidrogeno	29
Tabla 4: Comparación de métodos de Almacenamiento de Hidrogeno	36
Tabla 5: Aplicación de las tecnologías del hidrógeno en la industria Alemana.	67
Tabla 6. Síntesis de las experiencias Mundiales por continente.....	91
Tabla 7. Tabla de Variables Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia. ...	94
Tabla 8. Variables relevantes Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia.	104
Tabla 9. Definición de actores que controlan las variables relevantes.....	106
Tabla 10. Descripción de metas, limitaciones y medios de acción de cada actor.	108
Tabla 11. Retos y objetivos Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia .	121
Tabla 12. Implicación de los actores con los objetivos comunes.....	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de recursos energéticos a nivel mundial.	19
Figura 2. Proceso de Electrolisis.....	26
Figura 3. Fuentes de obtención de Hidrógeno.	27
Figura 4. Energía por unidad de Volumen de distintos combustibles.	32
Figura 5. Tanque de hidrógeno líquido.	33
Figura 6. Almacenamiento en sólido por distintos procesos.	35
Figura 7. Ciclo de funcionamiento del motor Rotativo Wankel.....	38
Figura 8. Esquema de una celda de combustible Individual.	39
Figura 9. Definición de variables según ubicación en el plano Influencia Vs Dependencia.....	45
Figura 10. Países pertenecientes a RED H2.	62
Figura 11. Mezcla seca y producción de hidrógeno.....	66
Figura 12. Proyecto Omnibus hidrógeno.	85
Figura 13. Mapa de Influencia y dependencia Directa.	98
Figura 14. Relación de variables de influencia directa (Columna Izquierda) sobre las variables de influencia Indirecta (Columna Derecha)	101
Figura 15. Relación de variables de influencia directa (Columna Izquierda) sobre las variables de influencia Potencial (Columna Derecha)	103
Figura 16. Histograma de la Implicación de los actores sobre los objetivos.	123
Figura 17. Plano de Influencias y dependencias entre actores.....	125
Figura 18. Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábato.....	129
Figura 19. Ejemplo de Convergencia de Políticas en el Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábato	130
Figura 20 Ejemplo de divergencia de Políticas en el Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábato.	131
Figura 21. Análisis de nivel de integración a los resultados del análisis estructural (MICMAC) y análisis de actores (MACTOR).....	135

GLOSARIO

CELDA DE COMBUSTIBLE

Dispositivo electroquímico que convierte en forma directa un químico en energía eléctrica. Su diferencia con respecto a una batería (dispositivo de almacenamiento electroquímico) está basada en la forma de alimentación de los dispositivos, ya que la batería procesa la energía almacenada en los químicos que se encuentran en su interior, mientras que una celda de combustible permite el reabastecimiento continuo mediante el suministro de un químico de una fuente externa.²

FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Energías obtenidas de fuentes distintas a las clásicas como carbón, petróleo y gas natural. Son energías alternativas la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz y de la biomasa, que, además, son energías renovables. Si el concepto de energías clásicas o convencionales se reduce a las energías fósiles, la energía nuclear y la hidroeléctrica han de considerarse energías alternativas.³

EQUILIBRIO DINÁMICO

Se da cuando dos procesos opuestos ocurren simultáneamente estabilizando la oscilación de una variable. Como ejemplo esta la contraposición existente entre el índice de natalidad y mortalidad de una población, resultando en el tamaño de una población determinada.⁴

GENERACIÓN ELÉCTRICA DISTRIBUIDA

Concepto relacionado con la descentralización de la generación eléctrica, basada en la utilización de fuentes energéticas alternativas ubicadas estratégicamente según la demanda energética.

² Pág 28 - Unidad 4. Aplicaciones – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

³ Glosario de Térmicos Ambientales - http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_e.html

⁴ <http://www.carlosmaldonado.org/articulos/TNE.pdf>

HIDRÓGENO

Es el elemento químico representado por el símbolo H, constituye más del 70% de la materia visible del universo y entre sus características electroquímicas esta su facilidad de formar enlaces con el oxígeno liberando electrones.⁵

MACTOR

El método MACTOR (Matriz de Alianzas y Conflictos: Tácticas, Objetivos y Recomendaciones) propone un método de análisis del juego de los actores⁶

MICMAC

El análisis estructural es una herramienta de estructuración de una reflexión colectiva. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona todos sus elementos constitutivos. Partiendo de esta descripción, este método tiene por objetivo, hacer aparecer las principales variables influyente y dependientes y por ello las variables esenciales a la evolución del sistema⁷.

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión (combustión interna en el motor), dando origen a su nombre.

REDES ENERGÉTICAS INTELIGENTES

Redes eléctricas que pueden integrar inteligentemente las acciones de todos los usuarios conectados a ella, permitiendo el envío y recepción de energía eléctrica producto de la integración de generadores, consumidores y otros agentes que

⁵ http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/971113i.html

⁶ http://biblioteca.itson.mx/oa/ciencias_administrativa/oa8/metodos_necesidades_entorno/p2.htm

⁷ http://www.prospectiva.eu/curso-prospectiva/programas_prospectiva/micmac

hacen las dos actividades, esto con el fin de permitir la distribución eficiente, sostenible y segura de electricidad.

SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO

Sistema de Transporte Masivo se refiere a un conjunto de medios de transporte que actúan conjuntamente para desplazar grandes cantidades de personas en tiempos cortos.

TRIANGULO DE SÁBATO

Es un modelo de política científico-tecnológica que postula que la existencia de un sistema científico-tecnológico está ligada a una participación del Estado como agente diseñador y ejecutor de políticas públicas, la construcción de una infraestructura científico-tecnológica como mercado para la oferta de tecnología y la industria como demandante de tecnología, cohesionando relaciones fuertes y duraderas.⁸

VECTOR ENERGÉTICO

Es una sustancia capaz de almacenar energía para posibilitar su uso posterior. Un ejemplo de esto es el petróleo, el cual es explotado en yacimientos, transportado, transformado, distribuido y utilizado de diversas formas como fuente de energía.

⁸ Lucas Jolías, Alejandro Prince, and Susana Finkelievich. 2011. "Un Modelo Analítico de Ciudades del Conocimiento en América Latina" The Selected Works of Lucas Jolías

RESUMEN

El incremento de la actividad humana en el último siglo y el desarrollo de tecnologías ligadas con el petróleo como vector energético, han generado efectos medioambientales adversos que aunados con las limitadas reservas mundiales de crudo y su estrecha relación con el crecimiento económico mundial ha generado presiones económicas, políticas y sociales en todos los países. Esta situación ha dinamizado la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías basadas en el hidrogeno como un nuevo vector energético tecnológicamente compatible que permita la portabilidad de energía con el menor impacto ambiental y económico a la luz de la prospectiva de consumo y la perdurabilidad energética.

Este trabajo identifica las experiencias más relevantes respecto a la tecnología del hidrogeno a nivel mundial con el fin de consolidar un plan estratégico para la incorporación del hidrógeno como vector energético al portafolio productivo colombiano mediante la aplicación de un modelo que permite el análisis del nivel de integración de los sectores educativo, empresarial y gubernamental, teniendo como base los resultados del análisis estructural y análisis de actores.

PALABRAS CLAVES

Vector energético, Perdurabilidad, Triangulo de Sábato, Clúster Hidrogeno, Análisis Grafico de Integración Triangular.

ABSTRACT

The increase of human activities in the last century and the development of technologies linked to the oil, have generated adverse environmental effects that joined with the limited world oil reserves and its close relation to the economic growth have resulted in economic, political and social pressures in all the countries. This situation has boosted the research and development of new technologies based on hydrogen as a new energy vector technologically compatible allowing portability of energy with less environmental and economic impact in light of the prospective energy consumption and durability.

This work identifies the most relevant use of the hydrogen technology worldwide, in order to consolidate a strategic plan for the incorporation of hydrogen as an energy vector to Colombian production portfolio by applying a model that permits analysis of the level of integration of the education, business and government, based on the results of structural analysis and stakeholder analysis.

KEY WORDS

Energy vector, Perdurability, Sabato Triangle, Hydrogen Cluster, Triangular Analysis for Integration

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la humanidad ha experimentado un desarrollo industrial sin precedentes, cuyas invenciones han influido en la percepción general de los contextos ambientales, sociales, políticos y económicos.

Los acontecimientos medio ambientales evidencian la ruptura del antiguo equilibrio dinámico en el que se ha desarrollado la vida sobre el planeta, que establece teorías que involucran y cuestionan la utilización energética como parte importante de todo el tejido económico y productivo de las naciones.

El uso de energía proveniente de fuentes no renovables en la producción y en la movilidad ha causado un cambio del sistema climático, producto de la acumulación de gases que disminuyen la pérdida de temperatura de la atmósfera y del suelo, generando un represamiento de calor que origina los deshielos en los polos causando aumentos en el nivel de las aguas; en áreas marinas este incremento genera choques de temperatura con súbitos cambios de presión que incrementan las tormentas mar adentro, terminando por generar huracanes. También ha generado alteraciones en la duración de estaciones, variaciones en la cantidad de precipitaciones y cambios en las temperaturas máximas y mínimas históricas.

El panorama de cambio de las condiciones medioambientales tiene una alta incidencia en la economía mundial, al demandar recursos para la ayuda a damnificados por el incremento de catástrofes naturales, por el costo social de las pérdidas humanas por enfermedades derivadas de la contaminación y también por la afectación de infraestructura productiva, comercial y energética.

En 2005 el huracán Katrina afectó las estructuras petroleras, gasíferas y de reserva más importantes de Estados Unidos y condujo a una situación difícil de desabastecimiento, haciendo previsible el incremento en los precios con todos sus

efectos en sobrecostos al sistema productivo y en el deterioro de la calidad de vida de la población más vulnerable por cuenta de la inflación causada por el encarecimiento de la producción, como consecuencia del incremento del precio del petróleo.

A este panorama económico-ambiental, se le debe agregar la incidencia de presiones políticas de los países que poseen territorios donde se hallan yacimientos importantes de crudo, que por características sociológicas y económicas procuran obtener el mayor rendimiento a fin de financiar en algunos casos orientaciones políticas o dogmatismos religiosos, que incrementan la inercia alcista de los precios afectando la productividad y estabilidad mundial.

Dentro de este contexto político, económico y ambiental se desenvuelven todos los países en la actualidad y de estos, quienes cuentan con recursos suficientes y están motivados por las razones anteriormente mencionadas promueven la investigación en nuevas tecnologías energéticas, que los alejen de esa dependencia energética, costosa y ambientalmente insostenible de la economía del petróleo. La transición hacia una nueva tecnología no es fácil como se muestra en la Figura 1, según (Belt, 2011) la generación de energía a partir de combustibles fósiles, carbón y gas natural ocupan el 82% de la producción energética actual a nivel mundial, mientras que solo el 14% lo proveen las fuentes de energía renovables como la biomasa, energía solar, eólica, hidroeléctrica y otras fuentes de energía.

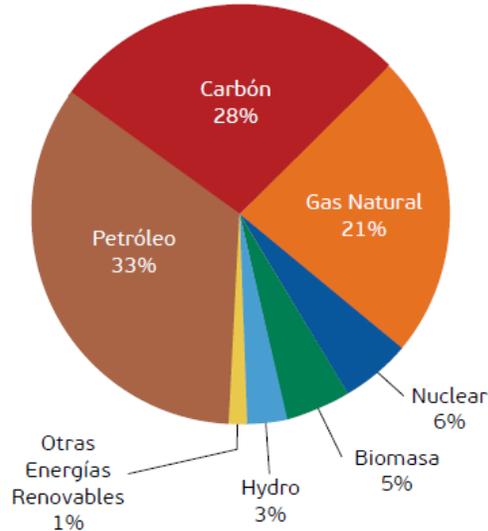


Figura 1. Distribución de recursos energéticos a nivel mundial.

Fuente: BELT. Christian. Fomento de las energías renovables y la eficiencia energética. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Asunción. 2011.

Para el desarrollo de alternativas energéticas sostenibles se identifican dos barreras importantes, una de ellas es la incertidumbre en los tiempos de los avances técnicos entre tecnologías estratégicamente acoplables y compatibles dentro de un plan de producción, almacenamiento y distribución limpios.⁹ La segunda barrera está relacionada con la destinación de recursos para investigación e implementación, en un sistema donde las empresas están interesadas en innovar y ofrecer productos diferenciadores que les permitan competir, pero no cuentan con el suficiente músculo financiero como para cubrir todas las necesidades de la tecnología.

Por otro lado, cada Gobierno se debate entre coyunturas económicas, necesidades sociales y requerimientos de infraestructura productiva, por lo que sus libertades de apoyo a ideas se ven políticamente acotadas por los intereses de sus mismos gobernantes y las presiones de grupos económicos, políticos y sociales.

⁹ Mientras una tecnología avanza con pasos más frecuentes, otras se rezagan o demoran más en producir resultados considerados como avances.

Es por ello que las innovaciones tecnológicas entrañan más allá de una inversión social, una responsabilidad colectiva, ya que las sociedades deben dedicar tiempo a pensar y planificar su futuro productivo y decidir estratégicamente sus inversiones, contemplando, el idear mecanismos que le permitan financiar el ingreso de nuevos conocimientos y avanzar en la diversificación de su portafolio de productos nacionales.

La tecnología del hidrógeno está dentro de las ideas ambientalmente sostenibles para el tema de la movilidad y se ha constituido en una apuesta de muchas naciones alrededor del mundo; la implementación del hidrógeno traería consigo una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y también en la producción de calor en los procesos de creación de energía, puesto que en términos de eficiencia, “el hidrógeno tiene el más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier otro combustible” (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008), lo que significa que se reduce la emisión de calor total en los procesos de combustión y se aumenta la producción de energía por unidad de masa. En el proceso de liberación de energía a partir de hidrógeno en un Motor Alternativo de Combustión Interna (MACI) el único producto generado es vapor de agua y los óxidos de nitrógeno ya presentes en los motores que utilizan hidrocarburos, lo que le da a esta forma de producción una notable ventaja al evitar emisiones de dióxido de carbono y la posibilidad de obtener un vector energético inagotable por ser el elemento más abundante del universo.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática ambiental que ha desatado el incremento de las actividades humanas en los últimos cien años ha elevado los requerimientos energéticos, comprometiendo grandes cantidades de recursos naturales, generando presiones políticas y económicas sobre las naciones al provocar un desequilibrio de poder que redundan en importantes cuestionamientos sobre el futuro de la humanidad al finalizar la era del petróleo, el vector energético actual.

En este sentido existen propuestas a nivel internacional que promueven alternativas de investigación para reducir la dependencia de las fuentes convencionales entorno a un cambio en la forma como se produce y consume la energía, con menores impactos ambientales.

Para que estas propuestas se hagan realidad, se requiere el desarrollo de un nuevo vector energético, el hidrógeno, que se postula como la alternativa sostenible de portabilidad energética en un químico, que requiere importantes compromisos por parte de los actores relevantes involucrados por sus intereses o compromisos en garantizar la permanencia de un flujo de energía perdurable.

Colombia se ha posicionado en América Latina como un productor importante de energía eléctrica y se está consolidando en una posición relevante en la explotación minera, gasífera y petrolera, producto de los beneficios económicos que brindan los precios internacionales de cotización de cada producto, las mejoras en los temas de seguridad en las zonas de explotación y las inversiones a largo plazo consolidadas a la fecha, como son oleoductos, troncales energéticas transnacionales y minas mecanizadas.

La solidez financiera del sector energético colombiano representa un potencial de bienestar nacional y de crecimiento económico, que requiere protección y

dirección a través de estudios prospectivos del futuro del sector y sus relaciones con los cambios complejos que se dan a nivel internacional.

El Estado Colombiano debe ser el actor principal, anudando esfuerzos en el análisis de alternativas que le permitan a las industrias colombianas ingresar en tendencias tecnológicas estratégicas para garantizar su perdurabilidad y el desarrollo de nuevos mercados que redunden en oportunidades de reducción de los indicadores de desocupación de la población e incremento del nivel de desarrollo humano en Colombia, a través de la definición de estrategias de fomento gradual, viable y sostenible de estas tecnologías en desarrollo, consolidando la infraestructura necesaria para tomar parte de la Tercera Revolución Industrial que se avecina.

2.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Proponer un plan estratégico para la implementación del hidrógeno como vector energético alternativo en Colombia y determinar las condiciones para su ejecución en el país basados en el Análisis Complejo de la identificación de variables relevantes y actores relacionados con el sector energético.

Objetivos Específicos

- Describir las experiencias mundiales de mayor trascendencia relacionadas con hidrógeno como vector energético, segmentados en los ejes estratégicos: Educación e Investigación, desarrollo de proyectos y alcance Político y Legislativo de la Iniciativa.
- Determinar las variables relevantes y factores críticos que caracterizan la dinámica global del sistema.
- Describir el perfil de los actores, que estarían llamados a participar en la incorporación de esta tecnología en el país, haciendo énfasis en sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.
- Contrastar las experiencias mundiales con el análisis situacional que permita aterrizar la incorporación de la tecnología del hidrógeno al contexto colombiano.
- Estructurar un Plan Estratégico para el sector energético que incluya el Hidrógeno como vector energético.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO Y PILAS DE COMBUSTIBLE

La electricidad es la forma secundaria de energía más limpia que ha descubierto el ser humano, pero presenta importantes dificultades para su almacenamiento ya que requiere de la construcción de grandes obras de infraestructura, como es el caso de las hidroeléctricas en donde se almacena energía eléctrica potencial; o el uso de sustancias de difícil manejo o desecho, como es el caso de la energía nuclear o el almacenamiento en baterías de relativa poca capacidad y de composición medioambientalmente insostenible.

El fluido eléctrico que se consume a diario en las ciudades y poblaciones no es almacenable y debe ser estimado de acuerdo a estudios estadísticos que tienen en cuenta proyecciones de explosión demográfica, cambio en estilos de vida, el clima y la estacionalidad del consumo típica de algunas épocas del año. Adicional a esto se tiene en cuenta una pérdida energética por la diferencia entre el consumo y las proyecciones de producción y de este análisis se abstrae que el aspecto más relevante del problema energético mundial no radica solamente en la forma de aprovechar los recursos naturales renovables procurando un mínimo impacto en el entorno, sino también implica la comprensión del equilibrio dinámico que tiene momentos de abundancia y otros de escases, que requieren la implementación de tecnologías que permitan suavizar estos choques en generación y consumo, vía almacenamiento de energía.

Esta necesidad de disponibilidad permanente de electricidad lleva a evaluar las formas de almacenamiento de energía para uso posterior o específico y es ahí donde el petróleo encaja, por su facilidad de reserva y disponibilidad, brindando a quienes requieren energía en momentos de un apagón; o en lugares no interconectados o móviles, como las poblaciones alejadas o los vehículos, la

posibilidad de acceder a un producto que al ser combustionado en una planta de generación eléctrica o vaciado en el tanque de un vehículo brinda la autonomía requerida; de donde radica el poder económico del petróleo. Es esta dependencia social la que ha llevado a establecer al petróleo y sus derivados como el vector energético y económico de la actualidad, ¿Qué pasará cuando el petróleo se acabe?

Si bien el aporte del petróleo a otras industrias diferentes como el sector farmacéutico, textil, plásticos y agricultura es importante, la relación con la movilidad y la contingencia energética es el aspecto de mayor impacto sobre la economía global y por esto la importancia de la búsqueda de un vector energético alternativo toma fuerza y se convierte en prioridad de las potencias económicas mundiales.

Cuando se habla de energías alternativas por lo general se hace referencia a los alcoholes carburantes; los gases provenientes de la biomasa; la energía solar que se aprovecha a través de celdas fotovoltaicas o como fuente de calor para la evaporación de agua para la generación de energía eléctrica a través de turbinas; la energía eólica que aprovecha los vientos para movilizar grandes aspas sujetas a generadores de energía eléctrica; y en algunas casos se incluyen las hidroeléctricas, que almacenan energía potencial al represar grandes masas de agua que son liberadas acorde con las proyecciones de consumo de energía eléctrica para impulsar generadores y así convertirla en electricidad.

El hidrógeno es una de las tecnologías que se postula con firmeza en el campo del almacenamiento energético, no como una competencia para las fuentes de energía alterna, sino más bien como un portador energético como el petróleo, ya que posibilita el almacenamiento de energía eléctrica para ser utilizado en equipos con destinación específica, de manera independiente de la fuente energética, con una autonomía reducida pero aceptable, generando como único desperdicio agua

pura y vapor, lo que resalta su costo ambiental nulo siempre y cuando la fuente y cadena de generación energía empleada para la producción del hidrógeno pueda ser catalogada como limpia.

Entendiendo al hidrógeno como una sustancia medioambientalmente sostenible para el almacenamiento de energía eléctrica, a continuación se expone las opciones de producción, almacenamiento y aplicaciones de hidrógeno existentes.

3.1.1. Producción de Hidrógeno

El hidrógeno se define en este contexto como un portador de energía química y para producirlo se debe partir de otras fuentes, como la energía eléctrica, gases de fermentación de biomasa o residuos y combustibles fósiles. El hidrógeno se puede obtener a partir de energía eléctrica convencional, mediante un proceso llamado electrolisis como se muestra en la Figura 2, en el cual se fraccionan las moléculas de agua mediante la aplicación de corriente eléctrica.

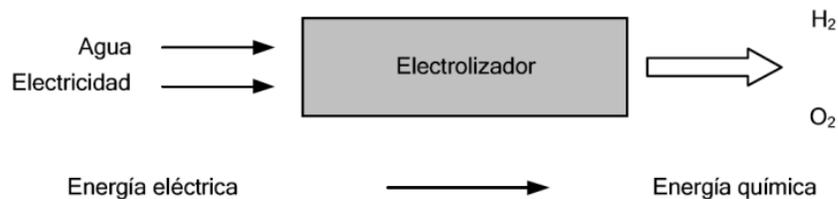


Figura 2. Proceso de Electrolisis

Fuente: Aplicaciones – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero. Unidad 2 Pág. 23.

En la Figura 3 se clasifican los métodos de producción de hidrogeno en tres procesos globales de los cuales solo dos de ellos convergen hacia la producción de energía eléctrica-electrolisis.

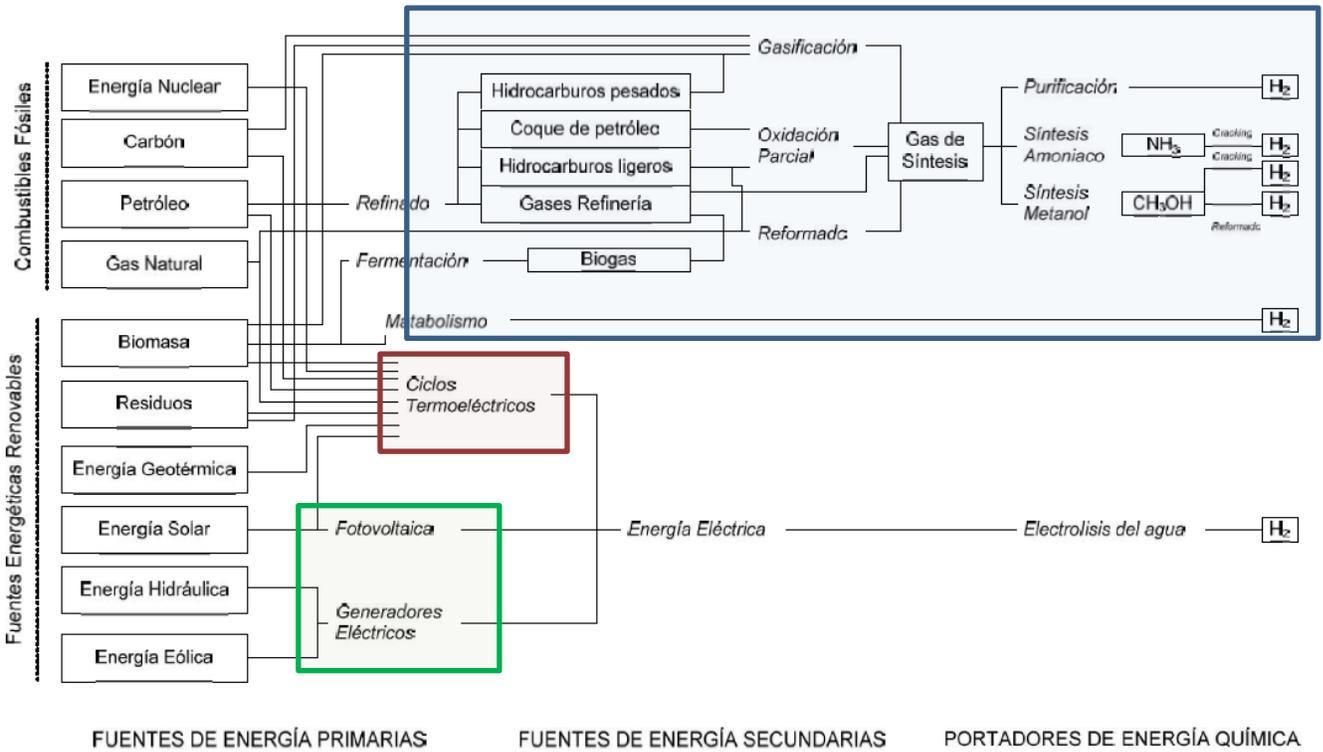


Figura 3. Fuentes de obtención de Hidrógeno.

Fuente Aplicaciones – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

El primero de los segmentos agrupa los métodos de producción de hidrogeno mediante procesos de descomposición química de otros productos y está encerrado en la Figura 3 con el recuadro azul. El segundo de los segmentos corresponde a los procesos relacionados con la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del calor potencial de materiales combustionables en ciclos termoeléctricos que aprovechan la energía calórica resultante con la ayuda de generadores eléctricos y está relacionado con las líneas que tocan el recuadro de color vinotinto. El tercer grupo corresponde a métodos de producción de hidrogeno relacionados con generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía como la luz solar o los movimientos de masa aprovechables como lo son el viento y el agua, este último grupo está identificado en la Figura 3 con el recuadro de color verde.

El nodo Gas de Síntesis representa el punto de convergencia de sustancias con contenido de hidrógeno y que son susceptibles de ser alteradas químicamente para obtener hidrógeno como energía química, siempre con subproductos no deseados como CO₂ y otros óxidos de nitrógeno, según (Martínez de la Cruz, 2010), las 6 formas de producción de hidrógeno que lideran la producción son:

- Reformación de gas natural
- Descomposición catalítica de gas natural
- Oxidación parcial de aceites pesados
- Gasificación de carbón
- Electrolisis de agua
- Generación eléctrica nuclear

Por otro lado los ciclos termoeléctricos funcionan con el uso de una fuente de calor que calienta una sustancia normalmente agua y la lleva al punto de ebullición produciendo vapor, el cual pasa a altas presiones por unos conductos hasta llegar a una turbina conectada a un generador eléctrico, el cual completa el ciclo convirtiendo la energía térmica en eléctrica, para el posterior procesamiento de agua mediante electrolisis para producir hidrógeno y oxígeno.

En la Tabla 1, se muestra el estado actual del desarrollo de la tecnología con respecto a los diferentes tipos de producción de hidrógeno.

Tabla 1: Estado actual de las tecnologías para la producción de hidrógeno

Fuente: *La era del hidrogeno. En los albores de una revolución energética.* Martínez de la Cruz, A. (2010).

Tecnología	Estado de desarrollo de la tecnología
Reformación de gas natural	Madura
Descomposición catalítica gas natural	Madura
Oxidación parcial de aceites pesados	Madura
Gasificación de carbón	Madura
Electrolisis de agua	Madura
Generación eléctrica nuclear	Madura
Ciclos termoquímicos	Etapa investigación y desarrollo

Procesos fotoquímicos	Inicios investigación y desarrollo
Procesos foto electroquímicos	Inicios investigación y desarrollo
Procesos fotobiológicos	Inicios investigación y desarrollo

Actualmente las dos tecnologías punta en costos son la reformación de gas natural, y la gasificación de carbón como se muestra en la Tabla 2, cuyos valores son de 7-11 y 8-11 \$ USD/GJ respectivamente (Martínez de la Cruz, 2010).

Tabla 2: Costos de la producción de hidrógeno

Fuente: *La era del hidrogeno. En los albores de una revolución energética.* Martínez de la Cruz, A. (2010).

Tecnología	Costo USD/GJ
Reformación de gas natural	7-11
Gasificación de carbón	8-11
Hidrógeno electrolítico	14
Nuclear	15-20
Hidrógeno electrolítico (eólico)	17-30
Hidrógeno electrolítico (Solar)	27-50

3.1.1.1. Comparación de métodos de producción de Hidrogeno

En la Tabla 3, se presenta las ventajas y desventajas de los métodos de producción de hidrogeno respecto a su fuente de energía.

Tabla 3: Comparación de métodos de producción de Hidrogeno

Fuente: Elaboración Propia

Fuente Energética	Método de Producción	Ventajas	Desventajas
Aprovechamientos de Energía Hidráulica	Electrolisis	Fuentes renovables de energía Disponibilidad de las fuentes en casi todo el planeta No hay emisión de gases efecto invernadero en el proceso de generación de energía eléctrica	Alto costo de instalación de la infraestructura para el aprovechamiento las corrientes marinas y el oleaje costero

Aprovechamientos de Energía Eólica		Fuentes renovables de energía No hay emisión de gases efecto invernadero en el proceso de generación de energía eléctrica	Alto costo de instalación de la infraestructura para producción centralizada Estacionalidad del flujo de aire afecta la generación energética en ciertas épocas del año.
Energía Solar	Paneles de Generación Eléctrica Fotovoltaica	No hay emisiones de gases de efecto invernadero Posibilita la generación descentralizada de energía eléctrica	Bajo rendimiento marginal de la inversión en comparación con otros métodos de generación eléctrica centralizados La radiación solar debe ser alta y permanente en la zona donde se implemente esta tecnología Altos requerimientos de superficie para la instalación de los paneles.
	Ciclos Termoeléctricos – Electrolisis	Baja generación de gases de efecto invernadero	La radiación solar debe ser alta y permanente en la zona donde se implemente esta tecnología Alto costo de inversión en infraestructura Altos requerimientos de superficie para la instalación de los paneles.
Energía Geotérmica		Aprovechamiento de energías renovables No hay costo energético para la generación del calor	Baja generación de vapor de gases efecto invernadero Costo infraestructura de aprovechamiento Pocas zonas a nivel mundial permiten el aprovechamiento efectivo de esta fuente renovable de energía

Nuclear		Bajo costo marginal de producción de energía eléctrica	Alto costo de montaje de la planta y riesgo de contaminación radioactiva. Se produce vapor de agua en grandes cantidades, contribuyendo al efecto invernadero
Biomasa y Residuos	Descomposición Química	Alternativa de aprovechamiento de los residuos solidos	Generación de gases de efecto invernadero y riesgo de nube toxica si fallan los filtros requeridos
Gasificación de Carbón		Relativa abundancia del insumo	Alto nivel de contaminación ambiental por la liberación de gases efecto invernadero
Reformado de Gas natural		Relativa abundancia del insumo	Alto requerimiento de energía para el procesamiento del insumo
Descomposición de subproductos del Petróleo		Relativa abundancia del insumo	Tendencia alcista del precio del insumo como consecuencia del incremento en la demanda energética mundial

3.1.2. Almacenamiento de Hidrógeno

La molécula de hidrógeno está formada por dos átomos y se considera como el más ligero y de menor tamaño, en condiciones normales (1 atmosfera de presión y 0°C) en un volumen de 1m³ tan solo tenemos 90 gramos de hidrógeno.

Teniendo en cuenta lo anterior y como se aprecia en la Figura 4, el principal problemas del hidrógeno es su bajo poder calorífico por unidad de volumen, pero el poder calorífico por unidad de masa es muy elevado (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

1 kg hidrógeno	2,40 kg metano	2,59 kg propano	2,78 kg gasolina	2,80 kg diesel	6,09 kg metanol
-------------------	-------------------	--------------------	---------------------	-------------------	--------------------

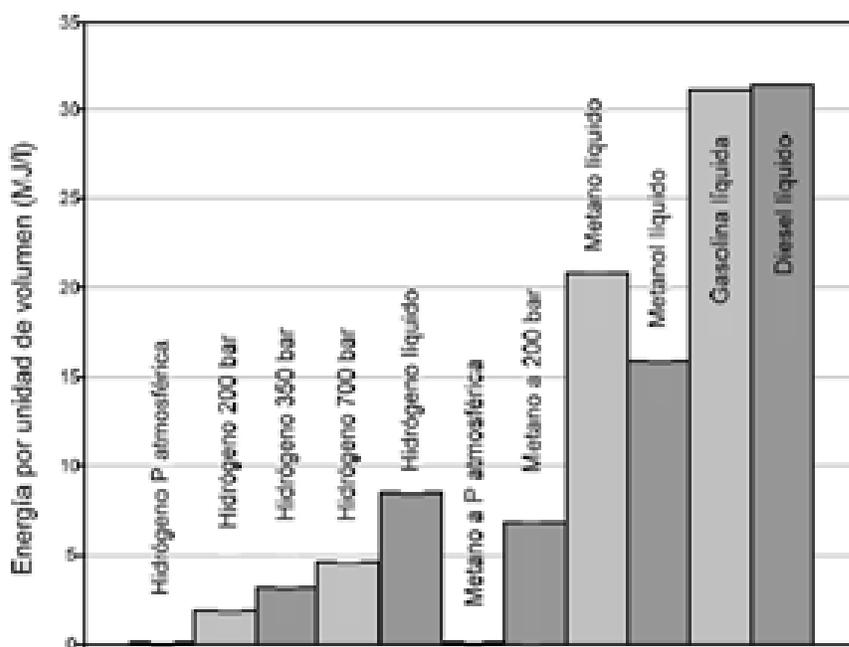


Figura 4. Energía por unidad de Volumen de distintos combustibles.

