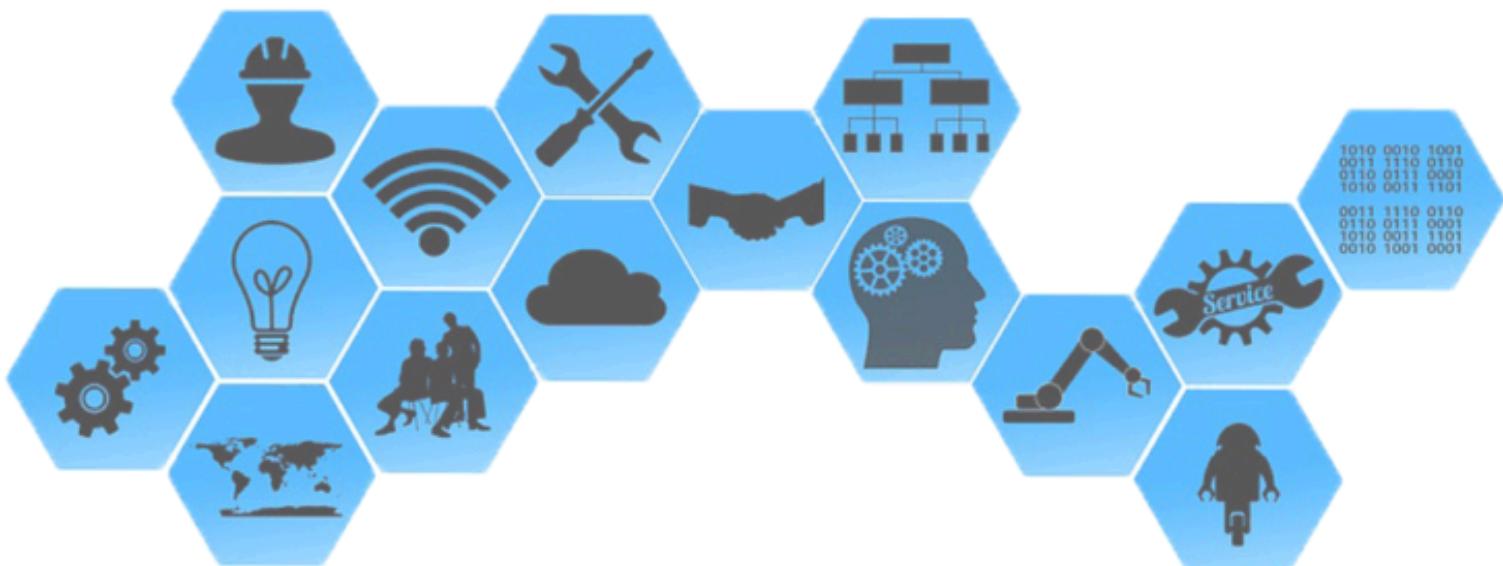




Técnicas y Herramientas Modernas II

Ingeniería Industrial - 2023



Profesores:

Ricardo R. Palma

Gustavo A. Masera

Alumno: Justo Roncoroni Vizcaíno.

Legajo: 12656

Repositorio en GitHub:

https://github.com/JustoRoncoroni/Carpeta_TyHM_II_Roncoroni

Módulo 1: Proyectos Ágiles

En este módulo se utilizó la plantilla de LaTex dada por el profesor para adaptarla a un proyecto de empresa de base tecnológica, adaptando los índices y capítulos al modelo de proyectos dado por el FONARSEC.

Se creó un proyecto en github para utilizar las herramientas de programación. En el siguiente enlace se muestra el uso de las herramientas de Github para administración de proyectos.

<https://github.com/users/JustoRoncoroni/projects/2>

A continuación se encuentra la plantilla adaptada a PEBT de FONARSEC (desarrollada de forma individual) y a continuación de la misma, se incluye un ejemplo de uso del diagrama de tipo Burndown y Gantt en R (desarrollado en conjunto con Ander Egg Marcos 12477, Artero Francisco 12474 y Gambino Ignacio 12153).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

PROYECTO DE EMPRESA DE BASE TECNOLÓGICA



Agencia I+D+i

Agencia Nacional de Promoción
de la Investigación, el Desarrollo
Tecnológico y la Innovación

FONARSEC

Fondo Argentino
Sectorial

Título: : Producción de bioalgas para alimentación humana .

EJEMPLAR DE TESIS PRESENTADO ANTE FONARSEC

Autor:

RONCORONI VIZCAÍNO, Justo - Agosto 2023

Mendoza - Argentina

ÍNDICE

I Datos principales del proyecto	4
1.1 Título del proyecto	4
1.2 Descripción breve del proyecto a desarrollar	4
1.3 Descripción publicable	4
1.4 Beneficios del proyecto	5
1.4.1 Generará empleo de calidad (recursos humanos altamente calificados). Cuantificar	5
1.4.2 Permitirá ofrecer nuevos productos o servicios basados en ciencia	5
1.4.3 Impulsa nuevas capacidades tecno-productivas en Argentina	5
1.4.4 Tracciona cadenas de valor nacionales	5
1.4.5 Sustituye importaciones	5
1.4.6 Genera exportaciones	5
1.4.7 Permite avanzar en la protección de la propiedad intelectual involucrada	5
1.4.8 Permite fortalecer a la empresa en aspectos regulatorios	5
1.4.9 Permite desplegar la expansión comercial	5
1.4.10 Permite desarrollar e incorporar herramientas de mejora de la competitividad y/o la productividad de la empresa	5
1.4.11 Otros (especificar)	5
1.5 Duración del Proyecto (hasta 24 meses)	5
1.6 Monto Solicitado y Monto Contraparte:	5
1.7 Provincia	5
1.8 Beneficiarios	6
1.9 Referentes	6
1.10 Correo electrónico de contacto	6
II Descripción general del proyecto	7
2.1 Problema o necesidad que da origen al proyecto	7
2.2 Principales características del sector productivo	7
2.3 Estado de desarrollo actual de la tecnología involucrada	8
2.4 Objetivo general y objetivos específicos	8

ÍNDICE 3

2.5	Innovación y/o desafío tecnológico	8
2.6	Madurez tecnológica actual y nivel propuesto	9
2.7	Diagrama de GANTT	9
2.7.1	Metodología de trabajo	9
2.7.2	Actividades decisivas	9
2.7.3	Camino crítico del proyecto	10
2.8	Ítems del presupuesto que se utilizarán en cada etapa	10
2.9	Fortalecimiento de las capacidades tecnológicas	10
2.10	Resultados e impactos económico-comercial	11
2.11	Impactos en otras dimensiones	11
III	Modelo de negocio - CANVAS	12
3.1	CANVAS	12
3.1.1	Modelo de negocio	12
3.2	Asociatividad, colaboración o vinculación con otros actores de la cadena de valor	12
3.3	Oferta existente actual	14
3.4	Plan de comercialización y/o distribución del producto final	14
3.5	Potenciales acuerdos comerciales	14
3.6	Estrategia de exportación	15
IV	Estudio de riesgos	16
V	Organización interna, antecedentes y gobernanza	17
VI	Otros aspectos	18
VII	Evaluación económico-financiera	19
7.1	Resultado económico y financiero	19
7.2	Supuestos y parámetros	19
7.3	Inversiones y costos	20
7.4	Precio de venta	20
7.5	Ventas proyectadas	20

Capítulo I

Datos principales del proyecto

1.1 Título del proyecto

Producción de microalgas para consumo humano.

1.2 Descripción breve del proyecto a desarrollar

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

1.3 Descripción publicable

Resumen breve sobre el principal objetivo del proyecto y los principales resultados que se propone alcanzar (sin usar palabras demasiado técnicas y orientado al público en general; esta descripción podrá ser utilizada en material de difusión de la Agencia I+D+i)

1.4 Beneficios del proyecto

- 1.4.1 Generará empleo de calidad (recursos humanos altamente calificados). Cuantificar**
- 1.4.2 Permitirá ofrecer nuevos productos o servicios basados en ciencia**
- 1.4.3 Impulsa nuevas capacidades tecno-productivas en Argentina**
- 1.4.4 Tracciona cadenas de valor nacionales**
- 1.4.5 Sustituye importaciones**
- 1.4.6 Genera exportaciones**
- 1.4.7 Permite avanzar en la protección de la propiedad intelectual involucrada**
- 1.4.8 Permite fortalecer a la empresa en aspectos regulatorios**
- 1.4.9 Permite desplegar la expansión comercial**
- 1.4.10 Permite desarrollar e incorporar herramientas de mejora de la competitividad y/o la productividad de la empresa**
- 1.4.11 Otros (especificar)**

1.5 Duración del Proyecto (hasta 24 meses)

20 meses.

1.6 Monto Solicitado y Monto Contraparte:

Montos en Pesos Argentinos

1.7 Provincia

Mendoza

INSTITUCIÓN/ EMPRESA (razón social)	CUIT	Domicilio Legal	Nombre y Apellido del representante legal (máx. autoridad)	Mail	Teléfono

Figura 1.1: *Para el caso de presentación individual en la Línea 1, o para presentación de una EBT en la Línea 2, completar solo la 1º fila con los datos de la única institución/empresa beneficiaria.

REFERENTES	Nombre y Apellido	Empresa/Institución a la que pertenece	DNI	Mail	Teléfono
Emprendedor/a 1					
Emprendedor/a 2					
Emprendedor/a 3					
Gerente					
DT*					
DT* Suplente					
RAP**					
RAP** Suplente					

Figura 1.2: *DT: Director/a Técnico/a **RAP: Responsable Administrativo y Legal del Proyecto

1.8 Beneficiarios

1.9 Referentes

1.10 Correo electrónico de contacto

El correo electrónico de contacto será: roncoronijusto@gmail.com.

Capítulo II

Descripción general del proyecto

2.1 Problema o necesidad que da origen al proyecto

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.2 Principales características del sector productivo

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.3 Estado de desarrollo actual de la tecnología involucrada

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.4 Objetivo general y objetivos específicos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.5 Innovación y/o desafío tecnológico

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.6 Madurez tecnológica actual y nivel propuesto

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.7 Diagrama de GANTT

2.7.1 Metodología de trabajo

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.7.2 Actividades decisivas

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.7.3 Camino crítico del proyecto

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.8 Ítems del presupuesto que se utilizarán en cada etapa

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.9 Fortalecimiento de las capacidades tecnológicas

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.10 Resultados e impactos económico-comercial

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.11 Impactos en otras dimensiones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capítulo III

Modelo de negocio - CANVAS

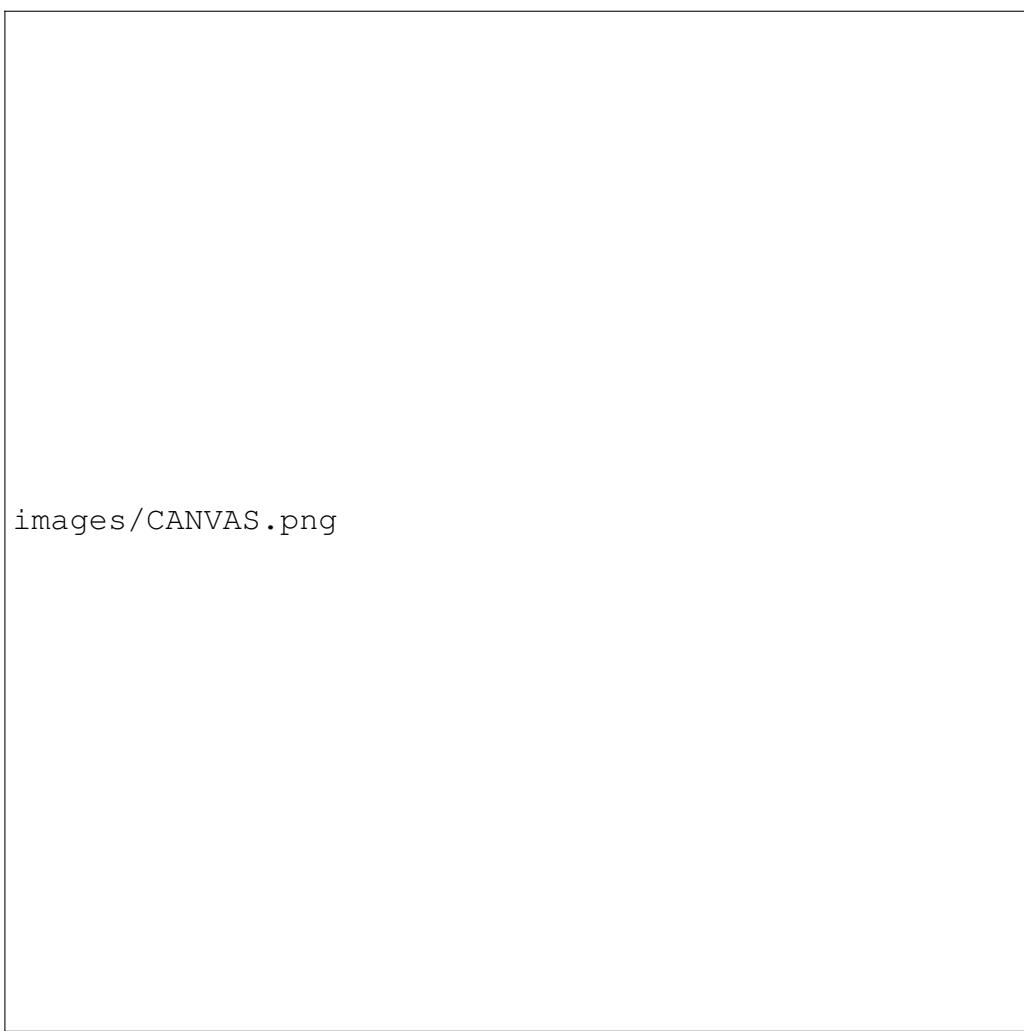
3.1 CANVAS

3.1.1 Modelo de negocio

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.2 Asociatividad, colaboración o vinculación con otros actores de la cadena de valor

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.



images/CANVAS.png

Figura 3.1: Canvas de proyecto de base tecnológica

3.3 Oferta existente actual

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.4 Plan de comercialización y/o distribución del producto final

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.5 Potenciales acuerdos comerciales

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.6 Estrategia de exportación

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capítulo IV

Estudio de riesgos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capítulo V

