



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN

POSGRADOS



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y DE ADMINISTRACIÓN**

**TRABAJO FINAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
POSGRADO EN ADMINISTRACIÓN**

PLAN ESTRATÉGICO PARA LA RECONVERSIÓN DE ANCAP AL HIDRÓGENO

por

**Gerardo Bertrán
Carla Valettuti
Sebastián Vallverdú**

TUTOR: Jorge Xavier

**Montevideo
URUGUAY
2020**

Página de Aprobación

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Trabajo Final:

Título

.....
.....
.....

Autor/es

.....
.....

Tutor/Coordinador

.....
.....

Posgrado

.....
.....

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....
...(nombre y firma).

Profesor.....
...(nombre y firma).

Profesor.....
...(nombre y firma).

FECHA.....

RESUMEN

En este documento se presenta un posible plan estratégico para la reconversión de ANCAP, empresa estatal dedicada al refinado y comercialización de hidrocarburos, en un proveedor de hidrógeno obtenido a partir de energías renovables para su uso en el transporte. La idea surge a partir del análisis *prospectivo* realizado por la propia ANCAP, donde se plantea que en un futuro cercano los vehículos serán eléctricos y utilizarán hidrógeno para producir su propia electricidad en tiempo real.

Tomando como base este escenario, se retoma el trabajo realizado por la empresa y se avanza un paso más al plantear esa transformación. Es así como, desde este objetivo general de asegurar que ANCAP continúe siendo la principal empresa abastecedora de energía para uso en el transporte del país, luego se definen objetivos varios relacionados con qué hacer con todos los bienes que tiene la empresa actualmente, qué infraestructura es necesaria para la producción y distribución de hidrógeno, cómo gestionar los RRHH, o qué políticas deberían llevarse adelante para alcanzar los objetivos antes mencionados. Como se verá, se hace evidente al delinear posibles estrategias que esta transformación requerirá fuertes inversiones, transformaciones organizacionales, políticas públicas, así como cambios de paradigma en la forma de pensar al Estado uruguayo y las empresas públicas.

Palabras clave: ANCAP, Hidrógeno, Vehículo Eléctrico, Matriz Energética, Estrategia.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	5
INTRODUCCIÓN	7
1 PUNTO DE PARTIDA: ANÁLISIS PROSPECTIVO.....	10
1.1 EL ANÁLISIS PROSPECTIVO	10
1.2 MÉTODO DE ESCENARIOS.....	11
1.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL ESCENARIO TRANSICIÓN A VERDE	13
2 ANALISIS DE CONTEXTO.....	14
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EN ESTUDIO: ANCAP	15
2.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	15
2.3 LOS OBJETIVOS ODS Y SU IMPACTO EN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS	16
2.3.1 Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.....	20
2.3.2 Objetivo de Desarrollo Sostenible 3: Salud y Bienestar.....	21
2.3.3 Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Garantizar el Acceso a una Energía Asequible, Asegura, Aostenible y Moderna para Todos	22
2.3.4 Objetivo de desarrollo sostenible 9: industria, innovación e infraestructura	22
2.3.5 Objetivo de desarrollo sostenible 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles	23
2.4 HERRAMIENTAS DEL MODELO SITUACIONAL – ANÁLISIS FODA.....	23
2.4.1 Ambiente Externo.....	24
2.4.2 Ambiente Interno	29
3 OBJETIVOS ESTRATEGICOS Y LÍNEAS DE ACCION	34
3.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	34
3.1.1 Objetivo general: asegurar que ANCAP continúe siendo la principal empresa abastecedora de energía para uso en el transporte del país	34
3.1.2 Revisión de marco existencial	35
3.1.3 Objetivo 1: adecuar infraestructura para abastecimiento de la demanda de hidrogeno ..	37
3.1.3.1 Meta 1.1: Instalar 500 estaciones de carga con capacidad de generación propia de hidrógeno gaseoso de 1440 Nm ³ diarios, distribuidas a lo largo del territorio nacional, priorizando el área metropolitana.....	38
3.1.3.2 Meta 1.2: Instalar plantas de generación de hidrógeno con una capacidad de producción anual de 505 millones de metros cúbicos, equivalente al 15% de la demanda actual de nafta y gasoil	39
3.1.3.3 Meta 1.3: Creación de infraestructura de almacenamiento y transporte de Hidrógeno con capacidad para transporte diario de 9.500.000 Nm ³ de hidrógeno gaseoso	41
3.1.4 Objetivo 2: optimizar la cartera de activos existente en hidrocarburos.....	43
3.1.4.1 Meta 2.1 Desafectar 20% de activos destinados al refinado, almacenamiento, y distribución de gasoil para abastecimiento del mercado interno.....	44
3.1.4.2 Meta 2.2. Reciclar 50% de estaciones de servicio actuales para venta de hidrógeno, colocando generación on site en los lugares donde sea posible.....	45
3.1.4.3 Meta 2.3. Reutilizar plantas de combustible y Refinería para instalación de centros de distribución.....	46
3.1.4.4 Meta 2.4. Reutilizar edificios administrativos y activos pertenecientes a tecnologías de la información optimizando su uso.....	46
3.1.5 Objetivo 3: gestionar los recursos humanos necesarios	47

3.1.5.1	Meta 3.1. Paulatina incorporación de personal técnico especializado en la producción de hidrógeno	49
3.1.5.2	Meta 3.2. Reestructurar la Organización – unidades, cargos y perfiles.....	49
3.1.6	Objetivo 4: abastecimiento de la demanda	50
3.1.6.1	Meta 4.1. Asegurar la demanda interna de hidrocarburos - Alternativas	51
3.1.6.2	Meta 4.2. Asegurar la demanda externa de hidrocarburos – Conexión con el resto del mundo	51
3.1.7	Objetivo 5: Generación de una Economía del Hidrogeno	53
3.1.7.1	Política Energética 2005 – 2030 como antecedente y marco general para la acción...	53
3.1.7.2	Meta 5.1 Declaración de promoción del Hidrógeno como Política Nacional	55
3.1.7.3	Meta 5.2 Políticas de Incentivo a las Inversiones	57
3.1.7.4	Meta 5.3 Políticas de mercado	58
3.1.7.5	Meta 5.4 Políticas Educativas	60
4	CONSIDERACIONES FINALES	62
4.1	EL MODELO DE PRODUCCIÓN RENOVABLE – UNA ESTRATEGIA NACIONAL	62
4.2	La estrategia reconstruccionista	64
5	TRABAJOS CITADOS	66
	BIBLIOGRAFÍA.....	66
6	ANEXOS.....	70
6.1	EL VEHICULO ELECTRICO.....	70
6.1.1	VEHICULOS A BATERIAS DE LITIO.	71
6.1.2	VEHICULOS QUE UTILIZAN HIDROGENO.....	77
6.1.3	LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y LAS ESTACIONES DE CARGA.....	81
6.1.4	PRUEBA DE CONCEPTO – PROYECTO VERNE.....	87
6.2	ESTIMACION DE PRODUCCION NECESARIA DE HIDROGENO PARA DEMANDA INTERNA ACTUAL.	89
6.2.1	Cálculo de consumo equivalente de gas para vehículos que utilizan Fuel Cells.....	89
6.2.2	Plantas de producción de hidrógeno.	91
6.2.3	Hidrógeno - Formas de almacenamiento y transporte.....	92

INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso del curso de *Política y Estrategia Empresarial* se analizaron métodos para elaborar planes estratégicos dentro de las organizaciones. Se tomó conocimiento del análisis prospectivo realizado por ANCAP en el que se planteó un escenario donde su modelo de negocios actual deja de ser rentable en los próximos años. Los motivos son fundamentalmente avances en el terreno de los vehículos eléctricos, específicamente los alimentados por hidrógeno, y un cambio en la opinión pública a favor del transporte sustentable en detrimento de la quema de fósiles.

En la actualidad, el vehículo eléctrico a base de baterías de litio está penetrando con fuerza en el mercado uruguayo. Existen evidencias a nivel mundial de que los gobiernos comenzarán a restringir la circulación de vehículos a combustión interna, y los fabricantes han acompañado esta tendencia comenzando a dismantelar sus líneas de producción e incrementando los desarrollos relacionados con vehículos eléctricos. Esto hace suponer que, a menos que ANCAP realice una transformación mayor y adopte una estrategia de corte reconstruccionista dejará de existir, siendo en el mejor de los casos, absorbida por la empresa distribuidora de energía eléctrica, UTE, quien se convertiría la principal proveedora en materia de movilidad para los vehículos en el futuro inmediato.

A partir de este diagnóstico, realista y probable, resulta necesario desarrollar un plan estratégico que indique claramente el camino a seguir y las acciones a tomar durante los próximos años, abordando la mayor cantidad de áreas de conocimiento. Se tiene en cuenta que este tipo de transformaciones conllevan años, o incluso décadas, y que en este caso al ser una empresa estatal, se requieren plazos todavía más extensos por la mecánica con que deben procesarse los cambios.

El propósito del trabajo es presentar un documento que, utilizando las herramientas más comunes de la *planificación estratégica*, proporcione una hoja de ruta o un conjunto de directivas a seguir en los próximos años, que sirva para orientar todas las acciones que deberá afrontar la empresa si es que realmente se propone como objetivo realizar una transformación profunda. Para sugerir el mencionado curso de acción, es necesario realizar un análisis de contexto que permita identificar la situación presente, destacando qué aspectos podrían contribuir a ese destino esperado y cuáles por el contrario atentan contra el logro del objetivo futuro. Una vez definido entonces el futuro deseado e identificada la situación actual, se está en condiciones para precisar una serie de objetivos estratégicos en temas clave, así como acciones concretas y plazos para llevar adelante cada uno de estos.

El documento que se presenta está estructurado en cuatro grandes secciones:

- Análisis prospectivo realizado por ANCAP, en el que se plantea un escenario futuro al que se desea llegar.
- Análisis de contexto en el que contemplan las características de la empresa como sus fortalezas y debilidades, y también otros elementos externos como acuerdos suscritos por nuestro país o el estado de la tecnología.
- Objetivos estratégicos tendientes a alcanzar el futuro deseado considerando la situación actual, y desarrollo de acciones y recomendaciones para alcanzarlos.
- Principales observaciones y consideraciones que resuman las diversas maneras de encarar el proceso de reestructura.

Nota o Disclaimer: Dado que este documento es un ensayo, cuyo objetivo es aplicar las herramientas vistas en el curso de *Política y Estrategia Empresarial*, no se será muy riguroso con la exactitud de los datos, aunque se recurrirá siempre que sea posible a fuentes confiables las cuales

serán referenciadas en el texto de forma acorde. La información que se utilizará, por tanto, será de acceso público, y es posible que se tomen como ciertas algunas afirmaciones encontradas en artículos periodísticos o sitios web sin haberlas sometido a una prueba rigurosa en cuanto a su exactitud. Debe hacerse una aclaración, sin embargo, y es que la inexactitud de la información no será tal que invalide el contenido del documento o arroje resultados totalmente alejados de la realidad, simplemente que se priorizará la estructura del documento y su significado general por sobre la exactitud de algunos datos.

DESARROLLO

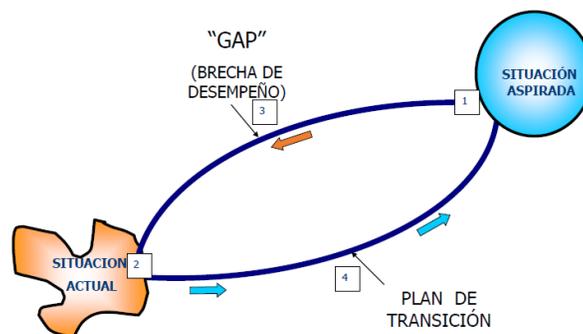
1 PUNTO DE PARTIDA: ANÁLISIS PROSPECTIVO

Tal como se adelantó en la Introducción, se comienza con el análisis prospectivo realizado por ANCAP. El principal producto o entregable de esta sección es el futuro al que ANCAP pretende llegar. Ese será el punto de partida para todo lo que sigue en este trabajo.

1.1 EL ANÁLISIS PROSPECTIVO

¿Qué es el análisis prospectivo? El análisis prospectivo, a diferencia del análisis situacional tradicional, consiste en: definir un futuro deseado (1), recién entonces analizar la situación actual (2), luego evaluar qué debe cambiar para pasar de la situación actual a la deseada (3), y por último elaborar un plan de transición que contenga los pasos a dar (4). Esto se ve representado gráficamente en la Ilustración 1.

Ilustración 1 – Método Prospectivo



Para diseñar la situación esperada o futuro deseable, existen varias técnicas. Una de ellas es la de *Escenarios Posibles*, y es la que adoptó ANCAP para visualizar su futuro deseable y es la que se introduce a continuación. La técnica consiste en identificar primero un conjunto de *escenarios posibles* y luego elegir aquél que resulte más apropiado para los fines de la organización. Un *escenario posible* es un conjunto articulado de hipótesis sobre factores de incertidumbre (Godet, Durance, 2007).

1.2 MÉTODO DE ESCENARIOS

En el año 2013 ANCAP se embarcó en un proceso de análisis de la empresa que involucró 3 aspectos fundamentales: análisis descriptivo del negocio de la energía, un análisis estructural donde define variables claves del sector, y un análisis de las relaciones entre los interesados o *stakeholders*.

Una vez finalizado este análisis se procedió con el diseño de múltiples escenarios y la visualización de distintos futuros posibles, teniendo como pregunta fundamental: *¿Cómo generará valor ANCAP en los próximos 20 años y contribuirá al desarrollo productivo y social sustentable del país?* (Dr. Miguel A Tato, 2013)

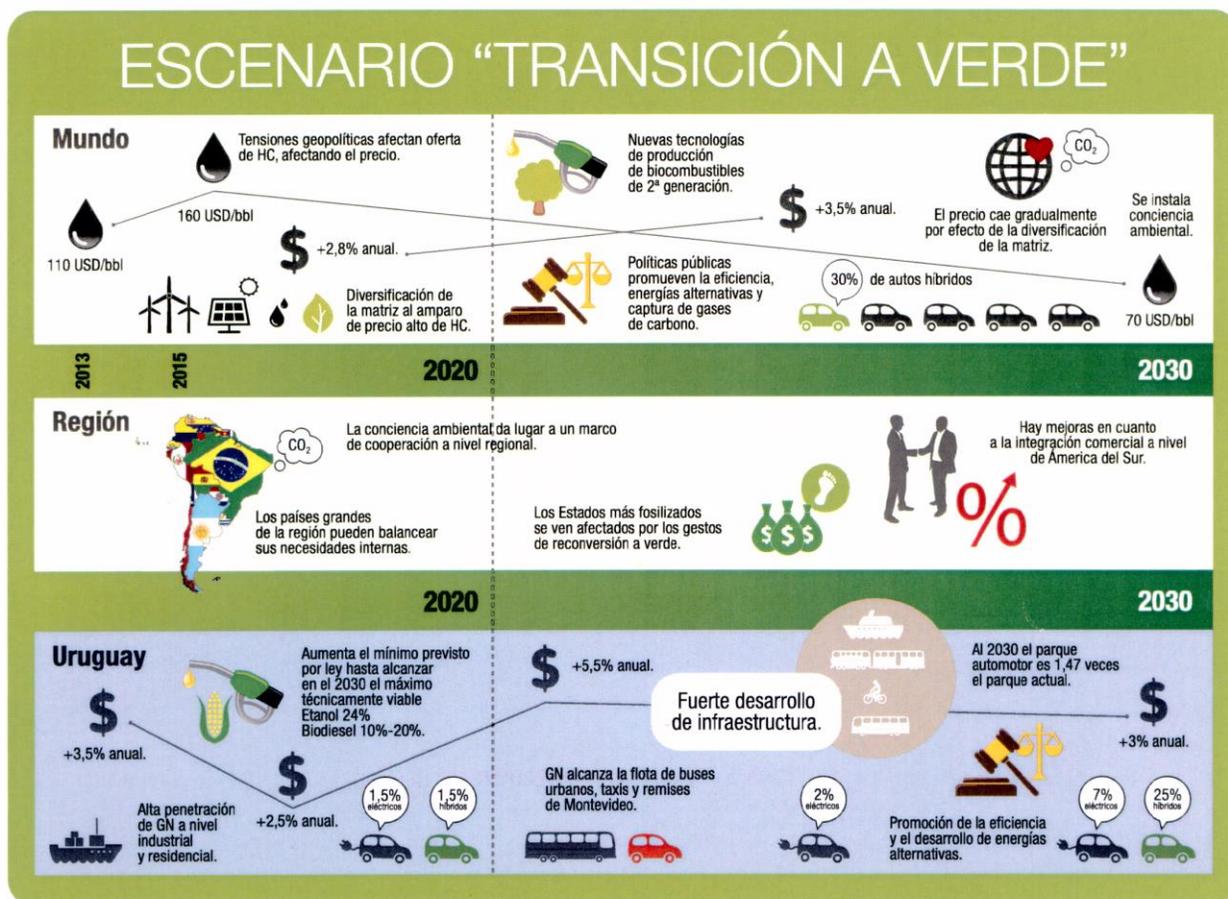
Las variables o hipótesis que se manejaron para los diferentes escenarios básicamente fueron: consumo de combustibles fósiles, precio de crudo, ingreso per cápita, grado de penetración de energías alternativas, grado de participación del estado con políticas públicas, hábitos de las personas en Uruguay vinculados al medio ambiente y al transporte, grado de integración regional,

competitividad del país, tecnologías de uso en el transporte de carga, crecimiento del PBI industrial, entre otros.

Este análisis produjo 4 escenarios posibles (Dr. Miguel A Tato, 2013). En tres de los cuatro escenarios hallados, se mantenía alguna forma de utilización de combustible basado en hidrocarburos. Sólo en uno de ellos se planteaba una transición al uso de los vehículos eléctricos alimentados por hidrógeno, el cual es obtenido a partir de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables. Se decidió elegir este escenario, llamado “Transición a verde”, ya que constituye un ejemplo de “Océano Azul” (Kim, Mauborgne, 2005) el cual ANCAP puede crear y ser pionero.