Fuente: Almacenamiento y distribución de hidrógeno – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

3.1.2.1. Almacenamiento de hidrógeno gas a alta presión

Para este tipo de almacenamiento se utilizan tanques metálicos puros, metálicos con polímeros de alta densidad con embobinados de fibra de carbono y metálicos con embobinados en fibra de carbono.

“La mayoría de los cilindros metálicos [...] son de acero inoxidable austenítico y aleaciones de cobre o aluminio, las cuales son inmunes a los efectos del hidrógeno a temperatura ambiente” (Fundación San Valero). Hay dos nuevas tendencias en el almacenamiento de gases, la primera es el desarrollo de criocomprimidos que consiste en incrementar la capacidad de almacenamiento disminuyendo la temperatura del tanque pero manteniendo la presión y el volumen constantes, pero es necesario incluir un sistema de refrigeración del recipiente. La

segunda tendencia consiste en el desarrollo de tanques adaptables, con paredes de soporte estructurales que permitan almacenar gases a presiones más altas en relación a los tanques convencionales. (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

3.1.2.2. Almacenamiento de hidrógeno líquido criogénico

En esta forma de almacenamiento el hidrógeno se enfría a -253°C como se muestra en la Figura 5 y se almacena en un recipiente de tres capas. La primera de ellas es el depósito interior, el cual debe ser resistente al efecto de fragilización del hidrógeno, impermeable al hidrógeno y resistente a las temperaturas de operación. La segunda capa es un sistema de aislamiento intermedio que puede ser de dos tipos, una chapeta de aislamiento a presión de vacío consistente en capas de Mylar, aluminio u otro compuesto con una baja emisividad y alta reflectividad, separadas por capas de fibras de vidrio. Teniendo baja presión se consigue disminuir la convección entre las capas, así mediante las capas de aluminio se reduce la radiación y el vidrio reduce la conducción del calor; El segundo tipo es mediante un aislamiento rígido de espumas (foam). Presenta menos problemas de seguridad, sin embargo la conductividad térmica es mayor. (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

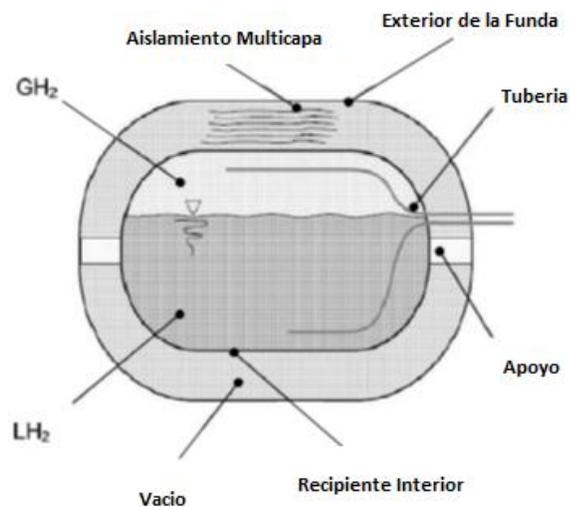


Figura 5. Tanque de hidrógeno líquido.

Fuente: Almacenamiento y distribución de hidrógeno – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

Esta tecnología presenta en la actualidad tres problemas principales “siguientes:

- Efecto “boil-off”: pérdida de hidrógeno por evaporación. Debido a las temperaturas a las que se trabaja se producen pérdidas energéticas, que se traducen en una progresiva evaporación del hidrógeno que está almacenado. Este hidrógeno se va acumulando en el interior del depósito pero debe ser venteado para evitar sobrepresiones. Este efecto debe ser minimizado estando en la actualidad en torno al 3-5% de hidrógeno evaporado al día, pero debe disminuirse con el fin de conseguir sistemas más eficientes y mejorar las condiciones de seguridad.
- La energía necesaria en el proceso de licuefacción es elevada, necesiándose en torno al 30% de la energía que contiene el hidrógeno, pudiendo llegar a ser este gasto energético mayor en pequeñas plantas de licuefacción ya que son menos eficientes.
- Los materiales con los que se trabaja, asimismo como los sistemas de aislamiento, suponen un gran peso y volumen para el sistema total. Deben ser optimizados para mejorar coste, volumen, peso y aislamiento del exterior.” (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

3.1.2.3. Almacenamiento de Hidrógeno por hidruros metálicos

Se entiende como almacenamiento por hidruros metálicos aquel en el que la molécula de hidrógeno pasa a ser un componente de un sustrato sólido debido a alguno de los siguientes procesos químicos como se observa en la Figura 6:

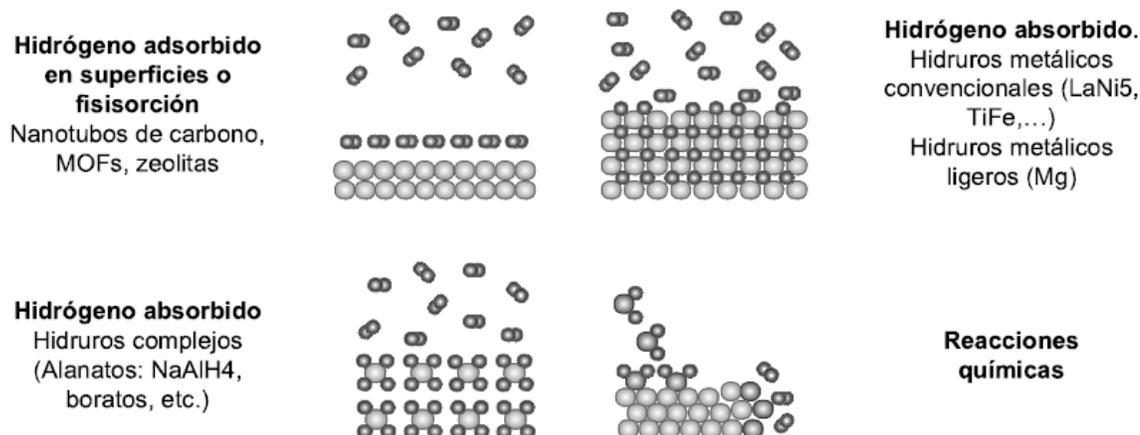


Figura 6. Almacenamiento en sólido por distintos procesos.

Fuente: Almacenamiento y distribución de hidrógeno – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

3.1.2.3.1. Fisisorción o adsorción

La adsorción es el resultado de la atracción entre las moléculas de la superficie de un sólido que será el elemento absorbente y las moléculas de un líquido, elemento absorbato.

La capacidad de almacenamiento es proporcional a la superficie específica del material adsorbente, ya que el hidrógeno se fijara en toda la superficie de las endiduras, entre los materiales más utilizados se encuentran los nanotubos de carbono, aerogeles, o nanofibras, estructuras órgano metálicas y otros en etapa de investigación como son los polímeros conductores y los clatratos. (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

3.1.2.3.2. Absorción en Hidruros Metálicos o Hidruros Complejos

Los átomos de hidrógeno se introducen bajo presión en el material, ubicándose en las hendiduras existentes entre sus moléculas. Para la desorción del hidrógeno es necesario aplicar calor, pero en todos los casos se evidencia un efecto de histéresis, que dificulta el retorno del material absorbente a su estado original, es decir, no libera la totalidad del hidrógeno cargado inicialmente. Son sistemas de

almacenamiento pesados, no aptos para aplicaciones móviles. (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

3.1.2.3.3. Reacción Química

Este tipo de almacenamiento se basa en la liberación de hidrógeno a partir de compuestos químicos. Existen dos tipos de reacciones, la primera es la hidrólisis, que “se caracteriza por tener gran capacidad de almacenar hidrógeno y tener una cinética rápida. En cambio la regeneración del [hidruro] es compleja, y se debe realizar fuera de la aplicación. Los puntos clave de la investigación son la energía necesaria para la regeneración, el coste y los ciclos de vida del material.” (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

El segundo tipo de reacciones es la de hidrogenación y des hidrogenación, en la cual un hidrocarburo elaborado en laboratorio se carga con más átomos de hidrógeno para su posterior liberación controlada. Según (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008) no emplean agua y se trabaja en estado líquido.

3.1.2.4. Comparación de métodos de almacenamiento de Hidrogeno

En la Tabla 4, se presenta las ventajas y desventajas de los métodos de almacenamiento de hidrogeno.

Tabla 4: Comparación de métodos de Almacenamiento de Hidrogeno

Fuente: Elaboración Propia

Método de Almacenamiento	Ventajas	Desventajas
Hidrogeno gaseoso a alta presión	Conocimiento técnico en el almacenamiento de otros gases es aplicable a esa tecnología	Para conseguir una mayor eficiencia en el almacenamiento se usan métodos de criocompresión, lo que implica un gasto extra de energía para mantener el gas frio

Hidrogeno liquido crio comprimido		Alta capacidad de almacenamiento	<p>Perdida de hidrogeno como consecuencia de la evaporación progresiva del hidrogeno que está almacenado, que resulta entre un 3% y un 5% al día.</p> <p>La licuefacción requiere aproximadamente el 30% de la energía contenida en el hidrogeno.</p> <p>Los materiales del recipiente y aislamientos, suponen gran peso y volumen, afectando el costo peso y volumen de todo el sistema en conjunto.</p>
Hidruros metálicos	Fisorción o adsorción	Es catalogado como un método de peso intermedio, su capacidad de almacenamiento depende de la superficie específica del elemento absorbente	La velocidad de absorción y liberación del hidrogeno puede ser diferente a la requerida por el usuario y las necesidades de hidrogeno de la pila de combustible, respectivamente.
	Absorción en Hidruros Metálicos o Hidruros Complejos	La introducción del hidrogeno en el elemento absorbente se hace con el uso de presión y la desorción con el uso de calor.	La histéresis deteriora progresivamente la recuperación del hidrogeno almacenado dentro del material absorbente.
Reacción química	Hidrolisis	Gran capacidad de almacenamiento y cinética rápida	Regeneración del hidruro es compleja y debe realizarse fuera de la aplicación.
	Hidrogenación y deshidrogenación de hidrocarburos	Conocimiento técnico en el manejo de hidrocarburos es aplicable a esa tecnología El proceso se da en estado líquido y no utiliza agua	La hidrogenación debe realizarse en una planta especializada

3.1.3. Aplicación de la Tecnología – Motores de Combustión Interna y Pilas de Combustible

Se encuentran dos tipos de tecnologías que permiten obtener la energía contenida en el hidrógeno, una de estas opciones es la combustión en Motores Alternativos de Combustión Interna (MACI), que operan de manera similar a los motores de combustión de hidrocarburos empleados en vehículos de calle, generando energía mecánica para mover el vehículo a partir de la combustión del hidrógeno, liberando como subproducto agua y óxidos de nitrógeno. En la Figura 7 se muestra el motor a combustión rotativo tipo Wankel, el cual ha sido utilizado por la empresa Mazda para la producción del prototipo RX-8 RE, el cual utiliza gas hidrógeno y en caso de que se acabe la reserva, pasa a utilizar gasolina automáticamente.

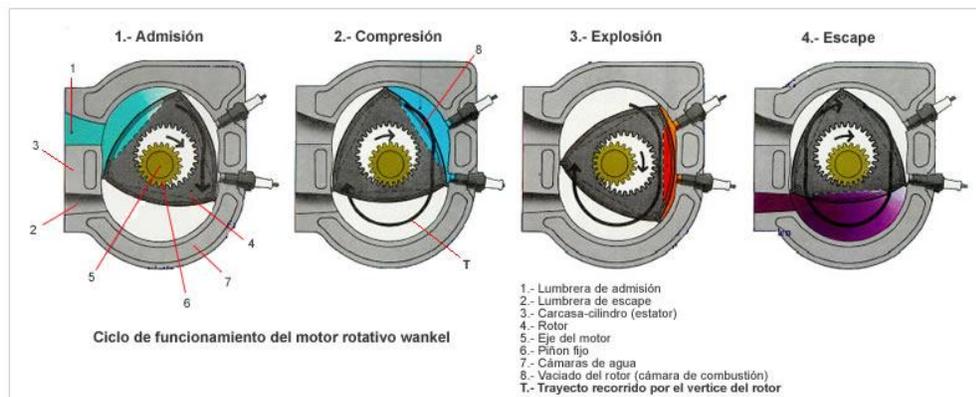


Figura 7. Ciclo de funcionamiento del motor Rotativo Wankel.

Fuente: <http://www.urbantuning.com/attachments/papelera-de-reciclaje/6584d1254788858-q-motor-te-gustas-mas-wankel-funcion.jpg>

También es posible hacer adaptaciones al motor a combustión de pistones presente en la mayoría de los vehículos de calle en la actualidad, pero debe tenerse en cuenta una serie de problemas asociados al volumen del hidrógeno, el cual reduce la cantidad de oxígeno presente en la cámara de combustión. Para

ello hay dos propuestas, la primera ingresar el hidrógeno líquido a la cámara de combustión o ingresar el gas hidrógeno a presión posterior al ingreso del aire. (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008)

La otra opción de aprovechamiento del potencial energético del hidrógeno es mediante la utilización de un dispositivo electroquímico denominado pila de combustible, la cual convierte la energía química de una sustancia en energía eléctrica en presencia de un oxidante (aire u oxígeno).

Las pilas de combustible están compuestas de celdas de combustible, la cual consta de dos electrodos positivo o cátodo, y negativo o ánodo como se observa en la Figura 8, separados por un electrolito, que es un medio dieléctrico que permite pasar ciertos iones” (Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A, 2008).

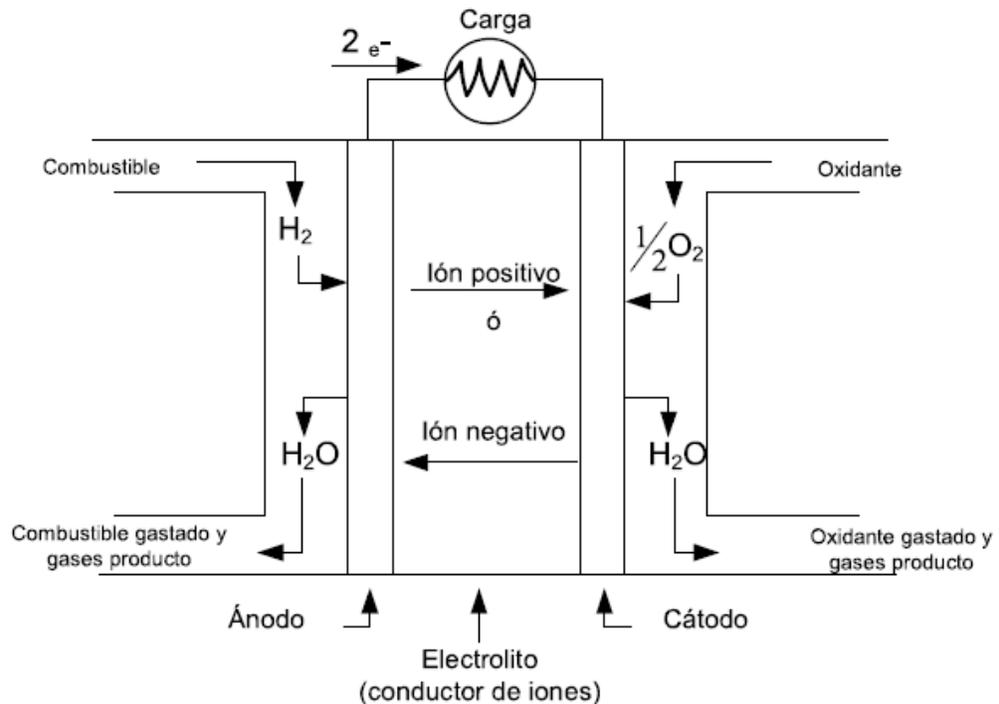


Figura 8. Esquema de una celda de combustible Individual.
Fuente: Aplicaciones – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible – Fundación San Valero

Según la Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS (2008) las ventajas y desventajas de las pilas de combustible:

- Se encuentran Alta eficiencia en comparación con las maquinas térmicas, ya que transforma directamente la energía química en eléctrica, sin trabajo mecánico.
- Hay que resaltar que al no tener partes móviles, su funcionamiento es silencioso y su necesidad de mantenimiento disminuye.
- La posibilidad de funcionamiento continuo a diferencia de los acumuladores electroquímicos (baterías), ya que no requiere recargas sino el flujo constante de combustible, el aire u oxígeno a presión y un sistema de disipación del calor generado por las reacciones químicas.
- Las pilas de combustible al estar compuestas por unidades llamadas celdas de combustible, pueden ser apiladas con el fin de incrementar el voltaje de la pila total según necesidad energética de la aplicación.
- Las pilas de combustible que operan a bajas temperaturas, tiene una reacción rápida a la demanda de energía eléctrica, reaccionando en rangos de décimas de segundo, un poco más lento que los acumuladores electroquímicos. Existen algunas pilas de combustible que requieren calor para operar, y solo pueden arrancar de cero con procesos muy lentos.
- Las emisiones de las pilas de combustible, dependen directamente del combustible que se utilice para la reacción, pero no se producirán óxidos de nitrógeno, al no utilizar ningún lubricante adicional. Si se emplea como combustible el hidrógeno el subproducto obtenido será agua destilada, mientras que si se emplea algún hidrocarburo (metanol, gas natural, GLP, diesel) la reacción dentro de la pila de combustible generará CO₂, que acabará emitiéndose a la atmosfera.
- Hay variedad de materiales para la composición de los electrolitos de las celdas de combustible, lo cual implica que la calidad del hidrógeno empleado sea más o menos exigente, encareciendo el pre tratamiento del combustible.

- La vida útil de las pilas de combustible ha alcanzado un nivel apto para aplicación de turismo – 4.000 horas de funcionamiento continuo, pero el máximo conseguido de 10.000 aun no es suficiente para aplicaciones estacionarias o transporte de mercancías.
- El costo de una pila de combustible aún es muy alto si se compara con otros dispositivos de almacenamiento electroquímico, pero al incluir en el costo del sistema completo utilizando baterías, un respaldo energético con hidrógeno es más económico al disminuir los requerimientos en personal y el deterioro de las baterías.

3.1.4. Visión del Hidrógeno como Vector Energético

Según (Rifkin, 2003) cuando se analiza el rol del petróleo en la sociedad actual, encontramos que el mayor efecto que este tiene sobre la economía mundial, está asociado a su potencial energético asociado a la movilidad, transmitiéndose al resto de la economía a través de la variable de costo de transporte de las cuentas de producción y mercadeo de subproductos derivados.

Es así como se identifica el petróleo como un vector energético siendo la razón para que propuestas alternativas de inversión se queden cortas ante la movilidad, flexibilidad, rapidez y disponibilidad del petróleo, sin tener en cuenta los efectos adversos sobre el medio ambiente o las proyecciones de agotamiento de las reservas mundiales de crudo en el 2037 (Rifkin, 2003).

El petróleo, el gas y el carbón (en general todos los combustibles fósiles), que son extraídos de la tierra, pueden considerarse vectores que fueron previamente "recargados", mientras que las baterías, hidrógeno, y otros vectores, contienen energía de fuentes actuales.

La búsqueda de un vector energético alternativo busca obtener un elemento de reserva energética con prestaciones similares o superiores a las ofrecidas por los combustibles derivados del petróleo y que sus efectos adversos medioambientales sean mucho menores. El hidrógeno cuenta con las características para convertirse en un vector energético, al posibilitar el almacenamiento de energía eléctrica y cerrar todo el ciclo producción y consumo en torno a una tecnología energética limpia.

En el libro *La Economía del Hidrógeno* de Jeremy Rifkin¹⁰, se analizan las grandes revoluciones industriales y el autor identifica su ocurrencia en momentos en que las telecomunicaciones y las fuentes energéticas evolucionan, convergiendo y generando un cambio de paradigma, al respecto, expone el salto en competitividad que represento para Estados Unidos la convergencia del desarrollo del telégrafo y la maquina a vapor, consiguiéndose el desarrollo del ferrocarril a carbón, aspecto en el que el telégrafo jugo un papel muy importante al ser el medio para coordinar las operaciones a grandes distancias.

De igual manera con el paso del carbón al petróleo y del telégrafo al teléfono, brindado mayor agilidad, autonomía, practicidad, mayor densidad y complejidad del lenguaje utilizado con el teléfono y mayor complejidad de las maquinas que aprovechaban el petróleo como nuevo combustible. (Rifkin, 2003)

En la actualidad, el hidrógeno y las pilas de combustible están comenzando a fusionarse con la última revolución en la computación y las telecomunicaciones, la internet, el cual ha llevado a la humanidad a un nuevo estado de comprensión de la acción colectiva.

¹⁰ Asesor en temas ambientales del Vicepresidente Albert Arnold Gore, en el Gobierno Clinton (1993-2001)

La internet ha cambiado muchos paradigmas del ser humano, ha incrementado el potencial de cada individuo de publicar y obtener contenido abierto en una sociedad acostumbrada al costo de la información y a la lentitud de la difusión de ideas. También ha cambiado el concepto de relacionamiento entre personas, pues con el internet se ha posibilitado la conexión de audio y video en tiempo real de personas que se encuentran distanciadas a precios de conexión menores que los de la telefonía, su tecnología predecesora.

Este cambio en la percepción de la conexión y la capacidad de participar activamente en las tomas de decisiones y opiniones frente a temas de interés, ha cambiado la postura sociológica del ser humano, pasando de ser un ser pasivo a un ser con capacidad y responsabilidad de la difusión y participación, que ha influido en otros aspectos de la vida cotidiana, como el entretenimiento, el trabajo, la participación política y la educación, entre otros.

Según (Rifkin, 2003), estamos a puertas de la Tercera Revolución Industrial, en la cual el internet y por el otro lado el hidrógeno que está emergiendo como vector energético impulsado por la escases del petróleo, los problemas medio ambientales y la necesidad de hacer contrapeso a la politización de la comercialización del crudo.

Esta revolución produciría un reordenamiento en producción y consumo energético, que llevaría a descentralizar paulatinamente la generación de energía de modo que las unidades residenciales y comerciales puedan procurar la cobertura de la totalidad o parte de sus necesidades energéticas de forma renovable, los excesos o faltantes de suministro eléctrico, serán comercializados a través de red energética pública, generándose un nuevo concepto de interacción energética que se denomina Generación Eléctrica Distribuida

Según (Rifkin, The Hydrogen Economy, 2003), la Generación Eléctrica Distribuida es el siguiente escalón en la integración de la sociedad al problema del desabastecimiento energético y a la democratización de la producción energética, ya que permitiría el establecimiento de centrales de producción de energía almacenada en hidrógeno al interior de las ciudades, apalancadas en inversiones importantes pero asequibles en energías renovables, de modo que provean de combustible a vehículos y edificaciones.

3.2. HERRAMIENTAS DE PROSPECTIVA UTILIZADAS EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Análisis Estructural método MICMAC

Según (Arcade & Godet, 1999) en el método Micmac el sistema estudiado se presenta como un conjunto de elementos interrelacionados (variables/factores), de los cuales la red de interrelaciones define la configuración del sistema comprendida como su estructura, que constituye la clave de la dinámica del sistema.

Según Godet M (1991) el análisis estructural tiene dos objetivos que se complementan: Lograr una representación exhaustiva del sistema que se estudia y reducir la complejidad del sistema a sus variables esenciales.

El método comprende tres etapas:

- Inventario de variables
- Descripción de las relaciones entre variables.
- Identificación de variables relevantes:

Después de la primera etapa de inventario de variables, se completa línea por línea una matriz cuadrada donde se evalúa sistemáticamente la influencia directa

de una variable sobre cada una de las otras variables que constituye la Matriz MDI.

Analizando sistemáticamente los elementos de cada fila, y luego los de cada columna en la MDI, para cada variable se obtienen indicadores de su influencia y dependencia (respectivamente) respecto del sistema en su totalidad,

Según el análisis anterior las variables se pueden clasificar según la posición en el plano Influencia Vs Dependencia, Figura 9.

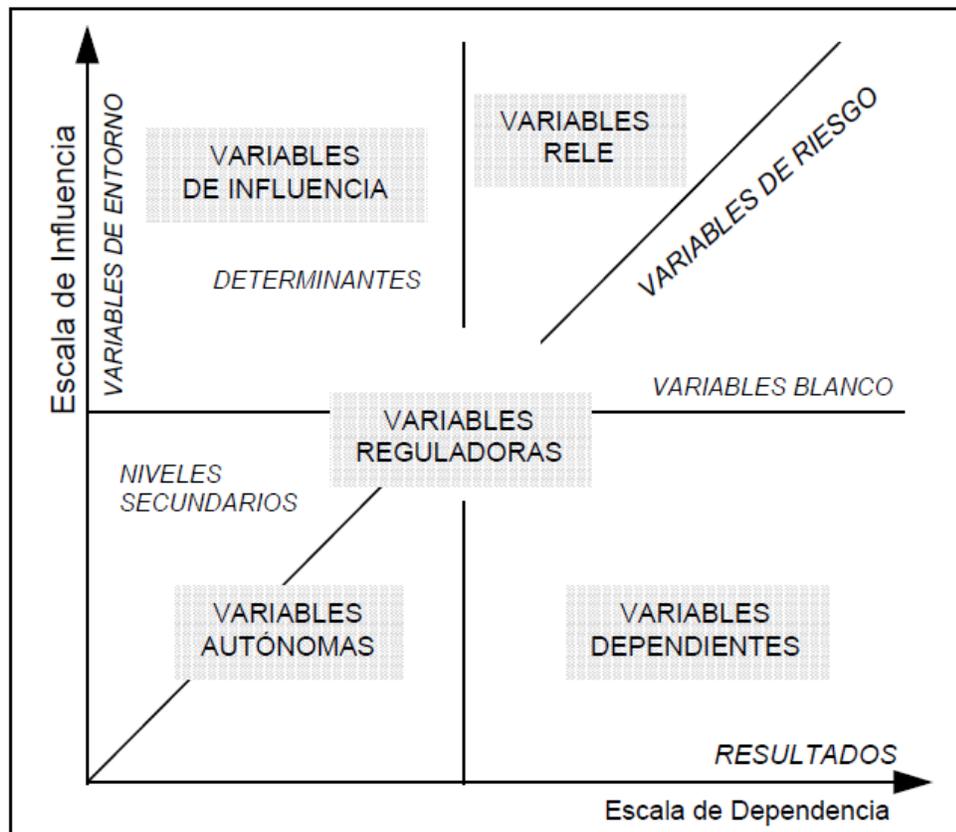


Figura 9. Definición de variables según ubicación en el plano Influencia Vs Dependencia.
Fuente: Análisis Estructural con el Método Micmac y Estrategia de los Actores con el método Mactor. Arcade, J., & Godet, M. (1999).

Las variables de influencia: Son todas muy influyentes y un tanto dependientes. La mayor parte del sistema depende entonces de estas variables, ubicadas en el cuadro superior izquierdo del gráfico de percepción. Estas variables son cruciales ya que pueden actuar sobre el sistema dependiendo de cuánto se puedan controlar como un factor clave de inercia o de movimiento. También se consideran como variables de entrada en el sistema. Entre ellas, existen muchas veces variables del entorno que condicionan fuertemente el sistema, pero en general no pueden ser controladas por éste. (Godet & Durance, 2011)

Variabes de Rele o enlace: Son al mismo tiempo muy influyentes y muy dependientes. Estas variables ubicadas en el cuadro superior derecho del gráfico son, en palabras de (Cano, 2004) variables por naturaleza inestables, puesto que cualquier acción sobre ellas tiene consecuencias sobre las otras variables.

Además, en este grupo de variables conviene realizar una distinción entre: (Arcade & Godet, 1999)

- Las variables de riesgo, situadas más precisamente a lo largo de la diagonal, que tendrán muchas chances de despertar el deseo de actores importantes, ya que, dado su carácter inestable, son un punto de ruptura para el sistema;
- Las variables blanco, ubicadas por debajo de la diagonal más que a lo largo del límite norte-sur, son más dependientes que influyentes. Por lo tanto, se pueden considerar, en cierta medida, como el resultado de la evolución del sistema. Sin embargo, es posible actuar deliberadamente sobre ellas para que evolucionen en la forma deseada. Por consiguiente, estas variables representan posibles objetivos para el sistema en su totalidad, más que consecuencias absolutamente predeterminadas.

Variabes dependientes o variables de Salida, son poco influyentes y muy dependientes. Estas variables ubicadas situadas en el cuadro inferior derecho del

plano (Cano, 2004). Son variables resultado del sistema, indicadores descriptivos de la evolución del sistema

Variables autónomas o excluidas. Que son al mismo tiempo poco influyentes y poco dependientes. Estas variables están ubicadas en el cuadro inferior derecho, y parecieran en gran medida no coincidir con el sistema ya que por un lado no detienen la evolución del sistema, pero tampoco permiten obtener ninguna ventaja del mismo. No obstante, en este grupo de variables es conveniente hacer una distinción entre (Arcade & Godet, 1999):

- Las variables desconectadas ubicadas cerca del eje de las coordenadas, cuya evolución parece estar bastante excluida de las dinámicas globales del sistema.
- Las variables secundarias, que si bien son bastante autónomas, son más influyentes que dependientes. Estas variables están ubicadas en el cuadro inferior izquierdo, sobre la diagonal, y pueden ser utilizadas como variables secundarias o como puntos de aplicación para posibles medidas adicionales.

Finalmente, un último tipo de variables, las reguladoras, ubicadas en su mayoría en el centro del plano que actúan como variables secundarias, débiles objetivos, y variables secundarias de riesgo.

3.2.2. Análisis de Estrategias de Actores método MACTOR

Tras la realización del análisis estructural que permite conocer las variables esenciales que condicionan un sistema determinado, se debe identificar los actores que ejercen mayor influencia a dichas variables esenciales.

El análisis de los movimientos de actores, como lo propone (Godet M, 2000) en el método MACTOR, comprende las siguientes seis etapas:

- Anotar los planes, motivaciones, limitaciones y medios de acción de cada actor (elaborar la tabla de la "estrategia de los actores").
- Identificar las cuestiones y objetivos estratégicos asociados con estos campos de batalla.
- Posicionar a cada actor en cada campo de batalla e identificar las convergencias y divergencias.
- Clasificar los objetivos de cada actor y evaluar las posibles tácticas (interacción de posibles convergencias y divergencias) en términos de las prioridades de sus objetivos.
- Evaluar las relaciones de poder y formular recomendaciones estratégicas para cada actor, según las prioridades de los objetivos de cada actor y los recursos disponibles.

Una vez concretados tanto actores, objetivos como estrategias, se procederá a completar el cuadro de relaciones entre actores por un lado, lo que permitirá calibrar la posición de fuerza de cada actor mediante la matriz de influencia directa (MID) y la matriz de influencia directa e indirecta (MIDI). La primera matriz, MID, es simplemente una tabla (actores x actores) en la cual la influencia potencial de un actor sobre otro se registra sobre una escala de 0 a 4 (ninguna, escasa, promedio, fuerte, muy fuerte), y, por otro, el cuadro de posicionamiento de los actores frente a los objetivos, a favor o en contra de ellos, para tratar de conocer las posibilidades de alianzas o conflictos entre los actores; sin embargo, la representación de una matriz (MAO, Matriz de Actores y Objetivos) permite que todos estos diagramas se sinteticen en una única tabla.

En la práctica según (Godet M, 2000) se trata de conocer en primer lugar si el actor es favorable o desfavorable al objetivo y, en segundo término, de determinar la intensidad del posicionamiento de un actor sobre el objetivo, es decir, caracterizar el grado de prioridad del objetivo (en su realización o no realización) y de conocer la intensidad del desacuerdo o del acuerdo: indicador función del

grado de prioridad del objetivo para ambas partes. En este punto se determina la posible política de alianzas o confrontaciones para cada uno de los actores con respecto al sistema.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES CON EL HIDRÓGENO

El objeto de este análisis, es mostrar la forma en la que el apoyo a la tecnología ha permeado los diferentes agentes en cada país, permitiendo definir la estrategia y valorar la intensidad del compromiso de cada uno de los interesados en la implementación y avance de la tecnología en las naciones más sobresalientes en este campo, de modo que se puedan determinar las variables, objetivos y estrategias convergentes y divergentes del sistema en el juego de actores para la implementación de un plan estratégico que se basa en el hidrógeno como vector energético en el local colombiano.

4.1. AMÉRICA DEL NORTE

4.1.1. Estados Unidos de América

En Estados Unidos el Departamento de Energía (DOE – Department of Energy), la Administración Federal de Transito (FTA – Federal Transit Administration) y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), trabajan de forma conjunta con el fin de avanzar en el montaje de infraestructura, el conocimiento de la tecnología y la viabilidad comercial entorno a las tecnologías del Hidrogeno y en concordancia con los objetivos planteados por el gobierno de los Estados Unidos.

Para atender los requerimientos en avances técnicos, (The National Renewable Energy Laboratory, 2011) ha definido segmentos claves de investigación, para concentrar expertos en el avance de cada objetivo. El primero de ellos es la electrolisis renovable, que concentra la producción de hidrógeno a partir de celdas fotovoltaicas, viento, agua y energía geotérmica, con el fin de incorporar avances en los electrolizadores en el aprovechamiento de estas fuentes naturales. El segundo es la producción de hidrógeno a partir de procesos biológicos que incorporen microorganismos, como la producción fotobiológica de hidrógeno con participación de algas y cianobacterias y la producción de hidrógeno por fermentación, que depende principalmente de la investigación en identificación de

microbios que fermenten directamente la celulosa produciendo hidrógeno. El tercero hace referencia a la pirolisis de la biomasa y el desarrollo de catalizadores, de modo que algunos de los subproductos de la pirolisis puedan ser integrados como materias prima de cadenas de producción ya establecidas, financiando el resto del proceso con el desarrollo de catalizadores de que se convierta en la clave de una producción eficiente de hidrógeno. El cuarto segmento concentra la investigación de materiales en áreas como la producción directa de hidrógeno a partir reacciones que incorporen semiconductores fotovoltaicos, en almacenamiento con nano estructuras de carbono, en las celdas de combustible PEM en materiales que reemplacen de las placas de platino y las hagan productivamente viables, en seguridad en el desarrollo de sensores película que permitan la detección oportuna de fugas y concentraciones peligrosas de hidrógeno y por último en la durabilidad y envejecimiento de los materiales utilizados de modo que se reduzca la permeabilidad del oxígeno y el hidrógeno.