Organización interna, antecedentes y gobernanza

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capítulo VI

Otros aspectos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capítulo VII

Evaluación económico-financiera

7.1 Resultado económico y financiero

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

7.2 Supuestos y parámetros

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

7.3 Inversiones y costos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

7.4 Precio de venta

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

7.5 Ventas proyectadas

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

BurnDown y Planificación del Proyecto

Ignacio Gambino, Marcos Ander Egg, Francisco Artero y Justo Roncoroni

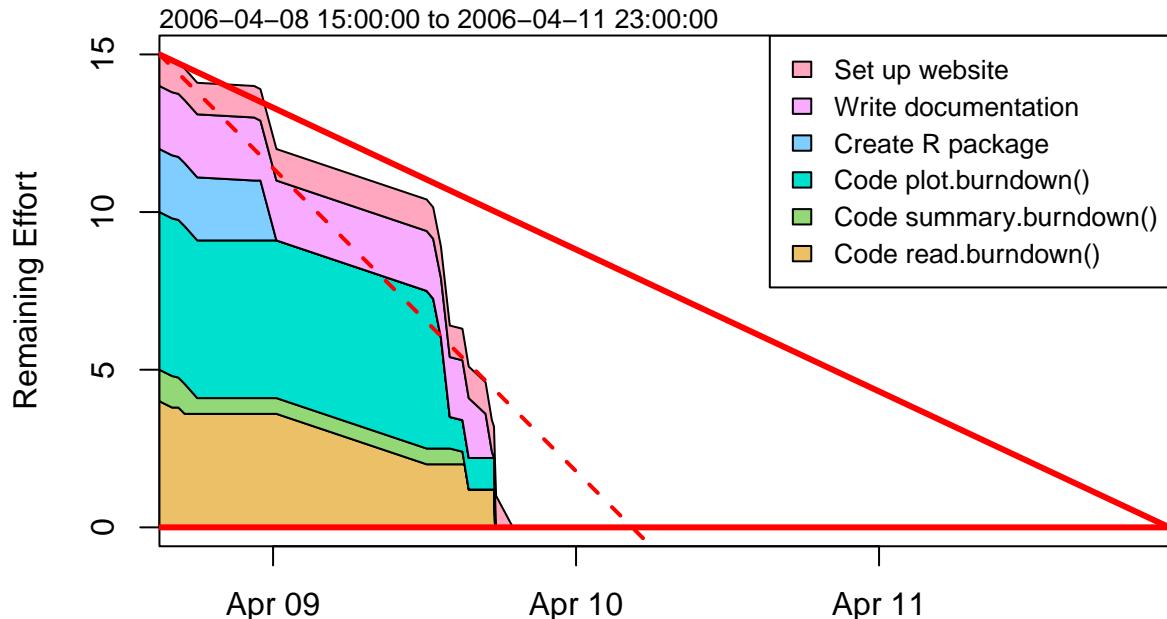
2023-08-18

Gráficos de Burndown

Los gráficos Burndown se utilizan para mostrar una serie temporal del progreso hacia los objetivos de un proyecto. El formato es sencillo. El eje x representa el tiempo, que va desde el inicio del proyecto hasta la fecha límite para su finalización. El eje y representa el esfuerzo restante que se requiere para realizar el trabajo. A medida que se lleva a cabo el trabajo, el gráfico proporciona un resumen continuo del progreso hacia la fecha límite. Si el trabajo avanza sin problemas de acuerdo con el cronograma, el gráfico toma la forma de un triángulo, y el esfuerzo restante cae desde su valor inicial a cero en la fecha límite.

Primero descargamos el package “plan” de la barra de herramientas “Tools”. Luego ejecutamos lo siguiente para obtener un grafico a modo de ejemplo:

```
library("plan")
data(burndown)
plot(burndown)
```

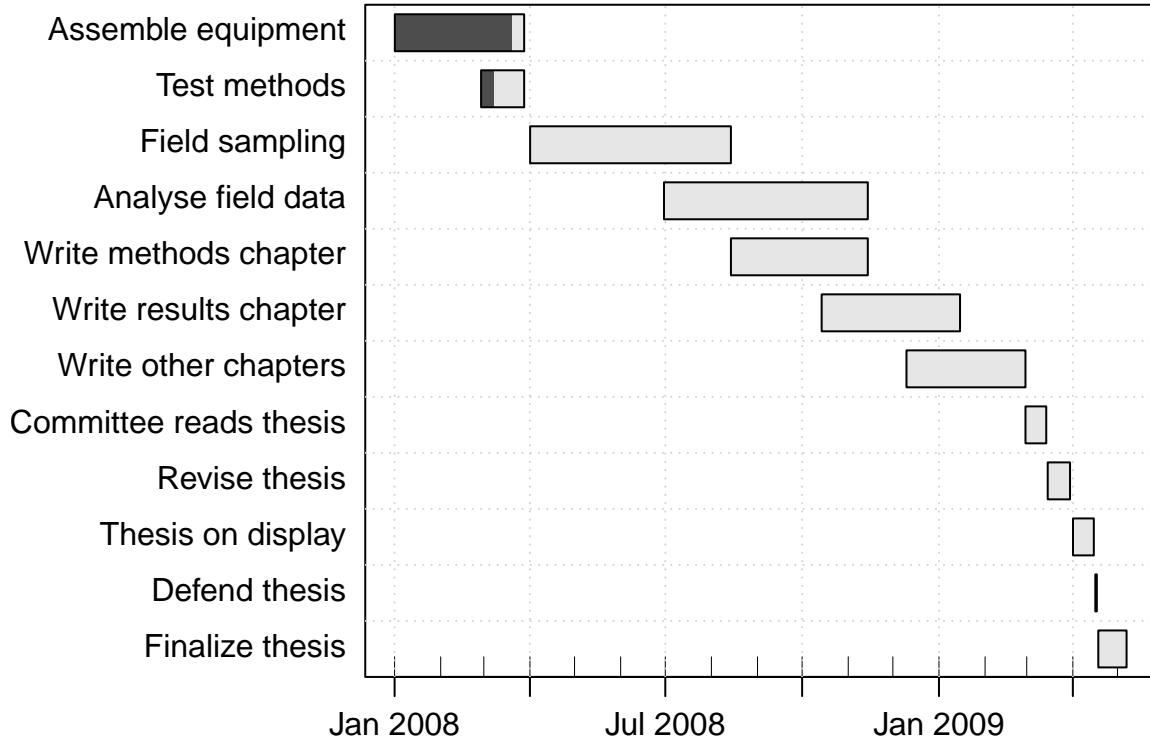


Diagramas de Gantt

Los diagramas de Gantt indican un cronograma para completar los componentes de un proyecto. El Gantt del conjunto de datos de muestra es un plan de investigación hipotético para un proyecto de maestría; puede ver cómo se grafica con ejemplo (plot.gantt), o ingresando el siguiente código.

Luego para realizar el diagrama de gant ejecutamos las siguientes lineas:

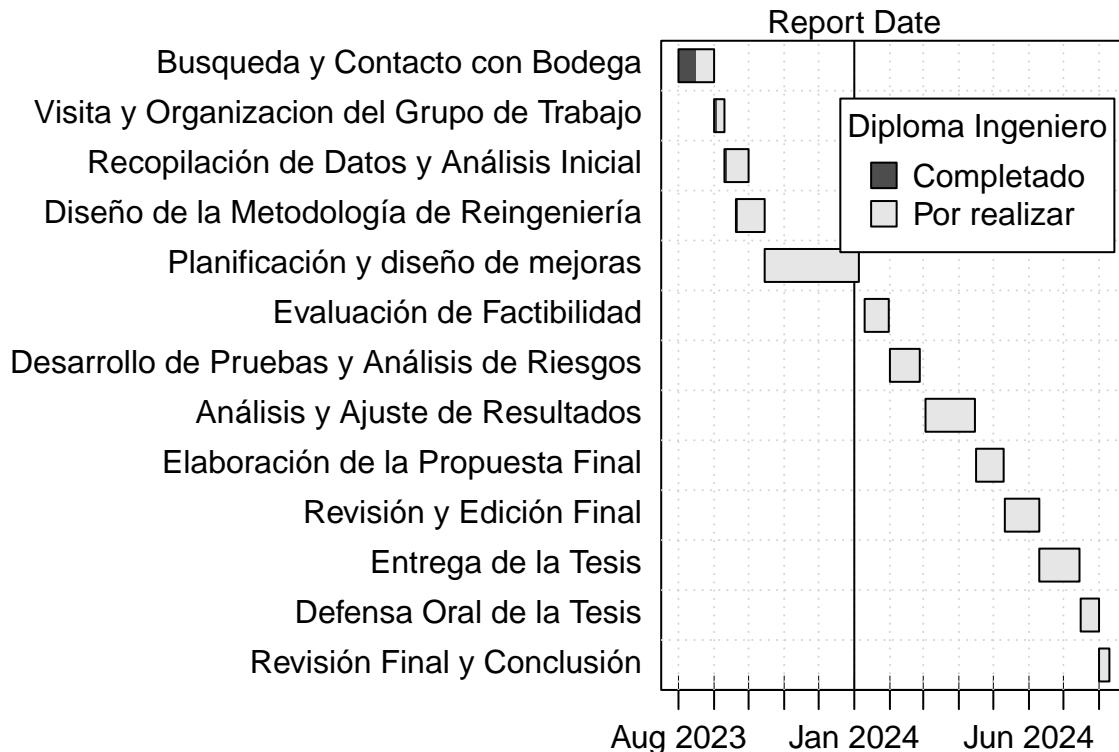
```
library("plan")
data(gantt)
plot(gantt)
```



Projecto Final

Luego de entender y aprender estas herramientas, lo que se realizo es un diagrama de gantt del proyecto que se realizara para recibirse.

```
library("plan")
g <- new("gantt")
g <- ganttAddTask(g, "Busqueda y Contacto con Bodega", "2023-08-01", "2023-09-1", done=50)
g <- ganttAddTask(g, "Visita y Organizacion del Grupo de Trabajo", "2023-09-01", "2023-09-10", done=20)
g <- ganttAddTask(g, "Recopilación de Datos y Análisis Inicial", "2023-09-10", "2023-10-01", done=10)
g <- ganttAddTask(g, "Diseño de la Metodología de Reingeniería", "2023-09-20", "2023-10-15", done=5)
g <- ganttAddTask(g, "Planificación y diseño de mejoras", "2023-10-15", "2024-01-05", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Evaluación de Factibilidad", "2024-01-10", "2024-01-31", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Desarrollo de Pruebas y Análisis de Riesgos", "2024-02-01", "2024-02-27", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Análisis y Ajuste de Resultados", "2024-03-03", "2024-04-15", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Elaboración de la Propuesta Final", "2024-04-16", "2024-05-10", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Revisión y Edición Final", "2024-05-11", "2024-06-10", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Entrega de la Tesis", "2024-06-10", "2024-07-15", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Defensa Oral de la Tesis", "2024-07-16", "2024-08-01", done=0)
g <- ganttAddTask(g, "Revisión Final y Conclusión", "2024-08-01", "2024-08-10", done=0)
font <- ifelse(is.na(g[["start"]]), 2, 1)
plot(g, ylabel=list(font=font),
event.time="2024-01-01", event.label="Report Date")
par(lend="square") # default is round
legend("topright", pch=22, pt.cex=2, pt.bg=gray(c(0.3, 0.9)),
border="black", xpd=NA,
legend=c("Completado", "Por realizar"), title="Diploma Ingeniero", bg="white")
```



Conclusión

La creación del diagrama de Gantt con fechas estimadas proporciona una estructura inicial para el proyecto de reingeniería de la bodega. A medida que avanzamos y adquirimos una comprensión más precisa, estas fechas se ajustarán para reflejar con mayor fidelidad la realidad del proceso. La flexibilidad en la adaptación de las fechas es esencial para tomar decisiones informadas y garantizar una gestión efectiva.

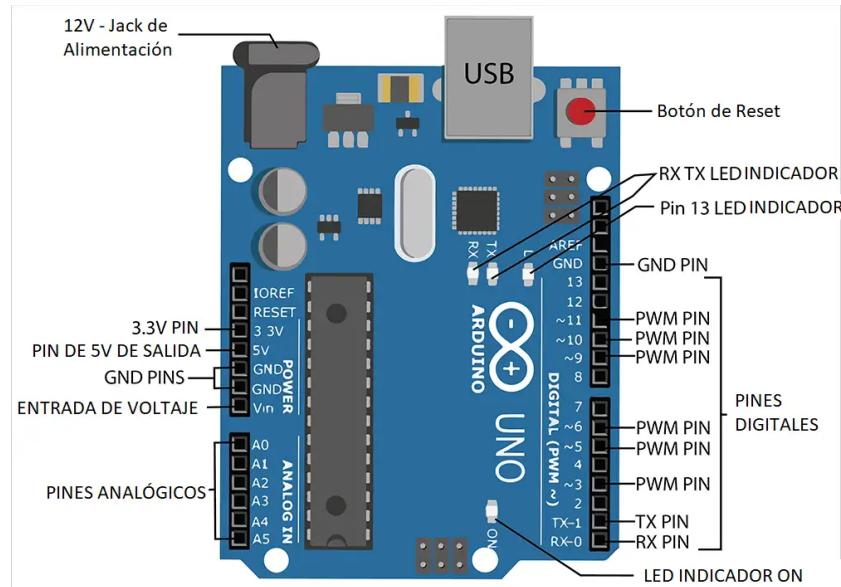
Módulo 2: Internet de las cosas Industriales

En este módulo se utilizó una placa Arduino UNO, en conjunto con un sensor de temperatura, leds y un display OLED, para aprender el funcionamiento básico y la programación del mismo. A continuación se encuentra la explicación de las actividades realizadas y los códigos de programación (desarrollado en conjunto con Ander Egg Marcos 12477, Artero Francisco 12474 y Gambino Ignacio 12153).