Se toma entonces como punto de partida de este trabajo la intención de ANCAP de realizar una transición hacia el futuro deseado indicado como *Transición a verde*. El esquema se encuentra representado en la Ilustración 2.

Ilustración 2 - Escenario Transición a Verde



1.3 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO TRANSICIÓN A VERDE

Este escenario es por lejos el más radical de los analizados por ANCAP, y es el único que involucra una verdadera apuesta a la innovación y a refundar *el mismo negocio*, que podría pensarse en términos generales como *abastecer a vehículos terrestres de la energía que los vuelve capaces de viajar grandes distancias*.

El fundamento de este escenario es precisamente que se elimina el uso del petróleo y los hidrocarburos. ¿Cuál es el “GAP” o brecha que existe entre la situación actual y la situación futura deseada? O, lo que es lo mismo, ¿cómo es posible que ANCAP elimine el uso del petróleo y sus derivados en el transporte?

Se intentará contestar estas preguntas a medida que se avance en el plan estratégico que se expodrá a continuación. Sin embargo, es claro desde este momento que será necesario realizar dos cambios muy importantes:

- 1. Sustituir los vehículos terrestres que utilizan hidrocarburos (nafta, gasoil, etc.) por versiones equivalentes de vehículos eléctricos que utilizan el hidrógeno gaseoso como medio de almacenamiento de energía.*
- 2. Producir hidrógeno en cantidades suficientes, y distribuirlo a través de una red de puntos de venta con cobertura en todo el país.*

2 ANALISIS DE CONTEXTO

Habiendo definido ya un horizonte a alcanzar en la sección 1, ahora corresponde realizar un análisis del contexto actual, considerando los factores propios a la empresa, y también aquellos que le son externos. Conociendo entonces objetivo final y situación actual, es que podrán definirse en la sección 3 los objetivos estratégicos y las líneas de acción para pasar de la situación actual a la deseada. Se recomienda la lectura del punto 6 ANEXOS previo a la lectura de esta sección.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EN ESTUDIO: ANCAP

La Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland es la empresa estatal uruguaya fundada en 1931 y encargada de explotar y administrar el monopolio del alcohol y carburante nacional, el cemento portland, así como importar, refinar y vender derivados de petróleo.

2.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA

El año 1931 constituye un punto de inflexión dentro de la coyuntura histórica nacional ya que es en este año que se comienza a vivenciar el impacto de la crisis de octubre de 1929.

Dentro de este contexto, y enmarcados en la segunda etapa del impulso reformista del batllismo se crea ANCAP, conformándose como el logro más importante de la Política de nacionalización de los servicios públicos de esta etapa en la que atravesaba el país.

Su creación significó poner en manos del Estado la administración y explotación del emporio del alcohol, la instalación de fábricas de portland, y finalmente la importación, el refinamiento y la comercialización del petróleo.

Por lo tanto, se constituyen entonces 3 áreas estratégicas: combustibles, alcoholes y portland, llegando a la década del 40 a abastecer la totalidad de la demanda interna de combustibles y alcoholes.

A lo largo de su historia la empresa estatal ha debido atravesar diversas etapas de transformación estratégica para adaptarse a las circunstancias de los tiempos vivenciados y la demanda del mercado.

Hoy la apuesta hacia el futuro implica debates más profundos que involucran la sustentabilidad del ser humano en la sociedad donde las fuentes de energía producidas a partir de los hidrocarburos son fuertemente cuestionadas tanto por su impacto medioambiental, como social en aquellas economías que se constituyen como fuentes de dicha materia prima.

Se entiende de esta forma la apuesta que ha realizado ANCAP con la inclusión de proyectos innovadores en su agenda estratégica y que tienen que ver con:

- La transición energética hacia una matriz 100% renovable.
- El internet de las cosas para la empresa ALUR, tendiente a la mejora de la eficiencia operativa industrial.
- Aplicación para conductores transportistas de combustibles para mejorar el feedback con la empresa.
- Y, por último, aplicaciones digitales para estaciones ANCAP, como forma de acercamiento a los clientes/usuarios (Presidencia, 2019).

El trabajo desarrollado en este documento pondrá foco en el primer punto, que aborda la transformación de la matriz energética de la empresa estatal.

2.3 LOS OBJETIVOS ODS Y SU IMPACTO EN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

Como es de público conocimiento, Uruguay ha suscrito un acuerdo internacional o iniciativa promovida por la ONU conocida como los ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, s.f.).

Del sitio web de la iniciativa en Uruguay puede extraerse lo siguiente:

“La Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible fue aprobada por la Asamblea General de Naciones Unidas a través de la resolución del 25 de setiembre de 2015.

Esta propone 17 objetivos y 169 metas que conjugan de forma integrada los desafíos entorno a las tres dimensiones del desarrollo sostenible que resultan clave para el futuro del planeta: la económica, la social y la ambiental.

A los ODS les anteceden los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con los que se emprendió en 2000 una iniciativa mundial para abordar la indignidad de la pobreza. Los ODM eran objetivos medibles acordados universalmente para hacer frente a la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales y ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, entre otras prioridades del desarrollo.

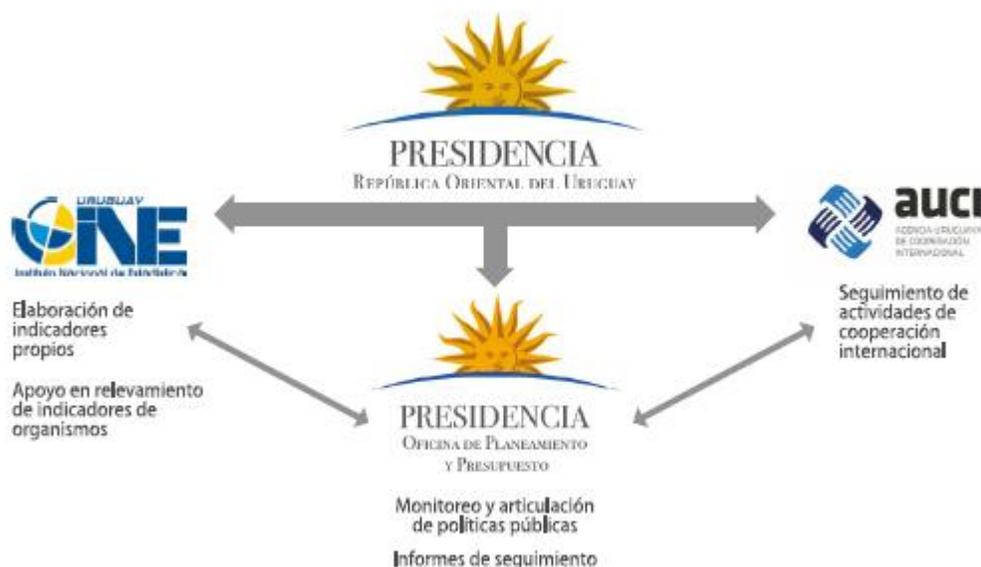
El legado y los logros de los ODM nos han brindado lecciones y experiencias valiosas para comenzar a trabajar en pos de los nuevos Objetivos. No obstante, para millones de personas de todo el mundo, la labor no ha concluido. Debemos hacer un último esfuerzo para poner fin al hambre, lograr la plena igualdad de género, mejorar los servicios de salud y hacer que todos los niños sigan cursando estudios después de la enseñanza primaria. Los ODS también son un llamado urgente para que el mundo haga la transición a una senda más sostenible.

El gobierno de Uruguay en su conjunto, trabajando transversalmente a nivel de todos los Ministerios, entes autónomos y servicios descentralizados, ha asumido la responsabilidad de guiar sus políticas públicas en torno al cumplimiento de los ODS con el objeto de avanzar en cada uno

de ellos hacia el año 2030. Así mismo, se considera de suma importancia construir un proceso participativo, que involucre a la sociedad uruguaya, el cual tuvo su inicio con el "Diálogo Social: Uruguay al futuro".

Queda claro de la definición que se trata de un esfuerzo mundial por atacar graves problemas y desafíos que enfrenta la humanidad, también que el tema de la sostenibilidad se menciona explícitamente, y que Uruguay se ha plgado a este esfuerzo de forma decidida. En nuestro país esta iniciativa está en la órbita de Presidencia de la República, y ha sido un esfuerzo interinstitucional coordinado y monitoreado desde la Oficina de Planeamiento y Presupuesto u OPP (ver Ilustración 3).

Ilustración 3 – esquema de organización de la iniciativa ODS en Uruguay



Extraído de la síntesis del Informe voluntario 2019 (Oficina de Planeamiento y Presupuesto, 2019)

Existen entonces 17 objetivos en diversas áreas, que requieren a su vez de numerosos esfuerzos para impulsar cada uno de esos objetivos. Uruguay se ha comprometido voluntariamente a perseguir estos objetivos, por lo que resulta de particular importancia analizar si estos objetivos están relacionados o no en la reconversión planteada por ANCAP¹, y si lo están, de qué manera. A lo largo de la sección 2.3 se comentan brevemente algunos de los ODS para ser considerados más adelante al realizar el análisis FODA en la sección 2.4.

Nuestro país ha puesto especial énfasis en determinados objetivos, que pasaremos a desarrollar en la siguiente sección poniendo mayor atención a ciertas metas incluidas en ellos y que serán de aplicación al presente caso.

¹ Al momento de redactar esta monografía las nuevas autoridades gubernamentales no se han pronunciado sobre si continuarán con el compromiso o no, pero la publicación en el sitio web sigue vigente al momento de cerrar esta nota.

2.3.1 Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

Este objetivo es ya bastante claro en sí mismo, pero contiene necesariamente diferentes líneas de acción o “ejes temáticos” que deben abordarse en la persecución del objetivo, tal como se define en el informe (Oficina de Planeamiento y Presupuesto, 2019) elaborado por la OPP.

Se destaca el eje temático “**Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero**”. Dentro del mismo, el informe plantea el objetivo específico de:

“Lograr a 2025 una mayor reducción de intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en relación a la evolución de la economía, (respecto a 1990)”.

Para ello se plantean metas concretas de reducción de emisiones, de las cuales se ha incluido aquí una en especial:

- **24% de reducción de intensidad de emisiones de dióxido de carbono por unidad de PBI.**

Resulta indiscutible que la introducción de vehículos eléctricos es una medida que tendría un impacto directo sobre esta meta, en especial si se la asocia a actividades productivas tales como el transporte de cargas y pasajeros, entre otros. Aquí es evidente el doble impacto de la medida: por un lado, las emisiones de CO₂ se reducen por el uso de vehículos eléctricos que toman su energía de fuentes con cero emisiones, y por el otro la potenciación de los servicios de transporte impacta directamente en el PBI. En el informe incluso ya se menciona como un “logro” la introducción de la movilidad eléctrica, con lo que el país ya se encuentra transitando ese camino, aunque no ha

explorado aún todas las alternativas en materia de movilidad eléctrica, existiendo espacio entonces para introducir la tecnología del hidrógeno.

De hecho, la incorporación de la tecnología del hidrógeno traería otros beneficios, algunos de los cuales se comentan en el Anexo 6.1.3 y en la sección 2.44, y que tendrían impactos en otros objetivos de desarrollo, no sólo en el de reducir las emisiones. Introducir esta tecnología tendría impacto en el desarrollo tecnológico y científico, en la oferta educativa, en el empleo, etc.

A continuación, se mencionan brevemente otros ODS y cuáles de sus metas específicas van en la línea del futuro planteado por ANCAP de *Transición a Verde*.

2.3.2 Objetivo de Desarrollo Sostenible 3: Salud y Bienestar

Meta 3.9: *Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.*

El uso de vehículos eléctricos que utilizan hidrógeno elimina las emisiones y contaminación del aire, a la vez que reduce el potencial impacto ambiental por la disposición de las baterías de litio.

2.3.3 Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Garantizar el Acceso a una Energía Asequible, Segura, Sostenible y Moderna para Todos

Meta 7.2: *De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.*

La utilización del hidrógeno para uso en el transporte aumenta la proporción de energía renovable, ya que permite aprovechar energía eólica hoy subutilizada la que sustituye la quema de hidrocarburos.

2.3.4 Objetivo de desarrollo sostenible 9: industria, innovación e infraestructura

Meta 9.4: *De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.*

La instalación de acumulación por la vía del hidrógeno es un cambio estructural que afecta al país entero, desarrolla una nueva industria sostenible y limpia, a la vez que potencia a todo el sistema productivo introduciendo tecnología limpia y ambientalmente racional.

2.3.5 Objetivo de desarrollo sostenible 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles

Meta 11.6: *De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.*

La incorporación de vehículos eléctricos, siempre que la energía eléctrica provenga de fuentes libres de carbono, mejora la calidad del aire. En el caso del hidrógeno, se reduce el impacto ambiental al reducir significativamente el impacto ambiental en suelos y cursos de agua.

2.4 HERRAMIENTAS DEL MODELO SITUACIONAL – ANÁLISIS FODA

Para poder visualizar el negocio del futuro de una empresa madura y de gran porte como ANCAP, no es posible eludir el análisis de la situación actual. Para ello se utilizarán algunas herramientas clásicas del enfoque situacional, para intentar tener una idea de las posibilidades y potenciales dificultades *actuales* que ostenta la empresa. A continuación, se presenta un modelo FODA (Humphrey, 1960), herramienta muy común en el ámbito del enfoque situacional, en el que se analizan factores internos que operan favorablemente (Fortalezas) o desfavorablemente (Debilidades) para el logro de la misión de ANCAP; y factores externos a ANCAP con efectos potenciales positivos (Oportunidades) y negativos (Amenazas).

2.4.1 Ambiente Externo

Factores con potencial negativo o Amenazas.

Cambios tecnológicos.

- Baja en los costos de fabricación de los vehículos eléctricos: baterías de litio, motores eléctricos, celdas de combustibles, u otros sistemas del vehículo eléctrico.
- Energía eléctrica abundante y de bajo costo para el transporte: el costo promedio en energía eléctrica para recorrer 100km es de unos 100 pesos uruguayos, donde se ha tomado un valor de kWh promedio compuesto por las tres franjas horarias de la tarifa de movilidad eléctrica vigente al 5/6/2020 (UTE, s.f.). Esto es un costo del orden de 3 o 4 veces menos que su equivalente en nafta o gasoil, dependiendo del rendimiento del vehículo (15-10 km por litro).
- Mayor autonomía de las baterías de litio, permitiendo viajes más largos y menos paradas para recarga. Actualmente los modelos de gama media alcanzan en promedio autonomías de 150 – 200km, lo que los sitúa por debajo de los vehículos a combustión interna, pero cada día se logran mejores resultados. Existen vehículos eléctricos de gama media que ya superan los 340km de autonomía.
- Sistema de carga más rápido, lo que reduce el tiempo de carga actual que se encuentra en el entorno de 1 hora, si se dispone de un cargador del tipo *rápido* (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.).
- Plantas de reciclaje de litio. Existen avances en la concreción de estas plantas, las que permitirían aumentar la oferta y bajar el costo de este metal, principal

componente de las baterías, a la vez que podrían mitigar el posible impacto ambiental (LENN TECH, s.f.) y el rechazo a su extracción (FORO AMBIENTAL, s.f.)

- Aplicaciones para celulares que encuentran y dirigen al conductor de un vehículo eléctrico a un punto de carga, haciendo muy fácil la búsqueda de estos sitios y generando confianza en el sistema de suministro de energía eléctrica para movilidad.
- Nuevos desarrollos e inversiones en nuevos sistemas de baterías.
- Nuevos desarrollos e investigaciones en el sistema de electrólisis y celda de combustible que utilizan los vehículos que producen energía eléctrica a partir del hidrógeno.
- Versatilidad del hidrógeno como elemento de almacenamiento de energía y “vector de transporte de energía libre de carbono” desde la fuente de energía renovable hasta el consumidor final.

Cambios culturales.

Mayor concientización por impacto ambiental genera rechazo en público hacia combustibles fósiles, y puede generar políticas que incentiven la reducción del consumo de los mismos.

Aparición de competidores.

Nueva administración puede desmonopolizar venta de combustibles; UTE puede convertirse en un competidor al vender un bien sustituto, en caso de no lograr una alianza estratégica UTE-ANCAP.

Factores con potencial positivo u Oportunidades.

Es claro que, si ANCAP va a producir hidrógeno, su materia prima pasa de ser petróleo a energía eléctrica. Existen por tanto oportunidades únicas en el caso de Uruguay, que se comentan a continuación.

Marco favorable para inversiones destinadas a reducir emisiones de CO2 por ODS.

Tal como se comentó en la sección 2.3 Uruguay ha venido trabajando en el marco de los ODS, y existen objetivos especialmente vinculados a la reducción de emisiones de CO2, lo que podría dar una justificación muy fuerte a nivel de políticas fiscales y ley de presupuesto para apoyar la reconversión de ANCAP.

Abundancia y exceso de energía renovable de tipo intermitente.

En Uruguay existe actualmente una capacidad de generación eólica instalada muy importante. Sin embargo, la energía eólica tiene un punto débil: es aleatoria o *intermitente*, no se puede comandar el viento a voluntad, a demanda, sino que cuando hay viento debe intentar aprovecharse o se pierde. A lo sumo puede predecirse con una probabilidad de acierto bastante buena cuándo habrá viento e intentar gestionar la demanda para maximizar su aprovechamiento cuando se genera, pero si en el

momento en que se produce no hay demanda (puede haber mucho viento en la madrugada, mientras los hogares e industria del país están inactivos) directamente *se pierde*.

Ahora bien, una planta de generación de hidrógeno no necesita generar en ningún horario particular: puede *estar a la espera* de que el viento sople y en ese momento, cuando se genere energía eléctrica, usarla para producir hidrógeno.

Si se reflexiona un momento, lo que se está haciendo de hecho es acumular la energía generada en el momento de viento, en la forma de hidrógeno, para utilizarla después en un vehículo eléctrico².