Dentro de los avances de Estados Unidos el más destacado es la creación de nanometales y un electrodo de estructura única como elemento alcalino para la producción de hidrógeno mediante electrolisis. El desarrollo se realizó en el laboratorio de investigación de energía QuantumSphere Inc. (Energy research laboratory. , 2006)

El objetivo de la investigación fue reducir los costos de producción de hidrógeno por medio de la electrolisis del agua, aumentando a su vez la eficiencia de este producto para lograr una producción masiva que logrará ser competitiva con las producciones de energía a partir de combustibles fósiles; Los estándares del departamento de energía para la eficiencia de la electrolisis era del 75%; los procesos de electrolisis con platino como metal catalizador presenta eficiencias de hasta 50% en el proceso, pero con el desarrollo del nanometal QSI las eficiencias de la electrolisis han alcanzado eficiencias de 80% bajo condiciones de densidad de corriente de $100mA/cm^2$, pero aún se espera que los nanometales creados

lleguen a igualar o superar el objetivo del Departamento de energía de Estados Unidos de 75% de eficiencia en condiciones de densidad de energía de $1000mA/cm^2$. Este proceso de electrolisis requiere para la producción de hidrógeno un voltaje cercano al estándar propuesto por (Bossel, 2005), 1.226 voltios.

Según (Wicks, 2009) las prioridades a tener en cuenta para la producción y almacenamiento de hidrógeno son:

- Las nuevas tecnologías deben ser limpias, competitivas y sustentables a partir de nuevas tecnologías que tengan en consideración factores sociales, tecnológicos y económicos.
- Preparar una transición a la economía del hidrógeno, unir los esfuerzos de los diferentes grupos de investigación, compartiendo los grandes adelantos en este campo, para así poder generar avances y toma de decisiones en el campo jurídico.
- Diseñar sistemas de almacenamiento y producción de hidrógeno seguros, internacionalizando los estándares y códigos para la producción y almacenamiento tanto ya desarrollados como en desarrollo actualmente.
- Creación de nuevos materiales para los procesos de electrolisis y celdas de combustible, dentro de los cuales se hace énfasis en materiales catalizadores estables a altas temperaturas.
- Nuevas formas de almacenamiento de hidrógeno, innovadoras, incluyendo sistemas híbridos de almacenamiento, que logran satisfacer las necesidades de transporte de hidrógeno en el camino

Dentro de las formas de almacenamiento de hidrógeno los aspectos a mejorar son:

- Almacenamiento en gases: Desarrollo de fibras fuertes, e impermeables para su uso en tanques que permitan altas presiones, cuyos usos

puedan ser llevados a la industria automotriz, bajo condiciones de seguridad óptimas.

- Almacenamiento líquido: Corregir problemas en la licuefacción de gases.
- Almacenamiento sólido: en este campo, el principal punto a tener en cuenta son los materiales, se debe realizar una mayor investigación para comprender mejor los procesos de quimiadsorción y fisiadsorción del hidrógeno en diferentes materiales.

Otro tipo de producción de hidrógeno desarrollado en Estados Unidos es la producción fotobiológica de hidrógeno a partir del alga *Chlamydomonas reinhardtii* según (Amos, 2004)

De acuerdo con el (Committe on assessment of resource needs for fuel cell and hydrogen technologies., 2008) la valoración de recursos necesarios para las celdas de combustible y las tecnologías del hidrógeno, para la implementación de una economía del hidrógeno se deben corregir problemas de seguridad mediante códigos y estándares, con el fin de lograr promover el uso de tecnologías del hidrógeno en vehículos mediante políticas como:

- Subsidio para vehículos cuyas fuentes de energía provengan de sistemas a base de hidrógeno, o implantación de cuotas muy bajas en la industria manufacturera para incentivar la compra de dichos vehículos.
- Los subsidios dados deben ser altos, dado que los costos en el ciclo de vida de los vehículos impulsados por sistemas de hidrógeno son más altos que los vehículos impulsados por gasolina.
- Cualquier subsidio deberá ser disminuido a medida que transcurra el tiempo y no eliminado de manera radical, para facilitar la transición de la economía del petróleo a una economía del hidrógeno, para esto se requiere que el gobierno y las firmas interesadas recurran a estos subsidios de manera inmediata para acelerar los procesos de transición.

Para el éxito de esta transición se debe tener en cuenta la infraestructura para la creación de vehículos y la infraestructura para el repostaje de estos, lo cual deberá ser una acción conjunta entre la industria privada y el gobierno, ya que las empresas manufactureras no producirán vehículos si no se tienen formas para el mantenimiento de estos.

También es de gran importancia establecer subsidios mediante los cuales se logre promover el cambio a las tecnologías del hidrógeno sin sobrepasar las tasas de pérdidas que puedan soportar las industrias, y no exceder a más de 15 o 20 años los subsidios.

Las razones por las cuales el apoyo a esta tecnología en Estados Unidos, se dio en el sector del transporte público a través de pruebas piloto con buses, son las siguientes, (Eudy, Chandler, & Gikakis, 2007):

- Ubicación y reabastecimiento de combustible centralizados
- Subsidios gubernamentales
- Operación y mantenimiento a cargo de profesionales
- Operado con rutas y horarios fijos
- Amplia tolerancia al incremento de peso por los requerimientos técnicos de los sistemas
- Costos bajos de arranque del proyecto
- Relaciona al público con la tecnología, posibilitando la transmisión de información pertinente y la generación de aceptación

Los buses han sido una creación conjunta de cuatro empresas, Van Hool encargado del chasis y carrocería, ISE provee la propulsión eléctrica y la integra con las celdas de combustible fabricadas por UTC, acompañadas por baterías ZEBRA2 compuestas de Sodio Cloruro de Níquel, fabricadas por la empresa MES-DEA (Eudy, Chandler, & Gikakis, 2007).

Las evaluaciones a las pruebas de buses en las diferentes regiones buscan identificar las modificaciones necesarias para obtener una duración y fiabilidad aceptables para el nivel de comercialización de la tecnología. Los mayores problemas en la entrada en operación de los vehículos ha sido mantener el control y operación de las baterías ZEBRA, ya que estas mantienen niveles diferentes de estado de carga entre ellas, ocasionando sobre voltaje en el software del sistema de propulsión desarrollado por ISE. Para esto, han encontrado la necesidad de modificar el software de acuerdo con una información reportada por el fabricante de las baterías (Fuel Cell Buses in U.S, 2008).

Según reporte de (Chandler & Eudy, 2009) AC Transit participa del proyecto National Fuel Cell Bus Program (NFCBP), el nivel de uso y disponibilidad de los buses es de 58% contra un 85% de proyectado, medido en términos de horas de funcionamiento diario y días de la semana que operan los vehículos. Para completar la operación, el funcionamiento debe ser maximizado, incrementando las horas diarias de uso a un rango entre 16 y 19 horas todos los días de la semana, con el fin de ayudar a la planeación de recursos en una operación completa de los buses y también para contribuir con los fabricantes a establecer puntos clave para hacer modificaciones e incorporarlas en la siguiente generación de sistemas.

El funcionamiento de los buses ha sido contrastado a lo largo de todo el proceso con la operación de seis buses propulsados por combustión interna diesel, lo que ha mostrado el potencial de eficiencia de los buses, además de los puntos vulnerables para las mejoras futuras. El servicio ha incorporado un sistema de evaluación por parte del cliente que refleja la alta aceptación y respaldo a la iniciativa, por parte de los usuarios del transporte.

La información recopilada nos permite concluir que el interés por el desarrollo de esta tecnología, están estrechamente relacionados con la necesidad de

diversificar sus fuentes energéticas, con el fin de hacer sostenible la perdurabilidad de su posición de potencia mundial, esto implica el apoyo y aporte del gobierno a la coordinación de todas las industrias existentes en ese país y que pueden desempeñar un papel muy importante en la red de producción y consumo que se requiere para disminuir su dependencia energética.

En el eje industrial de Estados Unidos podemos encontrar los siguientes avances:

- La industria automotriz Chrysler ha contratado a Delphi Automotive Systems con el fin de desarrollar un sistema de automóviles a base de celdas de combustible.
- FORD MOTOR CORPORATION estableció un programa denominado P2000 para desarrollar un sedán familiar ligero, el concepto del automóvil propuesto en el proyecto servirá como base para el desarrollo de automóviles impulsados por sistemas de celdas de combustible.
- General Motors trabajo en colaboración con Delphi y Ballard desarrollando motores de celdas de combustibles.
- A partir del año 1991 la Universidad de Georgetown entrego un 3 autobuses impulsados por celdas de combustible de ácido fosfórico al Departamento de Energía de los Estados Unidos.
- La empresa H-Power fue el integrador del sistema desarrollado en la universidad y actualmente desarrolla celdas de combustible para aplicaciones varias en automóviles.
- International Fuell Cells fabricó celdas de combustible de 50kw utilizando para el funcionamiento de estas hidrógeno y aire del medio ambiente

4.1.2. Canadá

A nivel mundial Canadá es un líder en el sector del hidrógeno y las celdas de combustibles como resultado de las tecnologías de vanguardia y productos desarrollados, la experiencia mundialmente reconocida, y una historia de 25 años de colaboración entre los gobiernos, la industria, y la academia; todo este proyecto

liderado por “The Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association (CHFCA)” (the Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association), una organización nacional sin ánimo de lucro que presta servicios y apoyo a las empresas canadienses, los gobiernos y las instituciones educativas.

El principal objetivo de la CHFCA es crear conciencia de los beneficios económicos, ambientales y sociales de hidrógeno y de las celdas de combustible, abarcando los componentes, suministros, los sistemas de abastecimiento de combustible, almacenamiento de combustible y servicios de ingeniería y financieros e integración de sistemas, relacionados con el hidrógeno y las celdas de combustible.

El CHFCA se fundó en enero de 2009, como resultado de una fusión entre la Asociación Canadiense de Hidrógeno (CHA) y el hidrógeno y las celdas de combustible Canadá (H2FCC), con oficinas en Vancouver y Ottawa.

El sector canadiense ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos diez años, en la actualidad, el sector canadiense de hidrógeno y celdas de combustible cuenta con más de 100 actores, trabajando en las áreas:

- Producción de hidrógeno, purificación, distribución, almacenamiento y abastecimiento de combustible.
- Pilas de celdas de combustible
- Desarrollo de productos e integración de sistemas
- Sistemas de fabricación

En el 2009 La industria del hidrógeno tuvo ingresos por US \$ 215 millones; las ventas de productos generaron US \$ 111 millones de ingresos; en investigación, desarrollo y demostración los gastos fueron \$ 142 millones; el número de alianzas estratégicas reportado fue de 68 y hubo 350 asociaciones para la investigación.

El NSERC (NSERC H2CAN, 2010), es una red de Investigación, que agrupa a 29 investigadores principales, 5 centros universitarios de investigación especializados y 5 laboratorios del gobierno, localizados en 7 provincias diferentes. La red incluye a científicos reconocidos internacionalmente e ingenieros cuyas actividades cubren tres temas, producción y purificación, almacenamiento e infraestructura y seguridad.

Para el tema de producción se trabajan en tres grupos: Producción de hidrógeno a partir de la energía eólica, producción de Hidrógeno a partir de biomasa e hidrocarburos renovables; tecnologías de separación y purificación. De la misma forma para el tema de almacenamiento se trabajan en tres grupos Teoría y simulaciones, desarrollo y caracterización de materiales, diseño de sistemas de almacenamiento y optimización, y caracterización. Y por último se trabajan en los temas de infraestructura y seguridad.

Los objetivos de esta red es la superación de las barreras técnicas para la introducción de las tecnologías del hidrógeno para el desarrollo de métodos más limpios y renovables para la producción de hidrógeno de alta calidad a menor costo ya sea a partir de residuos o de los recursos renovables, el desarrollo de estrategias de almacenaje que sean prácticas y económicas y la elaboración de estrategias eficaces y seguras en cuanto a infraestructura para el despliegue de las tecnologías del hidrógeno. Los programas de investigación requieren de una investigación interdisciplinar entre ingeniería, física, química y biología.

En septiembre de 2008, NSERC otorgó \$ 5 millones de dólares en fondos de investigación para H CAN por cinco años. Esta cantidad se aprovecha en una proporción de 4:1 a través de I + D relacionados con las actividades de los investigadores de redes y recursos disponibles en la actualidad en las instituciones participantes.

De acuerdo con Gnanapragasam la producción de hidrógeno a partir de gas de síntesis a partir de usando combustión con transportadores de oxígeno es una de las formas de producción desarrolladas en la actualidad en Canadá. Según el autor, el hidrógeno tiene un gran potencial como portador de energía, junto con los no carbonos mediante la entrega de energía química. Además de facilitar el uso de energías libres de carbono.

Durante el proceso de enriquecimiento el gas sintético y el vapor generado pasan a través de bancos de óxido de calcio y óxido de hierro, donde múltiples reacciones ocurren simultáneamente produciendo vapor de hidrógeno.

Posteriormente el Gas de síntesis y el vapor restante son reemplazados por aire para regenerar sólidos, obteniendo de esta manera una captura rápida del dióxido de carbono generado. La investigación en la purificación del hidrógeno producido a temperaturas entre los 600°C y 800°C, y los procesos de concentración del vapor, concentración del Gas de síntesis y la composición de sólidos, optimizaron el proceso y se aumentó la pureza del vapor de hidrógeno en un 99%.

La primera forma de producción utiliza como combustible el Gas de síntesis (SCL). El sistema involucra la combustión por transportadores de oxígeno después de la producción de gas de síntesis a través de la gasificación del carbón.

La segunda forma de producción es la reacción directa del carbono a través de la combustión química. Esta forma de producción no involucra gases como combustibles, genera de forma directa la reacción del oxígeno con los óxidos metálicos en un reactor. El no utilizar a este sistema la mezcla del combustible con el óxido de metal genera menos pérdidas de energía en la producción de hidrógeno.

Para los dos procesos la temperatura de trabajo de los reactores se encuentra entre los 700°C a 900°C y una presión de 30 Bares. La principal diferencia entre los dos tipos de producción de hidrógeno radica en el uso de metano por parte de la combustión química directa (CDCL), lo cual permite una alta producción de hidrógeno a partir de tasas de entrada de aire bajas. El número de procesos involucrado en el sistema SLC es muy alto, incluso para el almacenamiento se utilizan dos procesos en reactores diferentes. El uso de más procesos para la producción de hidrógeno significa aumento de costos y pérdidas de energía para el sistema.

La empresa Power Ballard System, es actualmente el proveedor líder en celdas de combustible de membrana protónica (PEM) en el campo de las aplicaciones de transporte, ha desarrollado tecnologías en el área de las celdas de combustible con la colaboración de industrias automotrices como Ford Motors Company y Daimler-Benz, (Power Ballard System).

Sus investigaciones en las tecnologías del hidrógeno se desarrollan desde hace más de 20 años, fue la primera compañía en implementar las celdas de combustibles en un autobús en el año 1993 y actualmente los autobuses de esta marca operan en Canadá y Estados Unidos.

En normas y leyes Canadá es el primer país en tener un conjunto de normativas que establecen parámetros para la seguridad en el uso de tecnologías del hidrógeno, esta normatividad es la ISO/TC 197

4.2. EUROPA

4.2.1. España

Este país ha sido referente mundial en temas de desarrollo y aprovechamiento de energías limpias, sus avances se aprecian en conformación de asociaciones sin ánimo de lucro, proyectos de prueba de la tecnología del hidrógeno, programas

educativos abiertos al público por instituciones de educación superior españolas e iniciativas políticas.

En un análisis hecho en un reportaje de (Rtve.es, 2010) en Junio de 2010, se aprecia el panorama que envuelve a un país que produce vehículos, pero que depende del petróleo importado. En este reportaje se destaca la visión alineada del sector productivo, científico y gubernamental en incorporar el vehículo eléctrico como una decisión de carácter estratégico para España, con el fin de reducir la dependencia de los combustibles importados. Por otro lado también muestra la postura de un ambientalista español, que afirma, que subsidiar vehículos privados eléctricos no solo es desigual –debido a que la tercera parte de los hogares Españoles no cuenta con vehículo dificultando la implementación de políticas con aval popular en este sentido- y costoso, sino que también se requiere influenciar más la transición cultural para el uso del transporte colectivo (publico).

El Dr. Alberto Vegas de la Asociación Española del Hidrógen (Vegas, 2009), hace una análisis muy completo del entorno de esta tecnología, reconociendo que aunque su desarrollo tecnológico aun no la hace lo suficientemente competitiva se está posicionando como una alternativa viable, flexible y limpia para el sector energético, pero que esta requiere de una serie de apoyos clave como son la investigación y desarrollo, medidas estrictas que impulsen el abandono del sistema energético actual, el estímulo al consumidor y una política fuerte en el aspecto académico, que provea al mercado de la mano de obra especializada requerida.

En educación e investigación en España se promueve y coordina la Red Iberoamericana de Celdas de Combustible e Hidrógeno (RED IBEROAMERICANA DE CELDAS (PILAS) DE COMBUSTIBLE E HIDRÓGENO, 2003), cuya página web muestra una agremiación con gran amplia participación de participación de países latinoamericano pero la mayoría de los links a empresas provienen de la

Unión Europea. De la misma manera se encuentra La Red de Hidrógeno (Red Iberoamericana de Hidrógeno, 2010) ver Figura 10, está conformada por universidades de 9 países de Latinoamérica y 2 europeos.



Figura 10. Países pertenecientes a RED H2.

Fuente: <http://www.redhidrogenocyted.com.ar/esp/integrantes.php>

Esta red busca coordinar esfuerzos para avanzar en la investigación en la tecnología del hidrógeno articulando sus capacidades de investigación a través de reuniones por región y con el favorecimiento en términos de facilidades de publicación y pasantías de los doctorados. En la sección de publicaciones, existen 13 presentaciones sobre las investigaciones de la red, las cuales en su mayoría, corresponden a temas relacionados con procesos de producción y catalizadores, (Red Iberoamericana de Hidrógeno, 2010).

En la Universidad Pública de Navarra han llevado a cabo experimentos con un vehículo de calle, modificado para funcionar combustionando H₂, el cual ha permitido realizar pruebas de velocidad máxima de 140 Km/h (NextFuel, 2010). Estos experimentos son la prueba fehaciente de la practicidad de experimentar con este elemento y también de la viabilidad de realizar estudios aplicados, que permitan capacitar mano de obra adecuada.

En el Desarrollo de proyecto la Agencia Andaluza de la Energía está liderando el Proyecto Hércules (Agencia Andaluza de la Energía, 2009), en el cual participan importantes empresas relacionadas con el sector energético y transporte. En el proyecto están construyendo un modelo completo de producción limpia, suministro y utilización del hidrógeno para el transporte, como parte de una estrategia de generación de experiencia aplicada que proporcionara el conocimiento necesario para potenciar el hidrógeno como el futuro del sector energético. Esta agencia promueve a través de conferencias e información publicada en su página la conciencia ambiental y el aprovechamiento de la energía en la vida cotidiana.

Según Javier (Dufour, 2009) el presupuesto para este proyecto fue de 10 millones de euros. Su duración es de 4 años y su inicio fue en el año 2009. Su objetivo consiste en demostrar la viabilidad económica y técnica del uso y producción de hidrógeno a partir de una fuente limpia e inagotable (el sol) e integrar el uso de pilas de combustible basadas en hidrógeno para medios de transporte terrestre, adicional se desarrolla una planta de servicio en la planta actual de servicio termosolar ubicada en Sanlúcar La Mayor (Sevilla). Para el repostaje del prototipo. Este proyecto cuenta con el apoyo de empresas y organismos públicos en su mayoría de la ciudad de Andalucía como Abengoa (Hynergreen y Solúcar R&D), Santana Motor, INTA, Carbueros Metalicos, AICIA, GreenPower y la junta de Andalucía.

Para la producción de hidrógeno del proyecto los procesos utilizados son paneles fotovoltaicos y sistemas de Stirling que generan la energía eléctrica que debe utilizar el electrolizador para generar el hidrógeno mediante disociación de la molécula de agua. El hidrógeno resultante es envasado en tanques proporcionados por la empresa.

El auto a utilizar como prototipo es el todoterreno Santana 350, cuyo sistema de propulsión es una pila de combustible y un motor eléctrico, este auto tiene una

autonomía de 400 kilómetros, el tanque de almacenamiento presenta una presión de 350 bares para el almacenamiento del hidrógeno.

También España se encuentra en proceso de creación de un clúster del sector energía en el mediterráneo, el “proyecto tiene un presupuesto cercano a los dos millones de euros y está financiado por la Comisión Europea en un 75%, a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional” (Agencia Andaluza de la Energía , 2012).

Su alcance Político y Legislativo a nivel nacional es dimensionable a través del Catálogo publicado por la Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible (PTE-HPC), en el cual se hace un compilación de las Empresas, Asociaciones, Centros Tecnológicos, Universidades y Organismos Públicos, en el cual se definen objetivos concretos que promueven integralmente el ingreso de esta nueva tecnología.

En el análisis del contenido de la página de la PTEHPC podemos identificar claramente el avance en la conformación de un clúster entorno al H₂, convocando a entidades de diferentes sectores nacionales y llevando a cabo espacios de discusión y difusión que generen el consenso necesario para iniciar la generación de redes comerciales que viabilicen la competitividad, inversión y desarrollo de la tecnología.

4.2.2. Alemania

La posición de este país al igual que la del resto de la Unión Europea es hacia una total des carbonización de la producción energética. La iniciativa de la ley de promoción de energía de fuentes renovables ha sido utilizada hasta 2011 en por lo menos 61 países y 26 estados y provincias como modelo para leyes similares

La universidad técnica de Berlín según su artículo sistema de producción de hidrógeno, tres grados microbianos - primeros resultados (SCHÄFER, SACKRETZ, & RECHENBERG), ha desarrollado una forma de producción de hidrógeno mediante el uso de los siguientes materiales:

- Alga *Chlamydomonas segnis*, la cual pertenecía al cultivo de la universidad de Göttingen, cultivada a 30°C e iluminada constantemente por una luz de neón con una potencia incidente por unidad de superficie de 300 W/m².
- La bacteria láctica ácida *Lactobacillus amylophilus* cultivada a una temperatura de 30°C y en ausencia de luz
- La bacteria púrpura *isolated wild strain* iluminadas con lámparas de tungsteno con una potencia incidente por unidad de superficie de 850 W/m²

Para la producción de hidrógeno, 250 ml de la alga fueron mezcladas con 250 ml de la bacteria láctica mediante un transformador de carbohidratos producido dentro de la bacteria láctica, después de dieciséis días y medio de suspensión, la mezcla fue remezclada con 250 ml de la bacteria púrpura, comenzando la producción de hidrógeno en forma de gas, del cual fue destilada el agua y almacenado en un cilindro de vidrio con una escala lineal de medición de volumen.

Al aumentar la cantidad de la bacteria láctica no se aumentó significativamente la cantidad de la mezcla seca significativamente, contrario al resultado con el aumento de la bacteria púrpura; pero el aumento de esta última aumentó la producción de hidrógeno como se observa en la Figura 11.

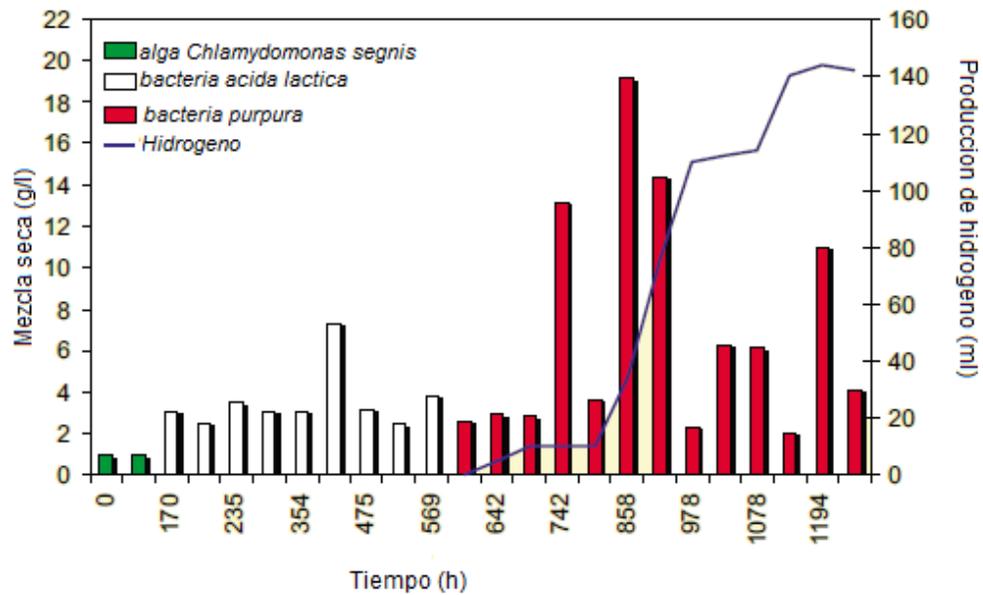


Figura 11. Mezcla seca y producción de hidrógeno.

Fuente: SCHÄFER, SACKRETZ, RECHENBERG. L., M., I. A three step microbial hydrogen-producing system-first results. Technical University Berlin, Department of Bionics and Evolutionentechnique.

En la Universidad de Rostock descubrieron la forma de obtener hidrógeno a partir de ácido fórmico utilizando un catalizador de hierro disponible comercialmente en la actualidad. Esta reacción produce hidrógeno pero libera dióxido de carbono, lo que ha originado un nuevo enfoque en la investigación en conjunto con el Instituto Federal Suizo de Tecnología en Lausana, el cual consiste en almacenar el dióxido de carbono para tratar de producir ácido fórmico (la Universidad de Rostock , 2001).

De acuerdo con (WINTER, 2009), Alemania cuenta con un sustento teórico y financiero para la aplicación de las tecnologías del hidrógeno en la industria del mismo país, desde la producción hasta su aplicación y con una gran variedad de formas para este desarrollo divididas en tecnologías ya desarrolladas, tecnologías que se estima sean desarrolladas y aplicadas en 10 y 20 años ver Tabla 5.

Tabla 5: Aplicación de las tecnologías del hidrógeno en la industria Alemana.

Fuente: Hydrogen energy – abundant, efficient, clean: A debate over the energy-system-change. WINTER, C.-J. (2009).

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO		
Actualmente	Tecnologías a 10 años:	Tecnologías a 20 años:
Reformación de gas natural. Hidrógeno a partir de electricidad nuclear. Oxidación parcial de crudo.	Electrolisis de hidrógeno a partir de viento y energía solar térmica. Hidrógeno a partir de biomasa.	Descarbonización de hidrógeno a partir de combustibles fósiles con almacenamiento y captura de carbón. Radiólisis, termólisis y fotocatalización de hidrógeno.
TECNOLOGÍAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN:		
Actualmente	Tecnologías a 10 años:	Tecnologías a 20 años:
Licuefacción de hidrógeno. Hidrógeno en refinerías. Contenedores de metal hídricos. Pilas de hidrógeno en dispositivos electrónicos móviles.	Tanques de hidrógeno móvil a 700 bares en presión.	Transporte de hidrógeno líquido en tanques marítimos. Nano almacenamiento en carbón.
TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO PARA DISTRIBUCIÓN Y USO:		
Actualmente	Tecnologías a 10 años:	Tecnologías a 20 años:
Hidrógeno para el transporte espacial. Celdas de combustible en sumergibles. Unidades auxiliares de poder alimentadas por hidrógeno (APUs).	Reservas rodantes de hidrógeno y oxígeno. Hidrógeno en APU's aerotransportados. Celdas de combustible a base de hidrógeno como replazó de turbinas de aire en aviones. Estaciones de servicio de hidrógeno para automóviles.	Alimentación de transporte aéreo con hidrógeno a propulsión de chorro Propulsión de hidrógeno en ICE (máquinas de combustión interna) y celdas de combustible en trenes.

Las aplicaciones tanto actuales como mediano y largo plazo, se enfocan hacia máquinas para el transporte en los 4 campos (aéreo, terrestre, marítimo, espacial).

En desarrollo de Proyectos el (Centro para la Energía Solar y el Hidrógeno)¹¹ Es una fundación sin ánimo de lucro enfocada en el desarrollo de todas las tecnologías de apoyo requeridas para la producción de hidrógeno a partir de energía solar y celdas fotovoltaicas.

En cuanto avances en la industria alemana para la aplicación de las tecnologías del hidrógeno, se encuentra el lanzamiento por la compañía automotriz BMW de

¹¹ <http://www.zsw-bw.de/1/support/>

los automóviles BMW Serie 7 cuyos motores son impulsados por gasolina e hidrógeno, las investigaciones de la compañía están enfocadas a reducir las emisiones de CO₂ en sus automóviles en un 25% adicional al 30% que han conseguido desde el año 1995 para el año 2020. Además de incluir un sistema de auto regeneración de energía a partir de la energía cinética producida por el freno de los autos.

La Ley de Fuentes Renovables de Energía (Ministerio Federal de Justicia, 2008), es el avance Político y Legislativo más importante, esta ley tiene por objeto incentivar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y brindar un “subsidio” al consumo de estas en comparación a la energía generada de fuentes no renovables. Promueve la inversión e investigación en el sector, además de incrementar la cobertura de las redes energéticas en el país (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, 2010).

La confederación de los consumidores de energía, es la encargada de realizar análisis sobre la legislación y ejecución de proyectos en el sector energético, realizando una labor de veeduría ciudadana, (Asociación Consumidores de energía) .

4.2.3. Francia

La (Comisión de Energía Atómica), es el centro tiene una división para el desarrollo completo de todas las tecnologías requeridas para el aprovechamiento del hidrógeno, desde su producción a través de electrolisis y des carbonización de hidrocarburos, hasta la investigación de pilas de combustible SOFC (Solid Oxid Fuel Cell) para aplicaciones estacionarias, pasando por almacenamiento en todas sus formas.

El Instituto Nacional para el Medioambiente Industria y sus Riesgos (*INERIS* , 2010), en sus prioridades esta la investigación en Riesgos Tecnológicos y

Contaminación dentro de la cual incluye la investigación y desarrollo de nano materiales y las otras tecnologías relacionadas con el hidrógeno. Han participado en proyectos de investigación encaminados a la puesta en marcha de pilas de combustible para aplicaciones en buses.

El Centro Nacional de Investigación Científica, coordina y lleva registro de las labores investigativas e inversión de los laboratorios y entidades asociadas. Entre los proyectos más sobresalientes, se encuentra la producción de hidrógeno por electrolisis utilizando nuevos materiales cerámicos y el incremento de la presión a 100 bar en el proceso de electrolisis. Por razones de seguridad se está llevando a cabo la sustitución de cilindros de almacenamiento de hidrógeno en todos los sistemas de producción de hidrógeno de los laboratorios asociados al Centro Nacional de Investigación Científica (*Centre national de la recherche scientifique*).

También participa en proyectos de investigación de la Unión Europea, como lo es el NANO-H que consiste en el desarrollo de estructuras de nano carbono para el almacenamiento de hidrógeno.

En cuanto al desarrollo de Proyectos la Multinacional Francesa Air Liquide, fundada en 1902 tiene grupos de investigación en diversas áreas de tecnología de punta, como son los compuestos de alta pureza para la industria de los chips, participan en el proyecto del Gran Colisionador de Hadrones, fusión nuclear e investigaciones en tanques de almacenamiento de hidrógeno a presiones superiores a los 700 bar y estaciones de distribución de hidrógeno más eficientes del mercado (Air Liquide, 2004).

Mc Phy Energy, es una empresa dedicada a la investigación de formas de almacenamiento de hidrógeno y participa activamente en varios de los proyectos que se están llevando a cabo en este momento en la Unión Europea (McPhy Energy , 2009).

El gobierno Francés realizó una Convocatoria de proyectos¹², con el objetivo de incentivar:

- La producción de hidrógeno a partir de fuentes y energía renovables
- Desarrollo de aplicaciones en el campo de la movilidad (servicios públicos, autobuses) al estilo de las aplicaciones en movilidad que se llevan a cabo en otros países.
- La producción y el uso de energía descentralizada en un eco-barrio o ciudad
- El despliegue de aplicaciones de energía de respaldo o equipo logístico.

4.2.4. Unión Europea

ATLAS-H2 es una asociación de universidades y la industria de almacenamiento de hidrógeno consolidada para el desarrollo y prueba en el corto plazo, con proyecciones de comercialización en el mediano y largo plazo, de los tanques de hidruros metálicos para aplicaciones sistemas estacionarios y compresión de hidrógeno.

El *Proyecto Energético en la Isla Utsira - Noruega*, consiste en construir un pequeño parque eólico para la generación de energía eléctrica, la cual será almacenada en tanques de hidrógeno, para el uso posterior en tiempos de poco viento, a través de una pila de combustible y un motor de combustión a hidrógeno.

El Proyecto HySAFE¹³, fue un proyecto ejecutado del 2004 al 2009, en el cual se establecieron las bases para los controles y procedimientos de seguridad para el manejo del hidrógeno. El consorcio estuvo conformado por 25 entidades de

¹²<http://www.investissement-avenir.gouvernement.fr/content/lancement-de-lappel-%C3%A0-manifestations-dint%C3%A9r%C3%AAt-hydrog%C3%A8ne-et-piles-%C3%A0-combustibles>

¹³ <http://www.hysafe.org/>

Alemania, Francia, Noruega, Holanda, España, Dinamarca, Grecia, Italia, Polonia, Suecia, Rusia y Canadá, (HySafe - Safety of Hydrogen as an Energy Carrier, 2007).