Internet de las cosas industriales

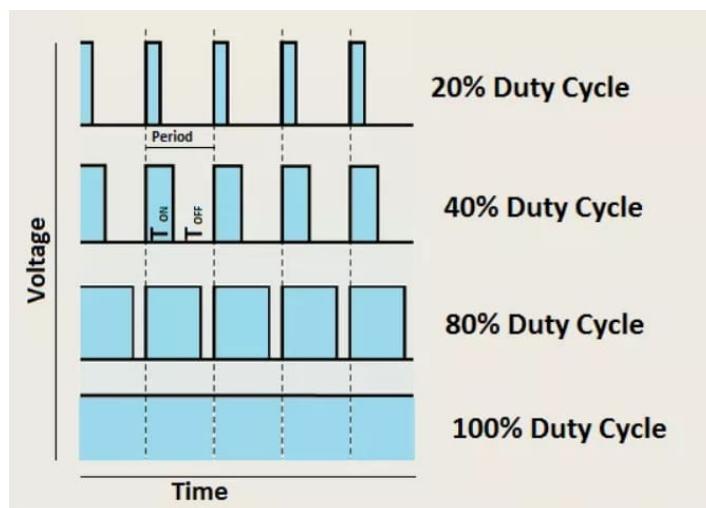
A. Hardware:

En este módulo experimentamos con la placa Arduino UNO. Un esquema de la placa se muestra a continuación:



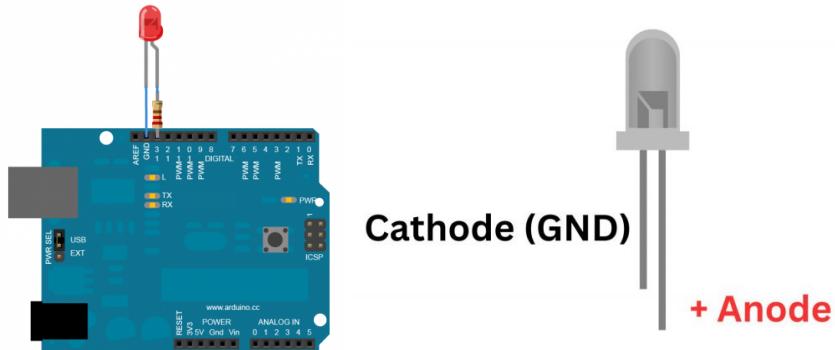
La placa puede ser alimentada a través del Jack o mediante USB. Para aplicaciones donde no existan grandes consumos será suficiente la alimentación por USB.

Como vemos en el diagrama, hay 6 entradas analógicas y 13 entradas/salidas digitales. Algunas de estos pines digitales pueden ser usados como salida PWM, que asemeja un comportamiento analógico. PWM es la sigla en inglés de “modulación por ancho de pulso”. Lo que hace es dar un output de onda cuadrada con una frecuencia fija pero variando la proporción del periodo en que se mantiene un estado alto.



Los otros elementos de hardware utilizados fueron leds, resistencias, el sensor de temperatura Dallas DS18B20 y una pantalla OLED de 128x64 píxeles.

- LEDs



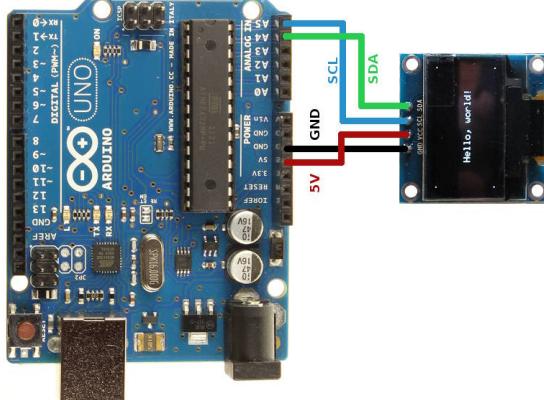
Los leds conectados a la placa deben respetar la polaridad, y deben ser puestos en serie con una resistencia para limitar la corriente que pasa por los mismos.

- Sensor de temperatura Dallas DS18B20



Este es un sensor de temperatura con tecnología OneWire, que sólo necesita 1 pin digital para comunicarse con nuestra placa arduino. Mide desde -55 °C hasta 125°C. Su conexión es relativamente sencilla, ya que se conecta al negativo y a +5v de la placa, y su pin de comunicación va conectado a cualquier pin digital, con una resistencia pull-up.

- Display OLED 128x64



El display utilizado tiene una conexión I2C que utiliza dos pines analógicos para recibir datos de la placa. Se alimenta con 5v.

B. Software:

Para realizar la programación descargamos la IDE de Arduino desde el sitio oficial <https://www.arduino.cc/en/software>, y procedemos a la instalación. Debemos otorgar los permisos correspondientes y tener la placa conectada por USB.

En primer lugar, se definen las variables que utilizará el programa y las “Librerías” que utilizaremos dependiendo del hardware utilizado. Las librerías son fragmentos de código escrito por terceros que nos permiten utilizar dispositivos de hardware mediante comandos más sencillos. Las librerías que utilizamos fueron:

- **Para el display:**

```
#include <Adafruit_GFX.h>  
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

- **Para el sensor Dallas:**

```
#include <OneWire.h>  
#include <DallasTemperature.h>
```

Luego de definidas las variables y librerías, el programa se divide en “setup” y “loop”.

En la parte de setup, se define la frecuencia de comunicación serie, para poder ver datos en tiempo real en el “Serial monitor” de la IDE. También se define el modo en que se utilizarán los pines, declarando si serán utilizados como entradas o como salidas.

En la parte de loop se programan las acciones que se repetirán cíclicamente de manera indefinida, en nuestro caso las lecturas de temperatura, escritura serial y demás funciones de cada programa.

El primer programa toma la lectura del sensor y nos la muestra en el monitor serial, y tiene establecida una temperatura de referencia que es comparada con el valor medido. Al superarse la temperatura de referencia, se usa uno de los pines digitales como salida PWM para prender y apagar un led de manera gradual.

El segundo programa tiene una función similar, pero incorpora el display OLED. En este se muestra la temperatura leída, y dependiendo si es mayor o menor al valor de referencia, mostrará una frase en el renglón siguiente.

Dentro de los mismos programas está aclarado qué función cumple cada parte. Se adjuntan ambos archivos.

Programa 1 (PWM):

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;
float Temperaturaactual= 0;
float Tempref= 26;
int ledpin= 3;
// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {
    // Iniciamos la comunicación serie
    Serial.begin(9600);
    // Iniciamos el bus 1-Wire
    sensorDS18B20.begin();
    pinMode(ledpin, OUTPUT);
}

void loop() {
    // Mandamos comandos para toma de temperatura a los sensores
    //Serial.println("Mandando comandos a los sensores");
    sensorDS18B20.requestTemperatures();
    // Leemos y mostramos los datos de los sensores DS18B20
    //Serial.print("Temperatura sensor 0: ");
    //Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
    //Serial.println(" C");
    Temperaturaactual=sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    Serial.println(Temperaturaactual);
    if(Temperaturaactual>Tempref){
        //digitalWrite (ledpin, HIGH);
        analogWrite(ledpin, 50);
        delay(100);
        analogWrite(ledpin, 100);
        delay(100);
        analogWrite(ledpin, 150);
        delay(100);
        analogWrite(ledpin, 200);
        delay(100);
        analogWrite(ledpin, 250);
        delay(100);
    }
    else
        {digitalWrite (ledpin, LOW);}
    delay(1000);
}
```

Programa 2 (OLED):

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

// Declaration for an SSD1306 display connected to I2C (SDA, SCL pins)
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;
float Temperaturaactual= 0;
float Tempref= 26;
int ledpin= 3;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    sensorDS18B20.begin();
    pinMode(ledpin, OUTPUT);
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Address 0x3D for 128x64
        Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
        for(;;);
    }
    delay(2000);
    display.clearDisplay();

    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0, 10);
    // Display static text
    display.println("Hello, world!");
    display.display();
}

void loop() {
    Temperaturaactual=sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    Serial.println(Temperaturaactual);
    if(Temperaturaactual>Tempref){
        //digitalWrite (ledpin, HIGH);
```