Esta combinación tecnológica es, por tanto, perfecta, ya que se obtiene una combinación inmejorable: se obtiene energía de origen nacional, 100% renovable, para producción de hidrógeno; y al mismo tiempo se aprovechan grandes excedentes de energía eólica que hoy se pierden por no disponer de un sistema de almacenamiento de gran escala.

Si bien la energía eléctrica producida en las centrales hidroeléctricas tiene un cierto grado de control, ya que es posible regular de alguna manera la disponibilidad de agua mediante el uso de embalses, esto también es limitado y existen situaciones donde hay exceso de agua que debe verterse sin generar electricidad y se desperdicia por tanto toda esa energía. Podría recurrirse entonces aquí también a la acumulación de hidrógeno para los casos donde se vierte agua por estar los embalses llenos y no existir demanda para su uso posterior.

Nótese entonces que la incorporación de la producción de hidrógeno en la matriz energética nacional es una suerte de “broche de oro”, que se integra perfectamente con una realidad del país, siendo el elemento acumulador por naturaleza de toda la energía que hoy se produce y se desperdicia. El hidrógeno se transforma entonces en un gigantesco sistema de acumulación, una

² De hecho, la tecnología de celda de combustible permite volver a obtener energía eléctrica a partir del hidrógeno para cualquier uso, no sólo para alimentar el motor eléctrico de un vehículo eléctrico.

gran “batería” que permite gestionar la energía generada a partir de fuentes renovables para utilizarla cuando se desee.

La amplia red eléctrica nacional permite agrupar instalaciones geográficamente dispersas como las centrales hidráulicas, parques eólicos, y plantas de producción de hidrógeno, todos formando un sistema interconectado por cables de alta tensión.

Alianza estratégica con UTE.

Tomando en cuenta todo lo anterior, resulta una enorme oportunidad el hecho de que UTE, empresa también estatal, sea la empresa con la mayor capacidad de generación instalada, y además posee el monopolio en la Trasmisión y Distribución de la energía. Existen innumerables posibilidades para que ANCAP tenga acceso a grandes cantidades de energía eléctrica, a muy bajo precio, y en las ubicaciones que más le convenga.

- Ubicación privilegiada para la producción de hidrógeno.

UTE es capaz de transmitir enormes cantidades de energía mediante sus redes de Trasmisión, lo que posibilita a ANCAP una libertad bastante grande para elegir donde ubicar sus sitios de generación de hidrógeno. ANCAP y UTE también podrían coordinar los sitios de instalación de las plantas generadoras de hidrógeno de manera tal de minimizar todavía más los costos de trasmisión, usualmente bastante elevados, si UTE cediera predios que posee actualmente muy cercanos a sus centrales hidráulicas y parques eólicos.

- Tarifa preferencial.

Siendo ambas empresas estatales, y sabiendo del exceso de energía, UTE podría

suministrar energía eléctrica a ANCAP a bajos costos, permitiendo así que el hidrógeno generado por ANCAP fuera competitivo y lo volviera un proveedor imbatible de hidrógeno para uso en el transporte.

Generación propia.

ANCAP podría ingresar como un generador más, instalando sus propios parques eólicos o paneles solares, generando su propia energía y siendo totalmente autónomo en cuanto a la generación y costo de su energía eléctrica. En este escenario, ANCAP sería prácticamente dueño de todas las variables que determinarían el precio de venta de su hidrógeno.

Apoyo de la administración central.

El ser una empresa estatal proporciona una gran disponibilidad de fondos para inversión, o sacar partido de políticas de promoción impulsadas por el propio gobierno (por ejemplo, proyectos de inversión en modalidad PPP³, ley de promoción de inversiones, o financiamiento a través de organismos internacionales).

2.4.2 Ambiente Interno

Factores con potencial negativo o *Debilidades*.

³ Participación Público-Privada

Mala imagen pública a raíz de gestión muy cuestionada en el pasado.

Si bien ANCAP ha mejorado sus estados de resultados en los últimos ejercicios, todavía persisten en el sistema político y en la opinión pública fuertes cuestionamientos por años con balances negativos, inversiones que no se concretaron, así como conductas de sus anteriores directores que fueron calificadas de poco éticas.

Agenda de reducción del gasto público.

Existe a su vez una fuerte impronta a reducir el gasto público del actual gobierno. Todo esto atenta contra desarrollos innovadores, nuevas inversiones en tecnologías de corte futurista cuyos resultados se verían dentro de 10 o 15 años.

Ley Orgánica.

La ley orgánica de ANCAP, así como la de UTE, representa un fuerte obstáculo legal que impide a ANCAP el “inmiscuirse” en temas que son, claramente, del dominio de UTE. Es imprescindible por tanto modificar ambas leyes con una visión muy amplia, que permita la reconversión de ANCAP. Además, posee abundantes requisitos y controles para proceder, necesarios para brindar transparencia, pero que vuelven muy difícil realizar cualquier actividad que no esté específicamente indicada y reglamentada en su ley orgánica.

Poca flexibilidad y velocidad en la toma de decisiones.

ANCAP, como la mayoría de las empresas estatales, presenta un grado de rigidez y burocracia que la hace lenta a la hora de realizar cambios estructurales o tomar decisiones. Son ejemplos el mecanismo de compras, la realización de diseños técnicos, redacción de pliegos, cadenas de aprobaciones, asignación presupuestal. etc. En procesos tan profundos como el que se plantea, y con cambios de tecnología y de entorno tan veloces, parece desafiante acompañarlos con la rigidez de la toma de decisiones de una empresa estatal.

Rigidez en materia de Recursos Humanos.

El sistema de concursos y estatuto del funcionario generan una escasa movilidad de su plantilla, a la vez que dificultan enormemente realizar cambios en la estructura organizacional. Creación de nuevas unidades o redimensionamiento de las existentes; diseño de nuevos puestos, o cambios de perfil y competencias requeridas para puestos existentes; nuevos ingresos; etc.; se vuelven tareas realmente desafiantes para ejecutar en el corto plazo.

Fuerte cultura sindical.

Previamente se mencionó que la empresa posee en sus reglamentos y estatutos bastantes elementos burocráticos que enlentecen la toma de decisiones. A eso debe sumarse el efecto de la negociación sindical, el cual se entiende también desacelerará el proceso. Cambios tan radicales para el conjunto de funcionarios seguramente generarán incertidumbre, desconfianza, y resistencia a varios de ellos. De hecho, si se analiza el pasado reciente, los momentos donde se experimentaron dificultades en el abastecimiento de combustibles no se debieron a problemas técnicos, sino a conflictos sindicales

en alguna parte de la cadena productiva y/o distribución de combustibles (EL OBSERVADOR, s.f.).

Posición de relax y conformismo.

La situación de monopolio, una demanda estable, y la ausencia de desafíos tecnológicos fuertes, ha llevado a que la empresa se sienta cómoda en su situación actual y baje la guardia ante cambios que están ocurriendo más rápido de lo que percibe la empresa.

Fortalezas

Monopolio en refinado de combustibles.

No existiendo otro competidor que le dispute el mercado (con excepción del vehículo eléctrico) posee la casi totalidad del mercado de combustibles refinados.

Cadena de valor establecida y confiable.

Con excepción del precio final que se paga, toda la cadena de valor desde el refinado hasta el consumidor funciona correctamente y es valorada positivamente (la calidad del combustible es buena, la distribución es correcta, hay muchos puntos de venta, etc.).

Negocio en marcha y rentable con ingresos propios.

Es una empresa que, pese a los eventos recientes y las críticas recibidas, posee un nivel de ingresos interesante y ha cerrado sus balances con ganancias por tres periodos consecutivos. Es mucho más que una *vaca lechera*, de hecho, posee más condiciones de *empresa estrella* (Henderson, 1963).

Fuerte presencia de marca como proveedor de combustibles para transporte.

Muchas empresas deben construir una marca de cero, mientras que en el caso de ANCAP podría decirse que ya está presente y consolidada en la cabeza de los *conductores de vehículos* uruguayos. Se pone énfasis en que los clientes son *conductores de vehículos*, porque debe recordarse que la enorme mayoría de personas que hoy conduce un auto eléctrico, condujo antes y por bastante más tiempo un coche tradicional a combustión interna. Dentro de 10 años, esto posiblemente aún será cierto. Es de esperar entonces que a un cliente de ANCAP le resulte fácil la transición de la empresa hacia el hidrógeno, y debería recibir mucho mejor a un proveedor como ANCAP que a uno nuevo que no conoce.

Activos de la empresa. ¿Fortaleza y Debilidad?

ANCAP posee más de veintiséis mil quinientos millones de pesos en activos (extraído de Estados Contables, rubro Propiedades Planta y Equipos, se asume referidos a refinería, tanques de almacenamiento, plantas de combustible, flota de vehículos, edificios, gasoducto, etc.) (ANCAP, 2019). Esto bien puede ser visto como una enorme Fortaleza para cualquier empresa que está en

un mercado de altísima demanda y que además posee la mayor participación en ese mercado (100% en este caso si se ignora el pequeño porcentaje de vehículos eléctricos en plaza).

Sin embargo, esto mismo puede verse como una enorme Debilidad, ya que ante una eventual reconversión esto implicaría que toda esa inversión iría a *Pérdida*, ya que la enorme mayoría de estos activos son inservibles frente a un cambio radical como el que se plantea en este trabajo.

3 OBJETIVOS ESTRATEGICOS Y LÍNEAS DE ACCION

Ya se conoce la meta y se ha analizado el contexto de ANCAP. En esta sección se intentarán delinear los pasos a seguir para que, considerando la situación presente, la empresa adopte las transformaciones necesarias para alcanzar el futuro deseado. La mecánica será sencilla: se plantearán una serie de objetivos tendientes a lograr la *transición a verde* de ANCAP, y se recomendarán acciones para cada uno de estos objetivos.

3.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

3.1.1 Objetivo general: asegurar que ANCAP continúe siendo la principal empresa abastecedora de energía para uso en el transporte del país

Se entendió razonable incorporar este objetivo general, ya que orienta las acciones y brinda un por qué. De la presentación realizada por ANCAP (Dr. Miguel A Tato, 2013) se desprende la idea de aportar valor, pero se consideró necesario elaborar un concepto algo más ambicioso, donde se

incluya la idea de mantener la supremacía que hoy detenta ANCAP, tal cual surgió del análisis FODA, siendo el protagonista y hacedor de este nuevo futuro en lugar de un simple actor más. Siguiendo esta línea, se comienza con una revisión del marco existencial de ANCAP, para luego pasar a objetivos más concretos que cristalicen la transición hacia una empresa que abastece al transporte de los energéticos que demanda.

3.1.2 Revisión de marco existencial

Actualmente el marco existencial de ANCAP, está compuesto por los siguientes elementos:

Visión, Misión y Valores (ANCAP, s.f.).

Nuestra Visión

Ser una empresa integrada de energía de propiedad estatal, líder en el mercado uruguayo de combustibles y lubricantes, de cementos pórtland y en el desarrollo de los biocombustibles; con vocación regional, con enfoque en el cliente/usuario y la generación de valor, ambiental y socialmente responsable y que contribuye al desarrollo productivo y social del país.

Nuestra Misión

Aseguramos al país el abastecimiento de nuestros productos energéticos y proveemos cementos pórtland y alcoholes, todo ello conforme a estándares regionales de calidad y a las necesidades de los clientes/usuarios.

Estamos orientados al mejoramiento continuo de la eficiencia y competitividad, propiciamos el desarrollo integral y la participación del personal, actuamos con responsabilidad social y ambiental y estamos comprometidos con la confianza que genera nuestra empresa.

Valores y Principios de ANCAP

Los siguientes valores y principios institucionales nos caracterizan como Servidores Públicos y son los que guían nuestras actitudes y conductas, constituyendo la base fundamental de todas nuestras acciones y decisiones en el quehacer de la empresa.

Integridad y Respeto

Actuar con rectitud, probidad y honestidad, manteniendo un comportamiento ético incuestionable y promoviendo una rigurosa coherencia entre nuestras acciones y valores. Reconocer la dignidad y los derechos de los demás, evitando toda clase de discriminación.

Transparencia

Compromiso y disposición de actuar en forma clara, sin ambigüedades, de acuerdo con reglas conocidas, difundiendo oportunamente los datos e información adecuada en forma fiel y verificable facilitando las instancias de control, tanto interna como externamente y de acuerdo con las normas internas y la legislación vigente.

Honestidad

Actuar siempre basados en la verdad y en la justicia, dando a cada quien lo que le corresponde, incluido uno mismo, con honradez y rectitud.

Responsabilidad

Actuar diligentemente y con conocimiento en la realización de las funciones, deberes y obligaciones encomendadas, previendo y asumiendo las consecuencias de las acciones y decisiones adoptadas, comprometiendo todas nuestras capacidades.

Eficiencia y Eficacia

Cumplir con los objetivos fijados mediante el uso optimizado en tiempo y forma de los recursos disponibles, de manera de obtener el mejor resultado para los dueños, clientes y empleados.

Desarrollo Integral del Personal

Potenciar el desarrollo y la formación integral de las personas que conforman la empresa, estableciendo y fortaleciendo un ambiente laboral de confianza y compromiso, que promueva y facilite la participación, el trabajo en equipo y el respeto, así como la igualdad de oportunidades, la no discriminación y el equilibrio entre la vida laboral, personal y familiar.

Compromiso con la seguridad, con la salud y con la preservación del medio ambiente

Orientar la gestión de la empresa de modo que sus actividades se realicen en condiciones de seguridad para las personas y los bienes materiales bajo su responsabilidad. Asegurar altos estándares de salud para todos los trabajadores. Orientar los planes, programas, actividades y operaciones de la empresa en todas sus etapas, por las mejores prácticas disponibles en materia de conservación y protección ambiental.

La Misión y Visión parecen correctos, perfilados hacia lo que sería una empresa que se dedica a “energéticos” y no tanto de combustibles o Hidrocarburos. Sin embargo, persiste en la Visión la

mención específica a combustibles y lubricantes, ambos derivados del petróleo, por lo que se sugiere una pequeña corrección a la Visión:

Nuestra Visión

*Ser una empresa integrada de energía de propiedad estatal, líder en el mercado uruguayo de ~~combustibles y lubricantes~~ **energéticos** así como de **tecnologías del transporte**, y de cementos pórtland ~~y en el desarrollo de los biocombustibles~~; con vocación regional, con enfoque en el cliente/usuario y la generación de valor, ambiental y socialmente responsable y que contribuye al desarrollo productivo y social del país.*

3.1.3 Objetivo 1: Adecuar infraestructura para abastecimiento de la demanda de hidrogeno

Este primer objetivo buscará contemplar los aspectos relacionados a la producción, almacenamiento, transporte, distribución, y venta de los energéticos necesarios.

Actualmente, sin contar el combustible consumido por UTE en las centrales de Generación, el grueso del mismo utilizado en el mercado interno para el transporte (gasoil 50-S, gasoil 10-S, nafta premium 97-30-S y nafta super 97-30-S) ronda los 970.000 m³ anuales (ANCAP, 2019). Por lo tanto, si ANCAP realmente desea ser una empresa 100% renovable en términos del uso de combustibles para el transporte en el mercado interno, debería instalarse una capacidad equivalente para atender al menos esta demanda.

Como puede extraerse de la memoria anual 2019 (ANCAP, 2019), la demanda de los combustibles arriba citados ronda los 50 millones de litros de nafta y 920 millones de litros de gasoil anuales. Una demanda como esta requeriría de una producción anual del orden de 3.300 millones de Nm³ de hidrógeno⁴. En el Anexo 6.2.1 se realiza un cálculo aproximado para tener una idea del orden

⁴ Normal metro cúbico es una medida de volumen de un gas no condensable a 0°C y nivel del mar.

de magnitud de las variables involucradas. Sin pretender arrojar valores exactos ni mucho menos, se observa que este nivel de producción requeriría una capacidad de generación de energía del orden del doble de la producida actualmente por UTE, numerosas plantas de producción de hidrógeno, grandes despliegues de logística etc.⁵

Por este motivo, **se ha decidido reducir el alcance original, tomando en cuenta que lograr una transformación de esta índole requiere de cambios que exceden a ANCAP, que deben incluir a todo el sistema eléctrico del Uruguay duplicando prácticamente su capacidad de generación, y al resto de la industria en una verdadera transformación a nivel país.**

3.1.3.1 Meta 1.1: Instalar 500 estaciones de carga con capacidad de generación propia de hidrógeno gaseoso de 1440 Nm³ diarios, distribuidas a lo largo del territorio nacional, priorizando el área metropolitana

Existen estaciones de carga que pueden conectarse a la red eléctrica y suministrar directamente a los vehículos el hidrógeno necesario. Una estación típica de tamaño mediano (que podría anexarse incluso a estaciones de servicio existentes) es capaz de suministrar el equivalente a 245 litros de nafta y 208 litros de gasoil diarios. Visto de otra manera, atender cerca de 20 clientes diarios con un promedio de carga de “medio tanque”.

El consumo de cada una de estas estaciones es del orden de 300 KVA, con lo que distribuidas de forma más o menos ordenada agregaría una carga al sistema eléctrico nacional de 150 MVA, la cual debería ser manejable sin grandes contratiempos, especialmente si se coordina este incremento mediante planes estratégicos con UTE en un plazo de 5 a 10 años.

⁵ Para todos los cálculos, se ha estimado el consumo de un auto eléctrico de tipo FCV, del tipo que utiliza celdas de combustible para extraer electricidad del hidrógeno gaseoso.

Estas quinientas estaciones de carga con generación *on site* producirían entonces unos 237 millones de Nm³ anuales, lo que representa un porcentaje cercano al 7% de la demanda total equivalente de nafta y gasoil.

IMPORTANTE: Esta meta tiene prácticamente como única limitante la inversión que debería realizarse para la adquisición e instalación de estas estaciones, ya que no requiere de mayores cambios en la infraestructura existente (comparativamente hablando con las metas 1.2 o 1.3). Sería por tanto un primer paso para iniciar la etapa en la que se busca ser un proveedor de relevancia de hidrógeno para vehículos eléctricos.