La meta europea para el año 2020 es reducir en un 20% la emisión de gases efecto invernadero, el incremento de la proporción de energías renovables en un 20% y la reducción en un 20% del uso de energías primarias, en aras de contribuir con la meta de largo plazo en el 2050, con la des carbonización total del consumo energético.

4.3. ASIA

4.3.1. India

En India se creó el Ministerio de Fuentes de Energía no Convencionales, ahora el Ministerio de Energía Nueva y Renovable, con lo cual se ha posicionado el interés nacional político en explotar las fuentes naturales de energía de las cuales goza el territorio. El potencial energético de India, es muy diverso pues cuentan con un amplio potencial en diferentes campos de la producción de energía de fuentes no convencionales.

Esta iniciativa nacional ha llevado a la creación de un Grupo de Dirección encargado del diseño del Plan Nacional de Energía de Hidrógeno en la India, en el cual han participado importantes empresas interesadas en el desarrollo de esta tecnología. Este plan cubre la aplicación del hidrógeno en vehículos, en generación de energía, en almacenamiento y producción de hidrógeno y en sistemas de integración.

Dentro de las metas cuantificables del Plan Nacional, está el tener para el 2020 un millón de vehículos basados en energía de hidrógeno funcionando y 1000 MW de capacidad de generación de energía basada en hidrógeno y consideran como etapa intermedia en el proceso de implementación, el utilizar hidrógeno en

motores de combustión interna, lo que significaría un paso en la transición que requeriría una menor inversión y se constituye como un camino válido en el montaje de infraestructura aprovechable para el objetivo de largo plazo, la utilización del hidrógeno en vehículos con pilas de combustible.

La apuesta India al desarrollo de una economía energética en torno al hidrógeno está segmentada en acciones de corto, mediano y largo plazo, dando una alta relevancia a la investigación y desarrollo nacionales, al tratar de emular muchos de los sofisticados y costosos equipos que importan. Además consideramos muy importante la estrategia de incluir los motores de combustión interna dentro del plan de transición hacia la tecnología del hidrógeno, pues es la forma de aprovechar la infraestructura ya disponible y asimilada en el país.

4.3.2. China

Según (Central Intelligence Agency, 2011), China es el país más grande de Asia y el segundo más grande del mundo, con 9.6 millones kilómetros cuadrados y con más de 1300 millones habitantes, lo que con lleva a numerosos desafíos en términos de la provisión de energía, gestión de la contaminación y la seguridad energética.

El recurso natural más abundante en China es el carbón, de los cuales más del 80% de su electricidad proviene de este recurso y, en regiones remotas, el carbón se quema para calentar y cocinar (International Energy Agency, 2011). Estas emisiones han contribuido a que China este entre los primeros emisores de CO₂ del mundo (en términos absolutos) en 2007, superando a la USA. El gobierno Chino es consciente de este problema y de los últimos años ha sido un líder mundial en la instalación de tecnologías de energía renovable y una alta inversión en captura y almacenamiento de carbono.

China se convirtió en un importador neto de petróleo en 1993 y, en 2009, superó a Japón como el segundo mayor importador mundial de petróleo junto a los EE.UU.

En 1970 China inicia las investigadas y desarrolladas sobre pilas de combustible, con un prototipo de celda de combustible alcalina para el programa espacial Nacional. En 1990 las investigaciones se centran en aplicaciones para automóviles, pero solo hasta 1999 se captó el interés de los socios comerciales y del Gobierno Chino. El actual interés académico y comercial se centra sobre pequeñas celdas de combustible portátiles para la alimentación de antorchas y dispositivos electrónicos de consumo y grandes sistemas estacionarios de energía de reserva para vehículos eléctricos.

China tiene una sólida base investigativa, donde todas sus universidades top están realizando Investigaciones sobre celdas de combustibles. Las universidades Tsinghua y Tongji, son dos de los más destacados en cuanto a la evolución de celdas de combustible para vehículos; la Universidad tecnológica de Wuhan (WUT) tiene vínculos particularmente fuertes con la nueva empresa de Energía de Wuhan; y el instituto de Química Física Dalian (DICP) ha trabajado de la mano de la compañía Sunrise Power Co Ltd. Esta colaboración provee a una ruta directa para que los nuevos desarrollos salgan al Mercado y al mismo tiempo ofrece a las empresas comercializadoras acceso a lo último en investigación y tecnología.

El número de patentes internacionales relacionadas con las celdas de combustibles provenientes de la actividad investigativa de China es baja en comparación con el resto del mundo, pero está creciendo en el año 2005 se registraron 21 patentes pero no se concedió ninguna, en el 2010 de 14 registradas se concedieron 8 patentes.

En desarrollo de proyectos, en 2007, la primera estación de hidrógeno de China abrió sus puertas en Anting, un suburbio de Shanghai. Construido por Shanghai SunWise Energy Systems Co., la estación se actualizó en 2006. La compañía SunWise construyó dos unidades de reabastecimiento de combustible para la estación de la Expo Mundial, que se utilizaron para abastecer de combustible los vehículos de turismo.

En general, China desarrolla proyectos en consonancia con las normas ISO para más información sobre las estaciones de hidrógeno en China se puede encontrar visitando el sitio web www.china-hydrogen.org, una página web gestionada por Shanghai SunWise Energy Systems.

El proyecto bus con celdas de combustible fue lanzado por el gobierno de China en marzo de 2003 en colaboración con el fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP). La primera fase tuvo lugar entre junio de 2006 y octubre de 2007, con tres autobuses Daimler-Chrysler de celdas de combustible en funcionamiento para su uso por el público de Beijing. Estos buses transportaban aproximadamente 57,000 pasajeros y una distancia total de más de 92,000 km con una disponibilidad del 90%. La segunda fase tuvo lugar en Shanghai y fue lanzado en Noviembre de 2007, transitando durante la World Expo in 2010.

Para las Olimpiadas de Beijing 2008, 600 vehículos híbridos compuestos por batería eléctrica y celda de combustible eléctrica fueron usados durante el 2008 en los juegos olímpicos en Beijing, los vehículos se usaron como carros de soporte para la maratón y el transporte de los organizadores e invitados especiales. Estos vehículos cubrieron una distancia total de más de 100.000 kilómetros sin ningún tipo de incidentes mayores, cada vehículo tiene una autonomía teórica de 235 km por tanque de hidrógeno.

Después de los Juegos Olímpicos, dieciséis vehículos de pila de combustible fueron enviados a California para las demostraciones de la flota en Fuel Cell Partnership (CAFCP). En este caso, la flota cubrió un adicional de 37.000 kilómetros entre febrero y junio de 2009.

En febrero de 2009, un proyecto de demostración comenzó a promover los vehículos nuevos de energía en trece ciudades. El gobierno puso a disposición fondos en forma de un subsidio para la compra de estos vehículos, que inicialmente se centrará en los vehículos de uso público, como taxis y autobuses. El proyecto espera contar con más de 60.000 vehículos limpios y autobuses en la carretera en estas ciudades para el año 2012.

Una oportunidad potencial para las pilas de combustible se dirige a la bicicleta eléctrica (e-bike) las cuales son cada vez más popular en el país

La mayoría de Investigaciones en China relacionadas con hidrógeno y celdas de combustible se realiza con financiación del gobierno a través de dos programas: El 863 National High Technology Research and Development Program, (Inicia en marzo de 1986) y el 973 National Basic Research Program (Inicia En marzo 1997).

El Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST) fijo los objetivos de desarrollo y los niveles de financiación para los diferentes proyectos. Los proyectos planeados por el gobierno chino se presentan en bloques de 5 años, conocidos como “Planes quinquenales para el desarrollo económico y social Nacional para la República popular China”. En el noveno quinquenio (1996-2000), se invirtieron \$4.75 millones de dólares proporcionados por el programa 973 y \$60,143 dólares del programa 863. En el plan (2001-2005) se adiciono \$4.75 millones de dólares para investigación, \$3.48 millones para la generación de hidrógeno a partir de energía solar y \$139 millones para el programa de Investigación y desarrollo para el

avance de la tecnología del hidrógeno en vehículos híbridos con celdas de combustibles, además se invirtió de \$23.74 millones de dólares para proveer energías limpias y un vehículos de celdas de combustible.

En 2006 se inicia la ley de energía renovable de china, que beneficia a la electricidad generada con una prima de 0,04 dólares/Kwh de energía generada a partir de biomasa. En 2010, la comisión Nacional para el desarrollo y la reforma, aumenta dicha prima a 0,12 dólares/kWh

El plan de (2010-2015) tiene como objetivo apoyar el desarrollo de nuevas industrias de energía como: Generadores de energía a partir de viento; energía solar más eficiente; el aprovechamiento del calor y la conversión de energía a partir de biomasa. En apoyo a esto, el gobierno chino proporciona incentivos atractivos para fomentar el desarrollo tecnológico.

En junio de 2011, 40 científicos de alto nivel procedentes de toda China se reunieron en Beijing para una mesa redonda tres días sobre el hidrógeno y las pilas de combustible. La reunión fue una oportunidad para el intercambio de información entre los académicos y fue apoyado financieramente por el gobierno.

2011 es el primer año del doceavo plan quinquenal con una inversión de \$ 15,8 millones de dólares para proyectos de celdas de combustible de hidrógeno, estos fondos son parte del proyecto 863. Además, el proyecto 973 apporto \$ 11,1 millones de dólares a la división de financiación de celdas de combustible disponibles en dos partes: la primera para la celda de combustible de óxido sólido (SOFC), y la otra para las celdas de platino sin combustible.

A pesar de estos objetivos tan ambiciosos, la mayoría de la electricidad generada en China aún proviene del carbón, y lo hará en el futuro previsible, ya que las necesidades de la población se deben satisfacer.

4.3.3. Japón

La siguiente experiencia muestra como los japoneses estructuran sus iniciativas procurando obtener resultados en varios ámbitos sociales y con una duración adecuada para permitir que los hallazgos encontrados se consoliden y sean la base de proyectos más complejos en el futuro.

Del 2002 al 2010 se llevó a cabo un importante proyecto de demostración de la tecnología, el cual fue apoyado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria. Este proyecto permitió recolectar información básica sobre producción de hidrógeno, rendimiento de la tecnología, características medio ambientales, eficiencia energética y seguridad, que cubrían el ciclo de uso del combustible desde su producción hasta su uso en la locomoción, mediante la puesta en marcha de vehículos que utilizaban celdas de combustible y estaciones de repostaje de hidrógeno producido por electrolisis y reformado con vapor de derivados del petróleo. (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project, 2002).

El proyecto tuvo dos etapas, la primera llevada a cabo del 2002 al 2005, buscaba exaltar la alta eficiencia energética de los vehículos movidos por celdas de combustible y la estructuración de todo el ciclo de vida del vector energético y la tecnología en general enfocada hacia el transporte. Esta primera etapa fue conducida por el Instituto Japonés de Investigación Automovilística y la Asociación para el Avance de la Ingeniería del Japón.

La segunda etapa se llevó a cabo del 2006 al 2010, analizaba detalles operativos sobre las condiciones actuales de operación, para definir procesos, generar controles y estándares, con el fin de posibilitar la diseminación del conocimiento en esta tecnología.

Se analizaron posibilidades de ahorros energéticos, mitigación de impactos ambientales, identificación de tendencias en políticas y en tecnologías. En la segunda etapa se integraron a la dirección el Centro Japonés de Energía Petrolera y la Asociación Japonesa de Gas. (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project, 2002)

Partiendo del aprendizaje generado por este proyecto, se generaron spin-offs que promovieron la producción de celdas de combustible para aplicaciones estacionarias, en maquinaria industrial y en el transporte masivo.

El alcance político de esta iniciativa se hace evidente al encontrar dentro de los organismos que apoyan el proyecto al Ministerio de Economía y más adelante a otras empresas y entidades estatales relacionadas con el sector energético y automotriz.

En la segunda etapa del proyecto se hace uso de la información recopilada para establecer normatividad técnica al respecto para ser difundida como parte de la formación académica de estudios profesionales relacionados con la tecnología.

De la experiencia japonesa es importante resaltar el tiempo de experimentación establecido y la metodología incluyente aplicada, que posibilita la obtención información más completa visa hasta ahora en cualquier otro de los países, al involucrar a todas las entidades interesadas en evaluar la tecnología bajo un mismo proyecto, con contenido más completo para la difusión del conocimiento con miras a la implementación de la tecnología.

4.4. AMÉRICA DEL SUR

4.4.1. Argentina

La Asociación Argentina del Hidrógeno que edita la revista Hidrógeno desde 1998¹⁴ con volúmenes casi semestrales (Asociación Argentina del Hidrógeno , 2005). Tiene dentro de sus objetivos como asociación, la promoción de “la vinculación y coordinación entre sectores del gobierno, industrias, instituciones de investigación y desarrollo y universidades, para el establecimiento a nivel nacional de la industria del hidrógeno y su crecimiento ulterior”, al igual que la contribución con la difusión académica del conocimiento disponible sobre el hidrógeno a todos los niveles y la integración de la misma con otras fuentes y estructuras de energías renovables, con el fin de contribuir con la integración y desarrollo de esta tecnología en el país.

El proyecto nacional más importante es el de la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado en la región de Santa Cruz en la Patagonia Argentina, la cual funciona como un centro de investigación y difusión de la tecnología, donde se disponen de instalaciones adecuadas para la ejecución de pruebas con piloto con vehículos municipales (Modulo Taller), aulas para capacitación de técnicos y profesionales y una biblioteca para la capacitación de técnica y educativa abierta a la comunidad (Modulo II). Existen áreas para investigación en equipos (Laboratorio) y equipos en funcionamiento para análisis (Electrolizador y Compresores). De esta infraestructura la que más llama la atención fue el área que aprovecha el producto calorífico derivado del proceso de producción de hidrógeno en un invernadero, con el fin de avanzar en el análisis de experiencias en la eficiencia en la producción de distintas especies vegetales. (La Planta Experimental de Hidrógeno , 2007)

Los centros de argentinos de investigación más importantes son el Centro Atómico de Bariloche (CAB)¹⁵ y Instituto Balseiro (IB)¹⁶, los cuales cuentan con el respaldo

¹⁴ “La primera publicación del mundo enteramente dedicada al Hidrógeno y a sus tecnologías en idioma español” – Tomado de <http://www.aah2.org.ar/revista.htm>

¹⁵ Centro Atómico de Bariloche - <http://www.cab.cnea.gov.ar/>

¹⁶ <http://www.ib.edu.ar/>

de la Comisión Nacional de Energía Atómica. El Grupo Metalurgia del CAB se encuentra investigando en torno al proceso de producción y almacenamiento principalmente. En sus laboratorios han trabajado en algunos de las etapas del proceso, los cuales se mencionan a continuación, (Centro Atómico Bariloche):

- Preparación de aleaciones formadoras de hidruros para almacenamiento de hidrógeno, caracterización de sus propiedades de absorción y desorción de hidrógeno.
- Construcción y ensayo de prototipos de almacenadores de hidrógeno.
- Construcción y ensayo de equipos de laboratorio para estudiar y optimizar la producción de hidrógeno por electrólisis del agua.

Una de las aplicaciones más interesantes de los materiales metálicos que pueden absorber hidrógeno y formar hidruros es la fabricación de electrodos para baterías recargables del tipo Níquel – Hidruro. Estas baterías, que ya se están empezando a utilizar en teléfonos celulares, están remplazando gradualmente a las de Níquel – Cadmio, que tienen el inconveniente de la toxicidad del cadmio, con lo que resulta muy difícil su disposición final una vez agotadas

Han trabajado mancomunadamente con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en la investigación de materiales. Este instituto desarrollo un mecanismo de concurso denominado el IB50K, por medio del cual se incentiva a estudiantes e investigadores con no más de 4 años desde su graduación, a presentar proyectos innovadores, que son auspiciados por importantes empresas del ámbito local argentino.

También se encuentra dentro de la lista de centros de investigación, el Instituto de Investigaciones Físico Químicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), el cual cuenta con un amplio rango de líneas de investigación, (El Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA)) . El CAB y el INIFTA se encuentran “trabajando en colaboración para el desarrollo de nuevos materiales para

electrodos de baterías recargables, el estudio de sus propiedades frente al hidrógeno, y su comportamiento electroquímico.

En el desarrollo de este país se puede evidenciar el enfoque investigativo hacia la producción y almacenamiento del hidrógeno en pilas de combustible. Según (Giunta, Mosquera, & Laborde), además de estas celdas de combustible, se han desarrollado en el país prototipos de celdas multimodulo de tipo PEM.

Según (Tori), este tipo de celda consta de dos placas de acero inoxidable y varias placas de grafito cuyo material permite una alta conductividad eléctrica. La función de las 2 placas de acero inoxidable es permitir la entrada del hidrógeno y el oxígeno necesario por medio de resistencias calefactoras y acoples rápidos.

El prototipo multimodulo de 4 placas bipolares presenta potencias de alrededor de 13 W en un voltaje de 1,6V lo que representa una ventaja frente a las placas monopolares, pero las pérdidas del prototipo multimodulo son altas, como consecuencia a cada una de las caídas óhmicas generadas por el aumento de ensambles de esta. Actualmente se trabaja en la reducción de estas pérdidas.

Según (Fasoli, Sanquinetti, & Lavorante, 2009) la obtención de energía por procesos eólicos y solares, son una gran alternativa a los problemas energéticos que puede llegar a generar los problemas relacionados con el uso de combustibles fósiles, siempre y cuando logren ser procesos de producción de energía continua, normalmente estas formas de producción eléctrica se encuentran en zonas poco pobladas y apartadas de las grandes ciudades, además de no ser continuas, desventaja que según el autor puede ser eliminada con el uso del hidrógeno como vector energético, en el almacenamiento de energía en pilas de combustible.

Estas pilas permitirían el almacenamiento de energía eléctrica para las ocasiones en que la demanda energética sobrepase los índices de producción. Para

almacenar grandes cantidades de energía las pilas de combustible permiten ser conectadas en serie aumentando su capacidad; Para realizar este proceso se debe desarrollar pilas de combustible de tipo multimodulo.

Para el siguiente año los experimentos se enfocaran en realizar baterías que logren alcanzar una potencia de 50W, aumentando la efectividad de las placas bipolares en la circulación de los gases, y la optimización de recursos que alimentaran los elementos individuales de las celdas. El potencial obtenido para el 2007 en las celdas alcanzo un máximo de 10W y para el año 2009 un máximo de 18W.

Existe una iniciativa en el sector privado, que pretende desarrollar una industria de motores en torno a la mezcla de gas natural vehicular con un 20% de hidrógeno¹⁷, ya que la mezcla, permitiría aprovechar la capacidad del hidrógeno de quemarse con una muy pequeña cantidad de aire, lo cual le abriría paso a una combustión mucho más eficiente. La empresa Energía Argentina (ENARSA)¹⁸, está llevando a cabo investigación y desarrollo en el ámbito de producción de hidrógeno, para ello ha desarrollado una planta para la producción de hidrógeno a partir de bioetanol. También está apoyando una investigación en la que participa el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEFA) y la Escuela Superior de Técnica (EST), en él se busca avanzar en el conocimiento y posibilidades técnicas para desarrollar prototipos de Pilas de Combustión PEM con potencias del orden de 15 a 50 Vatios, que puedan ser de utilidad para aplicaciones móviles y estacionarias, en particular en condiciones climáticas extremas como pueden ser las de la Antártida Argentina.

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación ha avanzado en el tema la creación y adaptación de normas locales relacionadas con la tecnología de

¹⁷ La investigación de estamezcla esta siendo apoyada por ENARSA y se evidencia en

<http://www.enarsa.com.ar/enarsaid.pdf>

¹⁸ <http://www.enarsa.com.ar/>

hidrógeno (IRAM – Instituto Argentino de Normalización y Certificación , 2009), como es el caso de la ISO/TC 197, cuyo alcance es la “normalización en el campo de los sistemas y dispositivos para la producción, almacenamiento, transporte, medición y uso del hidrógeno. Esto es muy importante al momento de avanzar en la implementación y difusión del conocimiento, ya que permitirá que la permeabilidad sea mayor, como consecuencia de la comprensión entre diferentes instituciones y organismos, en torno a un acuerdo normativo nacional, cuyos objetivos son la elaboración de normas para los siguientes ejes:

- Especificaciones del combustible y las tecnologías de uso del hidrógeno.
- Proveer lineamientos para el desarrollo de infraestructura de transporte y almacenamiento móvil y fijo del hidrógeno.
- Desarrollo de normas para el uso en vehículos de carretera.
- Desarrollo de normas para garantizar la seguridad de los procesos de uso del hidrógeno.
- Elaboración de normas sobre dispositivos de detección como válvulas de cierre y reguladores de presión para ser usados en sistemas de hidrógeno.

En este aspecto se resalta la Ley 26.123¹⁹ por medio de la cual se legitima la tecnología de hidrógeno como un objetivo de carácter nacional, que aparte de incentivar la investigación, desarrollo y capacitación en este tema, también ha creado un marco normativo que incentiva tributariamente la participación en este nuevo sector. Por otro lado también contempla la creación del Fondo Nacional para el Fomento del Hidrógeno FONHIDRO. Por otra parte, la comisión nacional de energía atómica ha venido desarrollando cada dos años ediciones del congreso HYFUSEN²⁰, que se lleva a cabo en una región diferente de Argentina en cada ocasión, en el cual participan países de la región con exposiciones de científicas,

¹⁹ Ley de Promoción del Hidrógeno -

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=119162>

²⁰ HYFUSEN - http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/hyfusen_2009/index.html

tecnológicas y educativas, y se promueve la capacitación en la tecnología a través de cursos previos a la iniciación del congreso.

Por otro lado Argentina cuenta con el plan de desarrollo para las tecnologías del hidrógeno liderado por el centro atómico Bariloche (Meyer, Caneiro, Corso, & Ponce, 2004). La finalidad de éste es contribuir al desarrollo de cada una de las etapas necesarias para lograr una economía del hidrógeno, algunos de los aspectos a mejorar son el desarrollo de materiales para la purificación y compresión del hidrógeno y la formación de recursos humanos capaces de idear métodos y generar los conocimientos necesarios en el tema.

En control de calidad para aumentar la fiabilidad de las tecnologías del hidrógeno se desarrolla actualmente software y equipos para estudiar y controlar procesos de almacenamiento del hidrógeno, medir la degradación de las propiedades mecánicas en la interacción con el hidrógeno, y la formación de recursos humanos para la asesoría a empresas privadas y entes gubernamentales, y la investigación y desarrollo.

4.4.2. Brasil

Según (Lizana, 2007) en el eje estatal, Brasil es el país más avanzado en Latinoamérica, apoya iniciativas en cuanto a producción de hidrógeno a partir de etanol desde el año 1999. Los esfuerzos de las investigaciones se encuentran centrados a producción de hidrógeno y desarrollo de celdas de combustible.

El ministerio de ciencia y tecnología creó el programa brasileño de hidrógeno y sistemas de celdas de combustible, con la finalidad de intensificar la ayuda interdisciplinaria de universidades y empresas privadas para aumentar el desarrollo en las áreas de producción de hidrógeno y celdas de combustible, los aspectos que busca mejorar el programa son:

- Desarrollo de celdas de combustible
- Estaciones de producción
- Almacenamiento y distribución
- Capacitación de recursos humanos
- Regulación y participación de los entes correspondientes a producción, distribución, venta.

A partir del año 2005 se centraron los esfuerzos del programa en producción de hidrógeno, celdas de combustible, celdas de óxido sólido, sistemas de integración y aplicaciones del hidrógeno y pilas de combustible.

El proyecto cuenta con el apoyo de diferentes universidades entre las cuales se encuentran la Universidad Federal do Maranhao, la Universidad Estadual Paulista, Universidad Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Universidades Federal de Santa Catarina entre otras.



Figura 12. Proyecto Ómnibus hidrógeno.

Fuente: http://www.mme.gov.br/programas/onibus_hidrogenio/menu/projeto/sobre_projeto.html.

En Brasil han avanzado en el interés de incorporar energías renovables al sistema de transporte desde 1992 ver Figura 12, cuando empezaron a evaluar el gas natural como combustible alternativo. En 2001, se consolidó una alianza entre el Ministerio de Minas y Energía, la Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de Sao Pablo (EMTU) y la Universidad de Sao Pablo. Esta alianza, conocida como Ônibus Brasileiro a Hidrogênio, tiene como objetivos principales el desarrollo de un

ambiente favorable para los negocios en torno a la tecnología del hidrógeno, de modo que promueva un desarrollo económico con mayor inclusión social.

El proyecto es financiado con recursos del Global Environmental Facility (GEF) canalizados a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y busca desarrollar la industria del hidrógeno aplicado a las necesidades del sector del transporte urbano, aprovechando la infraestructura instalada en Brasil. En esta alianza participan también, varios sectores de la economía brasileña, con el fin de comenzar desarrollar infraestructura y experiencia en la producción, almacenamiento, distribución, diseño y fabricación de buses movidos con celdas de combustible de hidrógeno.²¹

Las razones por las que se llevó a cabo este proyecto en Brasil, es principalmente debido a su amplio parque automotor de servicio público, catalogado como el mayor mercado mundial de autobuses del mundo y también su alta cuota del mercado mundial en cuanto a buses se refiere. Como motivación de carácter ambiental, Sao Pablo es la segunda ciudad con el mayor problema de contaminación en el mundo.

Dentro de los impactos esperados esta la contribución al avance de la tecnología y el mercado mundial, la generación de empleos, reducción de costos de la tecnología, mayor incentivo a la investigación, mejoras en la calidad de vida de los pasajeros y habitantes de la ciudad de Sao Pablo²² y los efectos ambientales en general.

Los experimentos están encaminados a tomar como zona de prueba el Área Metropolitana de Sao Pablo, con el fin de iniciar la prestación de servicios con 8

²¹ Proyecto ÔNIBUS BRASILEIRO A HIDROGÊNIO - http://www.mme.gov.br/programas/onibus_hidrogenio/

²² Estas mejoras en la calidad de vida están principalmente resumidas en la disminución de la polución en el área metropolitana y la reducción de los niveles de ruido.

buses dotados con esta tecnología por un periodo de 3 años, estableciéndose como promedio de recorrido esperado por vehículo 42.000 kilómetros, para un total cercano al millón de kilómetros recorrido al final de los tres años. La frontera de evaluación de la tecnología establecida es de 1.000.000 de kilómetros, ya que se espera que en este lapso se alcancen a identificar las fallas más habituales, causas y soluciones, además de las oportunidades para disminuir costos, incrementar la rentabilidad y durabilidad de los vehículos.²³

El suministro del hidrógeno estará a cargo de una estación de suministro ubicada en el estacionamiento de los buses, la cual también está contemplada como parte del proyecto. La estación de servicio producirá el hidrógeno a partir de electrolisis, montada por la Distribuidora BR, con apoyo de Petrobras, Hydrogenics y AES Electropaulo. La estación funcionara con energía proveniente de las hidroeléctricas y por ello se garantizara que el hidrógeno producido sea completamente libre de emisiones.

En cuanto a los centros de investigación brasileños, pude identificar que se articulan en torno al programa denominado ProH2, al cual pertenecen una red de universidades, centro de investigación y empresas, distribuidas en 5 grupos de investigación importantes, SOFC, PEMFC, Producción de Hidrógeno, Sistemas de Integración y Aplicaciones.

La información recopilada permite apreciar un gran interés del gobierno y el sector industrial en desarrollar la tecnología, vislumbrada como una posibilidad de constituir una industria en torno a la tecnología de hidrógeno, los problemas de alta contaminación, la posibilidad de aprovechamiento de fuentes hídricas de producción de energía. Todo este esfuerzo está claramente encaminado a desarrollar un fuerte sector productivo que en el futuro les permita participar más activamente en el mercado internacional.

²³ Environmental strategy for energy: hydrogen fuel cell bus for Brazil

En la industria de este país se encuentran actualmente empresas que comercializan generadores a base de hidrógeno con potencias de 5 y 50kW además de accesorios para la infraestructura necesaria.

4.4.3. Chile

Según (Lizana, 2007) el país se encuentra en un estado inicial, sus proyectos en cuanto a tecnologías del hidrógeno se encuentran en fases experimentales, de momento no hay formación de entidades gubernamentales o centros destinados al desarrollo de dichas tecnologías, por otro lado el proyecto de ley sobre energías renovables no incluye al hidrógeno como fuente de energía.

La Comisión Nacional de Energía de Chile tiene una Base de Datos sobre Investigación, Desarrollo e Innovación en Energía de consulta sobre los proyectos investigativos relacionados con energía.

En el aparte de celdas de hidrógeno, están disponibles algunos proyectos de investigación ya concluidos, en los que participan grupos de investigación de varias Universidades. Dentro del inventario de proyectos, cuentan con dos proyectos en almacenamiento de hidrógeno, uno de ellos enfocado a la investigación con nanotubos de carbono y el otro en estudios de absorción de hidrógeno en películas metálicas. Existen dos más en el área de producción de hidrógeno, uno centrado en la ácido génesis para la producción biológica de hidrógeno, otro investiga la producción de hidrógeno a partir de alcoholes primarios; el proceso inicio en el año 2006 y su duración fue de 3 años por parte de la Universidad de Chile.

Dentro de la misma universidad se encuentran investigaciones en el área relacionadas con:

- Formas alternativas en procesos de producción y almacenamiento de hidrógeno, para su aplicación en celdas de combustible
- Estudio de catalizadores soportados de cobre para la producción de hidrógeno a partir de metanol.
- Controlador de módulo de celda de combustible mediante la herramienta labview.

Dentro del eje industrial se encuentra el programa Eco desarrollado por la empresa Sistemas Automáticos S.A la cual busca desarrollar una planta eléctrica cuyo combustible sea el hidrógeno obtenido a partir de procesos eólicos y solares.

Con esta información podemos concluir que las investigaciones en Chile, avanzan de forma aislada y no hay un apoyo evidente por parte del gobierno a esta tecnología. Por otra parte la Empresa Nacional del Petróleo ENAP, ha inclinado sus proyectos hacia el desarrollo de biocombustibles. No hay indicios de agremiaciones o alianzas empresariales en torno a esta tecnología.

Entre el 7 y el 9 de octubre de este año, se llevara a cabo la IV Jornada Iberoamericana de Pilas de Combustible en la Casa Central Universidad de Chile, las cuales son organizadas por la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible y Hidrógeno.

4.5. SÍNTESIS DE LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES POR CONTINENTE

Las experiencias más relevantes a nivel mundial fueron analizadas tomando como base tres ejes que inciden sobre la implementación exitosa de una tecnología; la Educación e Investigación, el Desarrollo de Proyectos y el Apoyo Político y Legislativo como se muestra en la Tabla 6. Esta segmentación en tres ejes combinada con un análisis deductivo, permitió extraer y consolidar la lista de actividades específicas que constituyen las piezas básicas para la conformación de la estrategia de incorporación, las cuales guardan una estrecha relación con

alguno de los tres grupos de actores de los que habla el modelo político-tecnológico del Triángulo de Sábato, Universidad-Estado-Empresa, como será descrito en los numerales siguientes del presente documento.

Tabla 6. Síntesis de las experiencias Mundiales por continente

Fuente: Elaboración Propia.