```
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0, 10);
    // Display static text
    display.println("Temperatura ambiente");
    display.println(Temperaturaactual);
    display.println("Celsius");
    display.println("Alerta alta temp");
    display.display();
}
else
{
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0, 10);
    // Display static text
    display.println("Temperatura ambiente");
    display.println(Temperaturaactual);
    display.println("Celsius");
    display.println("Valor normal");
    display.display();
}
}
```

Módulo 3: Smart Grid

En este módulo se realizó la traducción del **capítulo 5** del libro:

“Multi-criteria Decision Making for Smart Grid Design and Operation”

Dicho capítulo aborda la integración de energías renovables en la smart grid, y explica el modelo de toma de decisiones mediante AHP y lógica difusa. A continuación se encuentra la traducción del capítulo (desarrollada en conjunto con Ander Egg Marcos 12477, Artero Francisco 12474 y Gambino Ignacio 12153).

Energías Renovables con SmartGrid

Francisco Artero, Ignacio Gambino, Marcos Ander Egg y Justo Roncoroni

2023-10-06

Energia Renovables con Smartgrid

El grado de aproximación a la red inteligente ideal se utiliza para evaluar las ventajas potenciales que ofrece la integración de fuentes renovables. La eficiencia de la integración se ha abordado en este capítulo utilizando una técnica de proceso de jerarquía analítica difusa que toma en consideración la existencia de varios criterios cualitativos y cuantitativos, una variedad de indicadores de desempeño y la imprevisibilidad del entorno de la red inteligente. La elección del tamaño y la posición de un generador distribuido en el alimentador de distribución radial sirve como ilustración del proceso.

Introducción

La toma de decisiones sobre energías renovables puede verse como un problema de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) con criterios y alternativas relacionados. Debido a la complejidad de variables sociales, técnicas, ambientales y económicas, esta actividad debe tener en cuenta una serie de factores opuestos [1, 2]. La complejidad de los sistemas modernos y esta cuestión son demasiado para que las metodologías convencionales de toma de decisiones de criterio único puedan gestionarlas [3, 4]. En [5, 6] se proporciona un resumen de los modelos y enfoques de vanguardia utilizados para abordar el problema, evaluando y categorizando las tendencias de investigación presentes y proyectadas en esta área.

Se han utilizado cinco categorías principales [5, 7-13] para clasificar las áreas de aplicación de MCDM en energías renovables:

- Planificación y política de energías renovables, que se refiere a la evaluación de un plan energético y la difusión de diversas opciones de energías renovables.
- Evaluación y valoración, que se refiere a la valoración de diversas energías alternativas o tecnologías energéticas.
- Selección de tecnología y proyectos, que incluye elección de ubicación, selección de tecnología y apoyo a la toma de decisiones en proyectos de aprovechamiento de energías renovables; y medioambiental, que se ocupa de las tecnologías alternativas.

La evaluación de las fuentes renovables ha evolucionado como resultado del desarrollo del diseño de redes inteligentes, trayendo consigo nuevas metas y objetivos. Una red energética que tiene la capacidad de integrar de forma inteligente las actividades de cada usuario conectado a ella para ofrecer de forma eficaz un suministro eléctrico seguro, asequible y sostenible se conoce como “red inteligente”. Las tecnologías de comunicación bidireccional y procesamiento informático que se han utilizado durante años en otros sectores son las que permiten estos sistemas. Los principales objetivos de las redes inteligentes, según [14], son mejorar el uso de fuentes de electricidad renovables, asegurar el sistema, promover la eficiencia y conservación de la energía y crear un mercado energético desregulado. Por lo tanto, la estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura implica principalmente competitividad, el uso de diversas fuentes de energía, sostenibilidad, innovación y avance tecnológico [15], mientras que se deben evaluar los beneficios potenciales de la integración de fuentes renovables. por el grado de aproximación a la red inteligente ideal.

Se han establecido tres marcos de evaluación principales en el contexto de la red inteligente. Las cualidades

de las redes inteligentes ideales (servicios) y los resultados de la implementación de la red inteligente ideal han sido presentados por el Grupo de trabajo de la CE sobre redes inteligentes [16, 17].

A través de un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPI), la contribución de las iniciativas a la red inteligente ideal se cuantifica en términos de beneficios. El sistema de red inteligente ideal ha sido separado en áreas temáticas (clústeres) por la Iniciativa Europea de Red Eléctrica [18], y este mapeo de proyectos en grupos está actualmente en marcha. En los Estados Unidos se han establecido los atributos ideales y un conjunto de métricas para medir el progreso hacia redes inteligentes ideales [19]: construir métricas que describan las características que se construyen en apoyo de una red inteligente (por ejemplo, la proporción de subestaciones que utilizan automatización) y métricas de valor o impacto que describen los beneficios potenciales de lograr una red inteligente (por ejemplo, porcentaje de energía consumida para generar electricidad que no se pierde, o cantidad de electricidad entregada a los consumidores en comparación con la electricidad generada expresada como porcentaje).

El estudio propone un algoritmo novedoso para la evaluación de la integración de fuentes de energía renovables en la red inteligente, que utiliza el método del proceso de jerarquía analítica difusa (AHP) para la toma de decisiones multicriterio. Esto se debe a la proliferación de criterios tanto cuantitativos como cualitativos, así como a muchas incertidumbres relacionadas con el entorno de operación de las redes inteligentes. Saaty creó el primer AHP a finales de los años 1970 [20]. Los juicios humanos se representan de esta manera como valores nítidos. Sin embargo, el modelo de preferencia humana es incierto en muchas situaciones del mundo real, lo que dificulta que los responsables de la toma de decisiones proporcionen valores numéricos precisos a las evaluaciones comparativas. En estas situaciones se debe utilizar el enfoque AHP difuso. La técnica difusa AHP tiene como objetivo mejorar el apoyo a las decisiones para prioridades y valores ambiguos. La técnica de este artículo utiliza preferencias de expertos y datos evaluados en un contexto de conjunto difuso [21]. La incorporación de información no cuantificable, información incompleta, información inalcanzable y conocimiento parcialmente desinformado en modelos de decisión es posible gracias a la aplicación de la teoría de conjuntos difusos [22].

Numerosos autores han aplicado el método AHP difuso a una variedad de cuestiones, incluida la gestión de los recursos hídricos [23, 24], la evaluación de sistemas de misiles tácticos navales [25-28], la gestión de residuos peligrosos [29], la priorización de indicadores de medición del capital humano [30], la gestión de activos marítimos [31] y la gestión de la seguridad laboral [32, 33]. Hay varios casos en los que se utiliza AHP difuso en la industria de las energías renovables, con ejemplos que incluyen la asignación de recursos renovables [37, 38], el estudio económico de la eficiencia de las tecnologías renovables [36] y la priorización de tecnologías energéticas [4, 34, 35]. Debido a las numerosas ventajas y criterios ambiguos e intangibles que intervienen en la evaluación de proyectos de redes inteligentes, en esta investigación se emplea la técnica difusa AHP para evaluar y elegir proyectos de redes inteligentes.

Desarrollamos una metodología de evaluación novedosa para evaluar la integración de fuentes renovables en una red inteligente, trabajando a partir de un amplio conjunto de métricas de desempeño de la red inteligente. El enfoque descrito en esta investigación identifica el conjunto ideal de actividades relacionadas con las energías renovables en la segunda etapa basándose en una coincidencia difusa de alternativas. Validamos nuestra técnica en una red de prueba y demostramos que es bastante eficaz para evaluar alternativas cuando existen varios conjuntos de criterios en competencia.

La técnica difusa AHP se presenta después de una breve descripción de métricas de rendimiento importantes para la evaluación de redes inteligentes. El enfoque se demuestra seleccionando una de las cuatro opciones de inserción de generador distribuido para el alimentador de distribución radial de prueba de 33 barras IEEE, cada una con un tamaño, ubicación y tecnología diferentes. A continuación se proporcionan las conclusiones sobre la idoneidad de la técnica sugerida, junto con recomendaciones para futuras investigaciones.

Marcos de evaluación de redes inteligentes

Los objetivos de política estratégica, como la integración fluida de las fuentes de energía renovables, un suministro de energía más confiable y sostenible y la plena participación de los consumidores en el mercado de la electricidad, pueden lograrse con la ayuda de la implementación de una red inteligente. La red eléctrica

puede controlarse con tolerancias considerablemente más estrictas para los servicios públicos gracias a un mejor conocimiento de su estado segundo a segundo, lo que conduce a una mayor confiabilidad y eficiencia.

Dirigir la transición a las redes inteligentes es una tarea difícil y prolongada que requiere lograr un equilibrio entre los objetivos de política energética, los límites ambientales y la viabilidad comercial. En consecuencia, un primer paso para evaluar la “red inteligente ideal” y sus resultados previstos (como la sostenibilidad, la eficiencia y la inclusión de los consumidores), que están directamente relacionados con los objetivos políticos que han desencadenado esta transición, es evaluar en qué medida Los proyectos de energía renovable están avanzando en este objetivo. Para llevar a cabo esta primera estrategia se utiliza la definición de mediciones adecuadas y de desempeño crítico. Una segunda estrategia complementaria implica el uso de una metodología adecuada de análisis de decisiones multicriterio para evaluar la viabilidad financiera de las soluciones e inversiones de energía renovable integradas en la red inteligente. Las siguientes secciones aclararán ambos pasos.

Métricas de evaluación de redes inteligentes

En [17-19, 39] se exponen las características de las mejores redes inteligentes y los criterios utilizados para evaluar los resultados de la implementación de estos proyectos. La red inteligente ideal ha sido descrita en términos de “características” en los Estados Unidos y en términos de “servicios” en la Unión Europea, incluyendo:

- Permitir que la red integre a los usuarios con nuevos requisitos.
- Mejorar la eficiencia del funcionamiento diario de la red.
- Permitir una mejor planificación de futuras inversiones en redes.
- Garantizar la seguridad de la red, el control del sistema y la calidad del suministro.
- Permitir y promover una mayor y más directa participación de los consumidores en su consumo y gestión de energía.

Para cada servicio se han definido una serie de funcionalidades relevantes de redes inteligentes.

Las mediciones de valor/construcción se utilizan en los Estados Unidos para medir el progreso hacia la red ideal, mientras que los beneficios/KPI se emplean en Europa.

El Grupo de Trabajo sobre Redes Inteligentes de la CE ha elaborado una lista de ventajas resultantes de la adopción de una red inteligente [17], que incluye

- Mayor sostenibilidad.
- Conexión y acceso a la red adecuados para todo tipo de usuarios de la red.
- Niveles adecuados de seguridad y calidad del suministro.
- Mayor eficiencia y mejor funcionamiento de la red.
- Capacidad adecuada de las redes de transmisión y distribución para “recolectar” y llevar electricidad a los consumidores.
- Apoyo efectivo a los mercados eléctricos transnacionales mediante el control del flujo de carga para aliviar los flujos en bucle y aumentar las capacidades de interconexión.
- Mayor conocimiento del consumidor y participación en el mercado por parte de nuevas empresas.
- Permitir a los clientes tomar decisiones fundamentadas sobre su energía para alcanzar los objetivos de eficiencia energética de la UE.
- Desarrollo coordinado de la red a través de una planificación compartida de la red europea, regional y local.
- Establecer un mecanismo de mercado para nuevos servicios energéticos para los consumidores, como la eficiencia energética o la consultoría energética.
- Reducir o reducir la presión sobre los crecientes costos de consumo.

Se utiliza una colección de KPI con indicadores cuantitativos y cualitativos para expresar cada beneficio. A modo de ejemplo, el primer beneficio, una mayor sostenibilidad, se mide por la disminución cuantificada de las emisiones de carbono, el efecto ambiental de la infraestructura que sustenta la red eléctrica y la disminución cuantificada de los accidentes y los riesgos resultantes del uso de tecnologías de generación. En [17] hay una lista completa de todos los indicadores. La sostenibilidad, la competitividad y la seguridad del suministro son los objetivos políticos que impulsan el despliegue de la red inteligente y, como resultado, los servicios y beneficios de la red inteligente pueden considerarse métricas útiles para evaluar la contribución de los proyectos al cumplimiento de estas políticas. objetivos.