3.1.3.2 Meta 1.2: Instalar plantas de generación de hidrógeno con una capacidad de producción anual de 505 millones de metros cúbicos, equivalente al 15% de la demanda actual de nafta y gasoil

Este punto, sumado a otros esfuerzos como los vehículos a baterías de litio y mejoras en el área de eficiencia energética, acompañado por el apartado 1.1, podría ser suficiente para cumplir con la meta del ODS N°13 de reducir un 25% las emisiones de CO₂.

Se toma como hipótesis que 16 plantas de menos de una hectárea cada una, podrían generar esta cantidad⁶. El consumo individual de estas plantas rondaría los 20MW de potencia y requeriría un caudal de agua potable del orden de 54.000m³ anuales (Ver Anexo 6.2).

⁶ La empresa *Hydrogenics* fabrica unidades de 60Nm³/h en un contenedor de 40 pies, y ya ha fabricado plantas de 500Nm³/h siendo posible aumentar esta capacidad a requerimiento del cliente, basado en su estructura modular. Ver (<https://www.hydrogenics.com/hydrogen-products-solutions/industrial-hydrogen-generators-by-electrolysis/outdoor-installation/outdoor-large-capacity/>).

Meta 1.2a. Construir 16 plantas de producción de H2 con una capacidad de producción 31.536.000 Nm3 anuales cada una, distribuidas en áreas rurales y en terrenos que permitan una capacidad de expansión del 100%.

Estas plantas necesitarán entonces una potencia media del orden de 350 MVA, la cual debería sumarse a la consumida por las estaciones de carga (150MVA). Esto representaría un aumento de casi un 25% de la carga total que hoy se consume en Uruguay, lo que podría resultar excesivo. Igualmente, se prevé la expansión al momento de seleccionar el terreno.

Por este motivo, se incluye la Meta 1.2b.

Meta 1.2b. Instalar capacidad de generación eólica propia por un total de aproximadamente 1.000 megavatios de potencia, ampliable en un 100%.

Esta potencia, con un factor de planta del orden de 35% sería suficiente para proporcionar los 350MVA de potencia media equivalente, necesarios para la producción de 500 millones de Nm3 anuales. Hasta el momento, la energía eólica cubre menos superficie que la solar fotovoltaica y tiene rendimientos mayores, por eso se recomienda su uso. Para evitar recargar la red de Trasmisión de UTE, podría asociarse a cada una de las 16 plantas un parque solar de 60MW de potencia conectado directamente a la planta como un generador local. Esto es un parque típico de 30 aerogeneradores de 2MW cada uno.

Se tendrían así 16 *granjas* de generación de hidrógeno, cada una formada por: una planta de 4.000 Nm3/h con una capacidad de producción de 31,5 millones de Nm3 al año, y un parque de 30 aerogeneradores asociado.

IMPORTANTE: RELATIVO A LAS METAS 1.1 Y 1.2.

Si se consideran las *granjas* de hidrógeno más las estaciones de carga, cada una con el 15% y 7% de la demanda total respectivamente, se alcanzaría un porcentaje total del **22%** de la demanda actual.

3.1.3.3 Meta 1.3: Creación de infraestructura de almacenamiento y transporte de Hidrógeno con capacidad para transporte diario de 9.500.000 Nm³ de hidrógeno gaseoso

Para la distribución desde las 16 granjas generadoras hacia otros centros de distribución o estaciones de carga que *no* tengan producción *onsite*, será necesaria la construcción de una estructura de gasoductos similar a la utilizada para el gas natural. Esto parece razonable ya que el transporte de volúmenes tan grandes de hidrógeno haría necesario su transporte en estado líquido o criogénico. A modo de ejemplo, para transportar lo producido por las 16 granjas de H₂, harían falta más de 64.000 viajes al año si se transportara el hidrógeno en estado líquido; y si se optara por transporte del gas a presiones del orden de 700 Bar, el número sería más de diez veces mayor. Para el diseño del gasoducto se consideró el 100% de la demanda del mercado interno, es decir, unos 3.300 millones de Nm³ de gas al año. Se entendió pertinente construir desde el inicio un gasoducto capaz de manejar el 100% del tráfico, aunque la producción inicial no supere el 15% del total de gas necesario. Esto se tomó como hipótesis por los autores del trabajo y no está verificada, simplemente pareció razonable sobre el supuesto de que los costos asociados a las excavaciones e interferencias con otros servicios son superiores al costo de ampliar el diámetro del caño.

Existen una serie de aspectos técnicos a considerar, como la degradación de algunos materiales en presencia del hidrógeno y su alta capacidad de fuga, pero se estima que la tecnología permitirá

solucionar estos aspectos, existiendo varias técnicas que podrían utilizarse. De todas maneras, ambos sistemas de transporte posiblemente deban ser utilizados: el gasoducto de alta presión para intercambiar grandes volúmenes de producción desde las granjas de hidrógeno hasta centros de almacenamiento y distribución, y luego una flota que lleve cantidades más pequeñas desde estos centros hacia las Estaciones de Carga. Por lo tanto, se subdivide nuevamente esta meta en tres metas derivadas.

Meta 1.3.a. Construir red de gasoductos para transporte de 9.500.000 Nm³ diarios, que opere a una presión de 200 Bar, y que permita interconectar las 16 granjas de producción de hidrógeno a 10 centros de distribución ubicados geográficamente según parque automotor.

Este gasoducto permitiría dar robustez al sistema, y a la vez asegurar el suministro continuo a través de grandes distancias sin cientos de vehículos circulando, reduciendo los costos de transporte en energía y horas hombre, sin interferir con el tráfico de cargas y personas en rutas nacionales.

Meta 1.3.b Construir 10 centros de almacenamiento y distribución de hidrógeno criogénico para despacho a Estaciones de Carga.

Estos centros serían muy similares a las plantas de combustible⁷ que posee actualmente ANCAP, serían lugares donde el gas llegaría en estado gaseoso a alta presión, se condensaría y almacenaría en estado líquido, para luego ser cargado en camiones y llevado por éstos a las Estaciones de carga, donde el hidrógeno volvería a evaporarse y cargarse en los vehículos. Se sugiere una capacidad para los tanques de almacenamiento del hidrógeno en estado líquido del orden de 1.500 m³. Esto

⁷ De hecho, estas plantas son predios de los que dispone ANCAP y podrían ser un activo valioso cuando las condiciones técnicas (como su ubicación y la posibilidad de que el gasoducto de hidrógeno llegue hasta el sitio) lo permitan.

permitiría abastecer el equivalente a 1.178.000 Nm³ de hidrógeno o, lo que es lo mismo, 400.000 litros de nafta o 340.000 litros de gasoil. Esto da una idea de la cantidad de clientes que podrían atenderse comparando con la actualidad. Este hidrógeno podría ser despachado en camiones con tanques de 10m³ de capacidad en unos 150 viajes semanales, un promedio de 30 viajes diarios si se consideran sólo los días hábiles, de lunes a viernes, lo que parece razonable.

Meta 1.3.c Adquirir flota de 100 camiones para transporte de hidrógeno líquido a Estaciones de Carga.

Para distribuir desde los centros de distribución de hidrógeno líquido, debería incorporarse una flota de cerca de 10 camiones dedicados a cada sitio, para poder realizar cada uno 3 viajes diarios y poder de esa manera alcanzar el promedio de 30 viajes diarios estimados.

3.1.4 Objetivo 2: Optimizar la cartera de activos existente en hidrocarburos

ANCAP posee cerca de 26.500 millones de pesos uruguayos en activos no corrientes, en particular en la cuenta *Propiedad, planta y equipos*, lo cual surge de los estados contables cerrados a diciembre de 2019 (ANCAP, 2019). Al tipo de cambio promedio de junio de 2020 esto representa unos 455 millones de dólares. Surge entonces la pregunta qué hacer con estos activos, ya que parece bastante poco probable que puedan reutilizarse en el nuevo negocio: ni la refinería, tanques, oleoductos, gasoductos, camiones cisterna, etc.

Se sugieren entonces las siguientes metas.

3.1.4.1 Meta 2.1 Desafectar 20% de activos destinados al refinado, almacenamiento, y distribución de gasoil para abastecimiento del mercado interno

Si se reduce la venta de combustibles derivados de petróleo para uso interno en un entorno del 22%, parece razonable comenzar la reducción de las operaciones asociadas al gasoil en proporción similar, con los consecuentes ahorros en gastos de mantenimiento y renovaciones, así como en remuneraciones. Estas modificaciones serían fundamentalmente en el área del gasoil, ya que la proporción de éste sobre el total de combustibles es del 95% y la nafta apenas alcanza el 5%. Los activos afectados serían mayormente tanques de almacenamiento de crudo o de refinados, flotas de camiones cisterna, consumibles e insumos para el refinado, y otros destinados al tratamiento de residuos de hidrocarburos.

Una posible secuencia de tareas sería la siguiente:

- Propender a reducir paulatinamente las inversiones en activos relacionados al refinado, almacenamiento y distribución de hidrocarburos, seleccionando los activos que vayan a ser eliminados.
- Definir un plan de abandono programado de estas instalaciones, eliminando paulatinamente los gastos de mantenimiento y redirigiendo estos ahorros.
- Proceder al desmontaje y disposición de residuos de las instalaciones que se vayan retirando de servicio.
- Analizar liberalizar la venta de combustibles para posible venta de activos a terceros.

- Analizar el estado del arte e inversiones necesarias para la fabricación de hidrocarburos mediante combustibles “sintéticos” elaborados a base de hidrógeno, dióxido de carbono y electricidad, que no requieren petróleo (Motor Pasion, 2018).
- Analizar viabilidad de financiar obras mediante modalidad PPP.

3.1.4.2 Meta 2.2. Reciclar 50% de estaciones de servicio actuales para venta de hidrógeno, colocando generación on site en los lugares donde sea posible

Es altamente probable que un porcentaje de los predios ocupados actualmente por las estaciones de servicio que expenden nafta y gasoil, puedan ser reacondicionados para instalar estaciones de carga de hidrógeno en alguna de sus variantes. En el caso más sencillo, recibiendo hidrógeno en estado líquido y/o gaseoso transportado por camión. En los predios donde exista potencia disponible, espacio, tenga una ubicación privilegiada, y se verifiquen otras consideraciones técnicas adecuadas, se podrá instalar generación en sitio, la cual es mucho más sencilla en términos de que no será necesaria la concurrencia de camiones de carga. Existen cerca de 500 estaciones de servicio en el país (TELEDOCE, 2019), de las cuales ANCAP posee 283 en base a lo informado en la memoria anual de DUCSA 2019 (DUCSA, 2019). Por lo que lograr una ampliación o reconversión de un 50% de estas estaciones parece una meta desafiante pero alcanzable en un plan de 15 años.

3.1.4.3 Meta 2.3. Reutilizar plantas de combustible y Refinería para instalación de centros de distribución

ANCAP posee varias plantas de almacenamiento y expedición de combustible en buena parte del territorio nacional. Estas plantas están compuestas mayormente por grandes tanques de almacenamiento de productos, bombas, cañerías, y surtidores para el llenado de camiones cisterna. Estas instalaciones presentan una serie de ventajas para su uso como centro de acopio y distribución de hidrógeno: grandes superficies, vías de circulación diseñadas para camiones cisterna con amplios radios de giro, presencia de infraestructura eléctrica y redes de datos de tipo industrial con conexiones de alta velocidad, y una distribución geográfica acorde a la demanda actual de combustibles. Estos puntos, como se mencionó previamente, recibirían hidrógeno gaseoso de alta presión proveniente de las granjas de producción por un gasoducto, lo licuarían a muy bajas temperaturas, y lo distribuirían en estado líquido en camiones especialmente acondicionados para ello.

3.1.4.4 Meta 2.4. Reutilizar edificios administrativos y activos pertenecientes a tecnologías de la información optimizando su uso.

Existe una variedad de recursos destinados a la gestión de la empresa: edificios, redes de fibra óptica, servidores, licencias de software, equipamiento de oficinas, vehículos eléctricos, etc.

Muchas de las funciones que hoy realiza la empresa que no pertenecen al área de “Operaciones” o proceso principal directamente, sino que son tareas que forman parte de los procesos de soporte, se seguirán realizando y los activos en uso continuarán prestando el servicio. Todo el sistema de

redes de datos, facturación electrónica, recursos humanos, etc.; serán necesarios en la ANCAP *verde* y por lo tanto, mucha de su infraestructura actual de soporte o servicios *corporativos* permanecerá.

3.1.5 Objetivo 3: Gestionar los recursos humanos necesarios

Una reestructura en la matriz productiva de la mayor empresa industrial del país es un desafío gran importancia, más si se tiene en cuenta la cantidad de personas a las que abarcará. Según la última memoria anual de (ANCAP, 2019) la misma posee entre becarios, pasantes, funcionarios y suplentes 2.350 personas. Si bien esta reestructura estará dirigida a los sectores operativos de la empresa y se llevará a cabo en un proceso de varios años, la tarea de adecuar, generar y producir el conocimiento necesario en tecnologías del hidrógeno precisará de un elaborado plan con objetivos de corto y largo plazo, con sus correspondientes evaluaciones y correcciones.

Como se aclaró en el inicio del trabajo no se va a establecer un cronograma detallado, ya que el mismo insumiría por su importancia una extensión no acorde al trabajo presentado, por lo que vamos a describir una serie de lineamientos y propuestas de cómo se debería encarar este proceso vinculado a los recursos humanos del ente en cuestión.

Se propone crear un grupo interdisciplinario en el que se incorporen los diversos actores que lideren, creen cronogramas y lleven adelante el proyecto de Recursos Humanos. Será importante destacar la diversidad y los distintos intereses de las partes involucradas. El grupo deberá estar formado por personal técnico especializado de ANCAP y del ámbito privado nacional, consultores expertos de la esfera internacional e integrantes del sindicato de ANCAP como representantes de los trabajadores del sector. Como es de público conocimiento y se mencionó antes en este mismo trabajo, las empresas públicas presentan una gran rigidez en cuanto al personal, su contratación y

su movimiento/traslado dentro del ente, por ello es de vital importancia la presencia de representantes de la rama sindical en tal proyecto. Además de las partes mencionadas será imprescindible el apoyo y asesoramiento de la Oficina Nacional del Servicio Civil, organismo creado como lo indica su cometido para asesorar a distintos organismos públicos en el diagnóstico, aplicación y evaluación de la política de administración de personal.

Una vez reunido el grupo experto las tareas que debería cumplir tienen que ver con la evaluación de los RRHH operativos actuales con los que cuenta la institución. Cabe aclarar que no se va a tener en cuenta en una primera instancia la evaluación de los RRHH administrativos y de soporte, ya que el fuerte de la transformación pasa por la parte operativa de la empresa.

De esos RRHH con los que se cuenta actualmente, se determinará qué proporción de ellos dirigirlos a la capacitación orientada en las nuevas tecnologías, más puntualmente en las relacionadas al hidrogeno, y cuáles deberán continuar actualizando sus conocimientos en generación y producción de hidrocarburos de manera que se asegure el personal necesario para asegurar el abastecimiento de la demanda.

Así como en el año 2014 la empresa generó los “Programas de Capacitación de profesionales en Exploración y Producción” destinados a la formación de personal capacitado en el área debido a la falta de cobertura de las áreas de conocimiento por parte de la educación formal, se propone crear un nuevo programa basado en la formación y capacitación en referencia a tecnologías del hidrógeno. El mismo se orientará tanto al personal actual de la empresa, como a los nuevos ingresos.

3.1.5.1 Meta 3.1. Paulatina incorporación de personal técnico especializado en la producción de hidrógeno

Es necesaria la capacitación del personal de ANCAP y de toda la red de distribución, sobre la tecnología del hidrógeno, en especial los temas relativos a la seguridad. Se sugieren los siguientes pasos:

- Incorporación de personal experto, grupo reducido, que lidere y controle la gestión del conocimiento.
- Plan de formación, con contenidos temáticos específicos para los diferentes cargos y tareas que deberá desarrollar el personal de ANCAP, distribuidores, camioneros, personal de pista en estaciones, etc.
- Expedición de registros de capacitación y certificación al personal formado.
- Elaborar y diseñar en base a las futuras necesidades y en conjunto con autoridades de la enseñanza, el desarrollo de carreras técnicas y universitarias, que se retomará en el apartado 3.1.7.5 .

3.1.5.2 Meta 3.2. Reestructurar la Organización – unidades, cargos y perfiles

Esta etapa del proceso va de la mano de la meta anterior en cuanto que además de poder generar el conocimiento sobre el hidrógeno, será necesario crear nuevas unidades o departamentos, suprimir algunos y fusionar otros, en todos los casos dotarlos de funcionarios ávidos en el tema, adjudicar tareas y responsabilidades y procedimientos de trabajo requeridos. Como todo proceso de reestructura organizacional conlleva un proceso complejo que debe atender las necesidades del nuevo desarrollo productivo.

Como puntapié inicial se puede considerar la creación de una unidad dependiente de la gerencia Producción de Energéticos, encargada de todo lo relacionado a la generación de hidrógeno, desde la cual se comience a delinear los planes de desarrollo en conjunto y con el apoyo de otras unidades como lo son las dependientes de la Gerencia Desarrollo y Gestión (Planificación y Desarrollo / Exploración y Producción) Gerencia de RRHH, Gerencia de Gestión de Suministro y otras unidades de apoyo. Con el transcurso y evolución de este proceso determinadas unidades referidas a los hidrocarburos irán reduciendo su tamaño paulatinamente a medida que se produzca la transición. Éstas no serán suprimidas ya que se debe mantener dentro de la matriz productiva la presencia de hidrocarburos, de modo de atender la demanda residual del consumo productivo y del comercio internacional. Más adelante abordaremos este tema sobre la demanda residual de hidrocarburos.

3.1.6 Objetivo 4: Abastecimiento de la demanda

Cuando se habla de abastecer la demanda interna, se hace en el sentido de mantener el abastecimiento de combustibles derivados de hidrocarburos tanto para el mercado interno, como para el sector de transporte internacional. Tal como se indica en el objetivo 1, se aspira a llegar a un 22% de la demanda de combustibles fósiles a ser cubierta por esta nueva tecnología en un periodo inicial, por ende, el abastecimiento de hidrocarburos si bien se espera que disminuya, es algo que va a perdurar durante todo el proceso de cambio.