EJES	AMÉRICA DEL NORTE	EUROPA	ASIA	AMÉRICA DEL SUR
EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utilización del hidrógeno como reserva de energía eléctrica, producido mediante electrolisis de energía obtenida de fuentes renovables. <input type="checkbox"/> Investigación en producción de hidrógeno a partir de procesos biológicos de fermentación y otros métodos de aprovechamiento de microorganismos que liberen hidrógeno en sus procesos vitales. <input type="checkbox"/> Investigaciones asociadas a la producción de hidrógeno por pirolisis de biomasa y el desarrollo de catalizadores. <input type="checkbox"/> Estudio de materiales para producción, conducción, almacenamiento y dispositivos de seguridad. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Programas Educativos con relación a la Tecnología del Hidrógeno y Pilas de Combustible <input type="checkbox"/> Proyectos de Investigación de Universidades <input type="checkbox"/> Proyecto para la consolidación de un clúster de hidrógeno <input type="checkbox"/> Proyectos de investigación para la obtención de hidrógeno de fuentes biológicas <input type="checkbox"/> Entidades sin ánimo de lucro dedicadas a la investigación en la tecnología <input type="checkbox"/> Institutos y Centros de Investigación de los requerimientos técnicos de la tecnología del hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Líneas de investigación relacionadas con la tecnología del hidrógeno <input type="checkbox"/> Pruebas de la tecnología en vehículos diferentes (Buses, Camionetas y Automóviles) <input type="checkbox"/> Educación en la Tecnología del Hidrógeno a diferentes de capacitación <input type="checkbox"/> Documentación de las experiencias relacionadas con producción, almacenamiento, suministro y uso del hidrógeno en el sector transporte 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Centros de Investigación en la Tecnología del Hidrógeno <input type="checkbox"/> Eventos nacionales para dar a conocer los resultados de las investigaciones realizadas por los grupos de investigación de las diferentes universidades argentinas <input type="checkbox"/> Grupos de Investigación en la Tecnología del Hidrógeno
DESARROLLO DE PROYECTOS	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Proyectos de transporte publico propulsado con celdas de combustible de hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Estudios económicos del potencial de investigación <input type="checkbox"/> Empresas fabricantes de automotores que incluyen MCI propulsados a hidrógeno <input type="checkbox"/> Confederación nacional de los consumidores de energía eléctrica <input type="checkbox"/> Multinacionales francesas que participan activamente en proyecto de investigación de punta a nivel mundial <input type="checkbox"/> Empresas que participan en redes 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Motor de Combustión Interna basado en hidrógeno <input type="checkbox"/> Buses de servicio público de transporte de pasajeros basado en pilas de combustible de hidrógeno. <input type="checkbox"/> Proyecto encaminado a la acumulación de experiencias para la conformación de un clúster de la Tecnología del Hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Implementación de buses propulsados por pilas de combustible de hidrógeno en el marco de un proyecto que busca registrar la experiencia en la tecnología para el posterior desarrollo

EJES	AMÉRICA DEL NORTE	EUROPA	ASIA	AMÉRICA DEL SUR
		<p>de cooperación internacional en proyectos relacionados con la tecnología del hidrógeno</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asociación Universidad Empresa de desarrollo de un proyecto productivo relacionado con el suministro de tanques de almacenamiento de hidrógeno <input type="checkbox"/> Proyectos de generación distribuida con sistemas energéticos de respaldo basados en hidrógeno <input type="checkbox"/> Red internacional de cooperación en proyectos relacionados con la tecnología 		<p>de una industria competitiva.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Suministro de mezcla de Gas Natural e Hidrógeno a través del sistema de distribución de Gas Natural domiciliario e industrial
<p>ALCANCE POLÍTICO Y LEGISLATIVO DE LA INICIATIVA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Subsidios a la compra y producción de vehículos potenciados por hidrógeno <input type="checkbox"/> Participación relevante de entidades no gubernamentales en la difusión de la tecnología <input type="checkbox"/> Consolidación de un clúster de hidrógeno <input type="checkbox"/> Fondos para investigación <input type="checkbox"/> Normatividad en seguridad para el manejo del Hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Participación relevante de entidades no gubernamentales en la difusión de la tecnología <input type="checkbox"/> Redes Internacionales de Cooperación en Educación con relación a la Tecnología del Hidrógeno y Pilas de Combustible <input type="checkbox"/> Legislación que promueve la des carbonización de la producción energética <input type="checkbox"/> Convocatorias gubernamentales para investigación y proyectos relacionados con la tecnología del hidrógeno <input type="checkbox"/> Definición de regulación técnica del manejo y almacenamiento del hidrógeno en el país 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inclusión de las Energías Renovables en la estrategia país de largo plazo con el Diseño del Plan Nacional de Energía de Hidrógeno en la India <input type="checkbox"/> El Plan de Gobierno creó el Ministerio de Fuentes de Energía no Convencionales <input type="checkbox"/> Iniciativas gubernamentales encaminadas a la reducción del impacto ambiental de las actividades humanas <input type="checkbox"/> Apoyo financiero Gubernamental para investigación en la tecnología del Hidrógeno. <input type="checkbox"/> Consolidación de normatividad de seguridad en manejo y almacenamiento de hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Normatividad de seguridad para el manejo y almacenamiento de hidrógeno <input type="checkbox"/> Iniciativas gubernamentales para la consolidación de un clúster en torno a la tecnología del Hidrógeno

5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE ACTORES DEL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO COMO PANORAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO

Finalizando la década de los ochenta y a principios de los noventa, Colombia estaba comenzando a sentir los efectos de una infraestructura insuficiente para la generación energética, al presentarse cortes de energía eléctrica y obligar al gobierno a adelantar el horario laboral, mientras se avanzaba en inversiones en hidroeléctricas e interconexión, El expresidente Cesar Gaviria Trujillo le propuso al país un profundo “*revolcón*” a la economía con el fin de romper con el antiguo modelo de crecimiento orientado hacia adentro, y que no era capaz de garantizar un nivel de crecimiento que le acortara el paso a naciones desarrolladas a un buen ritmo. Los cambios fundamentales a la legislación en materia económica, establecieron nuevos pisos para la norma laboral que rige actualmente, la reforma cambiaría en su visión estimularía los movimientos de capitales con más rapidez, la creación de organismos y reformas estatales orientados a atender en diferentes sectores sus fallas –por ejemplo el PNR, el Plan Nacional de Salud, los Programas para la Juventud, los Hogares de Bienestar, la Reforma Agraria entre otros-. Este conjunto de medidas posibilitaron que Colombia se posicionara en Latinoamérica como uno de los países exportadores de energía eléctrica a través del suministro de fluido eléctrico por interconexiones transnacionales.

5.1. INVENTARIO DE VARIABLES DE SISTEMA

Para la identificación de las variables que intervienen en el sistema se realizaron reuniones no estructuradas de análisis económico, técnico, político y de las experiencias mundiales aterrizándolas al contexto industrial y comercial colombiano. Al culminar este proceso se consolidó una lista de 42 variables relevantes las cuales se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Tabla de Variables Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia.

Fuente: Elaboración Propia.

No	Nombre de la Variable	Etiqueta	Descripción
1	Carbón	QDCARBON	Cantidad de reservas de carbón en Colombia
2	Petróleo	QDPETROL	Cantidad de reservas de petróleo en Colombia
3	Celdas Fotovoltaicas	INVCEFOT	Cantidad de recursos invertidos en el desarrollo de proyectos generadores de energía a partir de celdas fotovoltaicas
4	Campos Eólicos	INVCAMEO	Cantidad de recursos invertidos en el desarrollo de proyectos generadores de energía a partir de campos eólicos
5	Energía Geotérmica	ENGEOTER	Cantidad de recursos invertidos en el desarrollo de proyectos generadores de energía a partir de fuentes geotérmicas
6	Hidroeléctricas	HIDRELEC	Cantidad de recursos invertidos en el desarrollo de proyectos generadores de energía a partir de hidroeléctricas
7	Subsidios - Normatividad Ambiental	SUBNORAM	Incentivos económicos por el uso de equipos o prácticas que reduzcan el impacto ambiental de las actividades humanas en Colombia
8	Devenir político de países productores de petróleo	DPOLOPEP	Posturas amigables u hostiles a nivel político, económico, social, religioso o militar de los países integrantes de la OPEP
9	Líneas de investigación en celdas de combustible e hidrógeno	LINVESTI	Líneas de investigación relacionadas con el uso de materiales mas eficientes en producción y uso del hidrógeno en Colombia
10	Sistemas de transporte masivo	TRAMASIV	Cantidad de vehículos vinculados a los sistemas de transporte masivo en Colombia
11	Visión de largo plazo de las empresas relacionadas con el sector energético del país	VLPSECEN	Estrategias de inversión y productividad de las empresas del sector energetico relacionadas con energías renovables en Colombia de cara a la escasas de reservas de petróleo
12	Seguridad	SEGURIDA	Protección ofrecida por el estado a los

No	Nombre de la Variable	Etiqueta	Descripción
			proyectos relacionados con energías renovables en Colombia
13	Materiales para la fabricación de almacenadores químicos de energía	MATALQUI	Investigación y desarrollo de materiales con propiedades mas eficientes para el almacenamiento químico de energía diferentes al hidrógeno
14	Difusión de redes energéticas de doble vía	REDES2VI	Incremento de zonas interconectadas a través de redes inteligentes de energía (Redes Energéticas de Doble Vía)
15	Productos nuevos en el mercado relacionados con almacenamiento de hidrógeno	PROALMH2	Ingreso al mercado de productos mas eficientes para el almacenamiento de hidrógeno
16	Generación eléctrica distribuida	GELECDIS	Comercialización exitosa de tecnologías para producción energética distribuida
17	Desabastecimiento energético	DESABENE	Tasa de desarrollo de capacidad productiva energética vs. tasa de crecimiento del consumo energético
18	Sanciones - Normatividad Ambiental	SANCNORA	Conjunto de normas que castigan el uso de equipos o prácticas de alto impacto ambiental
19	Triángulo de Sábado	TRISABAT	Nivel de integración Universidad-Empresa-Estado
20	Participación de entidades no gubernamentales	ENTNOGUB	Entidades sin ánimo de lucro dedicadas a la promoción y apoyo a las empresas del sector energético relacionadas con la tecnología
21	Apoyo Financiero Bancario	APFINBAN	Financiación Bancaria a proyectos productivos de equipos y suministros de la tecnología del hidrógeno
22	Apoyo Financiero Gubernamental	APFINGUB	Financiación Gubernamental a proyectos productivos de equipos y suministros de la tecnología del hidrógeno
23	Programas educativos sobre la tecnología H2	PROEDTEC	Proliferación de programas educativos en tecnología del hidrógeno a diferentes niveles de capacitación
24	Redes de cooperación	RCINTEDU	Consolidación de convenios de cooperación

No	Nombre de la Variable	Etiqueta	Descripción
	internacional - Educación		internacional en el campo educativo
25	Redes de cooperación internacional - Proyectos	RCINTPRO	Consolidación de convenios de cooperación internacional en el campo empresarial y de proyectos
26	Difusión de sistemas de respaldo energético basados en hidrógeno	SISREBH2	Comercialización exitosa de sistemas de respaldo energético que usen el hidrógeno como reserva energética
27	Proporción de hidrógeno en el fluido de gas natural a hogares e industria	H2%GASNA	Incorporación de una proporción de hidrógeno en el fluido de gas natural a hogares e industria por parte de las empresas relacionadas con la producción y distribución del gas natural
28	Patentes Internacionales	PATENINT	Número de patentes internacionales relacionadas con la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible
29	Número de estaciones de repostaje de hidrógeno	NESREPH2	Cantidad de estaciones de provisión de hidrógeno para vehículos
30	CONPES - Energías renovables e hidrógeno	CONPESER	Categorización nacional de la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible como un objetivo estratégico de largo plazo
31	Plan de Gobierno	PLANDGOB	Nivel de compromiso de las administraciones con la problemática ambiental
32	Presión Social	PRESISOC	Actividad colectiva a favor de políticas que rechacen el impacto ambiental
33	Entrada de productos con Hidrógeno	PROCONH2	Llegada al mercado de productos cuya fuente energética principal o secundaria este basada en una reserva de hidrógeno
34	Bonos de Carbono	BONOCARB	Comercialización de bonos de carbono colombianos correspondientes a proyectos de mejora en el uso, transmisión o generación energética
35	Sostenibilidad del crecimiento económico nacional	SOSCRECI	Expectativa de crecimiento económico colombiano
36	Distribución de la Riqueza	DRIQUEZA	Nivel de distribución de la riqueza, que

No	Nombre de la Variable	Etiqueta	Descripción
			implica mayor tributación, iniciativas colectivas y mayor conciencia ambiental
37	MCI de Hidrógeno	MCICONH2	Motores de Combustión Interna de hidrógeno
38	Reducción de Aranceles	REDUCARA	Reducción de barreras al comercio de bienes relacionados con la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible
39	Normatividad en manipulación y almacenamiento	NORMANAL	Regulación técnica del manejo y almacenamiento del hidrógeno en el país
40	Conflicto interno	CONFINTE	Actividades terroristas en zonas rurales, poblaciones o ciudades que tengan influencia negativa sobre el crecimiento económico y sobre la confianza inversionista
41	Panorama Económico Mundial	PANECMUN	Situación económica mundial tomando como base las proyecciones de las calificadoras de riesgo mas importantes del mundo
42	Explosión demográfica nacional	EXDEMNAL	Crecimiento poblacional en Colombia

Para el análisis de las relaciones entre las variables se utilizó el software MICMAC de LIPSOR basado en la metodología de análisis estructural creado por GODET y BOURSE.

Basados en la premisa de que una variable debe su relevancia y existencia a su relación con las variables en el propio sistema, se diligencio la matriz de influencia directa, un cuadro de doble entrada en el cual se establece el nivel de influencia de cada variable ubicada en la primera columna sobre las otras variables relacionadas en la primera fila. Esta influencia se mide con la siguiente escala: 0 – Sin Influencia; 1 – Influencia Débil; 2 – Influencia Moderada; 3 – Influencia Fuerte; P – Influencia Potencial, Ver anexo 1.

5.2. ESTRUCTURA DE LA RED DE INTERRELACIONES

El análisis de las relaciones de las variables mostro que el sistema analizado presenta una fuerte tendencia a ser inestable como se observa en la Figura 13, aspecto que incrementa la complejidad del análisis al incluir un alto número de variables enlace ubicadas en el cuadrante superior derecho, las cuales juegan un papel ambiguo en el análisis al tener una alta influencia y una alta dependencia.

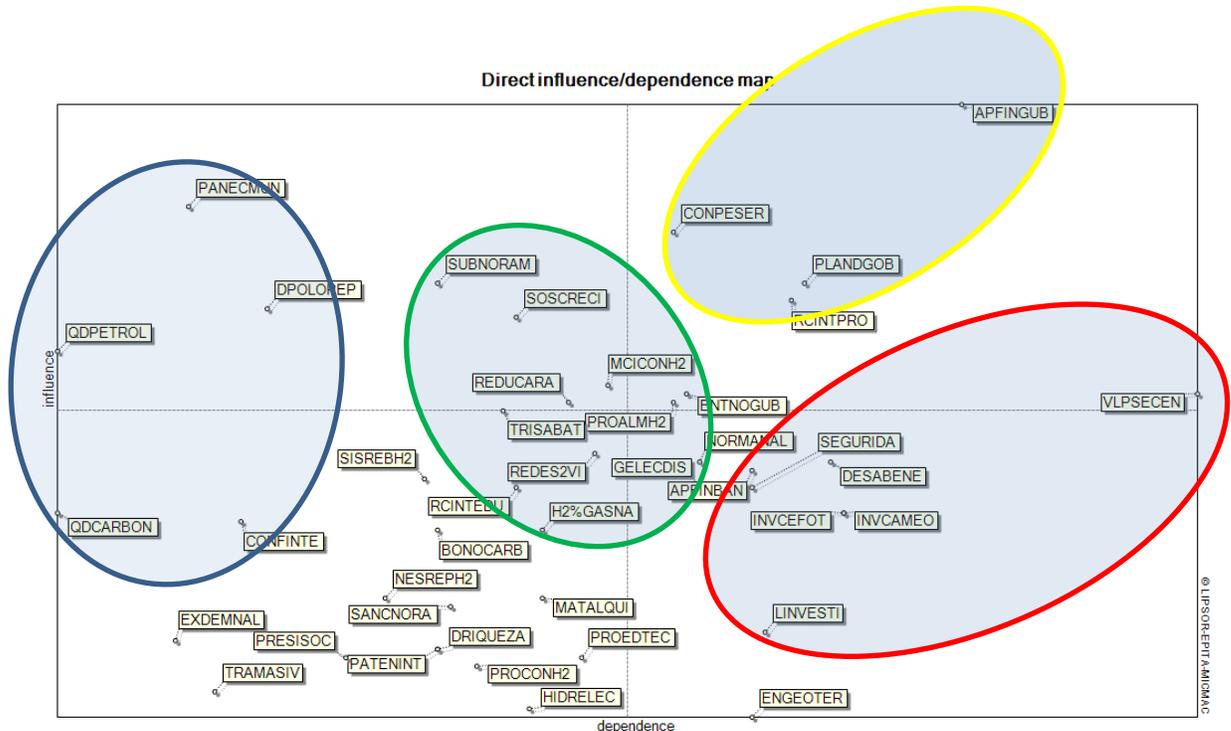


Figura 13. Mapa de Influencia y dependencia Directa.

Fuente: Elaboración propia, software MICMAC

En el óvalo azul se identificaron las variables del entorno que tienen mayor influencia en el sistema, ya que actúan como determinantes al afectar principal y fuertemente el interés de los actores al implementar la tecnología del hidrógeno en el país. La relevancia que muestra la variable Petróleo está de acuerdo con las opiniones de importantes expertos y sobre el efecto potencial que tiene esta variable sobre el comportamiento económico mundial al afectar vía precio todos los costos de producción, transacción y comercialización del resto de la economía.

En el óvalo verde se identificaron las variables reguladoras para la implementación de la tecnología, dentro de las cuales encontramos variables relacionadas con los tres ejes definidos en el análisis de las experiencias de otros países y relacionadas con el Triángulo de Sábato, Universidad-Estado-Empresa, como son: En educación las redes de cooperación internacional en temas de capacitación en la tecnología; en aspectos políticos y de gobierno están los subsidios relacionados con el uso de equipos o prácticas que reduzcan el impacto ambiental de las actividades humanas y la reglamentación de manejo y almacenamiento de hidrógeno y la tecnología en general; en el ámbito empresarial y de proyectos está el uso de motores a combustión interna basados en hidrógeno, porcentaje de hidrógeno en el fluido de gas natural domiciliario e industrial, generación eléctrica distribuida y redes energéticas de doble vía. También es importante resaltar el papel dinamizador que tienen las entidades no gubernamentales, ya que su alta capacidad y potencial de generación de sinergias entre los tres ejes contribuye a consolidar relaciones estables y a la generación de spin-offs, relevantes para el soporte técnico y suministros de la tecnología, como es el caso de la Asociación Colombiana de Hidrogeno.

En el óvalo rojo se identificaron las variables objetivo del sistema, de las cuales es importante resaltar el papel relativamente ambiguo que toma la visión a largo plazo de las compañías del sector energético ya que tiene una especial influencia en que las otras variables dentro del mismo círculo se dinamicen.

En el óvalo amarillo se identificaron las variables clave del sistema, las cuales siendo variables palanca juegan un papel importante en el eje empresarial y de proyectos de la tecnología, como se evidencia con la presencia del apoyo financiero gubernamental, el plan de gobierno y las redes de cooperación internacional en proyectos. La variable CONPES esta ubicada en la posición mas determinante relativamente dentro de este óvalo debido principalmente a la naturaleza de largo plazo de la variable, siendo esta, más política que económica

en contraste con el efecto que tiene la variable Petróleo que es determinante económica.

En la columna de la izquierda de la Figura 14 se muestran las variables ordenadas de acuerdo a su nivel de influencia directa (MDI) y su respectiva relación con la columna de la derecha, la cual muestra las variables ordenadas de acuerdo a su nivel de influencia indirecta (MII).

Classify variables according to their influences

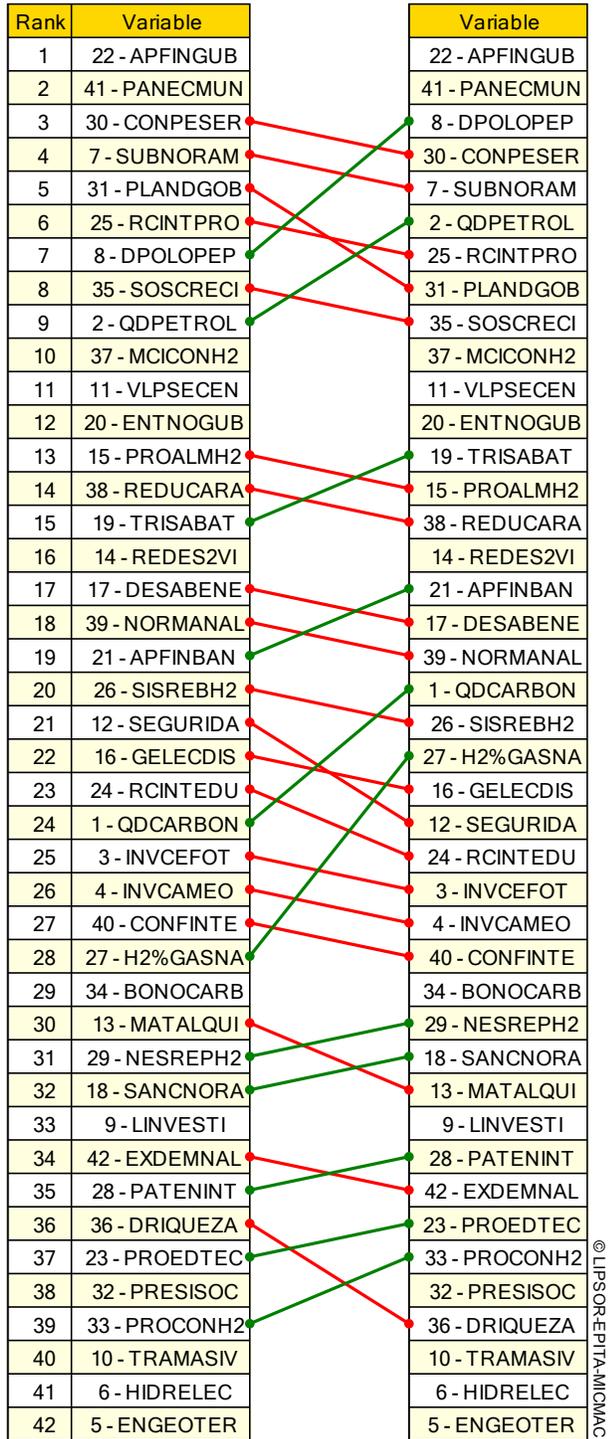


Figura 14. Relación de variables de influencia directa (Columna Izquierda) sobre las variables de influencia Indirecta (Columna Derecha)

Fuente: Elaboración propia, software MICMAC

Del análisis de las relaciones de estas variables se aprecia que las variables macroeconómicas lideran la influencia para conseguir la inclusión de esta tecnología en la visión a largo plazo en la empresa y el país con las variables apoyo financiero y panorama económico mundial, pero igualmente se identifica que la importancia del apoyo político público y privado a la iniciativa de incorporación de una nueva tecnología es muy alta y posibilita la entrada de la tecnología al ubicar en las siguientes cuatro posiciones variables con alta influencia en estos ámbitos, como son la inclusión de las energías renovables dentro del plan estratégico nacional de largo plazo, los subsidios a implementación de prácticas y uso de equipos con menor impacto ambiental, el plan de gobierno y las redes de cooperación internacional en proyectos.

En la columna de la izquierda de la Figura 15 se encuentra el listado de variables ordenadas por su nivel de influencia directa y en la columna de la derecha las variables ordenadas por su nivel de influencia directa potencial.

Classify variables according to their influences

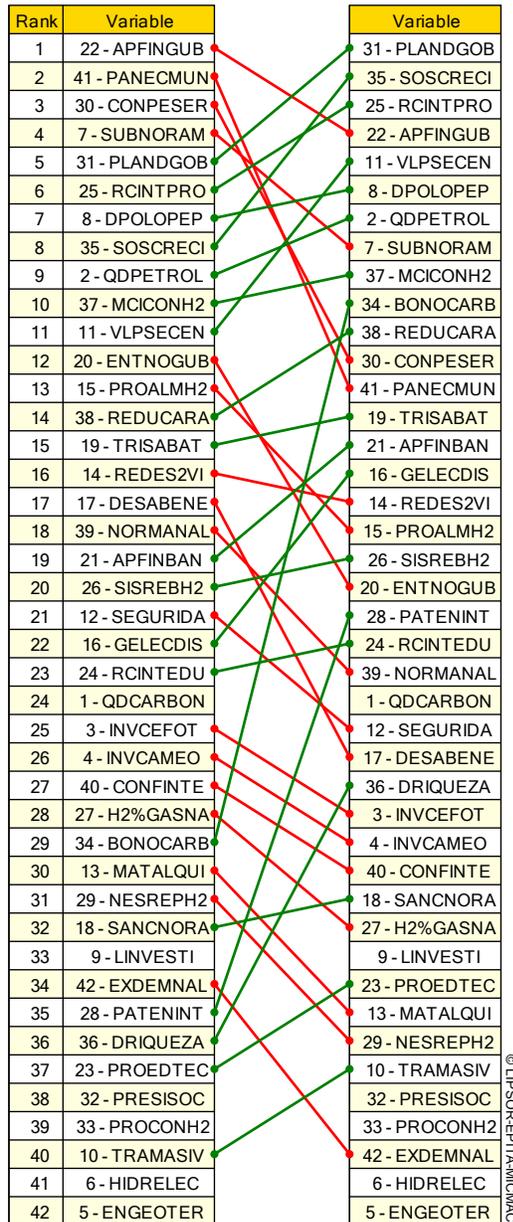


Figura 15. Relación de variables de influencia directa (Columna Izquierda) sobre las variables de influencia Potencial (Columna Derecha)
 Fuente: Elaboración propia, software MICMAC

5.3. VARIABLES RELEVANTES DEL SISTEMA

Las variables relevantes identificadas con el MICMAC fueron agrupadas en 6 temas globales con el fin de posibilitar un análisis gráfico posterior de integración,

expuesto en el numeral 5.7 del presente documento. A continuación en la Tabla 8 se muestra el cuadro resumen de la agrupación.

Tabla 8. Variables relevantes Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia.
Fuente: Elaboración propia.

Grupo de Variables	Variables
Normatividad y Políticas	CONPES - Energías renovables e hidrógeno
	Visión de largo plazo de las empresas relacionadas con el sector energético del país
	Reducción de Aranceles
	Plan de Gobierno
	Difusión de redes energéticas de doble vía
	Redes de cooperación internacional – Proyectos
	Subsidios - Normatividad Ambiental
Apoyo Económico	Apoyo Financiero Gubernamental
	Plan de Gobierno
	Visión de largo plazo de las empresas relacionadas con el sector energético del país
	Seguridad
	Subsidios - Normatividad Ambiental en producción energética
	Redes de cooperación internacional – Educación
	Panorama Económico Mundial
Proyectos	MCI de Hidrógeno
	Difusión de sistemas de respaldo energético basados en hidrógeno
	Difusión de redes energéticas de doble vía
	Redes de cooperación internacional – Proyectos
Investigación Empresarial	MCI de Hidrógeno
Programas Educativos Relacionados con la Tecnología del Hidrógeno	Programas educativos sobre la tecnología H2
Grupos de Investigación	Líneas de investigación en celdas de combustible e hidrógeno
	Redes de cooperación internacional – Educación

Para el grupo de actores relacionados con el Gobierno se identificaron dos grupos de variables relevantes a nivel de normatividad y política y de apoyo económico, donde se encuentra el establecimiento del CONPES de las energías renovables como objetivo estratégico a nivel país, que es en parte consecuencia de la importancia que los planes de gobierno le den y así conseguir establecerlo como una meta de largo plazo.

Las redes de cooperación internacional en proyectos, los subsidios para la utilización de equipos que reduzcan el impacto ambiental de las actividades humanas y la difusión de redes energéticas establecen un segundo grupo de variables relevantes que relacionan los efectos del Plan de Gobierno directamente con los actores relacionados con el Grupo Empresa y con el Grupo Universidad.

Para el grupo de actores relacionados con la Empresa se identificaron dos grupos de variables relacionadas con proyectos e investigación empresarial, donde encontramos el motor de combustión interna basado en hidrógeno, la difusión de sistemas de respaldo energético basado en hidrógeno, la difusión de redes energéticas de doble vía y las redes de cooperación internacional en proyectos.

Para el grupo de actores relacionados con la Universidad se clasificaron las variables en dos grupos, programas educativos relacionados con la tecnología y grupos de investigación, dentro de los cuales se incluyeron las variables líneas de investigación, redes de cooperación internacional en educación y programas educativos relacionados con la tecnología.

Esta clasificación de las variables toma sentido cuando se busca medir el ajuste de las prioridades que cada grupo de actores refleja en sus decisiones para afectar cada variable, ya que como se hará énfasis en el numeral 5.7, para el alcance del reto de incorporar una nueva tecnología se requiere de consenso político y de actividades conjuntas.

5.4. METAS, LIMITACIONES Y MEDIOS DE ACCIÓN DE CADA ACTOR.

Tras la realización del análisis estructural mediante el método MICMAC que permite conocer las variables claves que condicionan el sistema, se identificaron aquellos actores que ejercen una influencia y controlan de una u otra manera las citadas variables como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Definición de actores que controlan las variables relevantes

Fuente: Elaboración propia.

VARIABLES RELEVANTES	ACTORES QUE CONTROLAN LAS VARIABLES RELEVANTES	TÍTULO CORTO
<ul style="list-style-type: none"> Posturas amigables u hostiles a nivel político, económico, social, religioso o militar de los países integrantes de la OPEP 	ORGANIZACIÓN DE PAÍSES EXPORTADORES DE PETRÓLEO.	OPEP
<ul style="list-style-type: none"> Situación económica mundial tomando como base las proyecciones de las calificadoras de riesgo más importantes del mundo 	CALIFICADORAS DE RIESGO INTERNACIONALES	CALRIESINT
<ul style="list-style-type: none"> Incentivos económicos por el uso de equipos o prácticas que reduzcan el impacto ambiental de las actividades humanas en Colombia 	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	MINMINAS
<ul style="list-style-type: none"> Incentivos económicos por el uso de equipos o prácticas que reduzcan el impacto ambiental de las actividades humanas en Colombia 	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO	MINDUSTRIA
<ul style="list-style-type: none"> Motores de Combustión Interna de hidrógeno 	MINISTERIO DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO	MINHACIENDA
<ul style="list-style-type: none"> Categorización nacional de la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible como un objetivo estratégico de largo plazo. Financiación Gubernamental a proyectos productivos de equipos y suministros de la tecnología del hidrógeno 	FONDO NACIONAL DE DESARROLLO	FONADE
<ul style="list-style-type: none"> Consolidación de convenios de cooperación internacional en el campo empresarial y de proyectos 	MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES	MINRELACIONES
<ul style="list-style-type: none"> Estrategias de inversión y productividad de las empresas del sector energético relacionadas con energías renovables en Colombia de cara a la escases de reservas de petróleo 	ECOPETROL	ECOPETROL
<ul style="list-style-type: none"> Estrategias de inversión y productividad de las empresas del sector energético relacionadas con energías renovables en Colombia de cara a la escases de reservas de petróleo 	ISAGEN	ISAGEN

VARIABLES RELEVANTES	ACTORES QUE CONTROLAN LAS VARIABLES RELEVANTES	TÍTULO CORTO
<ul style="list-style-type: none"> Estrategias de inversión y productividad de las empresas del sector energético relacionadas con energías renovables en Colombia de cara a la escases de reservas de petróleo Incorporación de una proporción de hidrógeno en el fluido de gas natural a hogares e industria por parte de las empresas relacionadas con la producción y distribución del gas natural 	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN	EPM
<ul style="list-style-type: none"> Estrategias de inversión y productividad de las empresas del sector energético relacionadas con energías renovables en Colombia de cara a la escases de reservas de petróleo y Incorporación de una proporción de hidrógeno en el fluido de gas natural a hogares e industria por parte de las empresas relacionadas con la producción y distribución del gas natural 	GRUPO EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ	GEEB
<ul style="list-style-type: none"> Entidades sin ánimo de lucro dedicadas a la promoción y apoyo a las empresas del sector energético relacionadas con la tecnología 	ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE HIDRÓGENO	ASOCOH2
<ul style="list-style-type: none"> Entidades sin ánimo de lucro dedicadas a la promoción y apoyo a las empresas del sector energético relacionadas con la tecnología 	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR ELÉCTRICO	CIDET
<ul style="list-style-type: none"> Motores de Combustión Interna de hidrógeno 	TRANSMILENIO	TRANSMIL
<ul style="list-style-type: none"> Nivel de integración Universidad-Empresa-Estado 	UNIVERSIDADES	UNIVERSIDADES
<ul style="list-style-type: none"> Consolidación de convenios de cooperación internacional en el campo educativo Consolidación de convenios de cooperación internacional en el campo empresarial y de proyectos 	PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO EN COLOMBIA	PNUD

Teniendo en cuenta que los actores del sistema poseen distintos grados de libertad que podrán ejercer, a través de la acción estratégica, con el fin de alcanzar sus objetivos, en la Tabla 10 se detalla cada actor, sus metas y objetivo; problemas y debilidades; fortalezas y medios, lo que permite confrontar los planes de cada actor y analizar el equilibrio de poder entre ellos (en términos de límites y medios de acción).

Tabla 10. Descripción de metas, limitaciones y medios de acción de cada actor.

Fuente: Elaboración propia.