Un marco bien establecido puede mostrar con precisión cómo un proyecto contribuye a un sistema eléctrico inteligente. En términos de proyectos de energía renovable, se puede crear una lista ajustada de criterios clave, que incluyen:

- Comience con la lista de servicios clave y beneficios asociados para obtener una comprensión completa del estado del desarrollo de las redes inteligentes. Ventajas financieras (FB): opciones de precios al consumidor, menores costos unitarios de producción y costos estabilizados.
- Conservación de energía y beneficios ambientales (ECEB): reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, reducción de la generación de energía a partir de fuentes no económicas mediante la mejora del uso de FER.
- Beneficios de la energía eficiente (EEB): uso óptimo de la energía, reducción de las pérdidas de energía, gestión de la demanda durante los picos y posibilidad de operar el sistema eléctrico con la máxima eficiencia a través de la gestión de la energía.
- Los beneficios para la seguridad y la protección (SSB) incluyen una mejor comprensión de las condiciones riesgosas o peligrosas, una mejor seguridad física y cibernética del sistema y protección de la privacidad.

El segundo conjunto de indicadores de desempeño en el nivel base de evaluación de la eficiencia de la integración de energías renovables se seleccionó de la lista completa de indicadores después de especificar el primer nivel de beneficios. La disminución mensurable de las emisiones de carbono, el desempeño de la calidad del voltaje de las redes eléctricas (como las caídas de voltaje, las desviaciones de voltaje y frecuencia, y la cantidad de pérdidas en las redes de distribución, ya sean pérdidas absolutas o porcentuales), y estos son los indicadores que pueden ser monitoreado. El valor actual neto de la inversión podrá incrementarse mediante la evaluación de nuevas iniciativas. Las ventajas sociales y los efectos ambientales evaluados del proyecto sirven como indicadores cualitativos.

Una de las principales justificaciones para la introducción de enfoques MCDM es la combinación de datos cuantitativos y cualitativos. Otro factor son las deficiencias del análisis costo-beneficio, que se analizarán con más detalle en la siguiente sección.

Modelo de evaluación multicriterio

El mercado debería verificar cómo se implementa la red inteligente. Por lo tanto, evaluar los costos, ventajas y beneficios de diversas soluciones es otro paso crucial en el proceso de evaluación de redes inteligentes. La Comisión Europea ha desarrollado y modificado el enfoque DOE/EPRI para adaptarse al entorno europeo [41, 42], mientras que se ha creado una metodología completa para el análisis costo-beneficio de estos proyectos [40].

Pero cuando se trata de estrategias de desarrollo, cuando los factores intangibles no son sólo secundarios sino que en realidad ocupan un lugar central, la técnica convencional de análisis de costo-beneficio se queda corta [43]. La conversión de todos los impactos en una única medida numérica agregada es el principal inconveniente del análisis costo-beneficio. Por lo tanto, parece que el análisis de criterios múltiples, que emplea más de un criterio y introduce componentes cualitativos al estudio, es mejor para cuantificar intangibles y efectos secundarios que el análisis de costo-beneficio.

Se crea un modelo de criterios múltiples utilizando la lista de indicadores cuantitativos y cualitativos que figuran en las Secciones. 5.2.2.1. y 5.2.2.2, como se indica en la Sección. 5.2.1.

Indicadores Cuantitativos En esta metodología se utiliza un conjunto de cuatro indicadores cuantitativos:

- Reducción cuantificada de emisiones de carbono Esta métrica se calcula para cada alternativa en base a los kilogramos de emisiones de CO₂ por kilovatio·hora de energía eléctrica producida. La disminución de las emisiones producidas por las fuentes de energía tradicionales se considera impacto de las fuentes de energía renovables. La desviación de voltaje total se calcula usando la ecuación. (5.1):

$$V_D = \sqrt{\sum_{k=1}^{NB} (V_k - V_{ref})^2}$$

donde V_k es la magnitud del voltaje en la barra k, V_{ref} es la magnitud del voltaje flojo de la barra y NB es el número total de nodos en la red.

- Las pérdidas de potencia activa se calculan como:

$$P_{loss} = \sum_{j=1}^{NL} i_j^2 R_j$$

donde R_j e i_j son la resistencia y la corriente real de la j-ésima línea, respectivamente, y NL es el número total de líneas.

- El total descontado de todos los flujos de efectivo recibidos del proyecto se utiliza para calcular el valor presente neto (VAN), que se utiliza para evaluar el valor presente de una inversión. El cálculo de la suma descontada de todos los flujos de efectivo se puede reescribir como:

$$NPV = \sum_{j=1}^{NL} C_i (1 + d)^i - C_0$$

donde C_0 es la inversión inicial, C_i es el flujo de caja, d es la tasa de descuento y n es el período de tiempo.

Table 5.1 Description of qualitative indicators

Grade	Environmental impact	Societal benefits
Minor	Negligible land and material requirements for producing necessary power. No substantial environmental impact	Unreasonable to expect any changes in local economy or enhancement in market services
Low	No visual or noise problems caused by the operation of plant. Small land and material requirements	New jobs created with great risk to retainment as a result of new renewable energy source
Moderate	Limited visual or noise problems, with some disruption to habitat. No impact to the wildlife	New market mechanism for new energy services such as energy efficiency or energy consulting for customers
High	Increased emission pollutants, with impact to the wildlife and landscape	Improving market functioning and customer service, new jobs created and retained as a result of new renewable energy source
Very high	Large emission pollutants, land and material requirements, other lifecycle steps contributing significantly to the total environmental impact	More direct involvement of consumers in their energy usage and management, new jobs created and retained as a result of new renewable energy source

Figure 1: tabla 1

Indicadores cuantitativos El beneficio social (SB) de una inversión en infraestructura propuesta y el efecto ambiental (EI) de la infraestructura de la red energética son métricas no exactas que se evalúan mediante comparación ordinal. En esta estrategia, utilizamos la escala verbal de cinco grados para evaluar estos indicadores, que pueden estar compuestos por resultados de encuestas de opinión, opiniones profesionales u otras estrategias integradas. La tabla 5.1 proporciona una explicación de la escala.

Todos los indicadores (cuantitativos y cuantitativos) tienen efectos variables sobre los cuatro criterios básicos, dependiendo de quién toma las decisiones. Por ejemplo, un perfil de voltaje estable y una menor variación de

voltaje en la red permitirían el uso de servicios y tecnología de vanguardia al tiempo que reducirían los gastos asociados con la mala calidad de la energía y aumentarían la satisfacción del cliente. La Figura 5.1 ilustra la jerarquía de niveles y relaciones entre criterio, subcriterio y alternativas.

Método de evaluación de redes inteligentes

La evaluación de la integración de fuentes renovables en la red inteligente se realiza en esta investigación utilizando el enfoque difuso AHP. Los conjuntos difusos, los números difusos y la aritmética difusa proporcionan la base de las matemáticas del método AHP difuso.

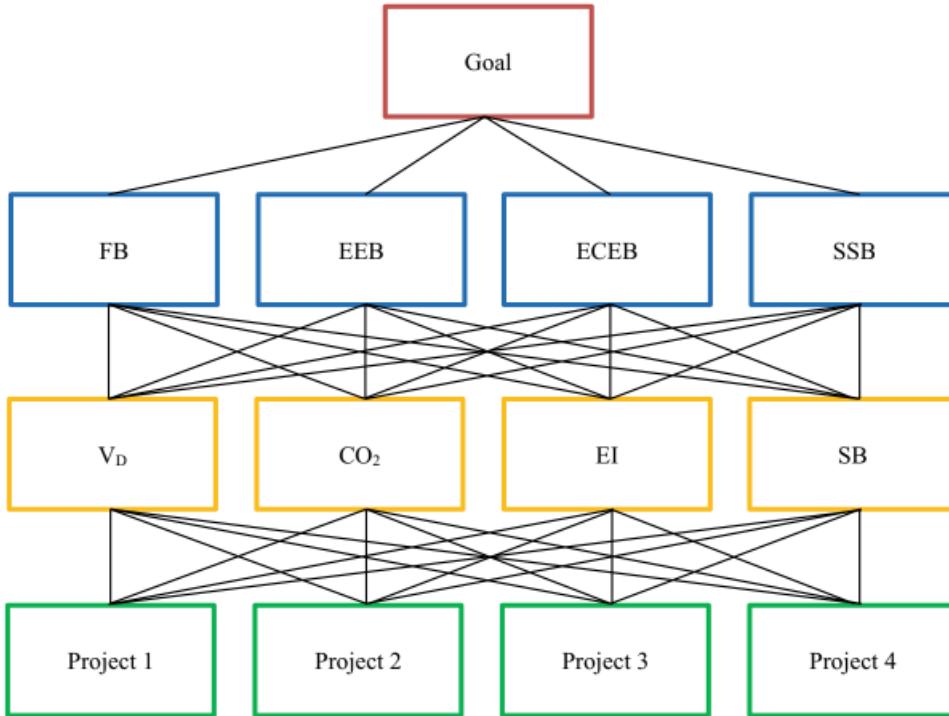


Figure 2: figura 1

Conjuntos difusos, números difusos triangulares y aritmética difusa

Zadeh define un conjunto difuso A por grado de membresía $\mu_A(x)$ sobre un universo de discurso X como [44]:
 $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$

Un número difuso es un conjunto difuso convexo y normalizado $A = \{(x, \mu_A(x)), x \in R\}$.

Un número difuso triangular se puede denotar como $M = (a, b, c)$, y la función de membresía es:

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} \frac{-a}{b} & \text{si } x \in [a, b] \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } x \in [b, c] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde $a \leq b \leq c$, ay representan los valores inferior y superior del apoyo de M superior, respectivamente, y b es el valor modal. C $b = c$, es un número nítido.

La aritmética difusa se basa en el principio de extensión de Zadeh. Si $f : X \rightarrow Y$ es una función y A es un conjunto difuso en X, entonces $f(A)$ está definida como:

$$\mu_{f(A)y} = \sup_{x \in X} \mu_{f(A)y}$$

donde yY

Leyes básicas del número difuso triangular $M = (a, b, c), a > 0$, son:

$$M^{-1} = (a, b, c)^{-1} = \left(\frac{1}{c}, \frac{1}{b}, \frac{1}{a}\right)$$

$$M^n = (a, b, c)^n = (a^n, b^n, c^n), nN$$

$$M^{\frac{1}{n}} = (a, b, c)^{\frac{1}{n}} =$$

Las principales leyes de las operaciones con dos números difusos triangulares $M_1(a_1, b_1, c_1)$ y $M_2(a_1, b_1, c_1)$ son:

- Suma de números difusos:

$$M_1 \oplus M_2 = (a_1, b_1, c_1) \oplus (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$$

- Resta de números difusos:

$$M_1 M_2 = (a_1, b_1, c_1)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$$

- Multiplicación de números difusos:

$$M_1 M_2 = (a_1, b_1, c_1)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2), a_1, a_2 > 0$$

- División de números difusos:

$$M_1 M_2 = (a_1, b_1, c_1)(a_2, b_2, c_2) = \left(\frac{a_1}{c_2}, \frac{b_1}{b_2}, \frac{c_1}{a_2}\right), a_1, a_2 > 0$$

Método AHP difuso

Los siguientes pasos están involucrados en el método AHP difuso:

Paso 1: Identificar y establecer claramente el objetivo general (objetivo).

Paso 2: Identificar los criterios, subcriterios y alternativas.

Paso 3. La formación de la estructura jerárquica.

Paso 4: Comparación por pares utilizando la escala de evaluación difusa de Saaty.

Paso 5: Evaluación del método de media geométrica de filas (RGMM) de los vectores de ponderación de prioridad.

Paso 6: El índice de consistencia geométrica (GCI) se utiliza para determinar si las evaluaciones son consistentes.

Paso 7: Se clasifican las alternativas y se define la defusificación. Las siguientes fases están incluidas en el proceso de siete pasos del algoritmo difuso AHP para evaluar fuentes de energía renovables:

- Estableciendo una meta. El objetivo es evaluar la eficacia con la que las plantas de energía renovable se integran en el entorno de las redes inteligentes.

- Determinación de los criterios, subcriterios y alternativas. Las ventajas financieras, los beneficios del uso eficiente de la energía, los beneficios de la conservación de la energía y el medio ambiente, y los beneficios de la seguridad son todos criterios de selección para las iniciativas de redes inteligentes. Los KPI son subcriterios, como se describe en las Secciones. 5.2.2.1. y 5.2.2.2. Como alternativas, se enumeran otros proyectos que integran energías renovables.

- La creación de estructuras jerárquicas. La técnica AHP difusa plantea un problema en forma de estructura jerárquica, con el objetivo en la parte superior, los criterios relevantes en el segundo nivel (cuatro criterios identificados), los subcriterios relevantes en el tercer nivel (cuatro KPI identificados) y las opciones renovables en el segundo nivel. el cuarto nivel (cuatro alternativas).

- Comparación por pares. Utilizando la escala difusa de Saaty, se comparan pares de ítems en cada nivel de acuerdo con su contribución relativa a los componentes en el nivel jerárquico anterior, como se ilustra en la Tabla 5.2. Se utilizan números difusos triangulares para implementar la fusificación en este estudio y [27] recomienda utilizar un valor de distancia difusa de 2 para obtener resultados más confiables.

Las comparaciones por pares en cada nivel, comenzando desde la parte superior de la jerarquía, se presentan en forma de matriz cuadrada $A = [a_{ij}]_{i,j=1,n}$ donde a_{ij} es el valor difuso sobre la importancia relativa de los criterios/subcriterios/alternativa i sobre los criterios/subcriterios/alternativa j, $a_{ij} = 1$ para $i=j$ y $a_{ij} * a_{ij} = 1$ para $i = j$

- Evaluación de vectores ponderados prioritarios. El RGMM se utiliza para evaluar los vectores de ponderación de prioridad en cada nivel. La selección del vector de ponderación de criterios inicia el proceso de clasificación:

Table 5.2 Crisp and fuzzified Saaty scale for pairwise comparisons [27]

Crisp values (x)	Judgment description	Fuzzy values
1	Equal importance	(1, 1, 1 + δ)
3	Weak dominance	(3 - δ, 3, 3 + δ)
5	Strong dominance	(5 - δ, 5, 5 + δ)
7	Demonstrated dominance	(7 - δ, 7, 7 + δ)
9	Absolute dominance	(9 - δ, 9, 9)
2, 4, 6, 8	Intermediate values	(x - 1, x, x + 1)

Figure 3: figura 2

$$W_c = (w_{c1}, w_{c2}, w_{c3}, w_{c4})^T,$$

donde w_{ci} es el peso difuso del i -ésimo criterio:

$$w_{ci} = \frac{(\prod_{j=1}^4 a_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 a_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1, 4}$$