3.1.6.1 Meta 4.1. Asegurar la demanda interna de hidrocarburos – Alternativas

A corto o mediano plazo se espera llegar a cubrir el 22 % de la demanda de combustibles a nivel país, por lo cual consideramos que la producción de hidrocarburos para cubrir el otro 78 % de la demanda debe seguir en manos de ANCAP. Dentro de ese 78 % la mayoría del consumo mantendrá la proporción mayoritaria destinada a la producción, donde asegurarla es parte esencial para cualquier país.

Mucho se ha escuchado en estos tiempos sobre la liberación a la importación de productos refinados del petróleo, lo cual más allá de consideraciones políticas creemos sería quitar parte o casi la totalidad de una fuente de financiamiento para este nuevo proyecto, ya que parte de las ganancias por ventas de hidrocarburos debería volcarse en inversiones para la generación de hidrogeno.

A largo plazo, en un futuro que puede ser más próximo que cercano, ya que el mismo siempre en movimiento está (Yoda, 1980), cuando la demanda de hidrocarburos se convierta en casi residual o se aproxime a ello, sí se podrá hablar de una liberación a la importación de hidrocarburos refinados, dejando el camino abierto a intereses privados o una mezcla con el sector público, pero de todas maneras siempre atentos a que se cubra la demanda de hidrocarburos tanto para el mercado interno residual, como para el rubro transporte internacional, tema que se aborda en el punto siguiente.

3.1.6.2 Meta 4.2. Asegurar la demanda externa de hidrocarburos – Conexión con el resto del mundo

Uruguay a lo largo de los últimos 30 años se ha convertido en un *hub logístico*, tanto por su ubicación geográfica, que es la puerta de entrada a través del Río de la Plata a toda la red

hidrográfica del cono sur, como por su cercanía a dos países de gran porte como lo son Argentina y Brasil. El puerto de Montevideo y sus condiciones naturales, su marco regulatorio expresado en leyes como la de Zonas Francas o la de Promociones de Inversión, llevaron a que Uruguay pese a su reducido tamaño sea epicentro de partida o de salida de bienes y servicios hacia el resto del mundo. Esta situación hace que sea de relevancia poder asistir a la demanda de hidrocarburos que presente todo el sistema de transporte internacional, ya sea marítimo, aéreo o terrestre. Cabe la posibilidad de que otros países, y por tanto sus sistemas de transporte no acompañen la transición a energías verdes, o lo hagan a destiempo. Por tal razón resulta vital asegurar el suministro para estos sistemas.

Al igual que en el punto anterior esa demanda en un principio seguiría en manos de ANCAP, con la posibilidad de que a futuro estar abiertos a la libre importación de productos refinados de petróleo. De esta manera aseguramos la conexión de Uruguay a este mundo completamente globalizado, donde no se puede dejar de tener en cuenta las posibilidades de que otros países no acompañen el cambio a energías verdes o simplemente haya un desfasaje en su implementación, por ello se entiende indispensable impulsar una política a nivel regional (Mercosur y demás países de Sudamérica) que incluya:

- Lograr la adhesión de todos los países del bloque a una transición a energías renovables.
- Acompasar los tiempos de su desarrollo y aplicación de manera de evitar cortes en cadenas de suministro, transporte, turismo y comercio.
- Normalización técnica para vehículos eléctricos a base de celdas de combustible, estaciones de carga, y de la tecnología del hidrógeno en general.
- Plan de construcción de estaciones de carga en países del bloque.

3.1.7 Objetivo 5: Generación de una Economía del Hidrógeno

El término Economía del Hidrógeno comenzó a utilizarse hace alrededor de veinte años para denominar la construcción de una nueva economía en la que se erigieran sociedades democratizadoras del acceso a la energía, y en las que se tuviera como objeto principal el bienestar de las personas y la integración social (Rifkin, 2002).

El término actual se utiliza para referenciar a aquellas sociedades que utilizan el hidrógeno como un vector energético que permita la creación de ciudades e industrias sostenibles. El hidrógeno se presenta como un complemento al fomento de las energías renovables y a la movilidad eléctrica (Maio, González, López, 2019).

A continuación, se introducirán los antecedentes de la transformación energética que se ha producido a lo largo del último quindenio en Uruguay, y que habilita a pensar hoy en la creación de una economía nacional del hidrógeno.

3.1.7.1 Política Energética 2005 – 2030 como antecedente y marco general para la acción

Para poder hablar de la generación de una Economía del Hidrógeno se debe remontar años atrás cuando comenzaron a construirse los lineamientos estratégicos nacionales en materia energética explicitados en la Política Energética 2005 – 2030 (MIEM, s.f.).

La Política Energética 2005 – 2030 puede ser considerada la madre de todas las políticas públicas enfocadas en la producción, distribución y consumo de energías renovables, por esta razón se cree que representa un antecedente fundamental para el desarrollo de la Economía del Hidrógeno.

En ella se abordó la problemática energética desde una perspectiva compleja y multidimensional que abarca tanto aspectos globales, tecnológicos, económicos, éticos, medioambientales como sociales. En este sentido, la planificación estratégica requirió de un trabajo integral que puso atención en cada uno de estos aspectos.

A nivel global se destaca la incidencia de la energía en el PIB de las economías nacionales, ya que las inversiones necesarias en infraestructura llegan a acaparar en algunos casos el 5% de éste. En lo que respecta a Uruguay, durante el periodo de transformación de la matriz eléctrica se realizaron inversiones que llegaron a alcanzar el 3% del PIB (Uruguay XXI, 2019). Esto colocó al país en el quinto lugar a nivel mundial en lo que respecta a inversiones de este tipo.

Si bien se ha dado una discusión profunda sobre la transformación energética del país y se han llevado adelante numerosas inversiones dirigidas hacia el desarrollo de energías renovables, el desafío que se presenta hoy está en transformar la matriz energética de forma integral, para lo cual se requiere dar un paso más eliminando las energías fósiles de la movilidad vehicular.

En este sentido, se planteará la incorporación de una estrategia enfocada en la descarbonización energética que incluya en la Agenda Pública de forma explícita el desarrollo de la energía del hidrógeno y de esta forma generar la economía nacional del hidrógeno.

Actualmente se están desarrollando planes estratégicos y de acción a nivel global lo cual hace pensar que el futuro se dirige hacia la construcción de economías que promuevan y utilicen esta modalidad energética. Ejemplo de ello es Alemania, quien se ha puesto como objetivo ser líder mundial en tecnologías del hidrógeno, lanzando su Estrategia Nacional de Hidrógeno (BMWi, 2020). Este país ha emprendido el camino hacia la producción del hidrógeno a partir de energías renovables y ha lanzado recientemente su plan estratégico nacional en el que se tienen en cuenta tanto los aspectos de la sostenibilidad medioambiental, como la creación de un mercado internacional funcional a su economía.

Una ventaja comparativa de Uruguay respecto a Alemania está en que este último no cuenta con la infraestructura eléctrica necesaria para la producción de hidrógeno limpio, por lo tanto, ello lo hace un país dependiente de la importación de energía renovable para lograr poner en marcha su plan estratégico.

Uruguay con su política energética ha desarrollado a tal punto la producción de energía eléctrica de fuentes renovables, que se generan los excedentes necesarios para comenzar con la primera etapa en la producción de hidrógeno. En este sentido, su independencia energética en cuanto a energías renovables será completa.

Como parte del plan estratégico para impulsar de la economía del hidrógeno se entiende necesaria la incorporación y complementación del Estado en su conjunto, con los diversos actores presentes en la economía nacional e internacional.

3.1.7.2 Meta 5.1 Declaración de promoción del Hidrógeno como Política Nacional

Continuando con la línea de pensamiento expresada anteriormente se cree de vital importancia la declaración de interés nacional del desarrollo de la tecnología, la producción y consumo del hidrógeno como combustible y fuente energética renovable. Existe un ejemplo cercano de implementación del uso de esta herramienta, como lo es la Ley de Promoción de Hidrógeno Argentina (Ministerio de Justicia y DDHH Argentina, 2006).

A partir de aquí deben establecerse los objetivos que posteriormente darán paso a los lineamientos estratégicos específicos para el desarrollo de esta tecnología:

- Promover la investigación y desarrollo de tecnologías del hidrógeno.

- Declarar ANCAP como la principal empresa estatal encargada del desarrollo de las tecnologías del hidrógeno en complementación con UTE, como principal fuente de energía para la producción del combustible hidrógeno.
- Incentivar la participación de privados en la generación de la infraestructura necesaria para llegar al consumidor final, promoviendo entre otros, la instalación de estaciones de carga de hidrógeno en todo el territorio nacional.
- Impulsar la investigación, desarrollo y producción privada nacional de celdas de combustible de hidrógeno.
- Promover la cooperación conjunta entre el Estado y privados para el desarrollo de una economía del hidrógeno integral.
- Estimular la formación de los RRHH necesarios para el desarrollo del hidrógeno fomentando la formación específica y continua de técnicos que forman parte de la plantilla de empresas, organismos e instituciones estatales.
- Promover el desarrollo de planes y programas educativos técnicos medios y universitarios que permitan la formación de RRHH en tecnologías del hidrógeno.
- Promover la cooperación regional e internacional y en particular con aquellos países que han manifestado de forma explícita el interés en el desarrollo del hidrógeno.
- Por otro lado, resulta necesario también establecer quiénes son los actores hacia los que se orienta la declaración de promoción del hidrógeno:
- Los diversos actores públicos del ámbito nacional ya sean Empresas Públicas, Ministerios, Intendencias, Organismos Descentralizados, etc., que fomentarán el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno.
- Actores privados que contribuyan al desarrollo productivo nacional basado en tecnologías del hidrógeno.

- Los actores vinculados a la fiscalización, como la URSEA quienes se encargarán del control del cumplimiento de las regulaciones establecidas para la producción, consumo y distribución de las tecnologías del hidrógeno.

Por último y no menor, se deben incorporar los mecanismos de financiamiento para el desarrollo de esta economía a través de:

- La creación de un fondo nacional de promoción del hidrógeno en el que se establecerá la partida presupuestal necesaria para la aplicación de subsidios e incentivos.
- La implementación de un régimen fiscal promocional.

Una vez creado el marco legal propicio, se cree relevante la atención en el desarrollo de Políticas Públicas más específicas que orienten en mayor medida el desarrollo de la economía nacional del hidrógeno y las cuales se comenzarán a delinear en el próximo apartado.

3.1.7.3 Meta 5.2 Políticas de Incentivo a las Inversiones

En lo que respecta a las políticas de incentivo, Uruguay cuenta actualmente con la Ley N° 16.906 (Registro Nacional de Leyes y Decretos, 1998) en la que se establece el marco normativo para la promoción y protección de inversiones realizadas en el territorio nacional. Se habilita de esta forma el otorgamiento de beneficios fiscales para dichas inversiones.

Los ámbitos de acción en los que se aplicarán los beneficios fiscales tienen tanto que ver con el desarrollo de la infraestructura necesaria para que el consumo efectivo de hidrógeno sea posible, como en aquellas áreas o subsectores de la economía que impulsen de forma indirecta el desarrollo de esta economía.

- Incentivo de inversiones en educación, tanto para la investigación y desarrollo de tecnologías, la infraestructura y todo lo necesario para la implantación de planes y programas educativos referidos al hidrógeno.
- Incentivo de inversiones al turismo sustentable en el que se incorpore el hidrógeno en la movilidad del turismo interno.
- Incentivo a las inversiones en maquinaria pesada para la construcción que utilicen hidrógeno como combustible.
- Incentivo a las inversiones en maquinaria agrícola que utilicen hidrógeno como combustible.

3.1.7.4 Meta 5.3 Políticas de Mercado

En lo que refiere a este tipo de políticas, se promoverá el desarrollo de mercados regionales e internacionales en torno al hidrógeno en el que se establezcan acuerdos de complementación entre naciones o regiones.

Se buscará la aplicación de preferencias arancelarias en el marco de acuerdos comerciales, en los que se establecen los criterios y condiciones que consideran apropiados para determinar qué bienes son los beneficiarios de preferencias arancelarias. Poniendo especial atención en aquellos vinculados al desarrollo de la economía del hidrógeno en Uruguay.

En lo que tiene que respecta al mercado regional, se pondrán en vigencia las exoneraciones arancelarias en aquellos bienes y servicios que cuenten con certificado de origen Mercosur. En lo que respecta al mercado internacional, se podrán proyectar gestionar certificados de devolución de impuestos, como lo son los certificados Form A, que rigen para la exportación de mercancías

provenientes de países en vías de desarrollo mediante el Sistema de Preferencias Generalizadas (SPG) (MEF, s.f.).

En este sentido se puede incluir la exoneración de importaciones que tengan por objeto la comercialización de:

- Tecnologías no disponibles en el territorio nacional.
- Vehículos livianos, como ser ciclomotores, motocicletas, motocarros, cuatriciclos y vehículos de cuatro ruedas. Dentro de estos últimos se incluyen tanto los destinados al uso privado, transporte público, como de alquiler.
- Minibuses, relacionados con el turismo diseñados para el transporte de personas con capacidad de hasta 9 personas, incluido el conductor.
- Minibuses, relacionados con el transporte escolar diseñados para el transporte de personas con capacidad de hasta 9 personas, incluido el conductor.
- Ómnibus turísticos diseñados para el transporte de más de 9 personas incluido el conductor.
- Vehículos de alquiler, transporte público, transporte de carga y maquinaria tanto para uso productivo urbano como rural.

3.1.7.5 Meta 5.4 Políticas Educativas

La educación es uno de los factores clave en el desarrollo de individuos y sociedades. Es un derecho que otorga oportunidades de empleo, obtención de salarios y mejoras en la productividad. Todo esto en combinación con el uso de las nuevas tecnologías disponibles.

Conocido es que todas aquellas sociedades que han logrado mejores niveles de desarrollo relativo y mejor competitividad global, son aquellas que han apostado al conocimiento e información dentro de sus sistemas educativos. En este sentido, puede decirse que la educación se constituye como un factor funcional al desarrollo sostenible y se encuentra de forma explícita como el cuarto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: *Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos* (ONU, s.f.).

Existe un consenso internacional sobre los tres pilares fundamentales que orientan los objetivos de los sistemas educativos: cobertura, calidad y equidad (Bogliaccini, 2018). Estas mega metas están estrechamente ligadas entre sí, y el éxito de una se encuentra condicionado al éxito de las otras. En Uruguay existen actualmente serios problemas de cobertura que están dados por la alta deserción en educación media y superior, siendo el elemento fundamental el factor segregación socioeconómica.

Se encuentra que existe un desafío importante en el logro de esta meta y que en parte puede ser atendido por la exención de becas específicas en programas de formación de profesionales técnicos y científico-tecnológicos que sean funcionales también a los objetivos en la generación de la economía del hidrógeno.

Por otra parte, el tercer punto de los ODS referido a educación plantea la necesidad de generar procesos de actualización y reconversión de la fuerza laboral, cuestión que si bien se encuentra por fuera de la cobertura de la educación formal, es fundamental para adecuar la fuerza laboral a

los nuevos procesos productivos tecnológicos. Es en este sentido que en el capítulo de gestión de los recursos humanos de ANCAP, se planteó la necesidad de generar programas de formación y capacitación referidos a las tecnologías del hidrógeno.

No cabe la menor duda que lo mencionado anteriormente representa lineamientos básicos sobre la estrategia educativa a llevar adelante en educación formal y no formal en tecnologías del hidrógeno. Es por ello que el principal aporte en el sentido estratégico será el de plantear al menos dos etapas a corto plazo:

- La revisión del estado del arte, es decir, la revisión de lo que existe actualmente en los programas educativos sobre formación en tecnologías del hidrógeno.
- La conformación de grupos de expertos para la discusión, desarrollo de planes y programas específicos dirigidos a la formación en tecnologías del hidrógeno.

Luego de superadas estas etapas se continuará con más detalle el plan estratégico en el cual se trabajará sobre la puesta en marcha de dichos planes y programas. También se abordará la temática de los recursos necesarios en infraestructura e incentivos ineludibles que deberán existir para la permanencia y finalización de la educación media y superior.

4 CONSIDERACIONES FINALES

Si bien el análisis muestra una clara estrategia hacia la transición al hidrógeno y el abandono de los combustibles fósiles, debe quedar claro para el lector que dicho análisis no constituye un análisis de viabilidad sólido, o una recomendación firme, sino que simplemente busca ilustrar una posible implementación de una estrategia como un ensayo didáctico de lo visto en el curso.

En este intento de implementación de estrategia se ha tratado de mantener el enfoque de largo plazo, dotando al trabajo de un mínimo fundamento técnico para no caer en absurdos tan evidentes que volvieran inaceptable la lectura del trabajo. Se evitó incurrir en el exceso de detalles, y se trató de mantener una cierta coherencia con la estrategia definida y el análisis de contexto, a la vez que se intentó plantear los objetivos y las metas en una cierta secuencia lógica que permitiera alcanzar el futuro deseado.

Sin perjuicio de lo anterior, y con la “impunidad” que brinda un plan estratégico, en el entendido de que no se requiere aquí un análisis pormenorizado y detallado de todos los aspectos a resolver, es interesante observar la dimensión que tiene un tema como el planteado. Sólo un abordaje muy superficial ya permite vislumbrar los enormes desafíos en materia de inversiones, obras de infraestructura, cambios políticos y educativos, etc. Todos estos, aspectos que trascienden ampliamente a la empresa, que ya es de un porte importante, y que impactan a nivel país.