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>TRANSMILENIO, (Transmilenio, 2012)</p> <p>El sistema Transmilenio de la ciudad de Bogotá inicio su construcción en el año 1998, funciona como una red independiente de servicio de transporte público, que se mueve en paralelo a las troncales principales de circulación dentro de la ciudad.</p> <p>En el sistema se distinguen dos tipos diferentes de buses, los articulados que tienen una capacidad de 160 pasajeros se mueven por el sistema de interconexión exclusiva para ellos y vehículos emergencia, en síntesis es el vehículo principal dentro del sistema. El otro tipo de vehículos se conoce como alimentadores, que son los encargados de recorrer zonas aledañas y alejadas de las troncales principales, recogiendo y dejando pasajeros, incrementando el área de cobertura del sistema.</p>	<p>Cubrir las necesidades de interconexión del transporte público en la Ciudad de Bogotá, a un costo que hiciera viable el proyecto y que reformara radicalmente el estado de las vías principales de la ciudad.</p> <p>Satisfacer la necesidad de transporte público de los usuarios del Distrito Capital y su área de influencia, con estándares de calidad, eficiencia y sostenibilidad,</p> <p>Operar bajo un esquema público-privado, que contribuya a una mayor competitividad de la ciudad y al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes</p> <p>Diseño e implementación de mecanismos de operación limpios y responsables con el medio ambiente, como factor diferencial y valor agregado en el posicionamiento del Sistema de Transporte frente a sus aliados, a sus usuarios y a su competencia</p>	<p>Este interés en generar mayor cobertura y reducir los costos de operación ha llevado a los directivos de Transmilenio a estudiar la posibilidad de implementar vehículos movidos por gas natural, (El Tiempo, 2002), iniciativa que permitió la realización de pruebas con algunos vehículos, pero se presentaba una pérdida importante de potencia especialmente necesaria para el avance en pendientes cuando el vehículo estaba lleno, lo que terminó por descartar esta alternativa energética.</p> <p>Las otras alternativas existentes, consisten en emplear buses eléctricos o híbridos que son más costosos que los articulados a combustión. Los buses eléctricos implican tiempos muertos para la carga de la batería y los híbridos no eliminan la emisión de gases del todo, pero permiten un reabastecimiento rápido sin detener la operación (Redacción Bogotá, 2012).</p>	<p>Reducción en los costos de transporte para tramos largos y para los cuales anteriormente se requería el pago de más de un ticket de transporte.</p> <p>Reducción de tiempos de desplazamiento afectando positivamente la calidad de vida personal de los pasajeros.</p> <p>Para las personas que habitan o se movilizan por la ciudad perciben una ciudad más ordenada, mejor calidad de las vías, aspecto visual armónico y organizado.</p> <p>Este sistema se ha constituido como un potente inversor en infraestructura a nivel de Bogotá, haciendo posible con su infraestructura y proporción del mercado de transportes, asumir la construcción de grandes obras de infraestructura vial, con miras a incrementar la cobertura y contribuir con el plan programado para el 2020.</p> <p>La operación de Transmilenio contribuye a la reducción de las emisiones de gases contaminantes en la siguiente medida:</p> <p>Reduce el consumo de combustible por kilómetro recorrido y por pasajero transportado.</p> <p>El número de pasajeros transportados por kilómetro recorrido es mayor al del transporte colectivo tradicional.</p> <p>Cada bus troncal sustituye entre 2.7 y 8.9 buses viejos y altamente contaminantes vinculados al transporte tradicional.</p> <p>Los buses del Sistema TransMilenio son de tecnologías Euro II y Euro III que tienen niveles bajos de emisión de gases contaminantes.</p> <p>Los promedios de velocidad son mayores con el Sistema TransMilenio, lo que supone una reducción en el tiempo de los recorridos.</p> <p>El sistema Transmilenio tiene las dimensiones y oportunidades apropiadas para ser utilizado como un campo de pruebas tecnológicas en condiciones reales, acorde con la experiencia vista en Brasil,</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
			<p>posibilitando el desarrollo de una investigación completa de la tecnología, identificando fallas más frecuentes, soluciones y permitiendo generar un ingreso para financiar la etapa investigativa.</p>
<p>ECOPETROL, (Ecopetrol, 2012)</p> <p>Es una empresa de economía mixta que se creó en 1951 con la reversión al estado colombiano de la Concesión de Mares y creció en la medida en que otras concesiones fueron revertidas y se incorporaron a la operación. "En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo. Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$5,25 billones registrada en 2009 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica."²⁴</p>	<p>Desarrollo, en Colombia o en el exterior, de actividades comerciales o industriales correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos. Refinación, procesamiento y cualquier otro proceso industrial o petroquímico de los hidrocarburos, sus derivados, productos o afines, en instalaciones propias o de terceros, en el territorio nacional y en el exterior. Realizar la investigación, desarrollo y comercialización de fuentes convencionales y alternas de energía. Realizar cualquier actividad complementaria, conexas o útiles para el desarrollo de las anteriores.</p>	<p>A nivel internacional la competencia se incrementa debido al gran número de compañías multinacionales y estatales. Apertura importación de combustibles Fuentes alternas de combustible Bajo poder de negociación de los compradores debido a que el precio del petróleo está dado por el mercado. Relaciones con el sindicato Conflicto interno, la amenaza constante de los grupos guerrilleros contra la infraestructura petrolera (Parra & Chamorro, 2009).</p>	<p>Brinda apoyo a los proyectos tecnológicos de los negocios operativos de Ecopetrol S.A., así como servicios técnicos especializados para la industria de petróleo y gas, a través de sus 24 laboratorios y 29 plantas piloto. Sus instalaciones se ubican en Piedecuesta, a 300 kilómetros al norte de Bogotá. En sus veintidós años ha desarrollado y aplicado tecnologías para un total de 32 patentes, el desarrollo de unos 100 productos tecnológicos y 82 registros de derechos de autor. Uno de los principales proveedores de combustibles en el mercado de Latinoamérica donde, además, ya ha mordido una buena parte de la torta de crudos pesados y ha visto crecer 65% sus ventas de refinados en el último año. El presente muestra que la empresa tiene una solidez financiera que la ubica como la primera de Colombia en utilidades (\$1,59 billones en 2003) y activos (\$26,1 billones), sigue siendo la columna vertebral de las finanzas nacionales (hizo aportes por \$5,7 billones en 2003) Se mantiene a la vanguardia como la mayor promotora de proyectos de inversión social en todo el país. Alto apoyo gubernamental.</p>
<p>ISAGEN, (ISAGEN, 2012)</p> <p>Es una empresa de economía mixta vinculada al Ministerio de Minas y Energía, su nacimiento</p>	<p>Es una empresa colombiana dedicada a la generación de energía, la construcción de proyectos y la comercialización de soluciones energéticas, con el propósito de</p>	<p>Nuevas formas de generación de energía más económicas. Marco regulatorio que promueve la libre competencia, libre acceso a las redes eléctricas y la participación privada en cada una de las</p>	<p>La gran capacidad de generación actual y los nuevos proyectos que se están ejecutando como el de Sogamoso y Amoya proveerán de flujo energético suficiente para explotar las oportunidades comercialización</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>se dio en respuesta a la problemática energética que se vivió a principios de la década de los noventa. "Tiene una capacidad instalada total de 2.132 MW, equivalente al 14,78% de la capacidad total del Sistema Interconectado Nacional, distribuida en 1.832 MW hidráulicos y 300 MW térmicos, ubicándola como la tercera generadora más grande de Colombia, lo cual la consolida como agente fundamental en el desarrollo de la industria de energía del país. Su planta térmica funciona principalmente con gas natural, siendo este producto comercializado también al por mayor a través de subastas públicas.</p> <p>La compañía tiene dentro de su portafolio actividades de venta al por mayor de energía eléctrica a nivel nacional e internacional, y hace parte de la Bolsa Nacional de Energía, que es una entidad encargada de unir las puntas del mercado en el sector energético, entre generadores, mayoristas y distribuidores locales.</p>	<p>satisfacer las necesidades de los clientes</p> <p>Líderes en generación y transacciones de energía en Colombia</p>	<p>actividades de la cadena de valor.</p> <p>Alta dependencia a la generación hidroeléctrica, y esto trae como consecuencia serios riesgos en épocas de sequía</p> <p>Retiro de la parte accionaria del sector público.</p>	<p>energética transnacional a Sur America y Centro América.</p> <p>ISAGEN posee y opera cinco centrales de generación, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Santander y Caldas.</p> <p>ISAGEN mantiene los certificados ICONTEC a su Sistema de Gestión de la Calidad bajo la norma ISO 9001, versión 2008; Sistema de Gestión Ambiental bajo la norma ISO 14001, versión 2004; y Sistema de Gestión en Seguridad y Salud Ocupacional bajo la norma OHSAS 18001, versión 2007.</p> <p>Es uno de los principales agentes de la Bolsa de Energía y es el representante de la interconexión eléctrica con Venezuela a través del circuito Cuestecitas-Cuatricentenario, que brinda una capacidad adicional de 150 megavatios a la Compañía.</p> <p>ISAGEN implementa un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) con el cual identifica, evalúa, previene, controla, mitiga y compensa los impactos ambientales de las actividades, productos y servicios asociados a la generación de energía, y permite el cumplimiento de los requisitos legales aplicables y otros compromisos que la Organización suscriba.</p> <p>ISAGEN cuenta con Licencia Ambiental para la construcción y operación de un parque eólico en el departamento de La Guajira. Tendrá una capacidad instalada aproximada de 32 MW y estará conformado por dos plantas de generación, una de 12 MW de propiedad de WAYÚU S.A. y otra de 20 MW de propiedad de ISAGEN.</p> <p>ISAGEN establece convenios con instituciones y empresas para estudiar y desarrollar alternativas para la generación de energía utilizando fuentes renovables que presentan un menor impacto ambiental y contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente se están realizando estudios y algunos son:</p> <p>Parque Eólico: se culminó el diseño de un parque eólico de 20 MW, se inicio el proceso</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
			<p>de análisis de viabilidad financiera, así como la gestión para la búsqueda y obtención de recursos. También se realizaron las gestiones ambientales con las comunidades indígenas con relación al uso del territorio y su participación en el proyecto.</p> <p>Estudio del Potencial Eólico: ISAGEN, desde finales del año 2006 y en convenio con Iberdrola España, ha realizado las labores de caracterización del recurso eólico en diferentes zonas del país y se han identificado potenciales proyectos a desarrollar.</p> <p>Proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz: busca el aprovechamiento del calor interno de la tierra, que se manifiesta en fuentes de aguas termales y emanaciones de vapor cerca a los volcanes, para generar energía eléctrica utilizando turbinas de vapor.</p> <p>Biocombustibles: en asocio con el Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín se inició el estudio "Producción de biodiesel a partir de dos especies oleaginosas silvestres americanas". Durante 2010 se identificaron poblaciones silvestres con alto potencial para producir aceite y se tramitó ante el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) un permiso de estudio con fines de investigación.</p>
<p>EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, (Grupo Empresarial EPM, 2012)</p> <p>Es una empresa nacida en Medellín Antioquia el 6 de Agosto de 1955 mediante la fusión de cuatro entidades independientes, Energía, Acueducto, Alcantarillado y Teléfonos. En 1998 se convirtió en una Empresa Industrial y Comercial del Estado, y sus transferencias anuales al Municipio de Medellín son dedicadas a inversión social. EPM se estructura en tres Grupos</p>	<p>Expandir su presencia en Latinoamérica en los negocios de Energía, Gas y Aguas.</p> <p>Consolidar el negocio de energía eléctrica, impulsar el gas natural y seguir creciendo en aguas.</p> <p>Aumentar la participación en el negocio de transmisión de energía en Colombia.</p> <p>En gas, el interés clave e inmediato es la consolidación de la distribución y comercialización del gas natural por red, la expansión del suministro de Gas Natural Vehicular (GNV) y el fortalecimiento de los servicios de transporte y de soluciones derivadas de este energético.</p>	<p>Concentración de la demanda en estratos de menor capacidad de pago, especialmente en el segmento de acueducto y alcantarillado.</p> <p>Agotamiento acelerado de la base social y de los recursos naturales</p> <p>el cambio climático está imponiendo mayores controles regulatorios y restricciones para el acceso y el uso del recurso agua.</p>	<p>El proyecto más importante de EPM es la construcción, operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica de Ituango, que iniciara operaciones en el 2018 y estará en concesión por 50 años, tendrá una capacidad de producción energética de 2.400MW.</p> <p>El proyecto de construcción de la central hidroeléctrica Bonyic en Panamá, con un potencial de producción de 30MW aprovechables gracias al alto nivel de precipitaciones de la región.</p> <p>Dentro de su segmento de producción energética, cuentan con 25 hidroeléctricas, una termoeléctrica y un parque eólico en la Alta Guajira.</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>Estratégicos de Negocio (GEN): Aguas, Energía y Telecomunicaciones; y un conjunto de direcciones que proveen los servicios de apoyo. Aguas y Energía son gestionados desde la matriz, y Telecomunicaciones desde su filial EPM Telecomunicaciones, que opera bajo la marca UNE.</p>			<p>La operación de la compañía con su producto gas natural, está localizado principalmente en el Valle de Aburra, donde cuenta con redes principales en acero de 87 km, 4224 km de redes de baja presión en polietileno para la distribución de gas a los clientes finales. También tiene contemplado prestar el servicio para el suministro de combustible gas natural al nuevo servicio de buses del Metroplus en Medellín.</p> <p>Posicionamiento de marca en la población atendida.</p> <p>Autonomía administrativa y financiera respecto al Municipio de Medellín como dueño.</p> <p>Claras políticas de gobierno corporativo.</p> <p>Las energías alternativas y la movilidad eléctrica plantean posibilidades de incursión en nuevos negocios para el GEN Energía</p> <p>Alto grado de diversificación de sus ingresos operacionales.</p> <p>Baja concentración de sus obligaciones financieras de corto plazo.</p> <p>Sólidos indicadores de rentabilidad.</p> <p>Alta participación de mercado en las líneas de negocio atendidas.</p> <p>Compromiso y responsabilidad social y ambiental.</p> <p>Esta compañía cuenta con la fortaleza financiera, el potencial energético, la capacidad de distribución y el propósito de incrementar sus operaciones a nivel internacional.</p> <p>Han promovido la generación energética a gran escala aprovechando los recursos renovables localizados en diferentes zonas del país y canalizados a través de importantes inversiones en hidroeléctricas o el campo eólico.</p> <p>Posibilidades de entrar en el sector de agua y/o energía en otras regiones de Latinoamérica.</p> <p>Expansión subregional del segmento de generación y distribución de energía.</p> <p>Consolidación de los negocios de gas natural residencial y vehicular.</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>GRUPO EMPRESARIAL DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, (Grupo Empresarial Energía de Bogotá, 2012)</p> <p>El Grupo Energía de Bogotá es uno de los más importantes grupos Empresariales de Colombia dentro del sector energético. En la actualidad, tiene presencia internacional en países como Perú y Guatemala, y cuenta con una solidez financiera, respaldada en su nivel de activos y en su estructura de capital.</p> <p>El Grupo Energía de Bogotá es especialista en el negocio de transporte y distribución de energía, electricidad y gas natural; y ha realizado alianzas estratégicas con socios, encaminadas a la generación, distribución y comercialización de electricidad y gas natural, como el Grupo Endesa (Italia-España), el Grupo Citi (CVC) e ISA (Colombia). Adicionalmente, tiene a Gas Natural (España) como asociado para la distribución y comercialización del gas en el país.</p>	<p>Ser el primer grupo transportador independiente de gas natural en América Latina, actor relevante en transmisión y distribución de energía eléctrica y gas natural nacional e internacional, con participación importante en otros negocios del sector energético y reconocido como grupo de clase mundial.</p> <p>Contribuir a suplir la creciente demanda energética dentro nuestra área de influencia de manera sostenible</p> <p>Preservar los ecosistemas y su diversidad biológica, así como la riqueza cultural y arqueológica de la región donde opera.</p>	<p>Poco control de subsidiarias</p> <p>Participación creciente del sector privado</p>	<p>Musculo financiero y el respaldo que se deriva de los lazos existentes con la Ciudad de Bogotá, los cuales al ser moderados le permiten tener un comportamiento financiero muy estable.</p> <p>Sinergias, proyecto electrificación del transporte, proyectos MDL y Kioto hasta 2017</p> <p>Tiene el control de la mayor transportadora de gas natural de Colombia, TGI.</p> <p>En Perú, su empresa CONTUGAS tiene la concesión por 30 años para el transporte y distribución de gas natural en el departamento de Ica y a través de su empresa Cálidda la distribución de gas natural en el departamento de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.</p> <p>En el mismo país, junto con el grupo ISA, participa en REP y en TRANSMANTARO, empresas que operan el 63% del sistema de transmisión eléctrica en ese país.</p> <p>En 2010 constituyó TRECSA - Transportadora de Centroamérica S.A.- que construirá el proyecto de infraestructura de energía eléctrica más importante de Guatemala y, prestará el servicio de transmisión de electricidad a partir de 2013.</p> <p>Cuenta además con un portafolio de inversiones en importantes empresas del sector energético entre las que se destacan CODENSA S.A., EMGESA S.A., GAS NATURAL S.A., la Empresa de Energía de Cundinamarca - EEC y la Electrificadora del Meta - EMSA y en menor escala en ISA e ISAGEN.</p> <p>apertura informativa</p> <p>2004, adhirió a la iniciativa de Pacto mundial de las Naciones Unidas involucrándose en la estrategia para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio.</p>
<p>ORGANIZACIÓN DE PAÍSES EXPORTADORES DE PETRÓLEO, (Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), 2012)</p>	<p>Coordinar y unificar las políticas petroleras de los países miembros y determinar los medios más idóneos para salvaguardar sus intereses individuales y colectivos</p> <p>Buscar las mejores vías y medios para</p>	<p>Se propició el uso del petróleo como arma para lograr objetivos de tipo político y estratégicos ajenos a la organización, (Zanoni, 2010)</p> <p>La inexistencia de una estrategia para manejar la competencia natural de las empresas petroleras estatales de los países miembros por</p>	<p>Disfruta de una participación del mercado que sobrepasa el 40%. Participación que deberá aumentar por la declinación esperada en la producción de los países no-OPEP.</p> <p>La mayoría de las reservas petroleras</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) es una organización permanente, intergubernamental, creada en la Conferencia de Bagdad realizada del 10 al 14 septiembre 1960, por parte de Irán, Irak, Kuwait, Arabia Saudita y Venezuela. La OPEP tuvo su sede en Ginebra, Suiza, en los primeros cinco años de su existencia. Esto se trasladó a Viena, Austria, el 1 de septiembre de 1965.</p>	<p>asegurar la estabilización de los precios en los mercados internacionales, con miras a eliminar las fluctuaciones perjudiciales e innecesarias Proveer a las naciones consumidoras un suministro de petróleo de un eficiente, económico y regular y un retorno justo de capital para las inversiones de la industria petrolera</p>	<p>determinados mercados. No haber podido anticipar los cambios de tendencias en el comportamiento del mercado, que siempre han tomado por sorpresa a la organización e impedido implementar medidas que si bien no revirtieran las tendencias, al menos aminorasen sus efectos perversos sobre las economías de los países miembros. El no haber podido implantar un sistema de precios, con visión comercial, de corto y largo plazo que tomara en cuenta las realidades del mercado Haber elevado exageradamente los precios petroleros, en momentos de euforia, respondiendo a situaciones meramente coyunturales, con lo cual propiciaron la explotación petrolera fuera del área OPEP, la sustitución del petróleo por otras fuentes y la conservación energética. Inflexibilidad técnica de la OPEP para aumentar o disminuir los precios de los crudos con la celeridad que demandaban las situaciones presentadas Dificultad para desarrollar un balance de poder entre las distintas posiciones de los países miembros lo que permitió, más bien, el desarrollo de un liderazgo basado exclusivamente en la mayor disposición de volúmenes de producción y de reservas, con lo cual se dio un exceso de influencia decisoria a los países árabes del Golfo. No haber desarrollado un sistema de premios y penalizaciones para obligar a los miembros a cumplir con los compromisos aceptados. La poca importancia que le dio la OPEP a los primeros movimientos ambientalistas creyendo que eran estrictamente anti-OPEP o que luchaban exclusivamente contra la utilización del petróleo como recurso. Asimismo el haber olvidado la importancia que tienen para la OPEP el apoyo de organizaciones internacionales tales como la FAO, ONU, OMC.</p>	<p>remanentes de crudos convencionales se encuentran en sus territorios. Superando el 70% del total mundial.</p>
<p>MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA, (El Ministerio de Minas y Energía, 2012)</p>	<p>Garantizar el abastecimiento de hidrocarburos y energía eléctrica Crear una institucionalidad y mecanismos que garanticen una minería</p>	<p>Interés por visualizar el país minero Implementación de Políticas de Promoción del País Minero, Administración del Recurso Minero y Mejoramiento de la Productividad y</p>	<p>Conocimiento y experiencia en el Sector Facilidad para gestionar recursos Conocimiento geológico básico Capacidad de interpretar la situación en los</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
	<p>responsable y competitiva Promover, gestionar y cofinanciar proyectos de cobertura energética y de gas a través de los Fondos Especiales y de tarifas Impulsar la integración energética regional Construir la Infraestructura necesaria para asegurar el abastecimiento confiable de hidrocarburos y energía eléctrica</p>	<p>Competitividad del sector Minero. Falta de relaciones interinstitucionales para cooperación técnica en diferentes niveles Infraestructura férrea y portuaria. Percepción equivocada de la actividad minera Corrupción Falta de sinergia con otras entidades Falta de Unificación de criterios Jurídicos Conflictos entre los componentes mineros y las disposiciones de las autoridades ambientales. Fluctuaciones de precios internacionales Conflicto interno armado</p>	<p>territorios Acceso a información general</p>
<p>FONDO FINANCIERO DE PROYECTOS DE DESARROLLO, (FONADE, 2012)</p> <p>DECRETO 288 DE 2004 El Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo- FONADE es una Empresa Industrial y Comercial del Estado, de carácter financiero, dotada de personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa vinculada al Departamento Nacional de Planeación y vigilado por la Superintendencia Bancaria. Tiene su domicilio en la ciudad de Bogotá.</p> <p>Creada en 1968 como un establecimiento Público denominado Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo FONADE, mediante la expedición del Decreto Ley 3068, en el gobierno del presidente Carlos Lleras Restrepo. En 1992 se convierte en una Empresa Industrial y Comercial del Estado de carácter financiero y se le asigna la función de ser Agencia de Proyectos de Desarrollo.</p>	<p>FONADE está comprometido con el impulso real al desarrollo socioeconómico del país a través de la preparación, evaluación, financiación, estructuración, promoción y ejecución de proyectos, principalmente aquellos incluidos en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo. Para ello, incentiva la participación del sector social, la academia y en general del sector privado.</p> <p>Promover, estructurar, gerenciar, ejecutar y evaluar proyectos de desarrollo financiados con recursos de fuentes nacionales o internacionales.</p> <p>Realizar las gestiones necesarias para garantizar la viabilidad financiera del Fondo y la de los proyectos que administra o ejecuta.</p> <p>Prestar asesoría y asistencia técnica a entidades públicas y privadas en materias relacionadas con proyectos de desarrollo.</p> <p>Prestar servicios de asesoría, estructuración y reestructuración financiera y de banca de inversión.</p> <p>Diversificar los negocios de FONADE y ampliar la base de clientes de la entidad.</p> <p>Definir e implementar una política social para beneficiar los sectores más vulnerables, de acuerdo con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo.</p>	<p>El proyecto debe estar enmarcado dentro del Plan Nacional de Desarrollo o planes de desarrollo municipal o departamental Regirse por el sistema de contratación establecido en el Manual de Contratación de la entidad</p>	<p>FONADE en un esquema de gerencia de proyectos puede canalizar recursos de diferentes fuentes, y manejar cada uno de estos con la independencia requerida Brindar a los clientes servicios de asesoría financiera, estructuración financiera de proyectos y de estructuración integral de proyectos, entendiéndose esta última como el conjunto de actividades y estudios que se deben realizar para determinar el mejor esquema bajo el cual un proyecto se pueda llevar a cabo a nivel técnico, financiero, legal, institucional y operacional, de tal forma que éste se pueda promocionar para lograr la vinculación de inversionistas públicos y privados tanto para su financiación como para su ejecución. Diseño de estrategias para la consecución de recursos financieros para empresas y proyectos. Con la evaluación de proyectos, FONADE apoya a las entidades públicas o privadas para agilizar la toma de decisiones sobre la viabilidad de los proyectos</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
<p>ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE HIDRÓGENO, (ACoHidrógeno, 2012)</p> <p>La asociación es una agrupación sin ánimo de lucro, conformada por ciudadanos del mundo, experimentados en actividades económicas, académicas, técnicas, científicas y ambientales, preocupados e interesados por los problemas y las soluciones provenientes de la disminución en la oferta y mal uso de los recursos energéticos fósiles, así como de las alternativas en desarrollo (CIDET, 2012) y sus consecuencias ambientales sociales y económicas en el mundo y en nuestro país.</p>	<p>El estudio, investigación y promoción de energías limpias renovables en nuestro país, en especial el relacionado con hidrógeno.</p> <p>Facilitar el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías y de las empresas que fueren creadas.</p> <p>Apoyar el desarrollo de especialidades universitarias y técnicas en el campo de las energías limpias.</p> <p>Promover la investigación y los trabajos académicos sobre hidrógeno y energías limpias.</p> <p>Lograr avances productivos y eficaces en el remplazo de los recursos energéticos no renovables y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.</p> <p>Proponer la creación de incentivos para el desarrollo de energías limpias y promover un plan nacional de hidrógeno y energías limpias y su inclusión en los planes energéticos del país.</p> <p>Desarrollar las bases de la normatividad especial para el uso del hidrógeno y otras energías limpias y prevenir el deterioro del ambiente derivado del uso del hidrógeno.</p> <p>Hacer los enlaces, contactos y alianzas nacionales (industria, gobierno, universidades) e internacionales necesarios para el logro de sus objetivos</p>	<p>No cuenta con una misión y visión.</p> <p>Insuficiencia de recursos e inestabilidad de los proyectos y difícil sostenibilidad de las organizaciones.</p> <p>Falta de consolidación de la estructura orgánica</p> <p>No tiene unos estatutos ni una junta directiva clara</p> <p>No muestra los respectivos comités</p> <p>No tiene socios estratégicos</p>	<p>Es un primer paso en el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno como vector energético, y la promoción de la utilización en aplicaciones industriales y comerciales.</p>
<p>CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR ELÉCTRICO, (CIDET, 2012)</p> <p>Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico, es una entidad sin ánimo de lucro, respaldada por gran número de empresas del sector energético.</p>	<p>Consolidar los dos grupos de investigación que actualmente tiene el CIDET en los temas de Mercados Energéticos, y Prospectiva y Vigilancia Tecnológica.</p> <p>Pertener a la Red Nacional de Innovación con el ánimo de poder participar en convocatorias y acceder a recursos de Colciencias para la investigación y el Desarrollo del sector eléctrico Colombiano.</p> <p>Impulsar la inserción de la industria eléctrica colombiana en el ámbito internacional con base en la mejora de</p>		<p>Articula y gestiona proyectos de investigación, desarrollo e innovación para el sector eléctrico, en procura de alcanzar y mantener un buen posicionamiento del sector frente al mercado y la competencia y respondiendo oportuna, adecuada y eficientemente a sus retos y necesidades.</p> <p>Facilitar la adquisición de conocimientos, altamente relevantes, que identifiquen temas tecnológicos y científicos emergentes, los cuales en su conjunto facilitan la toma de decisiones y el desempeño de las empresas.</p> <p>Aplican un modelo de gestión de I+D+i que</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
	la competitividad del sector		<p>parte de la identificación de las problemáticas, necesidades, y oportunidades reales del sector y sus empresas, proporcionando soluciones adecuadas, mediante la articulación de las capacidades de la academia, otros centros de investigación y el trabajo en red con empresas e instituciones nacionales e internacionales.</p> <p>Plan de Acción para la productividad de las empresas del Clúster de Energía (Alcaldía de Medellín, CTA) y plan de formación para la internacionalización del Sector Eléctrico (Agencia de Cooperación Internacional).</p>
UNIVERSIDADES	<p>Impartir una sólida formación ética, humanística y científica que, unida a la investigación y a una idónea y exigente docencia, permita a esta comunidad educativa formar integralmente personas insignes y actuar en beneficio de la sociedad, con un máximo sentido de responsabilidad, (Universidad del Rosario, 2012)</p> <p>La excelencia y alta calidad de sus programas académicos y de su Comunidad y por la generación de conocimiento pertinente para el desarrollo de la sociedad en sus dimensiones.</p> <p>Una cultura de cooperación internacional e intercultural que ha consolidado la interacción con grupos y redes académicas nacionales y del extranjero, la internacionalización de sus currículos y la movilidad de su comunidad.</p> <p>Contar con condiciones organizacionales, de infraestructura y de tecnología, eficientes y sostenibles para desarrollar su proyecto educativo con altos estándares de calidad.</p> <p>el acceso con equidad al sistema educativo colombiano, provee la mayor oferta de programas académicos, forma profesionales competentes y socialmente responsables, (Universidad</p>	<p>La tendencia al libre comercio cambia el papel de la universidad pública. Propendiendo La separación entre el título profesional y la certificación de competencias laborales y abre la posibilidad de que instituciones extranjeras con una amplia experiencia en el manejo de mercados desplacen a las instituciones colombianas.</p> <p>Incertidumbre frente a la financiación estatal: la política pública tiende a privilegiar la demanda en los servicios educativos y existe un interés recurrente en modificar la ley 30.</p> <p>La ampliación de cobertura sin el respaldo de los recursos necesarios.</p> <p>Desmejoramiento de las condiciones laborales de los docentes.</p> <p>Las condiciones extremas de inequidad e injusticia social estimulan el escalamiento y degradación del conflicto armado y social que puede llevar a que la universidad pública se convierta en escenario de guerra</p> <p>Escasas ofertas de empleo y oportunidades de emprendimiento para los egresados.</p> <p>Insuficiente incorporación de las TIC y actualización tecnológica para responder a la formación, la investigación, la prestación de servicios y la administración de una educación superior enfocada al futuro: mantenimiento y desarrollo de laboratorios, necesidad de modernización en recursos y metodologías para la enseñanza, preparación para la internacionalización, desarrollo del bilingüismo,</p>	<p>Contar con una financiación estatal</p> <p>Prestigio e importante posicionamiento a nivel regional, nacional e internacional</p> <p>Capacidad de investigación de alto nivel nacional.</p> <p>En su proceso de internacionalización, América Latina está promoviendo el intercambio de países de la región y la aproximación a otros bloques de países (Unión Europea, Sudeste Asiático, Pacífico, Estados Unidos y Canadá).</p> <p>En la medida en que la Universidad fomente la creación y aprovechamiento de capital intelectual puede convertirse en un agente activo de desarrollo e innovación social y cultural, tanto a nivel local como regional.</p> <p>La política nacional de Ciencia y Tecnología, bajo las condiciones de normatividad actual, tiende a privilegiar la capacidad de organización y financiamiento a gran escala con base en alianzas entre sectores académicos y no académicos, favorece la pertenencia a redes internacionales y la producción de conocimiento de frontera.</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
	<p>Nacional de Colombia, sede Bogotá, 2012)</p> <p>Contribuir a la unidad nacional, en su condición de centro de vida intelectual y cultural abierto a todas las corrientes de pensamiento y a todos los sectores sociales, étnicos, regionales y locales.</p> <p>Formar profesionales e investigadores sobre una base científica, ética y humanística, dotándolos de una conciencia crítica, de manera que les permita actuar responsablemente frente a los requerimientos y tendencias del mundo contemporáneo y liderar creativamente procesos de cambio.</p>	<p>etc.</p> <p>Poca innovación en la oferta académica tradicional e insuficientes propuestas en nuevas áreas de conocimiento y ofertas interdisciplinarias basadas en el enfoque de solución de problemas.</p> <p>El contacto con el sector productivo del país es mínimo.</p>	
<p>MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO Y TURISMO DE COLOMBIA, (MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO, 2012)</p>	<p>Apoyar la actividad empresarial, productora de bienes, servicios y tecnología, así como la gestión turística de las regiones del país, con el fin de mejorar su competitividad, su sostenibilidad e incentivar la generación de mayor valor agregado.</p> <p>Formular, adoptar, dirigir y coordinar las políticas generales en materia de desarrollo económico y social del país, relacionadas con la competitividad, integración y desarrollo de los sectores productivos de la industria, el micro, pequeña y mediana empresa, el comercio exterior de bienes, servicios y tecnología.</p> <p>La promoción de la inversión extranjera, el comercio interno y el turismo; y ejecutar las políticas, planes generales, programas y proyectos de comercio exterior.</p> <p>Aumentar y diversificar el comercio exterior de bienes y servicios y los flujos de inversión extranjera directa.</p> <p>Fortalecer un ambiente propicio para que Colombia tenga una estructura productiva de bienes y servicios sólida, competitiva e innovadora, que contribuya a la generación de empleos formales y sostenibles</p> <p>Hacer de Colombia un Destino Turístico</p>	<p>La estructura arancelaria de Colombia se caracterizaba por una alta dispersión en las tarifas</p>	<p>9 Tratados de Libre comercio firmados en el 2010, que darán acceso preferencial a 45 países con más de 1.000 millones de consumidores.</p> <p>El peso colombiano se ha fortalecido, gracias a la confianza generada Negociación, implementación y aprovechamiento de Acuerdos Comerciales Internacionales</p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
	<p>de Clase Mundial mediante el desarrollo sostenible y el mejoramiento de la competitividad regional. Ser Modelo en gestión administrativa para apoyar con eficiencia el trabajo de las áreas misionales, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector y al progreso der los colombianos.</p>		
<p>MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO DE COLOMBIA, (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2012)</p>	<p>Propiciar las condiciones para el crecimiento económico sostenible, y la estabilidad y solidez de la economía y del sistema financiero; en pro del fortalecimiento de las instituciones, el apoyo a la descentralización y el bienestar social de los ciudadanos. Obtener la estabilidad Macroeconómica y equilibrio fiscal nacional y territorial.) Diseñar mecanismos para distribuir de manera equitativa y concertada las regalías, para su uso eficiente y eficaz Propender por la modernización del sistema financiero y mercados de capitales. Establecer mecanismos para un manejo más eficiente de los activos del Estado.</p>		<p>Coordina la política macroeconómica; define, formula y ejecuta la política fiscal del país; Incide en los sectores económicos, gubernamentales y políticos; Gestiona los recursos públicos de la Nación, desde la perspectiva presupuestal y financiera. Definir, formular y ejecutar la política económica del país, los planes generales, programas y proyectos relacionados con ésta, así como la preparación de las leyes, y decretos; La regulación, en materia fiscal, tributaria, aduanera, de crédito público, presupuestal, de tesorería, cooperativa, financiera, cambiaria, monetaria y crediticia, sin perjuicio de las atribuciones conferidas a la Junta Directiva del Banco de la República y las que ejerza, a través de organismos adscritos o vinculados para el ejercicio de las actividades que correspondan a la intervención del estado, en las actividades financieras, bursátil, aseguradora y cualquiera otra relacionada con el manejo, aprovechamiento e inversión de los recursos del ahorro público y el tesoro nacional, de conformidad con la Constitución Política y la Ley.</p>
<p>MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES DE COLOMBIA, (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2012)</p>	<p>Promover los intereses nacionales mediante el fortalecimiento y diversificación geográfica y temática de la política exterior, Promover los vínculos con los colombianos en el exterior. Generar y aprovechar escenarios para el posicionamiento de Colombia en las dinámicas y temáticas mundiales.</p>	<p>La entidad No cuenta con un Sistema Integrado de Información.</p>	<p> </p>

ORGANIZACIÓN	METAS Y OBJETIVO	PROBLEMAS Y DEBILIDADES	FORTALEZAS Y MEDIOS
	<p>Avanzar en la inserción efectiva en los ejes de integración y desarrollo. Impulsar la política migratoria y fortalecer el servicio consular. Fortalecer institucionalmente la Cancillería.</p>		
<p>PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO EN COLOMBIA, (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2012)</p>	<p>El objetivo principal del programa de medio ambiente y energía del PNUD es promover la sostenibilidad ambiental como un factor de mitigación de la pobreza en Colombia y de bienestar para la población. Incrementar la resiliencia ecosistémica, mejorar la capacidad de adaptación de la sociedad y mitigar las causas del cambio climático según las propuestas de la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático (CMNUCC) y del Protocolo de Kyoto. Desarrollar iniciativas que fortalezcan el vínculo entre adaptación al cambio climático y gestión del riesgo.</p>		<p>Cada una de las acciones y énfasis de trabajo del PNUD se hace posible a partir de una estrategia que privilegia las alianzas como mecanismo para la legitimidad, potenciación y sostenibilidad de los procesos. Estas alianzas incorporan a los sectores públicos y privados, a organizaciones de la sociedad civil, a los medios de comunicación y, fundamentalmente, a comunidades colombianas.</p>
<p>CALIFICADORA DE RIESGO INTERNACIONAL</p> <p>Son empresas privadas, caracterizadas por alta o total independencia, traducido en prestigio y credibilidad, que tienen como objetivo organizacional el establecer una calificación bien sea sobre una nación (riesgo país) o sobre una empresa como un todo o sobre sus títulos valores, e informarla, mediante un dictamen u otros medios, a todas aquellas personas naturales y jurídicas, interesadas en su consulta.</p>	<p>Emitir una opinión sobre la capacidad presente y futura de un emisor (país, institución o empresa) para cumplir una obligación financiera según las oportunidades y montos pactados originalmente. Estudia el riesgo económico y político de un país o de una empresa y su incidencia en la capacidad para cumplir con los compromisos adquiridos. Brinda un indicador simple y objetivo de evaluación del riesgo crediticio Posibilita una estructura financiera más flexible.</p>	<p>No existe unificación en la forma de dictaminar e informar la calificación, pues cada empresa tiene su propia metodología y su propia escala calificativa. Estas agencias se encuentran sujetas a muy poca regulación.</p>	<p>Se toman en cuenta para la calificación las variables económicas, el sistema político, el ambiente social, la solidez y estabilidad de las instituciones, además de las relaciones externas.</p>

5.5. ESTRATEGIAS Y OBJETIVOS ASOCIADOS CON LAS EXPERIENCIAS MUNDIALES

A partir de las experiencias mundiales analizadas en el numeral 4 del presente documento encausados hacia la acumulación de experiencia y crecimiento de la curva de aprendizaje respecto a la tecnología del hidrógeno y teniendo en cuenta las características propias del sector energético y la realidad económica y social colombiana, se extraen los objetivos asociados a la implementación de la tecnología del Hidrógeno como una oportunidad estratégica para la perdurabilidad del sector energético en Colombia, la agrupación de estos objetivos plantea los retos que debe afrontar el país, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Retos y objetivos Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia
Fuente: Elaboración propia.