Mediante la comparación por pares de indicadores de desempeño para cada criterio, se crean vectores de ponderación de subcriterios. Los componentes apropiados de estos vectores se determinan de la siguiente manera:

$$w_{sci}^p = \frac{(\prod_{j=1}^4 a_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 a_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1, 4}, p = \overline{1, 4}$$

donde w_{sci}^p representa el peso difuso del i -ésimo indicador de desempeño con respecto al p -ésimo criterio. El vector de ponderación de subcriterios final se obtiene multiplicando la matriz de ponderaciones de subcriterios según todos los criterios (W_1) y la matriz de ponderaciones de criterios (W_c): $W_a = W_2 \otimes W_{sc} = (w_{a1}, w_{a2}, w_{a3}, w_{a4})^T$

- Control de consistencia.

Al comparar criterios, subcriterios o alternativas, la coherencia se refiere a la capacidad del procedimiento de decisión para proporcionar conclusiones que tengan sentido. Cuando se emplea el RGMM como procedimiento de priorización, el GCI se utiliza para el control de coherencia [21, 45, 46]. Para una matriz de juicio $n \times n$, el GCI se calcula de la siguiente manera:

$$GCI = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{ij} \log^2 e_{ij},$$

donde $e_{ij} = a_{ij}w_j/w_i$ es el error obtenido cuando la relación w_i/w_j se approxima mediante a_{ij} , $i, j = 1, n$ (a_{ij}, w_i, w_j son valores de defusificación, es decir, valores nítidos). Para esta medida, los umbrales asociados con el nivel de inconsistencia del 10% sugerido por Saaty son GCI = 0,31 para $n = 3$, GCI = 0,35 para $n = 4$, GCI = 0,37 para $n > 4$ [47,48].

- Defusificación y clasificación alternativa al final.

En este estudio, se utiliza el enfoque del valor medio para clasificar números difusos triangulares. Para el número difuso triangular dado $M = (a, b, c)$, el método del valor medio para la desdiferenciación es un valor numérico nítido definido de la siguiente manera:

$$m = \frac{a+b+c}{3},$$

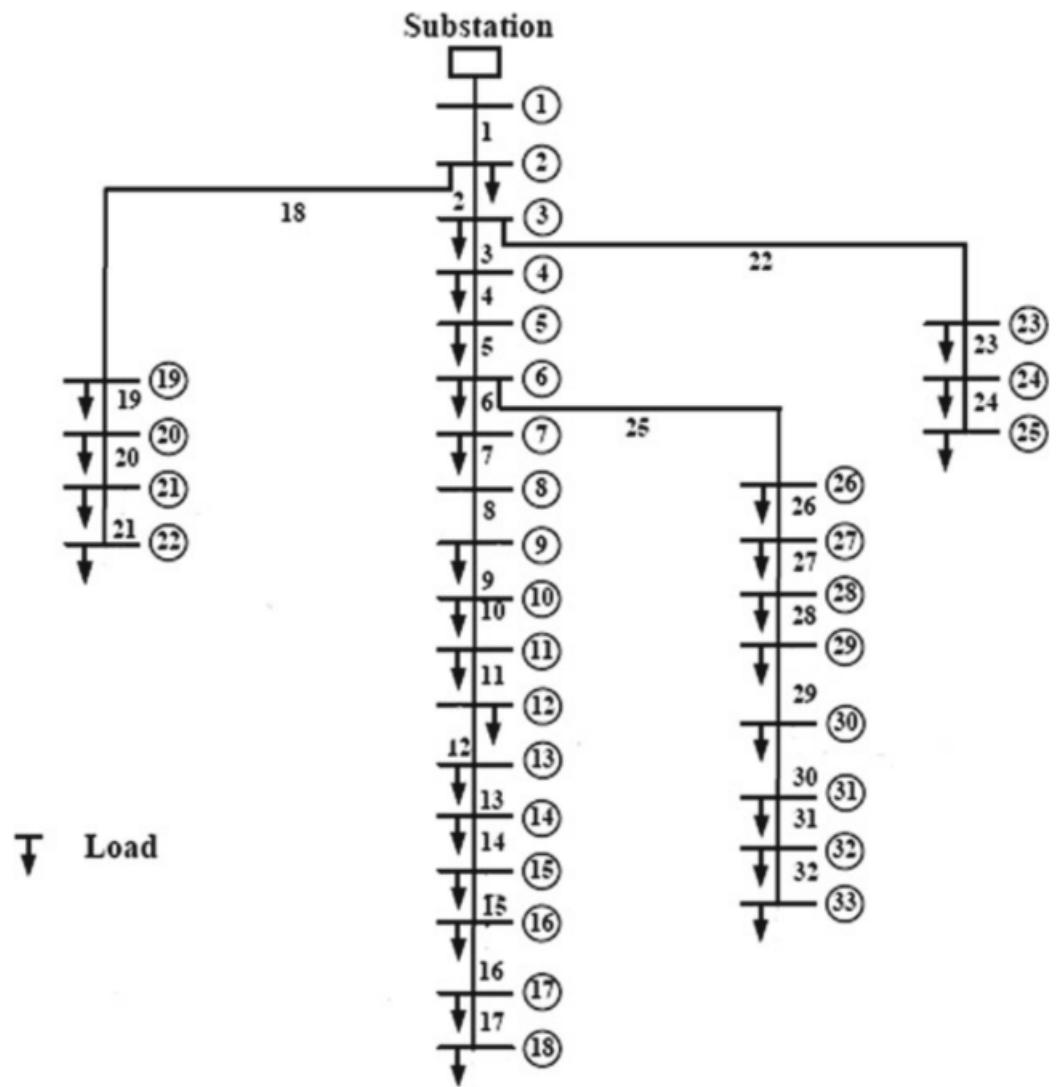
El rango más alto tiene la alternativa con el valor más alto de m.

Resultados y discusión

La tecnología elegida, el tamaño y la ubicación de un generador renovable distribuido sirven como ejemplos de la técnica sugerida. En el alimentador de prueba radial IEEE de 33 barras (Fig. 5.2), se evalúan cuatro posibles soluciones utilizando la potencia activa nominal (Pnom), el nodo al que está conectado el generador (Bus N°), el tipo de fuente renovable (RS) y la producción de energía anual prevista del generador (W), como se muestra en la Tabla 5.3.

Valores tanto para indicadores cualitativos como cuantitativos, tal y como se explica en los Apartados 5.2.2.1. y 5.2.2.2, se representan en la Tabla 5.4.

Los expertos primero realizan una comparación por pares de los siguientes criterios: beneficios financieros (C_1), beneficios energéticos eficientes (C_2), conservación de energía y beneficios ambientales (C_3) y beneficios de seguridad (C_4). Los resultados de la comparación, pesos difusos, pesos crujientes y rangos de criterios se muestran



en la Tabla 5.5. **Fig. 5.2** IEEE 33-bus radial distribution test feeder

Table 5.3 Scenarios for projects

Project	P_{nom}	Bus N°	RS	W (GWh)
Project 1	1.8 MW	6	Wind	5.2
Project 2	1 MW	10	Biomass	7.0
Project 3	2 MW	17	Hydro	4.0
Project 4	1 MW	17	Biomass	5.00

Table 5.4 Quantitative and qualitative values of indicators for projects

Project	NPV (M€)	V_D (%)	P_{loss} (kW)	Reduction of CO ₂ (t/year)	Environmental impact	Societal benefits
Project 1	4.2	29.65	156.4	5148	Moderate	High
Project 2	5.1	30.5	176.8	6930	Moderate	Moderate
Project 3	2.7	22.0	265.3	3960	Low	Very high
Project 4	3.8	26.3	190	4950	Very low	Moderate

Table 5.5 The pairwise comparison, fuzzy weights, crisp weights, and ranks of criteria

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	Fuzzy weights	$\lambda = 0.5$		$\lambda = 0.5$	
						FWs	Rank	FWs	Rank
C ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0458, 0.1041, 0.2674)	0.1110	3	0.1142	3
C ₂	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	(0.0282, 0.0529, 0.1359)	0.0575	4	0.0580	4
C ₃	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	(0.2654, 0.5897, 1.1996)	0.5630	1	0.5500	1
C ₄	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.1044, 0.2533, 0.6504)	0.2685	2	0.2778	2

GCI = 0.2048

Luego, los expertos comparan los siguientes indicadores clave de desempeño en relación con cada criterio: desviación de voltaje (SC_1), reducción de emisiones (SC_2), impacto ambiental (SC_3) y beneficios sociales (SC_4). Los resultados se presentan en las Tablas 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9.

Los pesos difusos finales de los KPI, según la ecuación. (5.18) y los Cuadros 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9, son:

Table 5.6 The pairwise comparison matrix of subcriteria in relation to the FB

	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	Fuzzy weights
SC ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0286, 0.0550, 0.1453)
SC ₂	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	(0.2374, 0.5638, 1.2048)
SC ₃	$\tilde{5}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	(0.1062, 0.2634, 0.6956)
SC ₄	$\tilde{3}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0496, 0.1178, 0.3249)
GCI = 0.1773					

Table 5.7 The pairwise comparison matrix of subcriteria in relation to EEB

	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	Fuzzy weights
SC ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	(0.2509, 0.5806, 1.1960)
SC ₂	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0303, 0.0567, 0.1442)
SC ₃	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	(0.1032, 0.1814, 0.4618)
SC ₄	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0648, 0.1814, 0.4245)
GCI = 0.2091					

Table 5.8 The pairwise comparison matrix of subcriteria in relation to ECEB

	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	Fuzzy weights
SC ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	(0.2374, 0.5638, 1.2048)
SC ₂	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	(0.1062, 0.2634, 0.6956)
SC ₃	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0286, 0.0550, 0.1453)
SC ₄	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	(0.0496, 0.1178, 0.3249)

GCI = 0.1773

Table 5.9 The pairwise comparison matrix of subcriteria in relation to SSB

	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	Fuzzy weights
SC ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$	(0.0290, 0.0456, 0.1008)
SC ₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$	(0.0471, 0.0955, 0.2158)
SC ₃	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	(0.0987, 0.2045, 0.3989)
SC ₄	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	(0.3906, 0.6545, 1.0531)

GCI = 0.2523

$$W_{sc} = \begin{bmatrix} (0.0744, 0.3805, 1.7122) \\ (0.0448, 0.2412, 1.3166) \\ (0.0580, 0.2571, 1.2193) \end{bmatrix}$$

Al final, se comparan cuatro proyectos de redes inteligentes (Proyecto 1 [A_1], Proyecto 2 [A_2], Proyecto 3 [A_3] y Proyecto 4 [A_4]) en relación con los KPI presentados en las Tablas 5.3 y 5.4 tal como se presentan en Tabla 5.10.

Los pesos difusos finales para proyectos de redes inteligentes, según la Ec. (5.19) y los resultados de la comparación por pares de alternativas en relación con todos los KPI calculados a partir de los valores dados en la Tabla 5.10, son:

Table 5.10 The pairwise comparison of alternatives in relation to KPIs

SC		A_1	A_2	A_3	A_4	Fuzzy weights
SC_1	A_1	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0350,0.0776,0.2745)
	A_2	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0851,0.2010,0.7110)
	A_3	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	(0.1674,0.5205,1.3140)
	A_4	$\tilde{3}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0646,0.2010,0.5402)
SC_2	A_1	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	(0.1467,0.3126,0.9675)
	A_2	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	(0.1115,0.2376,0.6470)
	A_3	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0498,0.1372,0.3736)
	A_4	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	(0.0847,0.3126,0.5586)
SC_3	A_1	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	(0.1674,0.5205,1.3140)
	A_2	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	(0.0851,0.2010,0.7110)
	A_3	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	(0.0350,0.0776,0.2745)
	A_4	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	(0.0646,0.2010,0.5402)
SC_4	A_1	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0905,0.1667,0.6758)
	A_2	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0687,0.1667,0.5135)
	A_3	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	(0.1353,0.5000,1.3046)
	A_4	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	(0.0522,0.1667,0.3902)

Table 5.11 Ranking of project performance and smart grid projects

Project performance	$\lambda = 0.5$		$\lambda = 1.0$	
	FWs	Rank	FWs	Rank
Voltage deviation (SC_1)	0.3571	1	0.3529	1
Emission reduction (SC_2)	0.2585	2	0.2627	2
Environmental impact (SC_3)	0.1333	4	0.1355	4
Societal benefits (SC_4)	0.2511	3	0.2489	3
Smart grid projects	$\lambda = 0.5$		$\lambda = 1.0$	
	FWs	Rank	FWs	Rank
Project 1 (A_1)	0.2481	2	0.2505	2
Project 2 (A_2)	0.2287	3	0.2305	3
Project 3 (A_3)	0.3355	1	0.3333	1
Project 4 (A_3)	0.1878	4	0.1857	4

\$W_{\{a\}}=

$$\begin{bmatrix} (0.0187, 0.2109, 3, 4646) \\ (0.0175, 0.2412, 3.3166) \\ (0.0234, 0.2571, 4.5193) \\ (0.0133, 0.2157, 2.5048) \end{bmatrix}$$

\$

Los proyectos de rendimiento y de redes inteligentes se clasifican tras la desdiferenciación de los vectores de ponderaciones finales de rendimiento y proyectos. La Tabla 5.11 muestra las clasificaciones (los FW son ponderaciones finales).

Con base en los resultados anteriores podemos concluir lo siguiente:

- La conservación de energía y los beneficios ambientales ocupan el primer lugar entre los criterios de selección para un proyecto basado en la efectividad de la integración de plantas de energía renovable en el contexto de una red inteligente, seguidos por los beneficios de seguridad, los beneficios financieros y los beneficios del uso eficiente de la energía.
- El principal indicador de desempeño para las ventajas financieras es la reducción de emisiones, seguido de los beneficios del uso eficiente de la energía, la conservación de la energía y el medio ambiente, la variación de voltaje y los beneficios sociales para la seguridad.
- Estas son las clasificaciones finales de los KPI, teniendo en cuenta todos los factores: (1) desviación de voltaje; (2) reducción de emisiones; (3) beneficios sociales; y (4) efecto ambiental.
- Según la clasificación final de los proyectos, el Proyecto 3 ocupa el puesto más alto, seguido de los Proyectos 1, 2 y 4, teniendo el Proyecto 4 la prioridad más baja.

Esto indica que se debe elegir el Proyecto 3 para el despliegue de la red inteligente.

Conclusión

El nuevo método para evaluar la efectividad de los proyectos de energía renovable es determinar cuánto avanzan la “red inteligente ideal” y sus resultados anticipados (por ejemplo, sostenibilidad, eficiencia e inclusión del consumidor).

En este capítulo se emplea el enfoque AHP difuso para brindar apoyo a las decisiones sobre valores y prioridades inciertos. Se ha ideado una nueva metodología de evaluación de la integración de fuentes renovables en la red inteligente, partiendo de un amplio conjunto de indicadores de rendimiento de la red inteligente. El enfoque descrito en esta investigación estima la distribución ideal de los recursos de energía renovable basándose en una coincidencia difusa de alternativas.

La técnica sugerida se demuestra seleccionando el mejor tamaño, ubicación y tecnología para la integración anticipada de recursos renovables en la red de distribución actual. Demostramos el excelente desempeño del método en la evaluación de alternativas frente a diversos criterios utilizando cuatro criterios principales y seis subcriterios generados a partir del conjunto seleccionado de ventajas de la red inteligente. Esta técnica permite a los tomadores de decisiones incluir información incompleta, poco confiable, no cuantificable y parcialmente desinformada en el modelo de decisión.

Agradecimientos Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Desarrollo Tecnológico de Serbia a través del Instituto de Matemáticas de la Academia de Ciencias y Artes de Serbia.

Módulo 5: Infraestructura Crítica y ODS 2030

En este módulo se redactó un paper científico relacionado a la infraestructura de la energía, abordando específicamente el hidrógeno verde como tecnología. En el mismo se evalúan los desafíos que el mismo tiene por delante para cobrar preponderancia como infraestructura crítica dentro del sector energético. (desarrollado en conjunto con Ander Egg Marcos 12477, Artero Francisco 12474 y Gambino Ignacio 12153).



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD
DE INGENIERÍA

Técnicas y herramientas modernas II

H2 Verde:

**Despegue, Desafíos y Oportunidades
en la Infraestructura Energética Mundial**

Ander Egg, Marcos 12477
Artero, Francisco 12474
Gambino, Ignacio 12153
Roncoroni, Justo 12656



ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Introducción	1
3. Aspectos técnicos	2
3.1. Producción de H2	2
3.1.1. Estadísticas de producción de H2	5
3.2. Almacenamiento, transporte y distribución	6
3.3. Aplicación del h2 en el transporte	9
3.3.1. Tecnología de celdas de hidrógeno	10
3.3.2. Combustión interna	11