4.1 EL MODELO DE PRODUCCIÓN RENOVABLE – UNA ESTRATEGIA NACIONAL

Dadas las dificultades y costos que evidentemente traen aparejados la construcción de grandes plantas de producción de hidrógeno y gasoductos de altas presiones, resulta tentador pensar en una

verdadera estrategia de Estado, que adopte el camino de la producción de hidrógeno *on site*, es decir en los puntos de venta. Es cierto que si se quisiera suministrar con este método el total de nafta y gasoil que se consume en nuestro mercado interno, las demandas de potencia y energía eléctrica seguirán siendo enormes (del orden del doble de la producida y consumida actualmente) pero aun así ***el proyecto sería viable***. Parece más sencillo tender nuevas líneas de Trasmisión, reforzar y potenciar estaciones y el resto del sistema eléctrico, que surcar el país construyendo gasoductos a altas presiones, o inundar las calles de camiones transportando gas en estado líquido a temperaturas cercanas al cero absoluto.

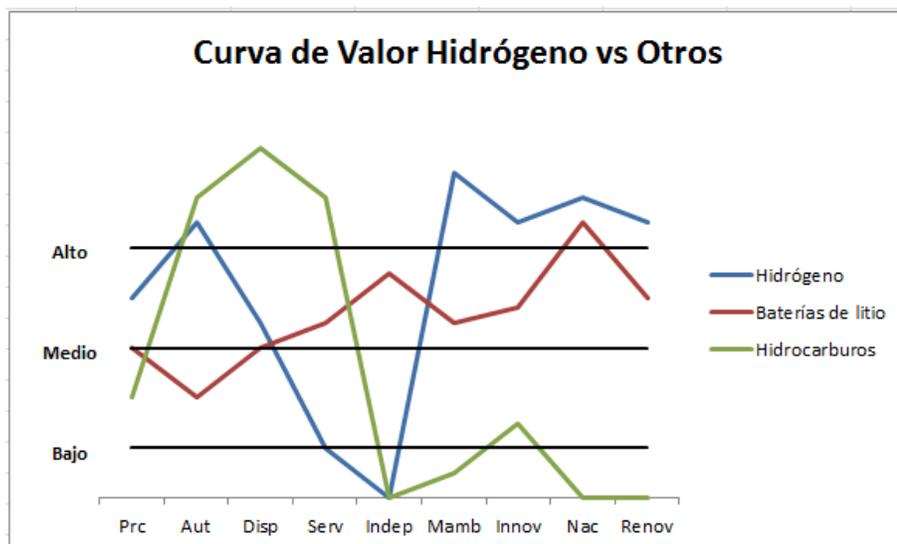
Si se analiza este tema desde un ámbito mayor, como puede ser el MIEM, o incluso el propio gobierno nacional, el problema se complejiza por la aparición de múltiples actores “extra”, pero se simplifica enormemente el problema técnico y se potencia de manera muy fuerte toda la infraestructura del Estado. El Uruguay tiene mucha experiencia en energía eléctrica, y tiene un sistema interconectado que le permitiría “electrificarse” mucho más y gestionar un incremento de la demanda de energía eléctrica en un horizonte de 15 a 20 años.

Así las cosas, sin irse 20 años al futuro, se tiene un exceso de oferta de energía 100% renovable al día de hoy, con lo que existe una capacidad latente *en este mismo momento* para la producción de importantes volúmenes de hidrógeno para uso en el transporte, un 7% de la demanda actual ni más ni menos. Con la reconversión de parte de sus puntos de venta y la instalación de nuevas instalaciones relativamente sencillas, nuestro país *hoy* es capaz de producir el equivalente a casi 70 millones de litros de combustible al año, eliminando todas esas emisiones de la atmósfera, mediante la instalación de Estaciones de Carga de Hidrógeno de tipo *on site*, con producción en sitio. Dado que el alcance de este plan está restringido al ámbito de ANCAP, se procedió intentando mantenerse dentro de la esfera de lo que ANCAP podría, aun con cambios en la ley orgánica y muchos supuestos más, llegar a manejar dentro de sus competencias.

4.2 LA ESTRATEGIA RECONSTRUCCIONISTA

Como última reflexión en lo que hace al estudio *académico* o formal de la estrategia, es de hacer notar que si bien ANCAP partió desde un análisis Prospectivo, el Escenario Transición a Verde tiene mucho de “*Reconstruccionista*”: los automóviles ya existen, y hoy deben concurrir a estaciones de servicio a cargar combustible, para luego continuar su viaje. En las alternativas vistas en las secciones anteriores, esto sigue siendo exactamente así, con la diferencia de que se “elimina” la contaminación, el uso de recursos no renovables, etc.; y se agrega el *valor* del motor eléctrico, el hidrógeno, el silencio al conducir, etc. Es por esto mismo que se incluye una posible *Curva de Valor* (Kim, Mauborgne, 2005) como cierre de la presente sección.

Ilustración 4 - Curva de valor Hidrógeno



VARIABLES EMPLEADAS. **Prc**: Precio; **Aut**: Autonomía (kms antes de recarga); **Disp**: Disponibilidad para conseguir recarga; **Serv**: Facilidad para conseguir servicio reparación automotriz; **Indep**: Independencia del consumidor del proveedor de energético; **Mamb**: Valor de Cuidado del Medio Ambiente; **Innov**:

Ofrece sentimiento de estar a la vanguardia tecnológica; **Nac**: Origen Nacional de energía; **Renov**: Fuente de energía renovable e inagotable.

Como puede verse en este ejemplo, pareciera que existe una curva de valor “nueva” o un segmento inexplorado donde ANCAP podría construir su “océano azul” (Kim, Mauborgne, 2005).

5 TRABAJOS CITADOS

BIBLIOGRAFÍA

- BMW, B. M. (2020). Obtenido de Die Nationale Wasserstoffstrategie (Estrategia Nacional de Hidrógeno): https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=12
- AeH2. (s.f.). *TECNOLOGÍAS DE HIDRÓGENO Y PILAS DE COMBUSTIBLE*. Recuperado el 09 de 06 de 2020, de http://www.aeh2.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=44&Itemid=41&lang=es
- ALEASOFT. (s.f.). *El papel del hidrogeno en la carrera espacial*. Obtenido de <https://aleasoft.com/es/papel-hidrogeno-carrera-espacial-transicion-energetica/>
- ANCAP. (2019). *Estados Financieros 2019*. Estado contable, ANCAP, Montevideo. Obtenido de <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/file/6235/1/presentacion-balance-ancap-dic2018.pdf>
- ANCAP. (2019). *Memoria Anual 2019*. Montevideo: Atlanticosur.
- ANCAP. (2019). *Proyecto Verne - Piloto de Vehículos Eléctricos a Hidrógeno*. Montevideo: ANCAP.
- ANCAP. (s.f.). *Mision, Vision, Valores*. Recuperado el 07 de Junio de 2020, de <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/94/1/innova.front/mision-vision-y-valores.html>
- Bogliaccini, J. (2018). *La educación en Uruguay. Mirada desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Montevideo, Uruguay: INEED y Unicef.
- Dr. Miguel A Tato, I. M. (2013). Prospectiva Energética ANCAP 2030. *Transformación Estado Democracia, Año 8(52)*, 34-41. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de https://www.onsc.gub.uy/onsc1/images/stories/Publicaciones/RevistaONSC/r52/52_3.pdf
- DUCSA. (Diciembre de 2019). *DUCSA en cifras*. (DUCSA) Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <http://memoria.ducsa.com.uy/2019/cifras.html>
- DUCSA. (s.f.). *Sobre DUCSA*. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <https://ducsa.com.uy/QuienesSomos/Seccion/SobreDUCSA.aspx>
- El mostrador. (s.f.). *Agenda sustentable - reciclaje de litio*. Obtenido de <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2019/08/08/cientificos-buscan-metodo-para-reciclar-baterias-de-litio-de-forma-rentable-y-protegiendo-el-medioambiente/>
- EL OBSERVADOR. (s.f.). *Escasea el combustible en 300 de las 480 estaciones de servicios*. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <https://www.elobservador.com.uy/nota/escasea-combustible-en-300-de-las-480-estaciones-de-servicio-del-pais-201842718100>

- FORO AMBIENTAL. (s.f.). *Foro ambiental*. Recuperado el 01 de Junio de 2020, de <https://www.foroambiental.net/litio-afecta-al-medio-ambiente-las-comunidades-originarias/>
- Godet, Durance, M. (2007). *PROSPECTIVE AND STRATEGY*. Obtenido de *Prospectiva Estratégica: Problemas y Métodos*: <http://www.prospektiker.es/prospectiva/cajaherramientas-2007.pdf>
- Henderson, B. (1963). Matriz B.C.G.
- Humphrey, A. (1960). FODA.
- Hydrogenics. (9 de Diciembre de 2019). *Hydrogenics*. Obtenido de <https://www.hydrogenics.com/>
- Hydrogenics. (s.f.). *Industrial Hydrogen Generators – Outdoor Installation*. Recuperado el 09 de 06 de 2020, de <https://www.hydrogenics.com/hydrogen-products-solutions/industrial-hydrogen-generators-by-electrolysis/outdoor-installation/>
- Ibáñez, P. (9 de Agosto de 2016). *XATACA*. Recuperado el 9 de Diciembre de 2019, de <https://www.xataka.com/automovil/el-coche-de-hidrogeno-vs-el-coche-electrico-la-competencia-por-ser-la-motorizacion-del-futuro>
- Jorge Xavier, I. A. (07 de 12 de 2019). Presentación de Curso de Política y Estrategia Empresaria. Montevideo, Uruguay.
- Kim, Mauborgne, C. (2005). Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make the Competition Irrelevant. *Harvard Business Review*.
- LENN TECH. (s.f.). Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/li.htm>
- Maio, González, López, P. (2019). *HINICIO*. Obtenido de Una revolución para impulsar los sectores de energía y transporte sostenible en América Latina: <https://www.hinicio.com/inc/uploads/2019/12/hidrogeno-revolucion-Latam-2020-esp.pdf>
- Maio, P. (2018). Primer Seminario de Hidrógeno en Uruguay. *Primer Seminario de Hidrógeno en Uruguay - Una apuesta al desarrollo sustentable*. Montevideo.
- MEF. (s.f.). *Asesoría Política Comercial*. Obtenido de Reglas de Origen: <http://apc.mef.gub.uy/8384/3/areas/reglas-de-origen.html>
- MIEM. (s.f.). *Ministerio de Industria, Energía y Minería - Dirección Nacional de Energía*. Obtenido de Política Energética 2005 - 2030: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/web/eficiencia/politica-energetica>
- Ministerio de Justicia y DDHH Argentina. (2006). Ley 26.123. Buenos Aires, Argentina.
- Motor Pasion. (27 de Marzo de 2018). *Gasolina sintetica Audi*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/tecnologia/que-audi-haya-producido-60-litros-de-e-gasolina-es-un-hito-pero-no-es-una-solucion-a-largo-plazo>
- Movilidad electrica.com. (s.f.). *Como se degradan las baterias electricas*. Obtenido de <https://movilidadelectrica.com/asi-es-como-de-verdad-se-degradan-las-baterias-de-los-coches-electricos/>

- MTOP. (s.f.). *Observatorio Nacional de Infraestructura, Transporte y Logística*. Recuperado el 07 de 06 de 2020, de <https://observatorio.mtop.gub.uy/automotor.php>
- NISSAN LEAF. (s.f.). *NISSAN LEAF USA*. Recuperado el 01 de Junio de 2020, de <https://es.nissanusa.com/vehiculos/electric-cars/2019-leaf/range-charging.html#:~:text=Puerto%20de%20carga%20r%C3%A1pida%20del%20Nissan%20LEAF&text=Puedes%20cargar%20tu%20Nissan%20LEAF,de%20CD%20de%2050%20kWh>.
- Oficina de Planeamiento y Presupuesto. (2019). *Informe Nacional Voluntario Uruguay 2019*.
- ONU. (s.f.). *ODS Uruguay*. Recuperado el 06 de Junio de 2020, de <http://www.ods.gub.uy/>
- Presidencia. (28 de Agosto de 2019). *Presidencia*. Obtenido de Ancap proyecta producir hidrógeno para transporte pesado y generar aplicaciones digitales: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/ancap-agenda-estrategica-hidrogeno-aplicaciones-transporte-jara>
- Registro Nacional de Leyes y Decretos. (20 de Enero de 1998). Ley 16.906. Montevideo, Uruguay.
- Rifkin, J. (2002). *La economía del hidrógeno: la creación de la red energética mundial y la redistribución del poder*. Barcelona, España: Paidós.
- Surtidores. (10 de Octubre de 2019). *Surtidores.Uy*. (Surtidores, Productor) Recuperado el 9 de Diciembre de 2019, de <https://surtidores.uy/proyecto-verne-ancap-espera-que-hidrogeno-alcance-a-3-600-omnibus-y-20-000-camiones/>
- TELEDOCE. (2019). *Petrobras y el negocio de las estaciones de servicio en Uruguay*. (Telemundo) Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <https://www.teledoce.com/telemundo/nacionales/petrobras-y-el-negocio-de-las-estaciones-de-servicio-en-uruguay/>
- Uruguay XXI. (18 de Diciembre de 2019). *Uruguay XXI, Promoción de Inversiones, Exportaciones e Imagen País*. Obtenido de Uruguay, líder en energías renovables: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/noticias/articulo/uruguay-lider-en-energias-renovables/>
- UTE - Movilidad eléctrica. (s.f.). *Autonomía vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://movilidadelectrica.com/prueba-autonomia-leaf-e/>
- UTE - Movilidad eléctrica. (s.f.). *Cargadores SAVE*. Obtenido de <https://movilidad.ute.com.uy/carga.html?tab=que-es-un-save>
- UTE - Movilidad eléctrica. (s.f.). *Movilidad Eléctrica*. Recuperado el 01 de Junio de 2020, de <https://movilidad.ute.com.uy/>
- UTE - Movilidad eléctrica. (s.f.). *Vehículos*. Obtenido de <https://movilidad.ute.com.uy/vehiculos.html>
- UTE. (s.f.). *Pliego tarifario*. Obtenido de <https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/docs/Pliego%20Tarifario%20Vigente.pdf>

Wikipedia. (18 de Junio de 2020). *Gasoducto*. Obtenido de Circulación del Gas:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Gasoducto#:~:text=El%20gasoducto%20m%C3%A1s%20lar%20del,de%20gas%20natural%20al%20a%C3%B1o>.

Yoda, M. (Dirección). (1980). *Star Wars Episode V: El Imperio Contrataca* [Película].

6 ANEXOS

6.1 EL VEHICULO ELECTRICO.

Como se adelantó en la introducción, y también se evidenció en el escenario de *transición a verde*, uno de los principales impulsores de los cambios hacia el abandono de los combustibles fósiles en el transporte es el vehículo eléctrico, el cual justamente utiliza energía eléctrica en lugar de los clásicos combustibles derivados del petróleo que produce ANCAP, como la nafta, el gasoil, etc. La amenaza es evidente: si los vehículos dejan de consumir combustibles derivados del petróleo esto reduciría sustancialmente la demanda del principal producto que comercializa ANCAP, lo que directamente pondría fin al negocio. Además, volvería inútiles cientos de millones de dólares de activos de la empresa, dedicados hoy a almacenar, refinar, distribuir, y comercializar combustibles derivados del petróleo: nafta, gasoil, etc. Se vuelve indispensable entonces realizar algunas definiciones sobre qué es un vehículo eléctrico, y cuáles son sus principales características, fundamentales para comprender las necesidades y transformaciones que deberá afrontar ANCAP y que se desarrollarán más adelante en este trabajo.

Se tomará entonces como definición de automóvil eléctrico aquel que es propulsado por motores eléctricos. Ampliando un poco más la definición: *todo vehículo cuya planta propulsora utiliza energía eléctrica para generar movimiento* (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.). Es decir, que aquello que efectivamente *mueve* al vehículo, lo hace utilizando energía eléctrica, sin importar de donde provenga. Así, un vehículo eléctrico podría ir sobre rieles electrificados absorbiendo la energía eléctrica directamente de los rieles y convirtiéndola en movimiento a medida que lo necesitara (como los trenes eléctricos), alimentarse de un cable que estuviera suspendido a lo largo de toda

una calle (como los tranvías o *trolley buses* que alguna vez circularon por Montevideo), o portar una batería que alimentara sus propios motores eléctricos. Estos últimos, son precisamente los vehículos que se han comenzado a masificar en todo el mundo y que desde hace poco más de dos años comienzan a venderse en nuestro país. Su funcionamiento es muy sencillo: se deja cargando la batería del vehículo por un cierto tiempo, y luego los motores eléctricos del vehículo mueven las ruedas consumiendo la energía almacenada en la batería. Estos son los coches que comúnmente se conocen como *a baterías de litio*. Esto simplemente es una manera breve de decir que se trata de vehículos eléctricos, que extraen la energía eléctrica que utilizan de una batería que porta el propio coche. Estas baterías utilizan un metal raro y relativamente escaso en la naturaleza como lo es el Litio.

6.1.1 VEHICULOS A BATERIAS DE LITIO.

Como se comentó en la sección anterior, un vehículo *a baterías de litio* es un auto eléctrico (se mueve utilizando motores que consumen energía eléctrica) que extrae la energía eléctrica de una batería de litio, que lleva el propio auto. A riesgo de simplificar, podría pensarse a la batería como “el tanque de combustible” que se va gastando a medida que “el motor” va moviendo el auto y consumiendo la energía almacenada en “el tanque”.

Es posible reducir los sistemas que se encuentran en el auto a tres componentes principales: i) el motor eléctrico y sistemas auxiliares, ii) la batería de litio que porta el auto, y iii) el cargador.

Luego, debe adicionarse el sistema de alimentación, que se encuentra en los puntos de carga, que es externo al vehículo. Siempre recurriendo a los paralelismos, el punto de carga sería una estación de servicio, y el sistema de alimentación el clásico surtidor de combustible..

Se adjunta esquema en la Ilustración 5.

Ilustración 5 - Vehículo eléctrico con baterías de litio



1: Motor eléctrico. 2: Batería de Litio de 1500Vcc. 3: Dispositivo que se conecta a la red eléctrica y carga las baterías del auto. 4: Conversor que transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna para su uso en el motor eléctrico del vehículo.

Motor eléctrico.