RETOS	OBJETIVOS
Dinamizar económica y técnicamente la producción de hidrógeno	Suministro de mezcla de Gas Natural e Hidrógeno a través del sistema de distribución de Gas Natural domiciliario e industrial
	Utilización del hidrógeno como reserva de energía eléctrica
Promover proyectos que posibiliten la acumulación de experiencia sobre la Tecnología del Hidrógeno de forma financieramente sostenible	Empresas fabricantes de automotores que incluyen MCI propulsados a hidrógeno
	Empresas que participan en redes de cooperación internacional en proyectos relacionados con la tecnología del hidrógeno
	Proyectos de generación distribuida con sistemas energéticos de respaldo basados en hidrógeno
	Proyectos de transporte público propulsado con celdas de combustible de hidrógeno
Consolidación del interés de las Universidades y otros Centros Educativos en la investigación y enseñanza de la tecnología del hidrógeno	Estudio de materiales para producción, conducción, almacenamiento y dispositivos de seguridad.
	Apoyo financiero Gubernamental para investigación en la tecnología del Hidrógeno

RETOS	OBJETIVOS
	Redes Internacionales de Cooperación en Educación con relación a la Tecnología del Hidrógeno y Pilas de Combustible
	Programas Educativos con relación a la Tecnología del Hidrógeno y Pilas de Combustible a diferentes niveles de capacitación
Promover actividades conjuntas de los actores del Triángulo de Sábato encaminadas a la consolidación de un clúster nacional de la Tecnología del Hidrógeno	Consolidación de un clúster de hidrógeno
	Participación relevante de entidades no gubernamentales en la difusión de la tecnología
Inclusión de las Energías Renovables en la estrategia país de largo plazo	Legislación que promueve la des carbonización de la producción energética
	Estudios económicos del potencial de investigación y aplicación de la tecnología
	El Plan de Gobierno creó el Ministerio de Fuentes de Energía no Convencionales
	Iniciativas gubernamentales encaminadas a la reducción del impacto ambiental de las actividades humanas
	Subsidios a la compra y producción de vehículos potenciados por hidrógeno y pilas de combustible
	Normatividad en seguridad para el manejo del Hidrógeno

Se identificaron 5 retos estratégicos y 18 objetivos asociados, cada uno de estos cinco retos estratégicos presenta varios objetivos sobre los cuales en los análisis subsiguientes se determina en función de sus finalidades, proyectos y medios de acción y relación de poder, cuáles de los actores son aliados o rival, se encuentran en conflicto o son neutros y su nivel de integración.

5.6. RELACIONES DE PODER Y RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS PARA CADA ACTOR, SEGÚN LAS PRIORIDADES DE LOS OBJETIVOS DE CADA ACTOR Y LOS RECURSOS DISPONIBLES.

En concordancia con la información estratégica disponible sobre cada actor recolectada en el numeral 5.5 de este trabajo, se valora la capacidad de cada actor para el logro de cada objetivo según numeral 5.3, permitiendo ordenar por importancia los mismos y definir en conjunto con el análisis de influencia entre actores el modelo estratégico de implementación de las tecnologías basado en los intereses económicos, misión y estrategia individual de cada actor, para lo cual se diligencian las matrices MID y MAO, que determina la influencia de un actor sobre otro, y, el posicionamiento de los actores frente a los objetivos, a favor o en contra de ellos, para tratar de conocer las posibilidades de alianzas o conflictos entre los actores, Ver Anexo II y Anexo III respectivamente.

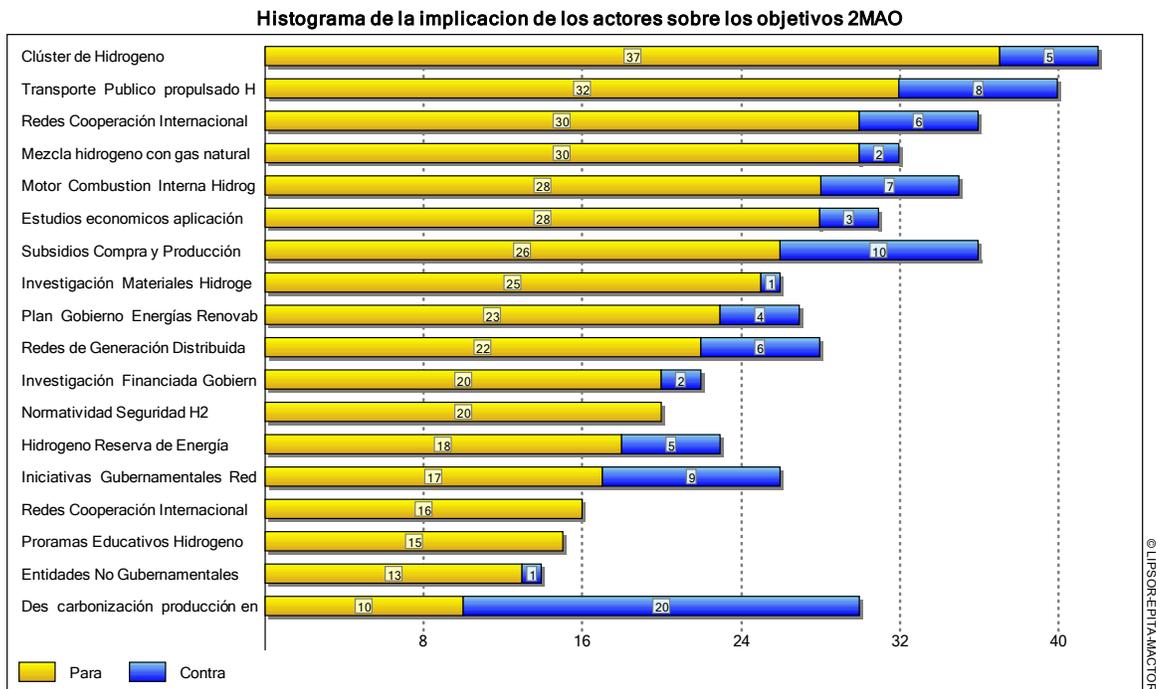


Figura 16. Histograma de la Implicación de los actores sobre los objetivos.
Fuente: Elaboración propia. Software Mactor

Dentro de los objetivos más relevantes del estudio se identifica la ejecución de actividades encaminadas a la conformación de un clúster en torno a la tecnología del hidrógeno como se observa en la Figura 16, ya que esto reduce marginalmente los costos de operación al estimular el desarrollo de capacidad de producción de suministros y de capacitación de la mano de obra requerida.

En segundo lugar se encuentra la implementación de medios de transporte masivo de pasajeros basados en hidrógeno, que representan una oportunidad de financiamiento de la prueba piloto al arrancar como parte de un proyecto que ya cuenta con mercado abierto que le provea ingresos que contribuyan a soportar la inversión necesaria en las primeras etapas de la implementación.

En tercer lugar encontramos el suministro de hidrógeno y gas natural al mercado domiciliario e industrial, permitiendo acumular experiencia en producción, materiales y seguridad, aplicable en el futuro al uso estacionario y móvil de la tecnología. Es importante tener en cuenta que este objetivo también permite financiar la producción de hidrógeno y la investigación en la tecnología, al incorporar la producción de hidrógeno a un sistema de distribución de combustible que ya está operando y generando ingresos.

En cuarto lugar encontramos las redes de cooperación internacional en proyectos, que constituyen el apoyo económico necesario para etapa de start-up de la tecnología.

En quinto lugar se ubica la implementación del uso de hidrógeno en motores de combustión interna, lo cual está ligado con el segundo objetivo, la implementación de medios de transporte masivo potenciados con hidrógeno, los cuales deberían utilizar en un principio la capacidad instalada o la tecnología disponible (Motores de Combustión Interna), ya que las pilas de combustible y los motores eléctricos

representan un costo muy alto para las primeras etapas del proyecto de implementación de la tecnología a nivel nacional.

En sexto lugar de importancia encontramos los estudios económicos del potencial de implementación de la tecnología, con el fin de cuantificar los efectos económicos, sociales y ambientales de la implementación de la tecnología y su importancia para la toma de decisiones a nivel privado y público, desde la política y la inversión.

En séptimo lugar estaría ubicada la base del desarrollo de la tecnología, la investigación en materiales necesarios para la producción de los equipos necesarios para toda la cadena de suministro y consumo.

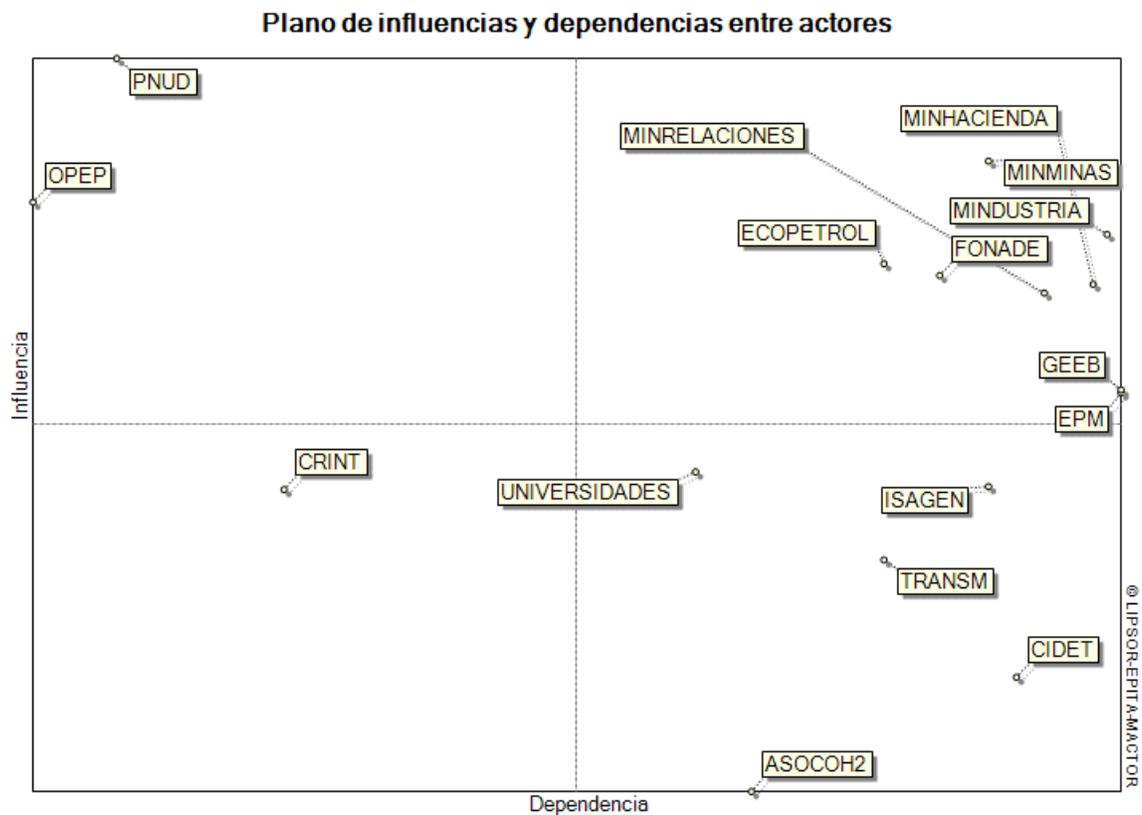


Figura 17. Plano de Influencias y dependencias entre actores.
Fuente: Elaboración propia. Software Mactor

El análisis de la relación entre los actores mostrado en la Figura 17, identifica la importancia que tienen la OPEP como agremiación de países petroleros con influencia política y económica, y el PNUD como organismo de promoción del desarrollo mediante el apoyo de proyectos, los cuales tienen influencia directa sobre los otros actores del sistema.

Los actores ubicados en el cuadrante superior derecho son los encargados de interpretar las variables y tomar las decisiones basados en la capacidad económica e infraestructura propia y las de los actores ubicados en el cuadrante inferior derecho. Como factor común entre estos actores se identifica la presencia de todos los Ministerios como representantes del Gobierno y de su potencial económico y político.

Ecopetrol la empresa colombiana de petróleo, tiene una gran proporción del expendio nacional de combustible a través de sus comercializadoras TERPEL y BRIO, también cuenta con grandes inversiones en aspectos relacionados con exploración y democratizo su participación accionaria al abrirse al mercado bursátil nacional hace cuatro años y posteriormente iniciar sus cotizaciones en la bolsa de New York hace dos años.

Ecopetrol de la mano de las empresas locales de producción hidroeléctrica, podrían trabajar en el desarrollo de infraestructura para la producción, almacenamiento y distribución del hidrógeno, limitado en un principio a las centrales de abastecimiento y mantenimiento de los vehículos articulados de las empresas de transporte masivo, pero todo esto con miras a acumular experiencia y conocimiento en este promisorio sector. La ubicación de Ecopetrol en el grafico se explica por su posición dominante en la explotación y comercialización de hidrocarburos en el país, lo que le da un poder económico muy importante.

Los actores ubicados en el cuadrante inferior derecho constituyen la base de todo el sistema de incorporación de la tecnología del hidrógeno. En el caso de Transmilenio, ha sido una iniciativa privada y pública de transporte masivo, que ha permitido la diseminación de este esquema de transporte en otras ciudades colombianas, como Cali, Pereira, Manizales y Cartagena.

Transmilenio y los servicios homogéneos de transporte masivo, aportarían el campo de trabajo adecuado para la experimentación de la tecnología acomodada a las condiciones y capacidades del país, estando en capacidad de asumir algunos de los costos, debido a la alta afluencia de pasajeros con la que ya cuenta. Su operación se ve afectada fuertemente por el comportamiento de los precios internacionales del petróleo, haciendo previsible el sobre costo en momentos de escases del crudo y la necesidad de implementar alternativas energéticas. Para ISAGEN, EPM y GEEB, esta tecnología puede significar posibilidades de optimización entre generación y distribución de energía eléctrica, y la posibilidad de desarrollar en primera instancia una nueva línea de negocio encaminada al suministro de hidrógeno para uso vehicular, apalancado, en sus primeras etapas, con la distribución combinada de hidrógeno y gas natural.

Las Universidades son entidades de mucha tradición a nivel nacional, no solo por sus características públicas o privadas, sino también por su alto nivel investigativo y productivo, ubicándose en un alto escalafón de investigación a nivel nacional y de Latinoamérica.

El SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), es una entidad que brinda posibilidades de capacitación técnica en diversas áreas del conocimiento a bachilleres de bajos recursos con un excelente nivel de exigencia académica, llevando el nombre de esta institución a ser un muy buen referente de capacitación para las labores en áreas técnicas a nivel nacional.

Los centros educativos como la Universidad Nacional y el SENA, pueden aportar recurso humano capacitado, incrementando su portafolio de conocimiento académico y brindando nuevas alternativas de especialización profesional a sus estudiantes. Además, teniendo el campo de trabajo disponible, pueden obtener recursos para financiar investigaciones en el área y contribuir con los desarrollos tecnológicos locales, clave en el proceso de hacer competitiva la tecnología.

Para las Universidades representa oportunidades de desarrollo de líneas de investigación y programas de estudios que atiendan las necesidades tecnológicas de la sociedad actual, construyéndose paralelamente experiencia y prestigio académico al invertir recursos en investigación en tecnologías de punta.

COLCIENCIAS, en su papel dinamizador del desarrollo tecnológico y cognitivo en el país, contribuiría positivamente con la coordinación de esfuerzos investigativos en las áreas que se consideren vitales para el desarrollo competitivo de la tecnología, además de contribuir con el incremento en la proyección productiva del país, pues a medida que la tecnología permea en otros sectores productivos nacionales, surgirán sustitutos de bienes que en un principio deberán ser importados. También se debe valorar el aporte a la integración productiva empresarial, al igual que el avance en la relación Universidad Empresa Estado, clave en el desarrollo de estructuras fuertes, competitivas y estables, a nivel de iniciativas nacionales.

El CIDET tiene un papel importante en la intermediación entre las Universidades y las Empresas del sector eléctrico, ya que comprende las necesidades del sector empresarial energético al estar en constante contacto con la operación y comprende también las posibilidades de colaboración investigativa con las que puede participar la academia.

La Asociación Colombiana de Hidrógeno se debe consolidar en un rol armonizador y generador de sinergias para proyectos productivos y educativos, ya que por su comprensión especializada de las necesidades la tecnología debe estar en la capacidad de “orientar” y canalizar esfuerzos para la consecución de las bases del clúster de hidrógeno colombiano.

5.7. PROPUESTA DE MODELO GRAFICO DE ANÁLISIS DE NIVEL DE INTEGRACIÓN TRIANGULAR POR ÁREAS - ATRIA.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis estructural obtenido a partir del software MICMAC, se propone una forma de medición del nivel de integración de los tres actores contemplados en el Triángulo de Sábato asociándole las variables más relevantes como se observa en la Figura 18.

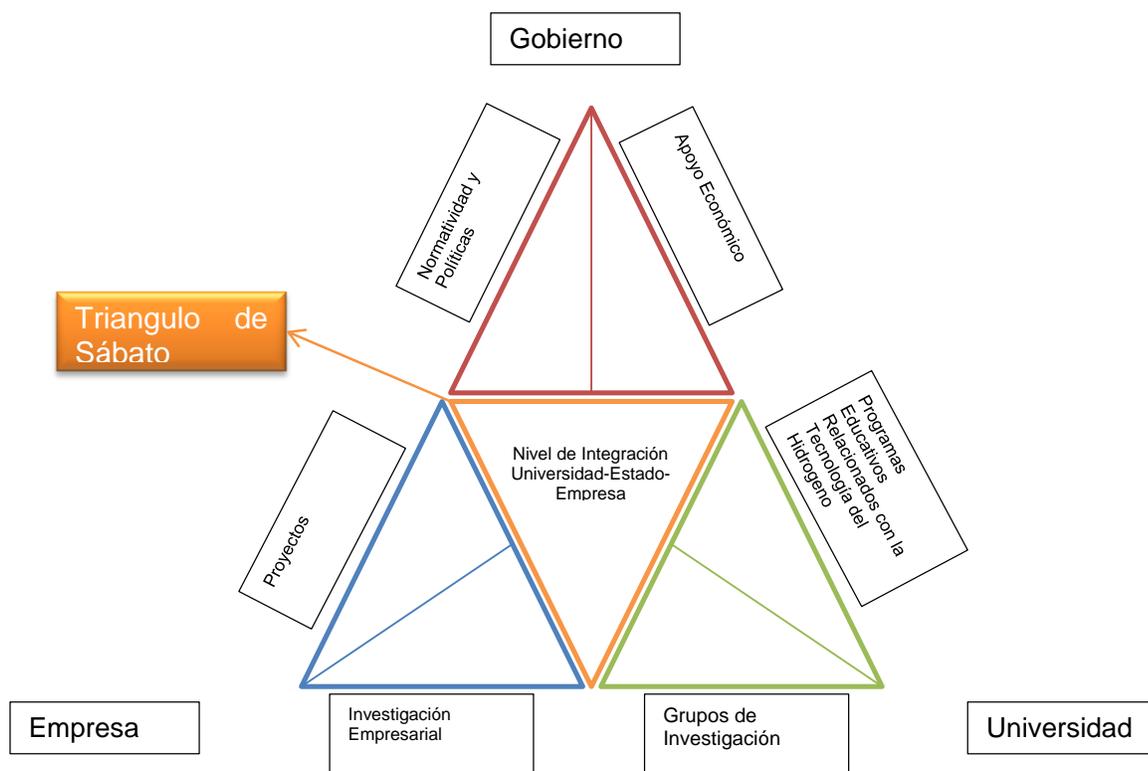


Figura 18. Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábato
Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que la ubicación de las variables en los ejes de cada actor deben estar relacionados con los intereses del actor que se verá influenciado por el cambio en esta variable, por ejemplo, el campo de la investigación empresarial se ubicó sobre el cateto más cercano al Grupo de Actores Universidad y el de Proyectos al Grupo de Actores del Gobierno ya que este tipo de iniciativas le representan potencialmente menores tasas de desempleo que es un objetivo gubernamental.

Dependiendo de las decisiones que tome cada actor con respecto a las variables identificadas como relevantes dentro del sistema, se obtendrá un nivel de integración global y uno relativo para cada actor. Cualquier punto dentro del Triángulo de Sábado en el cual converjan las tres líneas que definen el nivel de prioridad entre las dos políticas para cada actor reflejará un nivel de integración entre cada actor y los otros dos y permitirá apreciar el ajuste de las políticas internas de cada actor para el ajuste del sistema.

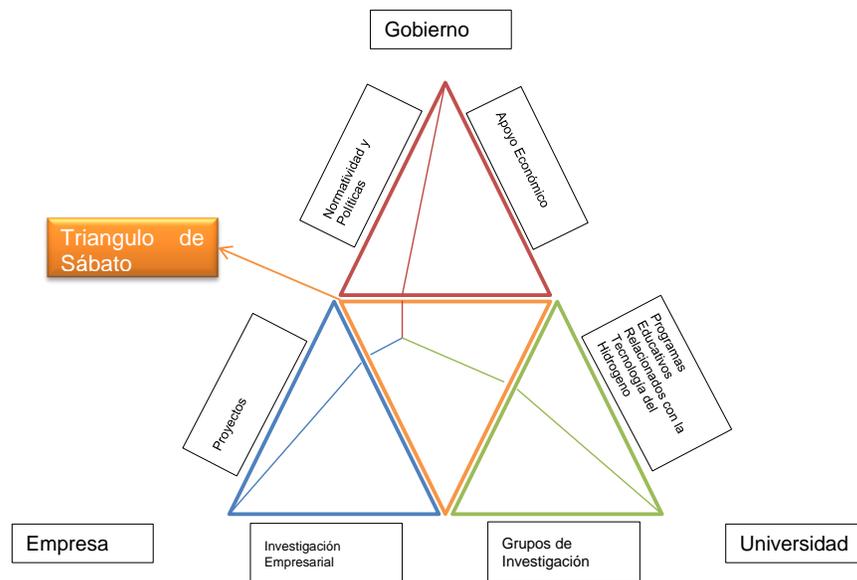


Figura 19. Ejemplo de Convergencia de Políticas en el Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábado
Fuente: Elaboración propia.

En el ejemplo de la Figura 19 se aprecia una convergencia de las políticas de los tres actores, que refleja poca integración entre el Gobierno y la Empresa y niveles importantes de relacionamiento de la Universidad con los otros dos actores debido posiblemente a una posición dominante de este grupo de actores, reflejada en la importante área que comparte con los otros dos y la reducida que deja para que compartan entre Gobierno y Empresa.

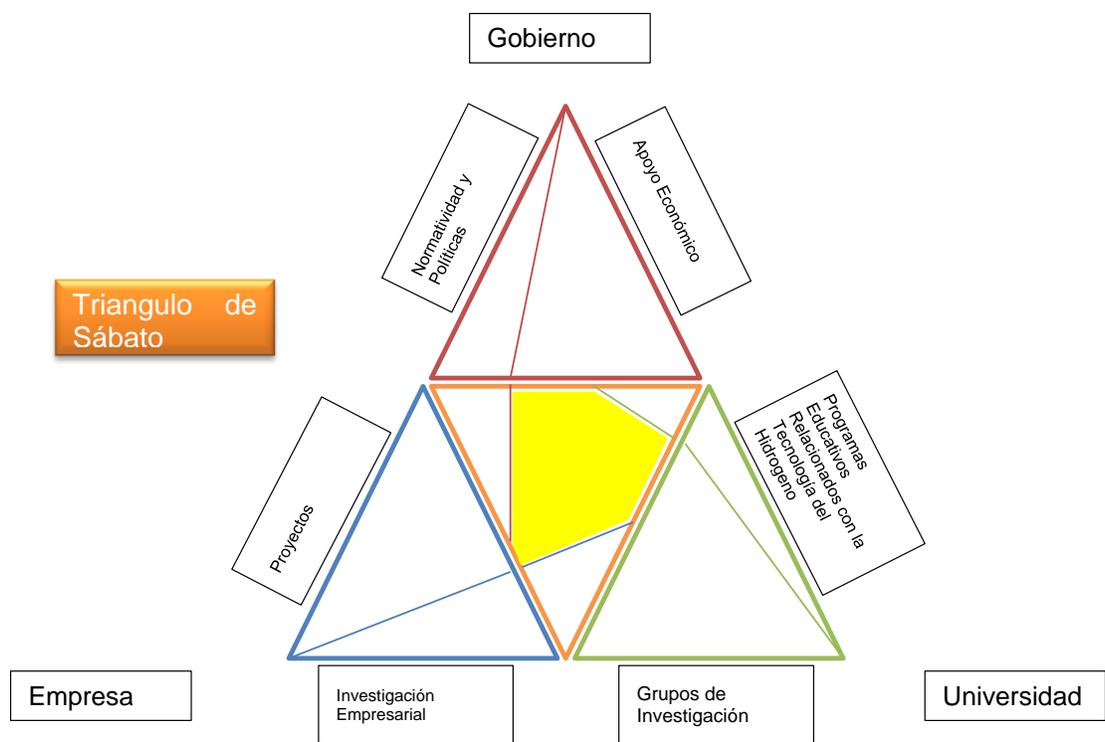


Figura 20 Ejemplo de divergencia de Políticas en el Modelo de Análisis de Nivel de Integración de Estrategias Individuales - Triángulo de Sábato.
Fuente: Elaboración propia.

En el ejemplo de la Figura 20 se muestra divergencia en las políticas de cada actor, donde las prioridades de cada uno de ellos no armonizan con las prioridades de los otros. Para el caso del Grupo de Actores del Gobierno, su enfoque hacia el apoyo económico orientado al apoyo a la capacitación de

personas en la tecnología del hidrógeno no se relaciona adecuadamente con la prioridad de proyectos de las empresas para lo cual requerirían apoyo político y normativo que facilite la ejecución de los proyectos.

Para el caso del Grupo Actores Empresa, su prioridad en el desarrollo de proyectos productivos no encuentra el respaldo adecuado en la academia al no ser un proveedor potencial de mano de obra calificada. Para el caso de los Actores del Grupo Actores Universidad, su prioridad es conseguir acreditaciones por sus Grupos de Investigación y resultados, descuidando las necesidades locales de mano de obra de cara a los cambios en el entorno económico. Todo este panorama deja un área dorada de posibilidades de integración por explorar, que determinan la perdurabilidad de las relaciones entre los actores según sus prioridades y tendencias de decisión, más aun, cuando en este caso, el ingreso de una nueva tecnología requiere de actividades conjuntas y consensos políticos y estratégicos.

5.8. PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN COLOMBIA - APLICACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS DE NIVEL DE INTEGRACIÓN A LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (MICMAC) Y ANÁLISIS DE ACTORES (MACTOR)

Con base en los resultados de las herramientas de análisis estratégico MICMAC y MACTOR, se construye la Tabla 12 en la cual se relacionan las actividades individuales de cada actor con las variables identificadas como relevantes en la Tabla de Variables Propuesta Tecnología del Hidrógeno en Colombia - Tabla 7. Estas actividades se totalizan por actor y eje de influencia, consiguiendo definir proporciones de dedicación de esfuerzos y recursos, que al ser plasmados conjuntamente en ATRIA, permiten un análisis global de la complementariedad e integración de las políticas de cada actor, materializadas a través de las actividades.

Tabla 12. Implicación de los actores con los objetivos comunes

Fuente: Elaboración propia.

Actor	Grupo de Variables	Variables	Transporte Publico Propulsado por Hidrógeno	Redes de Cooperación Internacional en Proyectos	Mezcla Hidrógeno con Gas Natural	Motor Combustión Interna a Hidrógeno	Total	
GOBIERNO	Normatividad y Políticas	CONPES - Energías renovables e hidrógeno					0	
		Visión de largo plazo de las empresas relacionadas con el sector energético del país				1	1	
		Reducción de Aranceles					0	
		Plan de Gobierno		1			1	
		Difusión de redes energéticas de doble vía					0	
		Redes de cooperación internacional - Proyectos		1			1	
		Subsidios - Normatividad Ambiental en producción energética				1		1
	TOTAL			0	2	1	1	4
	Apoyo Económico	Apoyo Financiero Gubernamental		1				1
		Plan de Gobierno				1		1
		Visión de largo plazo de las empresas relacionadas con el sector energético del país						0
		Seguridad						0
		Subsidios - Normatividad Ambiental en producción energética		1				1
		Redes de cooperación internacional - Educación						0
Panorama Económico Mundial							0	
TOTAL			2	0	1	0	3	

Actor	Grupo de Variables	Variables	Transporte Publico	Redes de Cooperación	Mezcla	Motor Combustión	Total	
EMPRESA	Proyectos	MCI de Hidrógeno	1			1	2	
		Difusión de sistemas de respaldo energético basados en hidrógeno					0	
		Difusión de redes energéticas de doble vía					0	
		Redes de cooperación internacional - Proyectos		1			1	
	TOTAL			1	1	0	1	3
	Investigación Empresarial	MCI de Hidrógeno	1		1	1	3	
TOTAL			1	0	1	1	3	
UNIVERSIDAD	Programas Educativos Relacionados con la Tecnología del Hidrógeno	Programas educativos sobre la tecnología H2			1	1	2	
	TOTAL		0	0	1	1	2	
	Grupos de Investigación	Líneas de investigación en celdas de combustible e hidrógeno			1		1	
		Redes de cooperación internacional - Educación		1		1	2	
TOTAL			0	1	1	1	3	

Con los totales obtenidos por actor y eje de influencia, se define la proporción gráfica de las políticas de cada uno de ellos, como se muestra en la Figura 21, donde se aprecia en primer lugar la consolidación de un clúster de la tecnología del hidrógeno como la meta principal, seguida de los objetivos viables de ejecución en el corto y mediano plazo, que deben ser implementados para dar comienzo a todo el proceso de incorporación de la tecnología al portafolio productivo del país.

El total de variables utilizadas por cada actor segmenta el cateto adyacente al Triángulo de Sábato en el modelo ATRIA, mostrando en cada triángulo de prioridades de cada actor, dos áreas que según su tamaño indican la relevancia del enfoque en cada eje de influencia.

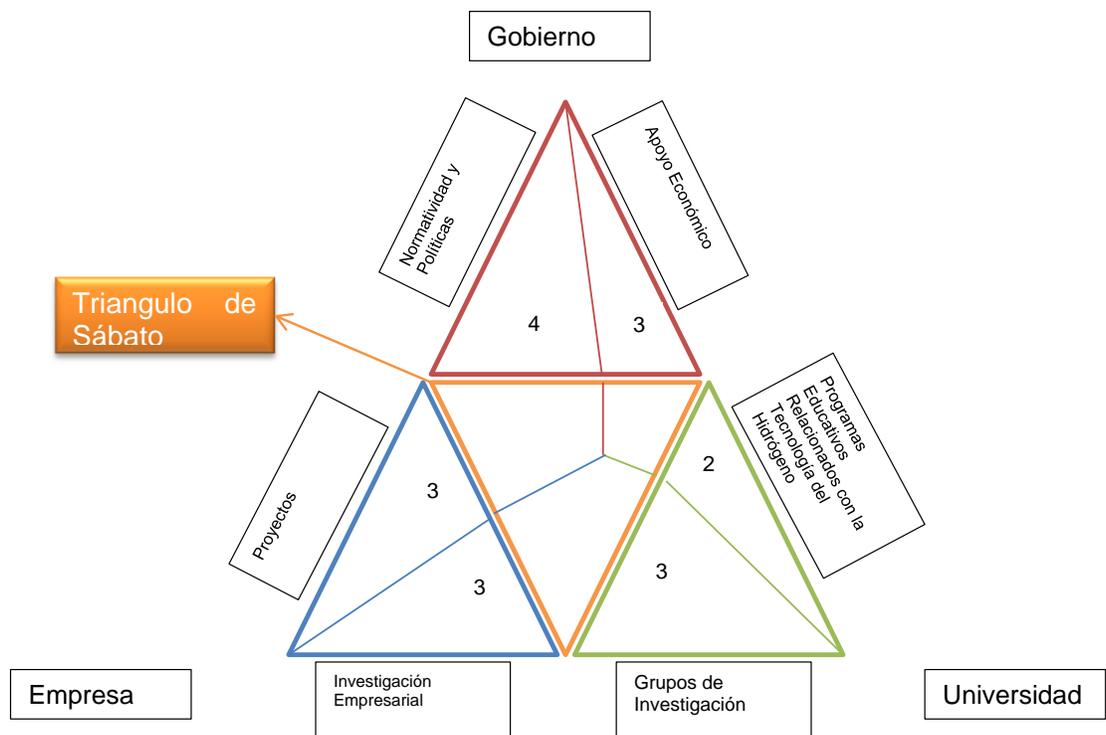


Figura 21. Análisis de nivel de integración a los resultados del análisis estructural (MICMAC) y análisis de actores (MACTOR).
Fuente: Elaboración propia.