3.3.3. Autonomía y almacenamiento	12
3.3.4. Infraestructura actual del H2 para el transporte	13
3.4. Desafíos técnicos	14
4. Aspecto económico	14
4.1. Oportunidades Económicas:	14
4.2. Desafíos Económicos:	15
4.3. Perspectivas Futuras:	16
5. Desafíos Sociales:	16
6. Desafíos Políticos:	16
7. Caso particular H2 verde en Argentina	18
7.1. Proyecto Hidrógeno Verde Fortescue	18
7.2. Foro Global de Hidrógeno Verde 2023	19
8. Conclusiones	20
9. Bibliografía	21



1. Resumen

La transición hacia fuentes de energía sostenibles ha posicionado al hidrógeno verde como una prometedora estructura crítica en el panorama energético global. Este paper se sumerge en la visión desde el ámbito de la ingeniería industrial, explorando los desafíos inherentes que han obstaculizado su progresión como nueva fuente de energía. A pesar de su potencial para revolucionar la matriz energética, el camino del hidrógeno verde hacia la adopción generalizada se ve obstaculizado por una serie de dificultades técnicas, económicas y sociales. La aceptación social y las políticas gubernamentales desempeñan un papel crucial en la transición hacia el hidrógeno verde. Examinaremos la necesidad de políticas que fomenten la adopción del hidrógeno verde, considerando también los posibles impactos en la fuerza laboral y en las comunidades afectadas por la transición.

Al entender y abordar estos desafíos, los profesionales de la ingeniería industrial pueden desempeñar un papel clave en el avance y la implementación exitosa de esta estructura crítica hacia un futuro energético sostenible.

2. Introducción

En el contexto del cambio climático y la necesidad apremiante de transiciones hacia fuentes de energía más sostenibles, el Acuerdo de París, adoptado en 2015 por las Naciones Unidas, marcó un hito crucial en la lucha global contra el calentamiento global. Este pacto histórico comprometió a las naciones a trabajar juntas para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 grados Celsius, con esfuerzos adicionales para limitarlo a 1.5 grados. Sin embargo, la realización de estos objetivos ambiciosos no solo requiere una acción colectiva sino también un enfoque integral hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), delineados en la Agenda 2030.

Dentro de este marco, el ODS 9 destaca la importancia de construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y fomentar la innovación. En particular, se hace hincapié en el papel crucial de las infraestructuras para el desarrollo económico y social sostenible. Sin embargo, para lograr una infraestructura verdaderamente sostenible, es imperativo reconsiderar la matriz energética actual y explorar alternativas que no solo impulsen el desarrollo, sino que también minimicen el impacto ambiental.

En este contexto, la infraestructura energética emerge como un elemento central de discusión. La dependencia histórica de los combustibles fósiles ha exacerbado los desafíos medioambientales, destacando la urgencia de transitar hacia fuentes de energía renovable. En esta encrucijada, el hidrógeno verde surge como una



solución prometedora y versátil. Este gas, producido a través de la electrólisis del agua utilizando energía renovable, no solo ofrece una forma eficiente de almacenar energía, sino que también puede integrarse en diversas aplicaciones, desde el transporte hasta la industria.

A medida que exploramos el potencial del hidrógeno verde, este documento examina su viabilidad como catalizador para el cumplimiento del ODS 9, impulsando infraestructuras más sostenibles y resilientes. Exploraremos cómo la adopción del hidrógeno verde no solo contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que también abre nuevas posibilidades para un desarrollo económico inclusivo y un futuro energético más limpio y eficiente. Sin embargo, a pesar de su potencial revolucionario, la implementación a gran escala ha enfrentado resistencias y desafíos que requieren una cuidadosa consideración.

3. Aspectos técnicos

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, nos adentraremos en los desafíos técnicos que impiden la plena integración del hidrógeno verde en los sistemas energéticos existentes. Problemas relacionados con la producción eficiente, almacenamiento seguro y distribución efectiva son aspectos cruciales que deben abordarse para garantizar la viabilidad a largo plazo del hidrógeno verde. Comenzaremos por abordar los métodos de producción de hidrógeno, y veremos los porcentajes de generación actual. Luego veremos los problemas asociados a su transporte y almacenamiento, y finalmente veremos los desafíos que tiene en cuanto a su principal aplicación, como combustible para el transporte, reemplazando a los vehículos eléctricos y a los hidrocarburos.

3.1. Producción de H₂

Los diversos métodos de producción de hidrógeno se clasifican por colores. Los principales colores se resumen en el gráfico que se presenta a continuación.

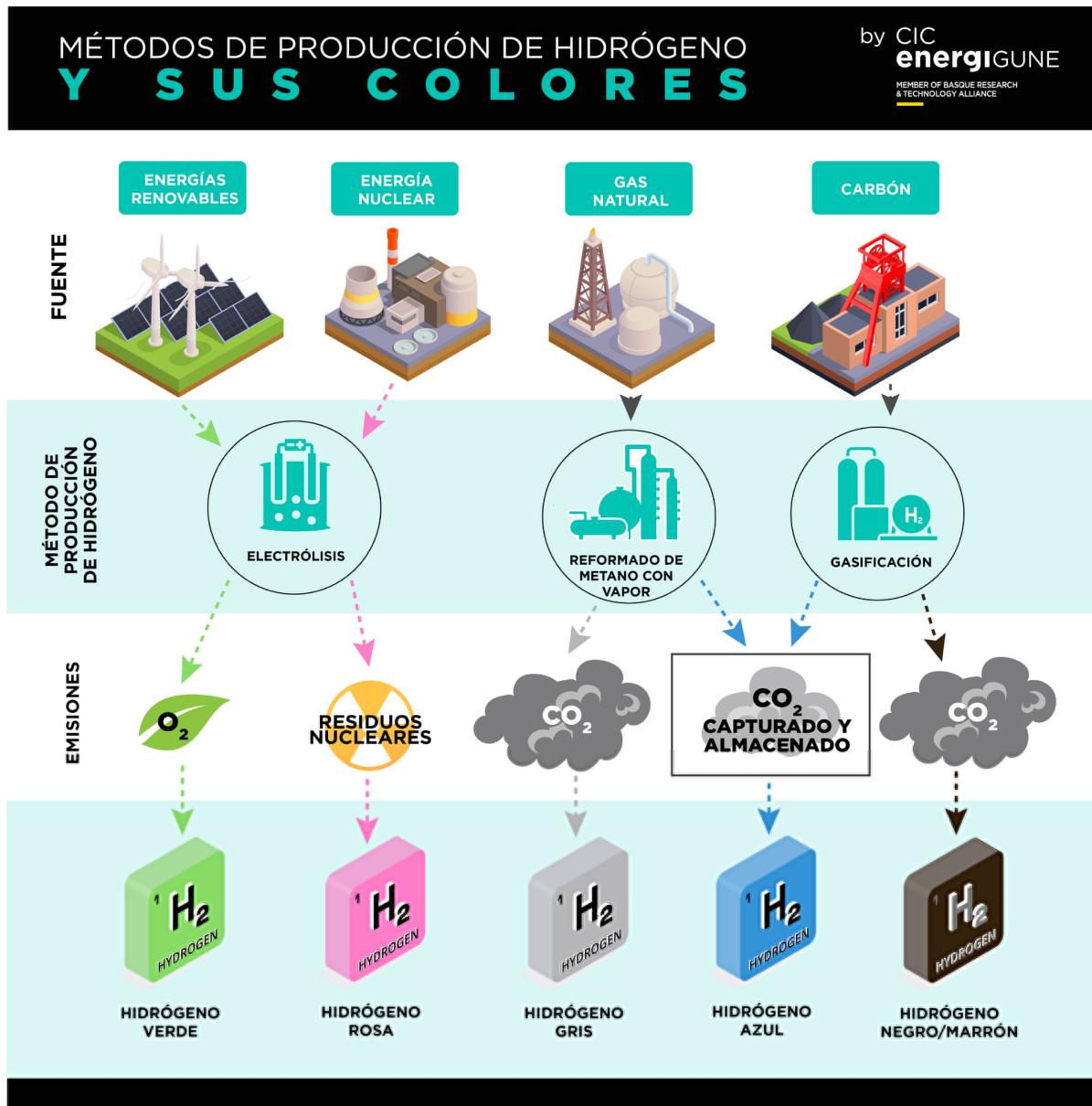


Figura 1. Colores del hidrógeno. Extraido de la web del Centro de Investigación para Almacenamiento de Energía Electroquímica y Térmica (iniciativa estratégica del Gobierno Vasco). <https://cicenergigune.com/>

a. Gris: La mayor parte de la producción mundial de hidrógeno se basa en el reformado de metano con vapor, proceso en el que se utiliza vapor a alta temperatura (700 °C–1000 °C) para producir hidrógeno a partir de una fuente de metano, como el gas natural. El metano reacciona con el vapor a una presión de 3–25 bar (1 bar = 14,5 psi) en presencia de un catalizador para producir hidrógeno, monóxido de carbono y una cantidad relativamente pequeña de dióxido de carbono. El reformado con vapor es endotérmico, es decir, se debe suministrar calor al proceso para que se produzca la reacción.

Posteriormente, en lo que se llama la "reacción de cambio de agua-gas", el monóxido de carbono y el vapor reaccionan usando un catalizador para producir dióxido de carbono y más hidrógeno. En un paso final del proceso llamado



"adsorción por oscilación de presión", el dióxido de carbono y otras impurezas se eliminan de la corriente de gas, dejando esencialmente hidrógeno puro. El reformado con vapor también se puede utilizar para producir hidrógeno a partir de otros combustibles, como etanol, propano o incluso gasolina.

Reacción de reformado de metano con vapor:



Reacción de desplazamiento agua-gas:



Las tecnologías utilizadas no capturan las emisiones de carbono generadas durante el proceso, sino que se liberan a la atmósfera.

b. Azul: El hidrógeno azul también se extrae mediante el proceso de reformado con vapor, pero se diferencia del gris en que las emisiones de carbono liberadas se capturan y almacenan, lo que reduce las emisiones a la atmósfera, pero no las elimina. El hidrógeno azul a veces se denomina "hidrógeno bajo en carbono", ya que el proceso de producción no evita la creación de gases de efecto invernadero, simplemente los almacena.

c. Verde: El hidrógeno verde no genera emisiones en todo su ciclo de vida ya que utiliza energías renovables en el proceso de producción, lo que lo convierte en una verdadera fuente de energía limpia. Se fabrica electrolizando agua utilizando electricidad limpia creada a partir de energía renovable excedente de la energía eólica y solar. El proceso provoca una reacción que divide el agua en sus componentes de hidrógeno y oxígeno (el H y el O en H₂O). Esto da como resultado que no se liberen emisiones de carbono en el proceso. Es una excelente alternativa al gris y azul, pero por ahora el principal desafío es reducir los costos de producción del hidrógeno verde para convertirlo en una alternativa renovable y respetuosa con el medio ambiente verdaderamente obtenible.

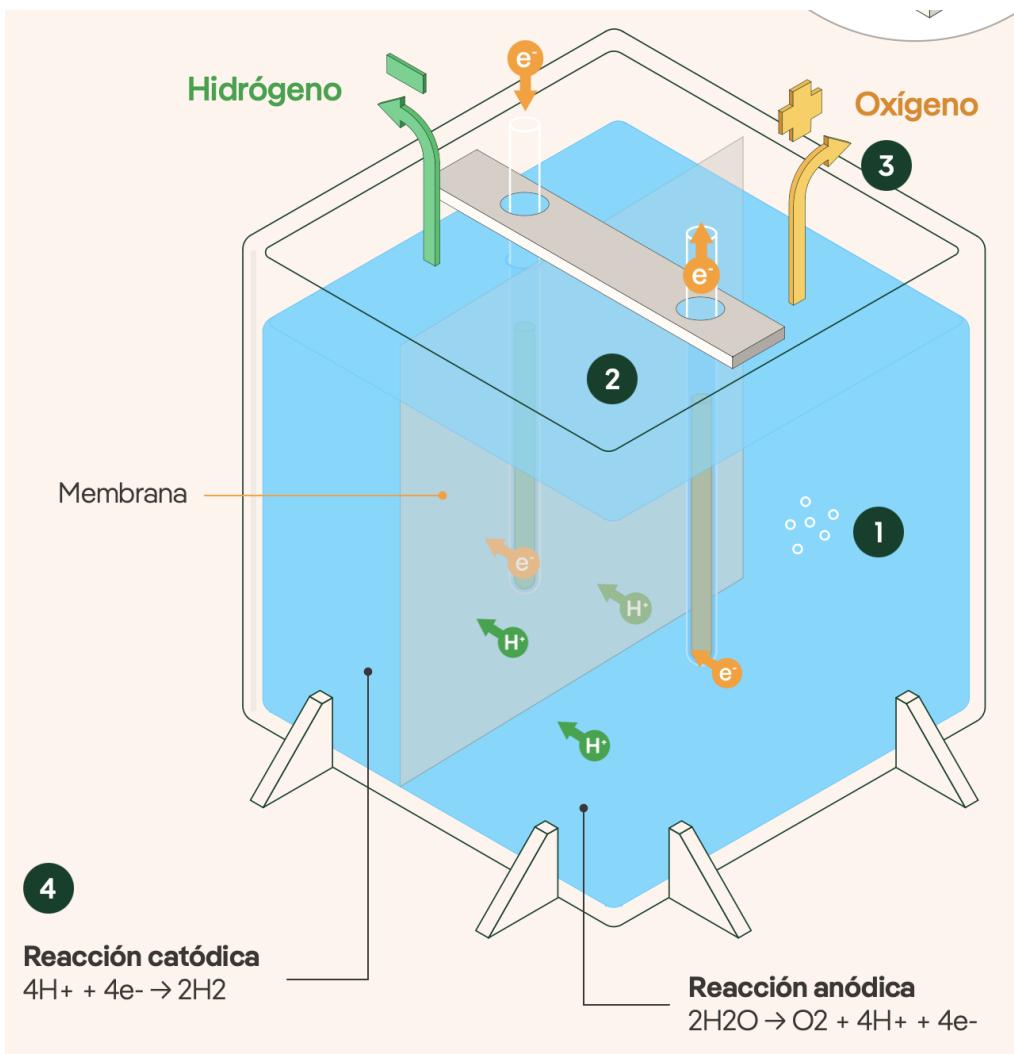


Figura 2. Reacción electrolysis. Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. y Wood Mackenzie

d. Negro / marrón: El hidrógeno negro y marrón se crea utilizando cualquier tipo de carbón en el proceso de extracción. Este proceso, llamado gasificación, es el proceso en el extremo opuesto del espectro de la electrólisis del hidrógeno verde. Es un proceso establecido utilizado en muchas industrias que convierten materiales ricos en carbono en hidrógeno y dióxido de carbono. Las emisiones luego se liberan al aire, causando contaminación y convirtiéndose en el hidrógeno más dañino para el medio ambiente.

e. Rosa: El hidrógeno rosa se extrae mediante electrólisis alimentada por energía nuclear. Es posible que escuche que el hidrógeno rosa también se conoce como hidrógeno púrpura o rojo.

3.1.1. Estadísticas de producción de H₂

Actualmente, el 99 % de la producción de hidrógeno de EE. UU. proviene de combustibles fósiles, con un 95 % de reformado gas natural y un 4 % por



gasificación del carbón. Solo el 1 % del hidrógeno de EE. UU. se produce a partir de la electrólisis. Anualmente, Estados Unidos produce más de 10 millones de toneladas métricas (MMT) de hidrógeno, y aproximadamente el 60 % se produce en instalaciones de producción de hidrógeno "dedicadas" como su producto principal.

La producción mundial de hidrógeno es de aproximadamente 70 MMT, con un 76 % producido a partir de gas natural , un 22 % mediante gasificación de carbón (principalmente en China) y un 2 % mediante electrólisis.

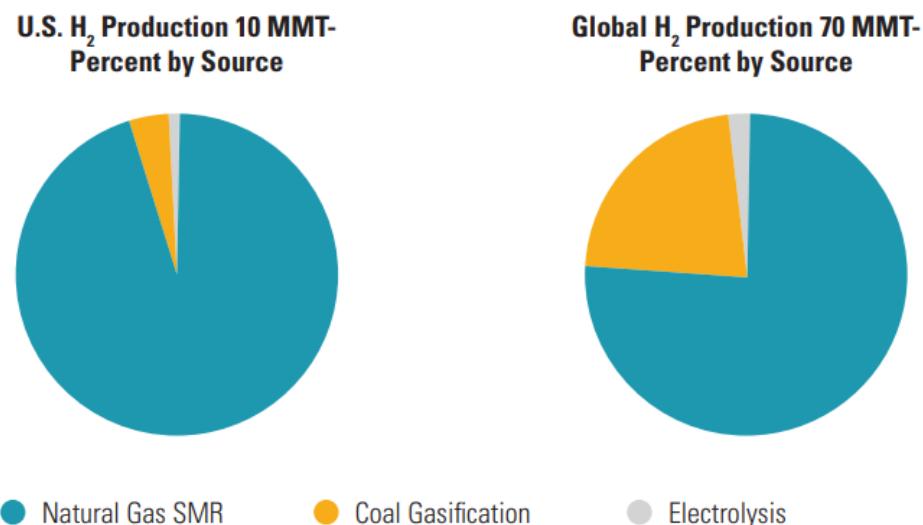


Figura 3: Producción total de hidrógeno en Estados Unidos y mundo según el método. Extraído del informe Hydrogen Strategy del U.S. Department of Energy.

Como se puede apreciar, predomina el uso de los métodos de reformado de gas natural y gasificación de carbón, pero no se aclara en qué proporción es hidrógeno "azul". La electrólisis representa sólo el 2% de lo producido mundialmente. Tampoco se aclara si esto es hidrógeno verde o rosado. De cualquier manera, vemos que la proporción de hidrógeno verde es ínfima actualmente en el mundo.

3.2. Almacenamiento, transporte y distribución

Uno de los temas que más preocupan al hablar de la economía del hidrógeno es su almacenamiento. Este es un problema aún sin resolver. Las tecnologías de almacenamiento del hidrógeno tienen que mejorar significativamente para que el establecimiento de un sistema basado en el hidrógeno sea posible. Se podría hablar de dos tipos fundamentales de almacenamiento, el estacionario y el no estacionario. El primero sería el que se tendría en los puntos de producción, en los puntos de distribución y en los puntos de consumo estacionario. El segundo grupo sería el almacenamiento para la distribución y el almacenamiento para consumo durante el transporte. Este último es el que más preocupa, ya que el almacenamiento del combustible a bordo no debería de ocupar un espacio excesivo ni representar un alto porcentaje del peso del vehículo. De hecho una de las mayores barreras para



generalizar la aplicación de la propulsión basada en el hidrógeno, es el desarrollo de un sistema de almacenamiento a bordo que pueda suministrar una cantidad suficiente de hidrógeno con un volumen, peso, coste y seguridad aceptables. La mayoría de los métodos de almacenamiento de hidrógeno establecidos tienen ventajas y desventajas, pero ninguno, hasta la fecha, es claramente superior al resto. Las elecciones de sistemas de almacenamiento de hidrógeno viables se limitan a las siguientes:

a. Hidrógeno comprimido: Debido a su baja densidad energética por unidad de volumen (12MJ/m³), el hidrógeno gas es normalmente almacenado bajo altas presiones, en un rango entre 200-700 bar. La compresión del hidrógeno hasta 350 bar consume alrededor del 20% de la energía contenida en el hidrógeno. Se necesita el uso de contenedores a presión especialmente construidos para este fin, los cuales son caros y pesados. El almacenamiento del hidrógeno en forma de gas comprimido tiene grandes retos en las áreas de relativamente baja densidad energética, coste del sistema, resistencia de impacto y empaquetamiento en vehículos. Actualmente los tanques de almacenamiento de gas a alta presión consisten en un revestimiento interior hecho de un polímero como una malla de polietileno o nylon cubierta con una fibra continua de grafito y capa de reforzamiento epoxy. Sin embargo, el hidrógeno tiene una alta tasa de permeabilidad a través de estos revestimientos poliméricos. Dicha penetración no sólo genera una pérdida gradual de la presión de hidrógeno, sino que además el hidrógeno al salir puede dañar y debilitar la capa de reforzamiento del tanque. Este debilitamiento podría generar una fatiga cíclica u otros fallos en el tanque. Una solución a este problema sería desarrollar una barrera de difusión de hidrógeno que pueda ser aplicada al revestimiento interior polimérico.

b. Hidrógeno Líquido: El hidrógeno criogénico (23K), se obtiene a partir de la licuación del mismo. La licuación es el proceso de pasar un gas a líquido por medio de modificar sus condiciones de presión y temperatura. El proceso de licuación utiliza una combinación de compresores, intercambiadores de calor y válvulas de expansión para lograr el enfriamiento necesario. El proceso de licuación más simple es el ciclo de Linde o ciclo de expansión de Joule-Thompson.