Simplemente se dirá aquí que el motor eléctrico tiene menos partes móviles o sometidas a estrés mecánico que un motor a combustión interna, no emite gases de ningún tipo, es silencioso, y con un muy buen par de arranque; lo que confiere al vehículo eléctrico actual una muy buena aceleración y control. Los autos eléctricos cuentan con un sistema de freno electromagnético y

sistemas de recuperación, que les permiten recuperar parte de la energía que usualmente se gasta el frenar, invirtiéndola en recargar la batería. El sistema de cambio de marchas en general es automático.

Batería de Litio.

La batería es el elemento que almacena toda la energía que utilizará el vehículo para moverse y realizar las demás funciones. Tiene una duración aproximada de 6 años (Movilidad electrica.com, s.f.), y luego debe retirarse de servicio y ser reemplazada⁸.

Cargador.

El cargador es un dispositivo que se conecta al sistema de alimentación de vehículos eléctricos (SAVE), recibe la energía de éste, y es quien en última instancia termina de transferir esa energía a las baterías del vehículo. No se entrará en detalles, pero el dispositivo realiza varias funciones que son específicas en cada fabricante (regula aspectos como el voltaje final al que entregará la energía a la batería del vehículo, la corriente, etc.). Podría pensarse que su función es algo “redundante” ya que el SAVE podría realizar esta tarea. Pero no debe confundirse un dispositivo con otro. El SAVE toma energía de la red y la entrega en un formato estándar. El cargador del vehículo, sabiendo que recibirá la energía en un determinado formato, regula cómo se cargará la batería de ese vehículo en particular. Debe recordarse que cada vehículo puede tener su propia versión de batería, y utilizar distintas tecnologías para maximizar la performance del vehículo. Esa

⁸ Aunque esto no implica que finalice su vida útil. Puede recertificarse para otros usos y extender su vida útil varios años más. Una vez finalizado este ciclo, debe disponerse como residuo ya que el litio es un elemento que debe tratarse por su potencial contaminante y no existen aún métodos eficaces para su reciclaje de manera sostenible.

tecnología incluye secretos muy bien guardados en cuanto a su estructura de celdas, temperatura óptima de operación, curva de carga, sistema de refrigeración, etc.

Sistema SAVE.

El SAVE (Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos) (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.) es externo al vehículo, está conectado a la red eléctrica, y es el “proveedor” de energía eléctrica para el auto. Nuevamente a riesgo de simplificar, es el equivalente al surtidor de combustible actual en las estaciones de servicio. Existen diferentes tipos de SAVE, y no se abundará aquí en detalles, simplemente se comentará que existen SAVE más potentes que permiten cargar el vehículo en menos tiempo, pero requieren de una instalación eléctrica de mayor porte (similar a la que tendría un pequeño comercio). Existen actualmente cuatro tipos de sistemas de alimentación (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.) y, dependiendo el tipo que se utilice, y la potencia eléctrica disponible, el tiempo de carga puede ir desde un par de horas hasta apenas 45 minutos.

Estos sistemas de carga son de muy fácil instalación, están automatizados, y no sólo cumplen la función de cargar el vehículo sino que ya vienen con el hardware y software necesarios para medir la cantidad de energía despachada a un vehículo, emitir un ticket con el consumo, gestionar el cobro, etc. Pueden instalarse a la intemperie, en la vía pública, en estacionamientos, o en domicilios particulares.

Ventajas.

Uso sencillo y seguro.

Para el usuario cargar su vehículo resulta extremadamente sencillo, sólo tiene que estacionar cerca de una estación de carga y luego tomar un conector muy similar al que utiliza en los electrodomésticos de su casa y “enchufar” su vehículo.

En cuanto a la instalación de los puntos de carga, es igualmente sencillo. Sólo se necesita tener una conexión a la red eléctrica de una potencia similar a la de un comercio pequeño, para que el cargador funcione sin mayores dificultades. Existen abundantes electricistas y técnicos que pueden instalar estos sistemas de carga, que ya vienen de forma muy compacta y no requieren de gran conocimiento novedoso para su instalación.

Ingeniería madura y en auge.

Varias marcas de vehículos ya han adoptado esta tecnología. El vehículo eléctrico a baterías de litio ya no es una excentricidad de Elon Musk⁹, sino que los fabricantes tradicionales de automóviles hoy ofrecen vehículos de gamas alta, media, y económica, a base de baterías de litio. Algunos ejemplos son las firmas BMW, MERCEDES, NISSAN, PEUGEOT, RENAULT, TOYOTA, HYUNDAI, BYD, FAW, JAC, Emin, etc. (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.).

Muy bajos costos de mantenimiento.

La no existencia de filtros, aceites, bajo número de piezas móviles, y el sistema de transmisión automático hacen que el vehículo sea prácticamente libre de mantenimiento.

Cero emisiones.

⁹ Licenciado en física y economista, fundador de la icónica marca de vehículos *Tesla* y fundador también de la empresa de tecnología y aplicaciones aeroespaciales *SpaceX*.

Es un vehículo que tiene 0% de emisiones a la atmósfera. Por lo tanto, si la energía eléctrica utilizada para cargarlo fuera producida por fuentes renovables (sería el caso de Uruguay) se tendría un vehículo que circularía sin quema de fósiles alguna y cero emisiones de CO2 al ambiente.

Desventajas.

Baja autonomía.

Si bien las baterías cada vez permiten mayor almacenamiento de energía eléctrica, dependiendo el tipo de uso que se dé al vehículo la autonomía rara vez cruza los 350 km (UTE - Movilidad eléctrica, s.f.) contra los 600 o 700km de un coche con motor de combustión interna.

Escasez de puntos de carga.

La infraestructura de puntos de carga, donde estén los cargadores y el usuario pueda efectivamente detenerse y cargar su vehículo aún es baja. Para intentar paliar esta desventaja se han desarrollado aplicaciones de celular que redirigen al conductor mediante sistema de ubicación GPS al punto de carga más cercano.

Tiempo de carga.

Aun utilizando un cargador ultrarrápido el conductor debe esperar cerca de 45 minutos para tener su vehículo totalmente cargado. Si a eso se le suma la frecuencia relativamente alta de carga (el doble que un vehículo que utilice nafta) es claro que no es viable un modelo similar a de la “estación de servicio” donde decenas de conductores o cientos cargan sus vehículos en un día cualquiera.

Existe todavía una restricción más: un cargador eléctrico está limitado por la potencia eléctrica disponible en el sitio donde se encuentra instalado. El cargador necesita energía eléctrica para poder cargar los vehículos, ya que él no es quien genera la energía, simplemente es un equipo que consume energía de alguna fuente y la transfiere de forma controlada al vehículo. En pocas palabras un cargador, o sistema de cargadores, dispondrá de una determinada potencia eléctrica X que determinará cuánta energía es capaz de entregar en una cierta cantidad de tiempo. Este valor está acotado, y si se suman varios vehículos a un mismo punto de carga, el cargador tendrá que distribuir la potencia de que dispone (que está fija en un determinado valor) entre todos los consumidores. Otra vez a riesgo de simplificar, el tiempo de carga puede ser 45 minutos si hay un vehículo conectado y el cargador tiene toda la potencia disponible para ese vehículo, pero si se conecta otro vehículo similar, el tiempo se duplicaría y entonces serían 90 minutos. Esto es una simplificación muy burda, pero sirve para explicar de forma bastante aproximada el concepto. Siendo un poco más realistas, un punto de carga o estación podría diseñarse para cargar simultáneamente 10 vehículos, y si se suma un 11vo vehículo el tiempo de carga se vería incrementado sólo en un 10%. Pero esto siempre implica una relación de compromiso: si se diseña la instalación con una potencia que permita cubrir un eventual “pico” de clientes, se aseguran tiempos de carga bajos pero la inversión inicial será muy alta; por otra parte si se diseña considerando sólo el valor medio los costos de inversión y fijos serán más bajos pero es posible que en días de alta concurrencia los tiempos de carga sean mayores.

6.1.2 VEHICULOS QUE UTILIZAN HIDROGENO.

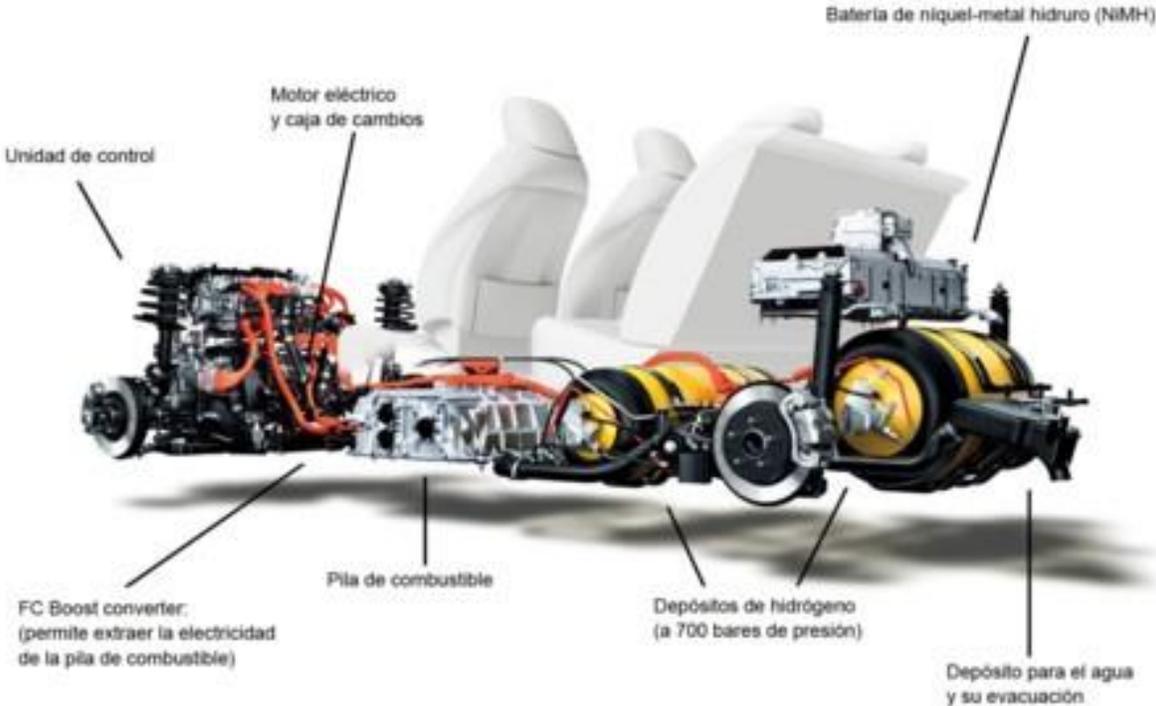
Lo primero que se debe tener claro es que los vehículos que utilizan hidrógeno son vehículos eléctricos: su motor es eléctrico y no hay quema de combustible.

En el caso del vehículo eléctrico que utiliza hidrógeno, o *FCV*¹⁰ por sus siglas en inglés, la energía eléctrica necesaria para el motor eléctrico se genera de forma permanente a bordo del vehículo a partir del hidrógeno. El hidrógeno en su forma gaseosa se almacena en un tanque, y luego un dispositivo conocido como *celda de combustible* o *fuel cell* combina el hidrógeno con el oxígeno del aire generando energía eléctrica en el proceso. Existe una pequeña batería, pero sólo a efectos de tener una pequeña reserva de energía para requerimientos de potencia instantáneos del auto, cuando los requerimientos de potencia del motor exceden la capacidad de generación de energía de la celda de combustible (por ejemplo, ante una aceleración brusca). Esta batería es cargada permanentemente por la celda de combustible.

De manera que, en un modo muy simplificado, puede decirse que la diferencia entre ambos vehículos es que utilizan un sistema de almacenamiento de energía diferente: el primero almacena la energía eléctrica en una batería de litio, el otro la almacena en forma de hidrógeno. Por lo tanto, este automóvil, camión u ómnibus tendrá que recibir un “combustible” en una estación de carga, de manera muy similar a lo que ocurre hoy día. La diferencia es que, en lugar de cargar combustible, el producto que se carga en este automóvil es hidrógeno.

¹⁰ Siglas que en inglés significan *Fuel Cell Vehicle*

Ilustración 6 - El vehículo eléctrico que utiliza hidrógeno



Arriba: Toyota *Mirai*. Abajo: esquema de un vehículo que utiliza celdas de combustible para producir la energía eléctrica, y una pequeña batería que sirve de “buffer” para dar respuesta a picos de potencia requeridos por el vehículo.

Ilustración 7 - Hoja Técnica de Celda de combustible

HyPM-HD 180 Power Module Technical Specifications†

Technical Data	HD-180
Continuous Power	198 kW
Operating Current	0 to 1000 A _{DC}
Operating Voltage	180 to 360 V _{DC}
Peak Efficiency ^a	55%
Response	<5s from off to idle <3s from idle to rated power
Fuel	Hydrogen > 99.8%
Oxidant	Ambient Air
Coolant	De-ionized water (DI H ₂ O) or 60% ethylene glycol/DI H ₂ O
Ambient Temperature	-10 to +55° C operating -40 to +65° C storage (<-2°C with automated freeze shutdown feature)
Communication Interface	CAN v2.0A (standard 11 bit)
Dimensions (LxWxH)	1682 x 1085 x 692 mm ^a
Mass ^a	720 kg
Volume	1188 L ^a
Expected Lifetime	10 000+ hours

(a) Coolant pump exluded

(b) Coolant pump and air delivery exluded



HyPM-HD 180 Features:

- Liquid-cooled advanced MEA PEM stack
- Integral Balance of Plant
- Advanced onboard controls and diagnostic
- Low pressure cathode air delivery
- -40°C sub-zero shutdown capability
- Rapid start-up and dynamic response
- Unlimited start-stop cycling
- Robust, rugged and reliable
- No water for humidification required
- No nitrogen required for shutdown
- Designed for ease of UL and CE system certifications

Hoja de datos de una *celda de combustible*, de la marca Hydrogenics (Hydrogenics, 2019) , la cual es utilizada por ejemplo en buses de pasajeros de diferentes fabricantes. Nótese que es capaz de generar una potencia de 198kW, lo que sería el equivalente a más de 260CV.

6.1.3 LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y LAS ESTACIONES DE CARGA.

El proceso puede tener variantes, pero la idea básica es siempre la misma. Se utiliza energía eléctrica proveniente de fuentes renovables y agua de manera que, mediante el proceso de *electrólisis*, se separa el agua en sus componentes elementales: hidrógeno y oxígeno. Los equipos que realizan esta función usualmente reciben el nombre de *Electrolizadores*.

Existen diferentes modalidades para hacer llegar este hidrógeno a los usuarios finales en los puntos de venta o *estaciones de carga*.

El hidrógeno puede ser producido en instalaciones dedicadas a este fin, y luego distribuido hacia los puntos de venta; o puede ser generado localmente en cada punto de venta. En el primer caso, el modelo sería muy similar al de hoy: una instalación (o instalaciones) para producir el producto, que luego es almacenado y transportado hacia *estaciones de carga* de manera muy similar al sistema empleado hoy día. En el caso de producción local debería analizarse con mayor profundidad la relación entre ANCAP y el propietario de la estación de carga.

Los vehículos llegan a estas estaciones y, en menos de 10 minutos, llenan sus tanques de hidrógeno utilizando un sistema similar al *surtidor* empleado hoy día¹¹. Una de las ventajas de esta tecnología es la autonomía: luego de una carga completa un vehículo puede recorrer una distancia de aproximadamente 600 km antes de tener que recargar.

Esta autonomía es muy superior si se la compara con la que tienen los autos eléctricos que utilizan baterías de litio, por ejemplo, que usualmente no superan los 250-300km por cada carga, a lo que

¹¹ La similitud es sólo estética por supuesto, entre otras cosas porque lo que se suministra es un gas a altísima presión (entre 350-700 Bar) y el vehículo en sí es eléctrico, no realiza ningún tipo de combustión.

debe sumarse que la carga de un vehículo a baterías puede tomar algunas horas¹². Además, en el caso de que varios vehículos quisieran cargar al mismo tiempo, eso podría enlentecer a todo el grupo ya que la potencia de que dispone el punto de carga está limitada y se distribuye entre todos quienes están queriendo cargar en ese mismo momento.

En resumen, en estas circunstancias ANCAP no necesita comprar petróleo, el cual es una *materia prima* que no existe en el país y cuyo precio no puede controlar. Ahora se tiene otro producto, el hidrógeno, producido con energías renovables y a un costo que depende enteramente de variables de su ambiente interno.

Ilustración 8 - Estaciones de carga de Hidrogeno



Caso a)

Caso b)

Caso c)

¹² Existen sistemas de baterías de litio y cargadores que prometen cargas en 30 minutos y autonomías de más de 400km, pero aún resta verificar en el uso continuo si estos valores se verifican. Por lo demás, considerar lo visto en el punto 6.1.1.

En la Ilustración 8 pueden verse las distintas modalidades en que puede funcionar una *estación de carga*. En el primer recuadro, un camión trae el hidrógeno en forma de gas, a alta presión (350-700 Bar) y rellena los tanques de gas de la estación (caso “a”). Es el modelo de estación de carga más simple, el cual incluye un compresor, tanques de almacenamiento, y un dispensador que permite cargar más de un vehículo a la vez. Este caso es el de menor inversión en el punto de carga, del orden de USD 1,8M, con una capacidad que le permite cargar hasta 36 vehículos sin necesidad de pedir un camión de hidrógeno de recarga.

En el caso “b” el hidrógeno es transportado en estado líquido, a temperaturas del orden de 253 grados bajo cero. El hidrógeno líquido ocupa un volumen mucho menor y se encuentra a presiones mucho más bajas, por lo que es posible transportar una cantidad mucho mayor que en el caso anterior (en el caso “a” cada carga contenía 180kg de hidrógeno en estado gaseoso y a presiones del orden de 700 Bar, mientras que ahora en estado líquido pueden transportarse 350kg en un volumen similar y a presiones mucho menores). En sitio se incluye una bomba de hidrógeno líquido, para bombear el hidrógeno desde el camión hasta el tanque en sitio; y un evaporador, que vuelve el hidrógeno a un estado gaseoso ya que no puede ser inyectado en los vehículos en estado líquido. Luego de vuelto a convertir en gas, la instalación contiene los mismos componentes que en el caso “a”: tanques de almacenamiento de hidrógeno gaseoso, y finalmente el surtidor para carga de vehículos. Esta inversión se ubica en el entorno de los USD 3,5M, con una capacidad incrementada que permite atender ahora unos 72 vehículos sin necesidad de “recarga” de hidrógeno líquido.