Estas líneas que dividen los triángulos de cada actor se proyectan perpendicularmente a cada cateto hacia adentro del Triángulo de Sábato hasta que toque la línea perpendicular de otro actor o uno de los catetos. Este método permite hacer análisis numérico de proporción entre áreas, contribuyendo a soportar el dominio relativo de un actor con respecto a cada uno o a los otros dos actores del modelo, posibilitando el análisis de modificaciones en la cantidad o peso de las variables que cada actor emplea para el alcance de los objetivos y la contraprestación para el sistema que debe dar cada uno de los otros actores con el fin de mantener la convergencia y así la perdurabilidad de las relaciones para el alcance del objetivo principal y común. El resultado de la combinación de variables para el alcance de los cuatro objetivos viables de ejecución en el corto y mediano plazo muestra convergencia en las políticas de los tres actores, con un alto dominio de los actores agrupados en Empresa, ya que como se aprecia en la Figura 21 es el actor con la distribución de acciones más equitativa, como consecuencia de su interés en desarrollar proyectos y dinamizar la investigación, que converge adecuadamente con el interés de los actores Universidad en desarrollar líneas de investigación y el del Gobierno en establecer políticas encaminadas a la reducción del impacto ambiental y la dinamización del sector empresarial.

Se puede apreciar como en la etapa inicial de la incorporación de la tecnología al portafolio productivo del país, el actor gobierno debe buscar influenciar las directrices empresariales a través de las variables más estrechamente relacionadas con la normatividad y política, afectando la visión de largo plazo de las empresas y por ende toda su planeación de corto y mediano plazo. En cuanto al grupo de actores Universidad su papel de proveedor de mano de obra y conocimiento lo llama a estar al tanto de las necesidades actuales y futuras del país, priorizando la consolidación de una base de Grupos de Investigación que den las bases para la composición de Programas Educativos sólidos y útiles para el país.

6. CONCLUSIONES

La crisis energética vivida por Colombia a principios de la década de los noventa, permitió el desarrollo de una gran infraestructura energética nacional en torno a las fuentes hidrológicas, aspecto que ha sido clave para la actual capacidad de exportación de energía eléctrica. Las inversiones en hidroeléctricas siguen avanzando y ha llevado a posicionar a Colombia como uno de los mayores exportadores de energía eléctrica en toda Latinoamérica.

La tecnología del hidrógeno en Suramérica está siendo tomada en serio solo Brasil y Argentina, por el contrario Chile y Colombia han tomado una postura sesgada hacia la producción de biocombustibles, esto puede representar una posible búsqueda de la disminución del impacto de los precios del petróleo, pero significa también un sesgo hacia la investigación y desarrollo de un producto sustituto del vector energético actual basado en la combustión exclusivamente, y con la aplicación de energías limpias en los medios de transporte, podría dejar al país de nuevo en un estado de dependencia tecnológica y perder su posibilidad de aprovechar esta época previa al desarrollo, participando del periodo de investigación, crecer con él y obtener créditos provenientes de la explotación de la curva de aprendizaje, como meta a largo plazo.

También es importante destacar el papel de los organismos internacionales como dinamizadores de este tipo de iniciativas de innovación, ya que al contribuir con la implementación de proyectos en países en desarrollo, contribuyen con la diversificación del producto nacional de los países apoyados y también repercuten en la calidad de vida de la población, por las vías del empleo y de la disminución del impacto ambiental.

Es clave comprender que la inversión en energías alternativas debe llevarse a cabo como respuesta estratégica a una necesidad nacional que depende de la

capacidad de análisis prospectivo de la generación y consumo energéticos, ya que el procurar extender la explotación de la tecnología de combustión actual y no estar consciente del cambio tecnológico que se avecina puede resultar en mayores pérdidas vía obsolescencia de la apuesta inversionista y también de la pérdida de tiempo en experiencia. Aunque Colombia no ha tenido un papel mundial como productor de petróleo, a nivel interno este producto si es importante al originar gran parte de su PIB y teniendo en cuenta las estimaciones sobre las reservas mundiales de petróleo, el país dispone del mismo tiempo promedio de 40 años, para sustituir esta importante proporción de su portafolio nacional de productos.

El hecho de aprovechar esta tecnología emergente y promisoría para conseguir un desarrollo simultáneo e integral de varios sectores industriales, con efectos en aspectos académicos, avances técnicos y de ocupación laboral en un campo considerado como tecnología de punta, le da relevancia estratégica nacional, la cual debe ser implementada procurando integración entre los grupos de actores relacionados con el Triángulo de Sábado mediante combinación de actividades que viabilicen la ejecución del proyecto a un costo financiero y social razonable.

Las variables más relevantes obtenidas del análisis estructural se agruparon en seis grupos de variables: Normatividad y políticas; apoyo económico; proyectos; investigación empresarial; programas educativos relacionados con la tecnología del Hidrógeno; grupos de investigación, que son controlados por tres actores principales Gobierno-Empresa-Universidad cuyos retos son: Dinamizar económica y técnicamente la producción de hidrógeno; promover proyectos que posibiliten la acumulación de experiencia sobre la Tecnología del Hidrógeno de forma financieramente sostenible; consolidación del interés de las Universidades y otros centros educativos en la investigación y enseñanza de la tecnología del hidrógeno; promover actividades conjuntas de los actores para la consolidación de un clúster

nacional de la Tecnología del Hidrógeno; inclusión de las Energías Renovables en la estrategia país de largo plazo.

El resultado de la combinación de variables para el alcance de los cuatro objetivos viables de ejecución en el corto y mediano plazo muestra convergencia en las políticas de los tres actores, con un alto dominio de los actores agrupados en la Empresa, ya que es el actor con la distribución de actividades más equitativa, como consecuencia de su interés en desarrollar proyectos y dinamizar la investigación, que converge adecuadamente con el interés de los actores Universidad en desarrollar líneas de investigación y el del Gobierno en establecer políticas encaminadas a la reducción del impacto ambiental y la dinamización del sector empresarial.

Se puede apreciar como en la etapa inicial de la incorporación de la tecnologías del hidrógeno al portafolio productivo del país, el actor Gobierno desde sus Ministerios, debe buscar influenciar las directrices empresariales a través de las variables más estrechamente relacionadas con la normatividad y política, afectando la visión de largo plazo de las empresas y por ende toda su planeación de corto y mediano plazo.

En cuanto al grupo de actores Universidad su papel de proveedor de mano de obra y conocimiento lo llama a estar al tanto de las necesidades actuales y futuras del país, priorizando la consolidación de una base de Grupos de Investigación que den las bases para la composición de Programas Educativos sólidos y útiles para el país.

La herramienta de análisis de integración triangular entre actores provee un instrumento de estudio de convergencia cualitativa de las orientaciones políticas y como tal, sus fundamentos deben ser revisados con periodicidad para actualizar el

estado de la implementación, incluir nuevas tendencias tecnológicas y/o políticas, evaluar los retos con respecto al avance en la implementación.

"Es el ejercicio de nuestra ciudadanía a través de la participación activa, crítica y racional lo que nos da el título de Ciudadanos y de Patriotas, construyendo con nuestras preocupaciones por el ahora, el mañana de los que vienen"

7. RECOMENDACIONES

Comprendiendo el enfoque estratégico del objeto de este trabajo de grado el cual expone los elementos fundamentales para la constitución de un clúster de hidrogeno en Colombia, se visualizan los estudios posteriores a realizar con el fin de complementar económica y técnicamente el proyecto global de introducción de la tecnología.

Dentro de los estudios técnicos debe ubicarse un análisis de prospectiva tecnológica, el cual contribuirá a la identificación de las directrices de desarrollo de los diferentes métodos de producción, almacenamiento y aprovechamiento del hidrogeno, con el fin de estimar las corrientes que afectan la tecnología y así procurar tomar decisiones que contribuyan a la orientación correcta de las inversiones e investigaciones.

El siguiente estudio deberá estar basado en las direcciones tecnológicas establecidas por el estudio anterior a la luz del proyecto de introducción de la tecnología identificado en el presente documento. Este estudio incluirá un estudio detallado de las necesidades de financiamiento del proyecto de introducción.

El desarrollo de los tres estudios mencionados anteriormente incluyendo el desarrollado en el presente documento, abre las puertas a la exploración de los efectos de estas inversiones en las variables económicas, sociales y ambientales del país, como consecuencia de la estimación de sus efectos o del estudio de sus resultados en el caso en el que el proyecto de introducción de la tecnología sea implementado.

BIBLIOGRAFÍA

- The National Renewable Energy Laboratory*. (2011). Retrieved Noviembre 2011, from <http://www.nrel.gov>
- ACoHidrógeno. (2012). *Asociación Colombiana de Hidrógeno y otras Energías Limpias*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.achidrogeno.org/>
- Agencia Andaluza de la Energía . (2012, Mayo 29). *La Agencia Andaluza de la Energía* . Retrieved Junio 2012, from <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/noticias/energias-renovables/se-consolida-un-proyecto-europeo-para-promover-un-cluster-de-energia-en-el-mediterraneo>
- Agencia Andaluza de la Energía. (2009). *Proyecto Hércules*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.proyectohercules.es/>
- Air Liquide. (2004). *Air Liquide* . Retrieved Enero 2012, from <http://www.airliquide.com/en/company/who-we-are.html>
- Amos, W. A. (2004). Updated cost analysis of photobiological hydrogen production from *Chlamydomonas reinhardtii* Green Algae. *National renewable energy laboratory*.
- Arcade, J., & Godet, M. (1999). Análisis Estructural con el Método Micmac y Estrategia de los Actores con el método Mactor. *Futures Research Methodology*.
- Asociación Argentina del Hidrógeno . (2005). *Asociación Argentina del Hidrógeno* . Retrieved Enero 2012, from <http://www.aah2.org.ar/>
- Asociación Consumidores de energía. (n.d.). *Asociación Consumidores de energía*. Retrieved from <http://www.energieverbraucher.de/>
- Belt, C. (2011). *Fomento de las Energías Renovables y la eficiencia energética*. Asunción: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Bossel, U. (2005). *The future of de hydrogen economy bright or bleak*.
- Cano, C. A. (2004). Empleo de la referenciación y el método micmac en la definición de estrategia individual y colectiva. aplicación a las pymes del plástico de cali, colombia. *Industrial*.
- Central Intelligence Agency. (2011). *Central Intelligence Agency*. Retrieved Enero 2012, from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html>
- Centre national de la recherche scientifique. (n.d.). *Centre national de la recherche scientifique*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.cnrs.fr/en/aboutCNRS/institutes.htm>
- Centro Atómico Bariloche. (n.d.). *Centro Atómico Bariloche*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.cab.cnea.gov.ar/>
- Centro para la Energía Solar y el Hidrógeno. (n.d.). *Centro para la Energía Solar y el Hidrógeno*. Retrieved from <http://www.zsw-bw.de/>
- Chandler, K., & Eudy, L. (2009, Enero). *National Renewable Energy Laboratory*. Retrieved Noviembre 2011, from <http://www.nrel.gov/hydrogen/pdfs/44820-1.pdf>

- CIDET. (2012). *Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.cidet.com.co/>
- Comisión de Energía Atómica . (n.d.). *Comisión de Energía Atómica* . Retrieved Enero 2012, from http://www.cea.fr/english_portal/cea
- Committee on assessment of resource needs for fuel cell and hydrogen technologies. (2008). *Transition to alternative transportation technologies- a focus on hydrogen*. Washington: The national academies press.
- Cuadrado, B. (2008). Aplicación de herramientas prospectivas para el análisis y formulación de las estrategias de la Cámara de Comercio de LaGuajira para el 2008. Barranquilla: Tesis Maestría en Administración de empresas, Universidad del Norte.
- Dufour, J. (2009). *Primer coche de hidrógeno español: Proyecto Hercules*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/05/26/118890>
- Ecopetrol. (2012). *Ecopetrol*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&conID=36271>
- El Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA). (n.d.). *El Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA)*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.inifta.unlp.edu.ar/index.htm#>
- El Ministerio de Minas y Energía. (2012). *El Ministerio de Minas y Energía*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.minminas.gov.co/>
- El Tiempo. (2002, Enero). GAS NATURAL BUSCA ABASTECER A TRANSMILENIO. *El Tiempo*.
- Energy research laboratory. . (2006). Highly Efficient Hydrogen Generation via Water Electrolysis Using Nanometal Electrodes. *QuantumSphere*.
- Eudy, L., Chandler, K., & Gikakis, C. (2007, Septiembre). *National Renewable Energy Laboratory*. Retrieved Noviembre 2011, from <http://www.nrel.gov/hydrogen/pdfs/41967.pdf>
- Fasoli, H., Sanquinetti, A., & Laborante, M. J. (2009). Tecnología Argentina en la ingeniería de pilas de combustión a hidrógeno con electrolito polimérico. *Instituto de investigaciones científicas y técnicas para la defensa*, 2-6.
- FONADE. (2012). *El Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.fonade.gov.co/portal/page/portal/WebSite/FonadeInicio>
- Fuel Cell Buses in U.S. (2008). *Transit Fleets: Current Status 2008*.
- Fundación Hidrógeno Aragón y SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A. (2008). *Tecnologías de Hidrógeno y pilas de Combustible*. SEAS, S.A.
- Fundación San Valero. (n.d.). *Aplicaciones – Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible*.
- Giunta, P., Mosquera, C., & Laborde, M. (n.d.). *Integración energética de un ciclo de producción y purificación de hidrógeno a partir de etanol para una celda de combustible tipo PEM*. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Godet, M. (1991). *Prospectiva y planificación estratégica*. Barcelona.

- Godet, M. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Paris: Librairie des Arts et Métiers.
- Godet, M., & Durance, P. (2011). *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Grupo Empresarial Energía de Bogotá. (2012). *Grupo Empresarial Energía de Bogotá*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.eeb.com.co/?idcategoria=623>
- Grupo Empresarial EPM. (2012). *Grupo Empresarial EPM*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Historia.aspx>
- HySafe - Safety of Hydrogen as an Energy Carrier. (2007, Febrero 21). *HySafe - Safety of Hydrogen as an Energy Carrier*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.hysafe.org/>
- INERIS . (2010). Retrieved Enero 2012 , from <http://www.ineris.fr/en/about-ineris/who-are-we/Presentation>
- Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Comisión Nacional de Energía Atómica. (n.d.). Retrieved Enero 2012, from http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/extras/energia/aplicaciones_hidrogeno.pdf
- International Energy Agency. (2011). *International Energy Agency*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.iea.org/stats/index.asp>
- IRAM – Instituto Argentino de Normalización y Certificación . (2009). *IRAM – Instituto Argentino de Normalización y Certificación* . Retrieved Enero 2012, from <http://www.iram.org.ar/seccion.php?ID=1>
- ISAGEN. (2012). *ISAGEN*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/>
- Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project. (2002). *Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.jari.or.jp/jhfc/e/jhfc/index.html>
- Jolíás, L., Prince, A., & Finquelievich, S. (2010). Un Modelo Analítico de Ciudades del Conocimiento En América Latina.
- La Planta Experimental de Hidrógeno . (2007). *La Planta Experimental de Hidrógeno* . Retrieved Enero 2012, from <http://www.h2truncado.com.ar>
- la Universidad de Rostock . (2001, Septiembre). *Universidad de Rostock*. Retrieved Enero 2012, from <http://www.uni-rostock.de/aktuelles/pressemeldungen/detailansicht-pressemeldung/news-artikel/neuartiges-verfahren-zur-erzeugung-von-wasserstoff/>
- Lizana, D. (2007). Estado actual de la tecnología de hidrógeno en países de Sudamérica. Argentina, Brasil, Chile y Colombia. *Universidad de Zaragoza. Zaragoza*, 14-31.
- Martínez de la Cruz, A. (2010). *La era del hidrogeno. En los albores de una revolución energética*.
- McPhy Energy . (2009). *McPhy Energy* . Retrieved Enero 2012, from <http://www.mcphy.com/en/index.php>
- Meyer, G., Caneiro, A., Corso, H., & Ponce, V. (2004). El centro atómico de Bariloche y la tecnología del Hidrógeno. *Centro atomico de Bariloche*.

- MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO. (2012). *MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO*. Retrieved Febrero 2012, from www.mincomercio.gov.co/
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2012). *Ministerio de Hacienda y Crédito Público*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2012). *Ministerio de Relaciones Exteriores*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.cancilleria.gov.co/ministry/strategy>
- Ministerio Federal de Justicia. (2008). *Ley de Concesión de prioridad a las energías renovables*. Retrieved Enero 2012, from http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2009/index.html
- NextFuel. (2010, Diciembre). Retrieved Diciembre 2011, from <http://biodiesel.com.ar/4862/espana-hidrogeno-a-140-kmhora>
- NSERC H2CAN. (2010, Noviembre). *Scientific Program Overview & Research Projects Description*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.h2can.ca/downloads/Program.pdf>
- Nunes, V., & Cataldo, J. (2002). *Prospectiva Tecnológica 2015 en el Área Energía: Nuevo análisis en la situación actual de crisis energética*.
- Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). (2012). *la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP)*. Retrieved Febrero 2012, from http://www.opec.org/opec_web/en/
- Parra, J., & Chamorro, V. (2009). *Burkenroad Reports Ecopetrol*. Universidad ICESI.
- Pedace, R., & Codner, D. G. (2006). *Prospectiva del hidrógeno: escenarios sustentables y agenda de I & D de largo plazo. Petrotecnia*, 92-100.
- Power Ballard System . (n.d.). *Ballard*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.ballard.com/about-ballard/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2012). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.pnud.org.co/sitio.shtml>
- PTE-HPC. (n.d.). *Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible*. Retrieved Junio 2012, from <http://www.ptehpc.org/>
- RED IBEROAMERICANA DE CELDAS (PILAS) DE COMBUSTIBLE E HIDRÓGENO. (2003). *RED IBEROAMERICANA DE CELDAS (PILAS) DE COMBUSTIBLE E HIDRÓGENO*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.redpilas.csic.es/iberoamericana.php>
- Red Iberoamericana de Hidrógeno. (2010). *Red Iberoamericana de Hidrógeno*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.redhidrogenocytad.com.ar/esp/objetivosmetodologia.php>
- Redacción Bogotá. (2012, Mayo 18). *¿Es viable que TransMilenio pase a buses eléctricos? El tiempo*.
- Rifkin, J. (2003). *The Hydrogen Economy*. New York: Penguin Group (USA) Inc.
- Rifkin, J. (2011). *The Third Industrial Revolution*. New York: Palgrave Macmillan.

- Rtve.es. (2010). *Rtve.es*. Retrieved Diciembre 2010, from <http://www.rtve.es/television/20100617/escarabajo-verde-20-06-2010-emision-0/336024.shtml>
- SCHÄFER, SACKRETZ, & RECHENBERG. (n.d.). A three step microbial hydrogen-producing system- first results. . *Technical University Berlin, Department of Bionics and Evolutionstechnique*.
- the Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association. (n.d.). *the Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association*. Retrieved Diciembre 2011, from <http://www.chfca.ca/>
- Tori. (n.d.). *Desarrollo de prototipos de celdas de combustible multimodulo de tecnología PEM*. Universidad de la plata. La Plata.
- Transmilenio. (2012). *Transmilenio*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Default.aspx>
- Universidad del Rosario. (2012). *Universidad del Rosario*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.urosario.edu.co/>
- Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. (2012). *Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá*. Retrieved Febrero 2012, from <http://www.unal.edu.co/>
- Vegas, A. (2009, Enero 31). *Eroski Consumer*. Retrieved Diciembre 2011, from http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/01/31/183090.php
- Verne, J. (1874). *La Isla Misteriosa*. Cardo.
- Wicks, G. (2009). Materials innovation in an emerging hydrogen economy. . *Wiley-American Ceramic Society*, 8-9.
- WINTER, C.-J. (2009). *Hydrogen energy – abundant, efficient, clean: A debate over the energy-system-change*. Ueberlingen.
- Zanoni, J. (2010). Perspectivas de la OPEP. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 233-250 .
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg. (2010). *Approaching the Age of Renewable Energy*. Retrieved from http://www.zsw-bw.de/fileadmin/ZSW_files/Infoportal/Informationsmaterial/Jahresberichte_docs/JB_2010/ZSW_JB2010_Focus_Report.pdf

Anexo I Matriz de Influencia Directa – MID

La matriz de influencia directa (MID) evalúa el efecto de una variable sobre las otras variables del sistema, lo que permite determinar cuáles son las variables esenciales para un sistema, solamente se evalúa las influencias directas entre variables tomadas por pares. Se cuantifica la existencia de influencias y la intensidad por medio de apreciaciones cualitativas tales como: intensa (grado 3), media (grado 2), leve (grado 1) o potencial (influencia que se podrían dar en el futuro).

	1: QDCARBON	2: QDPETROL	3: INVCEFOT	4: INVCAMEO	5: ENGEOTER	6: HIDRELEC	7: SUBNORAM	8: DPOLOPEP	9: INVVESTI	10: TRAMASIV	11: VLPSECCN	12: SEGURIDA	13: MATALQUI	14: REDES2VI	15: PROALMH2	16: GELECDIS	17: DESABENE	18: SANCNORA	19: TRISABAT	20: ENTNOGUB	21: APFINBAN	22: APFINGUB	23: PROEDTEC	24: RCINTEDU	25: RCINTPRO	26: SISREBH2	27: H2%GASNA	28: PATENINT	29: NESREPH2	30: CONPESER	31: PLANDGOB	32: PRESISOC	33: PROCONH2	34: BONOCARB	35: SOSCRECI	36: DRIQUEZA	37: MCICONH2	38: REDUCARA	39: NORMANAL	40: CONFINTE	41: PANECMUN	42: EXDEMNAL			
1: QDCARBON	0	0	4	4	4	0	1	0	0	2	2	0	1	0	1	2	1	0	0	1	1	2	0	2	2	1	0	0	0	2	3	1	0	0	1	3	2	0	2	2	0	0			
2: QDPETROL	0	0	4	4	4	0	1	3	2	4	3	2	0	2	2	4	2	1	0	1	2	2	4	2	3	4	2	2	4	3	3	4	4	0	3	3	3	2	2	0	0	0			
3: INVCEFOT	0	0	0	2	1	0	0	1	1	0	3	2	2	2	2	3	2	0	0	0	1	1	1	0	2	1	0	1	0	1	0	0	2	4	1	0	1	1	0	0	0	0			
4: INVCAMEO	0	0	2	0	1	0	0	1	1	0	3	2	2	2	2	3	2	0	0	0	1	1	1	0	2	1	0	1	0	1	1	0	0	2	4	1	0	1	1	0	0	0			
5: ENGEOTER	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6: HIDRELEC	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0		
7: SUBNORAM	0	0	3	3	2	1	0	1	2	0	3	3	2	2	3	3	2	1	0	2	2	3	4	4	4	3	3	2	2	3	1	4	3	4	2	0	2	3	4	0	0	0	0		
8: DPOLOPEP	0	0	4	4	4	4	4	4	0	3	3	2	1	1	1	2	0	1	0	2	2	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	0	3	0		
9: INVVESTI	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4	4	0	1	0	2	4	1	1	2	3	2	1	0	0	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
10: TRAMASIV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	4	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	1	0	0	0	0	
11: VLPSECCN	0	0	3	3	3	3	0	0	4	1	0	3	4	4	2	4	3	0	4	3	2	3	2	2	3	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	3	2	2	0	0	0	
12: SEGURIDA	0	0	3	3	3	3	1	0	1	0	3	0	0	1	1	1	2	1	4	3	1	2	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	4	0	0
13: MATALQUI	0	0	2	2	1	1	0	0	3	0	2	2	0	2	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14: REDES2VI	0	0	3	3	2	1	1	0	2	0	3	2	0	3	2	3	1	1	2	2	3	1	1	2	4	1	2	4	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0
15: PROALMH2	0	0	1	1	1	1	0	0	2	0	2	1	2	2	0	3	2	0	1	0	1	2	2	2	2	4	3	2	2	4	1	1	1	3	2	0	0	3	2	2	0	0	0	0	
16: GELECDIS	0	0	3	3	2	0	0	0	2	0	3	1	3	4	4	0	3	0	1	2	2	3	1	1	4	4	0	0	0	4	1	1	4	2	2	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
17: DESABENE	0	0	3	3	3	3	2	0	0	3	2	1	4	1	3	0	0	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0	2	2	1	0	0	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
18: SANCNORA	0	0	4	4	2	0	1	0	2	0	3	0	0	2	0	1	0	0	1	1	2	0	0	1	1	0	0	4	0	1	4	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	
19: TRISABAT	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	3	0	4	4	2	2	1	0	0	2	2	3	3	3	4	2	1	4	2	4	4	2	4	2	3	2	2	4	2	2	0	0	0	0	
20: ENTNOGUB	0	0	2	2	2	0	2	0	2	0	2	1	2	1	1	2	1	2	2	0	1	2	1	2	2	4	1	1	2	2	2	2	1	2	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	
21: APFINBAN	0	0	2	2	2	1	0	0	1	2	2	2	4	4	2	4	2	0	4	1	0	3	4	1	0	3	4	1	4	2	2	3	0	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	
22: APFINGUB	0	0	3	3	3	2	3	1	2	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	3	0	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1	0	3	1	2	1	4	3	3	0	1	0		
23: PROEDTEC	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	2	4	1	1	1	0	4	1	0	0	4	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24: RCINTEDU	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	2	2	3	1	0	1	0	2	2	2	2	4	3	0	2	0	1	2	1	4	2	4	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	
25: RCINTPRO	0	0	3	3	3	2	0	1	2	0	3	3	2	3	4	3	4	0	4	1	3	3	4	2	0	4	4	3	4	3	4	4	3	3	1	4	2	3	1	4	2	3	0	2	0
26: SISREBH2	0	0	2	2	1	0	1	0	4	0	3	2	1	4	2	3	2	1	0	2	1	2	1	1	2	0	1	2	0	1	4	4	1	2	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	
27: H2%GASNA	0	0	2	2	0	0	1	0	1	0	3	1	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	1	2	0	1	4	2	2	0	1	4	2	2	0	0	2	1	0	3	0	2	0	0	0
28: PATENINT	0	0	4	4	4	0	0	1	2	0	4	0	2	2	4	4	0	0	2	1	1	2	1	1	2	4	0	0	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0	0	1	0	1	0	0	0
29: NESREPH2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	1	1	2	1	0	2	1	0	1	0	2	1	0	0	1	0	0	3	1	1	0	0	0	0		
30: CONPESER	0	0	3	3	3	3	2	1	3	0	3	2	0	2	2	4	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2	1	0	2	1	1	0	2	2	2	1	0	1	
31: PLANDGOB	0	0	3	3	3	3	3	1	3	3	4	3	0	3	4	4	2	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	2	4	0	2	2	1	4	4	4	3	3	3	1	4	4		
32: PRESISOC	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
33: PROCONH2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	1	0	2	2	0	0	0	0	1	1	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
34: BONOCARB	0	0	4	4	4	0	0	1	2	1	3	2	1	4	2	4	4	0	2	2	4	4	2	4	4	4	4	4	1	4	3	3	0	2	0	4	0	4	2	2	0	0	0	0	
35: SOSCRECI	0	0	3	3	3	3	2	0	1	0	3	4	2	4	2	4	3	2	3	2	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	0	0	0	4	2	0	0	3	0	3		
36: DRIQUEZA	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	0	4	0	0	1	0	3	0	3		
37: MCICONH2	0	0	4	4	2	1	1	0	3	4	3	1	0	4	3	4	2	1	3	2	2	3	2	2	4	4	3	1	3	3	3	0	4	4	4	1	0	2	3	0	0	0	0		
38: REDUCARA	0	0	3	3	3	4	0	0	2	0	3	2	4	2	3	4	1	0	4	2	3	4	2	2	4	2	2	1	2	1	1	0	3	4	4	0	2	0	3	0	0	0	0		
39: NORMANAL	0	0	2	2	1	1	1	0	4	0	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	4	2	1	3	1	2	0	2	2	1	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
40: CONFINTE	1	1	1	1	2	3	0	0	0	3	4	0	1	0	1	2	0	2	0	2	1	0	0	3	0	0	1	0	1	0	1	0	1	2	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	
41: PANECMUN	0	0	3	3	3	3	1	2	2	1	3	0	3	3	0	3	2	3	2	3	3	0	2	3	1	1	2	2	3	3	0	0	1	3	1	1	1	1	0	0	0	1	0		
42: EXDEMNAL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0																				

Anexo II Matriz de Influencia Directa – MID entre Actores

La matriz MID entre Actores evalúa el efecto de un actor sobre los otros actores del sistema, lo que permite determinar cuáles son los actores principales para un sistema, solamente se evalúa las influencias directas entre actores tomadas por pares. Se cuantifica la existencia de influencias y la intensidad por medio de apreciaciones cualitativas tales como: 0 No tiene ninguna influencia, 1 Influye sobre la operativa del otro actor, 2 Influye sobre algunos objetivos estratégicos del otro actor, 3 Influye sobre la estrategia del otro actor o 4 Influye incluso sobre la existencia del otro actor

	OPEP	CRINT	MINMINAS	MINDUSTRIA	MINHACIENDA	FONADE	MINRELACIONES	ECOPETROL	ISAGEN	EPM	GEEB	ASOCOH2	CIDET	TRANSM	UNIVERSIDADES	PNUD
OPEP	0	1	3	2	3	2	1	2	0	1	1	2	1	3	2	1
CRINT	1	0	0	1	3	1	1	2	0	0	0	1	0	1	0	1
MINMINAS	1	1	0	2	2	2	2	4	4	4	4	1	2	2	2	1
MINDUSTRIA	0	1	2	0	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
MINHACIENDA	0	1	2	2	0	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
FONADE	0	1	2	2	2	0	1	2	2	2	2	0	2	2	1	0
MINRELACIONES	1	1	1	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ECOPETROL	1	1	2	2	2	1	2	0	1	2	2	1	1	2	1	0
ISAGEN	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	0	1	0
EPM	0	0	2	2	2	1	2	1	2	0	2	1	2	0	0	0
GEEB	0	0	2	2	2	1	2	1	3	2	0	1	2	0	0	0
ASOCOH2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
CIDET	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0	0	1	0
TRANSM	0	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
UNIVERSIDADES	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
PNUD	2	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	3	3	0

Fuente: Elaboración propia.

Anexo III Matriz de Actores Objetivos – MAO

La matriz MAO entre Actores y objetivos recoge el signo +/- según le represente a cada actor, impacto positivo o negativo, el hecho de la consecución de un determinado objetivo. A continuación, una vez establecido el signo, se realiza la valoración del impacto que le supone a cada actor el hecho de haber logrado un determinado objetivo. Su valoración se realiza estableciendo el impacto que supondría para cada actor el hecho del logro de cada objetivo atendiendo al siguiente recorrido: 0 No le origina ningún impacto, 1 Condiciona la operativa del actor, 2 Condiciona algunos objetivos estratégicos del actor, 3 Condiciona la estrategia del actor y 4 Condiciona incluso la propia existencia del actor.

	MEZH2GASNAT	H2RESENER	MCH2	REDCOOPINTPROY	REDGENDISTH2	TRANPUBH2	INVEATH2	INVEFINGUB	REDCOOPINTEDU	PROGEDUH2	CLUH2	ENTINOGUB	LEGDESCARBENERG	ESTECAPLICH2	PLAGOBENEREN	INIGUBREDIMPAM	VEHIPRODCONSUMH...	NORMSEGH2
OPEP	-2	-3	-4	-4	-4	-4	3	0	0	0	-1	-1	-4	-1	-3	-4	-4	0
CRINT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
MINMINAS	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-2	2	1	-2	2	1
MINDUSTRIA	2	1	2	3	1	2	2	2	0	0	3	1	-2	2	2	1	2	1
MINHACIENDA	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	3	1	0	-2	0	0	-2	0
FONADE	3	2	3	3	2	3	2	1	1	1	3	1	0	3	2	1	2	2
MINRELACIONES	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	2	1	0	2	2	2	2	1
ECOPETROL	0	-2	-3	-2	-2	-4	-1	-2	0	0	-4	0	-4	0	-1	-1	-4	0
ISAGEN	3	2	1	2	2	1	0	0	0	0	3	1	3	1	3	1	1	2
EPM	3	1	3	2	2	3	1	1	1	1	3	1	-2	2	1	-1	2	1
GEEB	3	1	3	2	2	3	1	1	1	1	3	1	-2	2	1	-1	2	1
ASOCOH2	3	2	4	3	3	4	2	2	2	2	4	1	3	4	3	4	4	3
CIDET	2	3	1	2	3	2	3	3	1	1	3	1	2	2	3	3	2	2
TRANSM	3	1	4	1	1	4	3	1	0	1	3	0	-4	0	1	1	3	2
UNIVERSIDADES	3	2	2	2	2	2	3	4	3	3	2	1	1	2	2	2	2	2
PNUD	2	1	2	3	1	3	2	2	2	2	3	1	1	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.