En el último caso (caso “c”) la producción se realiza localmente en el predio de la estación de carga. Esta inversión asciende a USD 3M, tiene una menor capacidad de almacenamiento (120kg de H₂) y permite la recarga completa en un día entero. Por lo tanto, dependiendo el ritmo de trabajo

puede atender unos 15 clientes diarios de forma ininterrumpida, o 30 clientes cada 48 horas aproximadamente (ya que es capaz de generar un volumen de hidrógeno diario suficiente para 30 clientes).

Ventajas.

Autonomía.

La mayor densidad de energía del hidrógeno permite lograr distancias similares a la de los vehículos de combustión interna. Un vehículo tipo podría recorrer alrededor de 600km con una sola carga. En el caso del transporte de carga, aumentar el rango es un tema bastante simple ya que se logra mediante la adición de tanques de H₂. En los vehículos de uso recreativo o familiar no es tan sencillo, ya que la estética tiene un rol mucho más importante, pero en vehículos utilitarios o de carga el rango puede ser muy importante.

Tiempo de carga similar al de un automóvil a gasolina.

El tiempo de carga completa de un tanque de hidrógeno, suficiente para recorrer aproximadamente 600km, es de 3 minutos aproximadamente. Este representa una clara ventaja en comparación con un coche que utiliza baterías de litio. Otro punto importante, es que no importa la cantidad de usuarios que estén cargando al mismo tiempo, el tiempo siempre es el mismo. Esto se debe a que, en los hechos, se está bombeando un gas a alta presión dentro de un tanque, y esta capacidad no depende de si hay otros usuarios conectados al sistema.

Cero emisiones.

Al igual que el vehículo de baterías de litio, no emite ningún gas de efecto invernadero. De hecho, su única emisión es agua, que es el resultado de la reacción inversa a la electrólisis, donde se mezcla hidrógeno gaseoso y oxígeno para producir agua líquida generando electricidad en el proceso.

Menor impacto ambiental en todo el ciclo de vida.

Una ventaja comparativa con el sistema que utiliza baterías de litio es que los componentes utilizados en su construcción no resultan tan contaminantes como puede ser el litio. Si bien las celdas de combustible utilizan metales escasos como el paladio y otras aleaciones para fabricar los electrodos, y resinas para las membranas de intercambio, los procesos industriales no resultan tan contaminantes. Además, los vehículos eléctricos deben disponer la batería de litio como residuo una vez que agotó su vida útil, esto se realiza almacenándolas en construcciones selladas de hormigón que luego se entierran, con lo que no existe una solución hoy en día que sea realmente sostenible (FORO AMBIENTAL, s.f.).

Tecnología madura.

La tecnología de celdas de combustible es de antigua data, ya el Apolo 11 (ALEASOFT, s.f.) contaba con esta tecnología para producir electricidad, y desde entonces se ha avanzado en mejorar y perfeccionar esta técnica. Existen marcas de vehículos reconocidas (Hyundai, Toyota, etc.) que han fabricado prototipos funcionales con esta tecnología, y existen incluso ciudades donde se ha impulsado fuertemente su uso. Un ejemplo es el estado de California, en los Estados Unidos, donde existen más de 4200 vehículos a hidrógeno circulando y alrededor de 33 estaciones de carga.

En cuanto a la producción, transporte y usos del hidrógeno, viene siendo producido, transportado y utilizado desde hace décadas con diversos fines tanto en la industria como en medicina y otra variedad de aplicaciones.

Bajos costos de mantenimiento.

Si bien no hay tantos datos como para asegurar esto, es razonable suponer que el sistema es prácticamente libre de mantenimiento al igual que en el caso del litio. Las celdas de combustible son sistemas sellados que requiere conocimiento experto, y no existen en el automóvil sistemas que sugieran la necesidad de un mantenimiento o recambio, salvo que exista un mal funcionamiento o rotura.

Sistema de acumulación de energía de fuentes renovables.

No es posible actualmente almacenar grandes cantidades de energía en baterías de litio, mientras que el hidrógeno, integrado en una matriz energética, no sólo es capaz de proveer hidrógeno para vehículos sino constituirse en un gran sistema de acumulación de energía renovable proveniente de fuentes intermitentes.

Desventajas.

Auge del litio.

Si bien existen fabricantes de peso realizando inversiones e intentando mejorar sus modelos, es claro el lobby que se ha generado con relación al vehículo eléctrico y toda la industria del litio que presiona para el uso de esta tecnología. Si bien la batería de litio es un consumible en un auto eléctrico, y por tanto son descartables y no es sostenible tampoco en el largo plazo un mecanismo

que consume un recurso escaso como es el litio, ya está en marcha un mercado que no se detendrá hasta que el litio se haya agotado. Mientras tanto, la industria apuesta a que encontrará un sustituto (se está experimentando con sodio y otros elementos) o que se logrará reciclar y reutilizar el litio.

Costos más elevados.

La ausencia de economía de escala, y la necesidad de metales raros para la construcción de las celdas de combustible, hacen que este vehículo y sistema de producción de hidrógeno sea algo más caro que el vehículo de litio.

Menor respaldo post venta.

Obviamente al no ser un producto de venta masiva, y requerir conocimientos técnicos algo más complejos que la versión de litio, existen mayores dificultades para conseguir respuesta rápida ante un desperfecto.

6.1.4 PRUEBA DE CONCEPTO – PROYECTO VERNE.

Como parte de la transición energética que ha proyectado ANCAP dirigida a la incorporación de fuentes renovables, es que está llevando adelante el proyecto piloto “Verne” (ANCAP, 2019) el cual se focaliza en la producción de hidrógeno para el abastecimiento del segmento de transporte de cargas y pasajeros.

En esta iniciativa participan además el Ministerio de Industria, Energía y Minería y el de Transporte y Obras Públicas, y UTE, en coordinación con los ministerios de Economía y Finanzas y de Medio Ambiente.

Cuenta con un financiamiento de 500 mil dólares del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), donde el Banco de Desarrollo de América Latina-CAF aporta cooperación técnica no reembolsable para medición, reporte, verificación y hoja de ruta.

Principales parámetros del proyecto

- Producción de hidrógeno verde por electrólisis a partir de la red eléctrica de UTE.
- Una estación de recarga en Montevideo.
- Hasta 10 vehículos pesados (ómnibus inter-urbanos con autonomía de 500 km y camiones carreteros con autonomía de 900 km).
- Ómnibus en líneas de alta frecuencia con radio de 250 km con centro en Montevideo.
- Camiones en líneas de alta frecuencia con radio de 450 km con centro en Montevideo.
- Consumo de hidrógeno aproximado: 6-9 kg H₂ /100 km.
- 10 vehículos a 1000 km/día => 600-900 kg H₂ /día.
- Consumo eléctrico anual: 20 GWh (0,15% de la generación anual 2018).

El proyecto ya se encuentra en marcha y fue anunciado que próximamente se pondrán a prueba cinco ómnibus y cinco camiones para estudiar el desempeño de la nueva tecnología (Surtidores, 2019).

6.2 ESTIMACION DE PRODUCCION NECESARIA DE HIDROGENO PARA DEMANDA INTERNA ACTUAL.

6.2.1 Cálculo de consumo equivalente de gas para vehículos que utilizan Fuel Cells.

De la memoria anual de ANCAP 2019 (ANCAP, 2019) puede extraerse el volumen de nafta y gasoil que se comercializa en el mercado interno. Si se recuerda que 1m³ es equivalente a 1.000 litros se obtiene el cuadro que se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1 - Producción anual de combustibles para el mercado interno de vehículos

Descripción	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Litros de gasoil vendidos al año	930.000	m ³	930.000.000	litros
Litros de nafta vendidos al año	50.000	m ³	50.000.000	litros

Tomando en cuenta los kilómetros recorridos por un vehículo eléctrico que utiliza celdas de combustible a base de hidrógeno, y comparándolo con el consumo de combustible de un vehículo a combustión interna que recorre los mismos kilómetros, es posible alcanzar una “equivalencia” entre litros de combustible y metros cúbicos de hidrógeno gaseoso.

Por ejemplo, si un vehículo a hidrógeno es capaz de recorrer 37 km con un volumen de 11,1 m³ de hidrógeno en condiciones “normales” o Nm³¹³ y un vehículo a nafta utiliza 3,7 litros para hacer ese mismo recorrido, se alcanza una equivalencia de 11,1 Nm³ = 3,7 litros.

Ecuación 1

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ de } H_2 = 0,34 \text{ litros de nafta.}$$

¹³ Unidad denominada “normal metro cúbico” equivalente a un volumen de gas de un metro cúbico a una temperatura de 25°C y una presión atmosférica de una atmósfera.

Análogamente, se tiene que

Ecuación 2

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ de } H_2 = 0,29 \text{ litros de gasoil.}$$

Esto arroja el primer gran número de la sección 3.1.3 Objetivo 1: Adecuar infraestructura para abastecimiento de la demanda de hidrogeno

Utilizando la relación de la Ecuación 1 y la Ecuación 2 se obtiene ahora la Tabla 2, donde puede verse las cantidades de hidrógeno que habría que producir para abastecer a un parque automotor como el actual.

Tabla 2 - Equivalencias de demanda de hidrógeno en sustitución de nafta y gasoil

Descripción	Cantidad	Unidad
Litros de gasoil vendidos al año	930.000.000	litros
Litros de nafta vendidos al año	50.000.000	litros
Hidrógeno gaseoso en sustitución del gasoil	3.217.993.080	Nm^3
Hidrógeno gaseoso en sustitución de la nafta	147.058.824	Nm^3

6.2.2 Plantas de producción de hidrógeno.

Las plantas de producción de hidrógeno están formadas básicamente por un dispositivo denominado *electrolizador*, que mediante la circulación de corriente eléctrica entre dos electrodos compuestos a base de metales raros separa la molécula de agua H_2O en sus componentes básicos: hidrógeno H_2 y oxígeno O_2 . A la planta usualmente se anexa un compresor, y un tanque de almacenamiento de gas a presión. El compresor es necesario ya que el volumen ocupado por el hidrógeno a presión y temperatura ambiente es muy elevado, por lo que se comprime para poder almacenar una cantidad de masa (Kg) útil en un tanque de volumen razonable.

La planta entonces requiere de una conexión de agua potable, energía eléctrica, y una pequeña fracción de químicos que ayudan a la reacción; el resultado es hidrógeno gaseoso almacenado a presiones que pueden variar entre 350 y 700 Bar¹⁴ y oxígeno que es liberado a la atmósfera.

Para realizar todas las estimaciones en este documento se ha tomado un producto de la empresa Hydrogenics, el modelo HYSTAT-60, que produce $60 Nm^3/h$ (Hydrogenics, s.f.) y tiene un consumo específico de energía de alrededor de $5 kWh/Nm^3$ y una potencia media del orden de 300kW.

Estaciones de carga.

Para las *estaciones o puntos de carga* se ha utilizado el modelo de HYSTAT-60, al que se suma un tanque diario y un sistema de expedición de gas: mangueras de alta presión y conector que se ajusta al vehículo y permite que se transfiera gas a presiones de 350 o 700 Bar con seguridad, sistema de medición para cobro del hidrógeno, y otros sistemas auxiliares para el cobro por

¹⁴ 1 Bar es equivalente a una atmósfera de presión

ejemplo del energético. Las estaciones, por tanto, se estimaron con una producción local de hidrógeno de $60 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y un consumo específico de $5 \text{ kWh}/\text{Nm}^3$.

Granjas de producción de hidrógeno.

Para las *granjas de producción de hidrógeno*, lo que se ha hecho ha sido imaginar una planta con una capacidad de producción de $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Se consideró viable porque la empresa promociona una planta de $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y dice que puede entregar mayores producciones (Hydrogenics, s.f.). Por lo tanto, se extrapolaron los valores de la HYSTAT-60 para estimar cuál sería el consumo de una planta con esta capacidad de producción. En definitiva, una granja de $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ puede construirse utilizando 67 contenedores con una planta tipo HYSTAT-60. Esto arroja entonces un consumo aproximado de $67 \times 300 \text{ kW} = 20 \text{ MW}$ cada una.

6.2.3 Hidrógeno - Formas de almacenamiento y transporte.

El hidrógeno es un gas con un gran volumen específico, esto implica que pequeñas cantidades de gas (medidas en Kg) ocupan varios metros cúbicos de espacio. El hidrógeno tiene un volumen específico en condiciones normales de $11,1 \text{ m}^3/\text{Kg}$. Esto quiere decir que, si se toma una presión de una atmósfera (la que se encuentra al aire libre al nivel del mar, cuando alguien camina a cielo abierto) y una temperatura de 25 grados Celsius, un solo kilogramo de hidrógeno ocupa un volumen de $11,1 \text{ m}^3$. A modo de ejemplo, en ese mismo volumen podrían almacenarse más de 9.000 litros de gasoil a temperatura y presión ambiente.

Debido a esto, el hidrógeno debe “adecuarse” de alguna manera para que ocupe menos volumen. Esto se logra o bien comprimiendo el gas, es decir, se reduce el volumen “por la fuerza” y como consecuencia el gas reacciona siendo necesaria más presión para mantenerlo confinado en un volumen menor; o bajando la temperatura del gas hasta valores del orden de 252 grados Celsius bajo cero, temperatura a la cual el hidrógeno se vuelve líquido a una presión de una atmósfera. Para las estimaciones realizadas en la sección 3.1.3.3 básicamente se consideraron dos ecuaciones, para calcular el volumen que ocupa el hidrógeno a diferentes presiones, y por el otro se utilizó la densidad del hidrógeno en estado líquido.

Estas ecuaciones básicamente son:

Ecuación 3

$$P \times V = Z \times n \times R \times T$$

Siendo “P” la Presión, “V” el volumen, “n” el número de moles, “R” una constante y “T” la temperatura. El valor de “Z” es un factor que se obtiene de manera empírica y puede encontrarse en tablas, varía con la temperatura y la presión.

En este caso la ecuación en sí no es de mucho interés, lo que interesa es cómo varía el volumen del hidrógeno cuando pasa de una presión “P1” (una atmósfera, o lo que es igual 1 Bar) a una presión “P2” (por ejemplo 200 Bar, o 700 Bar). Si la temperatura “T” no varía entonces se verifica lo siguiente.

Ecuación 4

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_1 \times T_1 \times P_2}{Z_2 \times T_1 \times P_1} = \frac{Z_1 \times P_2}{Z_2 \times P_1}$$

Así se tienen por ejemplo las siguientes relaciones.

- **Ejemplo 1 - Variación del volumen ocupado por el hidrógeno al pasar de 1 atmósfera (1 Bar) a 200 Bar a una temperatura constante de 25°C.**

Ecuación 5

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1,0006 \times 200}{1,1232 \times 1} \cong 178$$

Esto implica que el volumen ocupado por el hidrógeno a una presión de 200 Bar es aproximadamente 178 veces menor que el que ocuparía a un 1 Bar (1 atmósfera). He aquí la razón por la cual el gasoducto mencionado en la sección 3.1.3.3 funcionaría a una presión de 200 Bar.

En primer lugar, podría transportar 178 veces más hidrógeno en el mismo volumen (si en 11 metros cúbicos se tenía 1 kilogramo de hidrógeno, al estar comprimido en una relación de 178, ahora en el mismo volumen se transportan 178 kilogramos). En segundo término, el valor de 200 Bar es utilizado hoy día en un gasoducto en servicio que transporta un volumen 9 veces superior al proyectado para todo el consumo de Uruguay (Wikipedia, 2020).

- **Ejemplo 2 - Variación del volumen ocupado por el hidrógeno al pasar de 1 atmósfera y 25°C a estado líquido a temperaturas inferiores a 27K (-250°C aproximadamente)**

Ecuación 6

Volumen específico del hidrógeno líquido a 27K y 1 Bar: $0,014m^3/Kg$

Ecuación 7

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{11,1m^3}{0,014m^3} \cong 786$$

Como puede verse, el hidrógeno en estado líquido (a temperaturas criogénicas) ocupa un volumen 786 veces menor, y en un volumen de 11 metros cúbicos (como el que podría transportar un camión) es posible almacenar 786 kilogramos de gas.

- **Ejemplo 3 – Viajes necesarios para transportar hidrógeno líquido.**

Para finalizar esta sección se realizarán algunos de los ejemplos mencionados en la sección 3.1.3.3.

Caso 1. Producción anual de las 16 granjas de producción.

Cantidad de hidrógeno producido: $16 \times 31.536.000m^3 = 504.757.785 m^3$.

Volumen en estado líquido a 1 Bar: $504.757.785m^3 / 786 \cong 642.185m^3$.

Si se considera un camión con un tanque de $10m^3$ de capacidad, eso da un total de más de 64.200 viajes al año para poder transportar la producción de las granjas de hidrógeno. Una flota de 100 camiones realizando dos viajes diarios podría ser suficiente, pero sin dudas que sería un tránsito interesante y además habría que considerar los tiempos de carga en las granjas.

Caso 2. Transporte desde un centro de distribución.

Si los centros de despacho regional tuvieran una capacidad de $1.500m^3$ de hidrógeno en estado líquido, utilizando camiones de $10m^3$ de capacidad podrían distribuirse en 150 viajes. Tal como se planteó en la sección 3.1.3.3 para una distribución semanal, esto daría un promedio de 30 viajes por día, que podrían cubrirse por ejemplo con 6 camiones realizando 5 recargas. Si bien esto demandaría un número de viajes anuales similar al planteado en el Caso 1, ya que la producción anual debe ser llevada hasta una estación de carga para su venta, se entiende que esta opción sería mucho más viable ya que los viajes serían de recorridos mucho más cortos y las flotas estarían asignadas a sectores más localizados del territorio nacional.