La molécula de hidrógeno existen en dos formas, *para* y *ortho*, dependiendo de la configuración de los electrones en los dos átomos individuales. En el punto de ebullición, es decir a 20K, la concentración de equilibrio es prácticamente todo *para*-hidrógeno, pero a temperatura ambiente o superior, el equilibrio de la concentración es de un 25% *para*-hidrógeno y de un 75% *ortho*-hidrógeno. Si la licuación del hidrógeno se produce de forma rápida, el hidrógeno puede estar licuado, pero todavía contener importantes cantidades de *ortho*-hidrógeno. Este se convierte con el tiempo en *para*-hidrógeno a través de una reacción exotérmica. Esto supone un problema ya que el almacenamiento de larga duración de hidrógeno líquido requerirá la conversión del hidrógeno de su forma *ortho* a su forma *para* para



minimizar las pérdidas por evaporación. Esto se puede llevar a cabo utilizando una serie de catalizadores entre los que se encuentran el carbón activo, el óxido férrico, compuestos de uranio, óxido crómico, y algunos compuestos de níquel.

Cualquier evaporación, supondrá una pérdida neta en la eficiencia del sistema, debido al trabajo necesario para licuar ese hidrógeno, pero las pérdidas pueden ser mayores, si el hidrógeno es liberado a la atmósfera en lugar de ser recuperado. La primera medida para evitar las pérdidas por evaporación flash es ejecutar la conversión de orto-hidrógeno a para-hidrógeno durante la etapa de licuación, para evitar cualquier conversión y la evaporación posterior durante el almacenamiento. Otra medida importante para prevenir la evaporación flash es utilizar contenedores criogénicos aislados. Los contenedores criogénicos, están diseñados para minimizar la transferencia de calor por conducción, convección y radiante desde la pared exterior del contenedor hasta el líquido. Todos los contenedores criogénicos tienen una doble pared y entre ellas el vacío, esto prácticamente elimina las transferencias de calor por conducción y convección. Para evitar la transferencia de calor radiante se ponen capas reflexivas de baja emitancia, normalmente plástico aluminado Mylar o perlita (silicona coloidal) colocadas entre las paredes del tanque. Algunos contenedores grandes, tienen además, una pared exterior con un espacio relleno de nitrógeno líquido. Esto reduce la transferencia de calor disminuyendo la diferencia de temperaturas.

c. Hidruros metálicos: Los hidruros metálicos son un grupo bien conocido de materiales que absorben hidrógeno reversiblemente en unas condiciones moderadas. Estos tienen dos problemas prácticos principales cuando se utilizan para el almacenamiento de hidrógeno. En primer lugar, los hidruros metálicos, en general, se rompen en finas partículas después de repetidas absorciones y liberaciones de hidrógeno. Y en segundo lugar, son sensibles a las impurezas reactivas como el oxígeno y el monóxido de carbono. Pequeños niveles de estas impurezas, los pueden inactivar para absorber hidrógeno. Una solución propuesta para estos problemas es la de romper el hidruro metálico en finas partículas, y encapsularlas en una matriz porosa de sílice para formar un material compuesto. La porosidad de la matriz permite que el hidrógeno alcance las partículas de hidruro metálico, pero impide la penetración de grandes moléculas de impurezas. Además debe ser lo suficientemente resistente y tener espacio para que las partículas de hidruro metálico se expandan y contraigan para que la absorción y liberación del hidrógeno no suponga la rotura de los gránulos.

d. Nanoestructuras de carbono: La absorción física en sólidos muestra grandes ventajas, tales como el uso de materiales de bajo coste, y las bajas presiones de operación. Debido a su gran área superficial, a su baja densidad y un gran volumen de poros, las nanoestructuras de carbono están presentando un gran potencial como material de almacenamiento del hidrógeno. El grafito es la forma más comúnmente disponible de carbono. El hidrógeno y el grafito interaccionan de forma



muy débil, lo cual es positivo, puesto que el almacenamiento es temporal, sin embargo, las láminas de carbono se apilan de forma muy compacta, lo que impide que las moléculas de hidrógeno quepan entre dichas láminas, y por lo tanto disminuyen la capacidad de absorción. Dentro de las distintas configuraciones de nanoestructuras de carbono para almacenamiento de hidrógeno las principales líneas de investigación son: las nanofibras se grafito (GNF), los nanotubos de carbono de pared simple (SWNT) y los nanotubos de carbono de pared compuesta (MWNT)

e. Almacenamiento subterráneo de hidrógeno gaseoso: Un caso especial de almacenamiento, es el uso de grandes cavidades subterráneas similares a las que actualmente se usan para almacenar el gas natural. Las cantidades de energía almacenadas tienen potencial de abastecer las necesidades de grandes poblaciones durante largos períodos de tiempo, como puede ser la necesidad de asegurar el suministro o para regular las variaciones estacionales de producción. Para el almacenamiento subterráneo es necesario una gran cueva o roca porosa con una capa de cierre impermeable. Una capa de roca saturada con agua, es un buen ejemplo de capa de cierre. Otras posibilidades son pozos abandonados de gas natural, o cuevas realizadas por el hombre. Los dos métodos de almacenamiento subterráneo que son adecuados tanto para el hidrógeno como para el gas natural son el uso de cavidades usadas con anterioridad por la minería, y acuíferos vacíos.

Esto puede ofrecer una solución eficaz para superar uno de los principales inconvenientes de las energías renovables: la intermitencia en su producción, que no siempre coincide con los incrementos de la demanda.

Así, en períodos de baja demanda energética, el excedente de energía producido por fuentes renovables se puede destinar a obtener hidrógeno verde mediante electrólisis, hidrógeno que se almacenaría bajo tierra para su posterior conversión en electricidad en épocas de alta demanda, con unas emisiones asociadas de CO₂ casi nulas. El gas almacenado también podría ser utilizado para su uso en el transporte y las industrias con una alta demanda energética, como la química o el acero.

Estas reservas de energía en forma de hidrógeno pueden ser útiles, por ejemplo, para mantener la estabilidad en los precios de la electricidad en situaciones imprevistas que generan una altísima demanda energética, como las olas de frío en invierno o de calor en verano.

3.3. Aplicación del h2 en el transporte

En la búsqueda continua de soluciones energéticas sostenibles para el sector del transporte, el hidrógeno emerge como un candidato prometedor que redefine la movilidad con un enfoque innovador. En particular, la aplicación del hidrógeno como fuente de energía para el transporte plantea la interesante dicotomía entre dos

tecnologías distintas: los motores de combustión interna que aprovechan directamente el hidrógeno y las celdas de combustible que generan electricidad a partir de este elemento. Este análisis comparativo no solo se sumerge en las complejidades técnicas y eficiencia de ambas tecnologías, sino que también desentraña las implicaciones ambientales y económicas que cada enfoque conlleva, delineando así el camino hacia un futuro de movilidad más limpio y sostenible.

3.3.1. Tecnología de celdas de hidrógeno

Las celdas de combustible de membrana de electrolito de polímero (PEM) que se utilizan en los automóviles, también llamadas celdas de combustible de membrana de intercambio de protones, usan combustible de hidrógeno y oxígeno del aire para producir electricidad. La figura a continuación muestra cómo funciona una celda de combustible PEM.

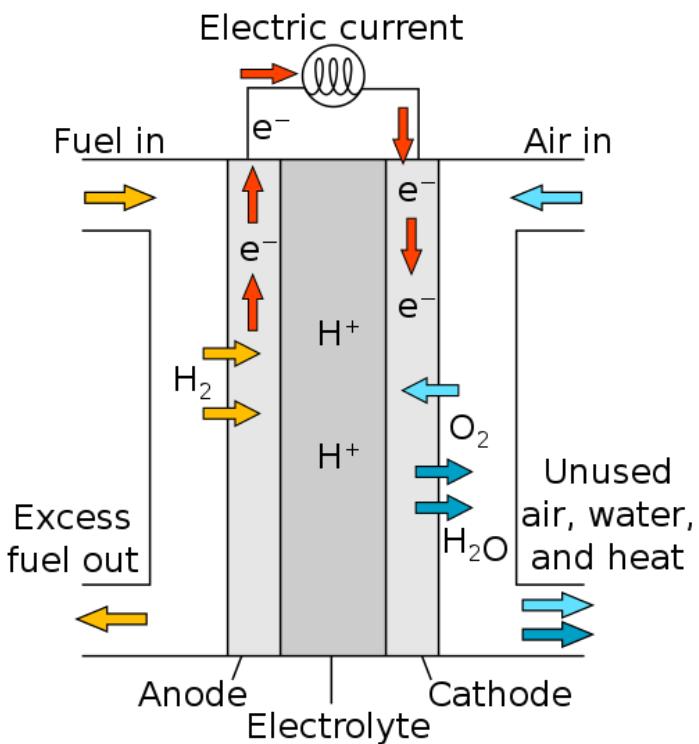


Figura 4. Celda de hidrógeno. Extraída de <https://rosetta-technology.com/>.

La mayoría de las celdas de combustible diseñadas para su uso en vehículos producen menos de 1,16 voltios de electricidad, lo que dista mucho de ser suficiente para alimentar un vehículo. Por lo tanto, múltiples celdas deben ensamblarse en una celda de combustible. La energía potencial generada por una pila de celdas de combustible depende del número y tamaño de las celdas de combustible individuales que componen la pila y el área de superficie del PEM.

La celda cuenta con dos electrodos, un ánodo y un cátodo. El oxígeno pasa sobre un electrodo y el hidrógeno sobre el otro. El hidrógeno se pone en contacto con una lámina



de platino o paladio, que permite la separación de dicho hidrógeno en un electrón y un protón. El flujo de electrones generado es utilizado para abastecer de energía al motor eléctrico, y los protones atraviesan la membrana electrolítica, formando agua al combinarse con el oxígeno. La eficiencia de una celda de combustible de hidrógeno, en conjunto con el inversor y el motor eléctrico, ronda el 50%

3.3.2. Combustión interna

Como ya mencionamos, el hidrógeno puede ser utilizado directamente como combustible en motores de ciclo Otto, pero está sujeto a ciertas características que suponen inconvenientes para dicha aplicación. Las propiedades que contribuyen a su uso como combustible son:

Amplia gama de inflamabilidad: El hidrógeno tiene un amplio rango de inflamabilidad en comparación con todos los demás combustibles (34:1 - 180:1). Una ventaja significativa de esto es que el hidrógeno puede funcionar con una mezcla fina o pobre.

Baja energía de ignición: La cantidad de energía necesaria para encender el hidrógeno es de aproximadamente un orden de magnitud menor que el requerido para la gasolina. Esto hace que los puntos calientes en el cilindro puedan servir como fuentes de ignición, creando problemas de ignición prematura y retroceso de llama. Prevenir esto es uno de los desafíos asociados con hacer funcionar un motor con hidrógeno. El amplio rango de inflamabilidad de hidrógeno significa que casi cualquier mezcla puede encenderse con un punto caliente.

Pequeña distancia de enfriamiento: Las llamas de hidrógeno viajan más cerca de la pared del cilindro que otros combustibles, pudiendo aumentar la tendencia a las contraexplosiones ya que la llama pasa más fácilmente por una válvula de admisión casi cerrada.

Alta temperatura de autoignición: Permite utilizar mayores relaciones de compresión, lo que aumenta la eficiencia térmica del sistema. Por otro lado, el hidrógeno es difícil de encender en una configuración de encendido por compresión o diesel, porque las temperaturas necesarias para esos tipos de ignición son relativamente altas.

Alta velocidad de llama: la velocidad de la llama de hidrógeno es casi una magnitud mayor (más rápido) que la de la gasolina. Esto significa que los motores de hidrógeno pueden acercarse más a un ciclo Otto termodinámicamente ideal.

Alta difusividad: Facilita la formación de una mezcla uniforme de combustible y aire. En segundo lugar, si se desarrolla una fuga de hidrógeno, el hidrógeno se dispersa rápidamente, por lo tanto, las condiciones inseguras pueden evitarse o minimizarse.

Baja densidad: En primer lugar, se necesita un gran volumen para almacenar suficiente hidrógeno para dar un vehículo con una autonomía razonable. En segundo



lugar, la densidad de energía de una mezcla de hidrógeno y aire es menor y, por lo tanto, la potencia de salida es menor.

La eficiencia de un motor de ciclo Otto funcionando con hidrógeno es similar a la de un motor de combustión interna. Desde 2021, Toyota ha desarrollado motores de combustión interna a base de hidrógeno para vehículos de carreras, utilizando el motor 1.5 3 cilindros turbo del Yaris GR, logrando buena potencia y comportamiento similar al obtenido usando gasolina. Durante este año la marca ha pasado a usar almacenamiento en estado líquido para mejorar la autonomía del vehículo, ya que es la principal desventaja del hidrógeno como combustible. Desarrollaremos esto en la sección siguiente.

3.3.3. Autonomía y almacenamiento

Para entender el problema que presenta el hidrógeno debemos analizar su densidad energética. Vemos que la densidad energética por unidad de masa es relativamente buena comparada con la gasolina. La energía que contiene 1 Kg H₂ es similar a la contenida en un galón americano (3,785 L) de gasolina.

El verdadero inconveniente es que al almacenar el H₂ en tanques a presión en estado gaseoso a 700 bar, sólo tenemos una densidad de 0,04 Kg/L H₂. Para realizar una comparativa tangible, si tuviéramos un tanque 60L, el mismo contendría 2,4 Kg de H₂, los cuales equivalen a 9 L de gasolina. Esto, en un vehículo con un consumo promedio de 6 L/100 Km nos daría tan solo 150 Km de autonomía.

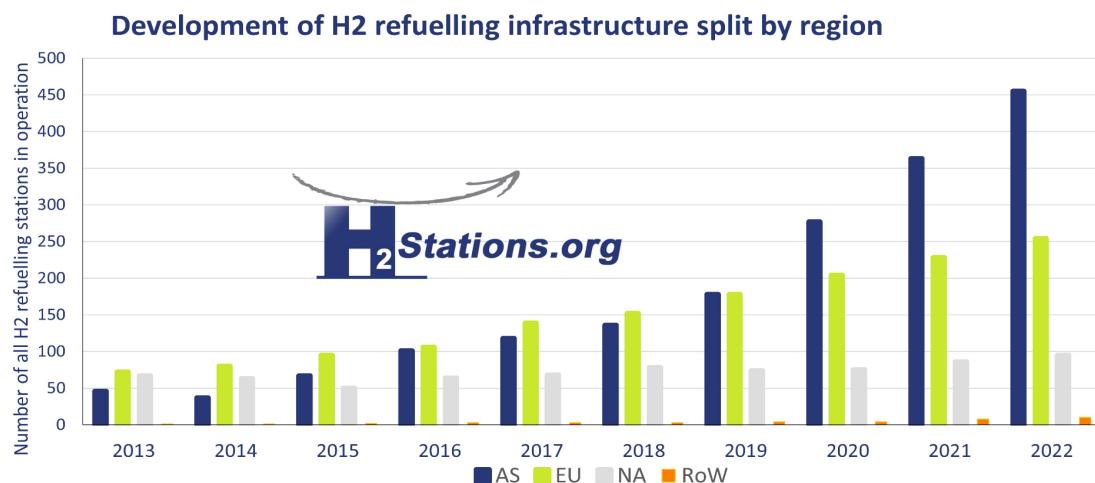
Otra opción sería almacenarlo en estado líquido. Así obtendríamos una densidad significativamente mayor, de 0,07 Kg/L H₂. Esto es un 75% que a 700 bar. Para esto utilizaríamos un tanque de doble pared con alto vacío entre las mismas, y con superficies internas pulidas para minimizar la transferencia de calor por convección y radiación. El problema reside en que al calentarse lentamente el contenido del tanque, la presión aumenta y debemos liberar parte del H₂ por seguridad. Comparando con el ejemplo anterior, 60L H₂ licuado equivalen a 15,75 L de nafta, lo que nos daría una autonomía de 262,5 Km, lo cual es un valor aceptable.

Esto ya se intentó en el BMW Hydrogen 7 (2005-2007). El problema es que a las 17 horas de no utilizar el vehículo, el hidrógeno sale a través de un catalizador que lo combina con O₂ para formar agua. En 10 a 12 días de no uso, el tanque se vacía completamente. Por suerte este vehículo podía funcionar tanto a hidrógeno como a gasolina.

El desarrollo anterior ilustra el problema de la baja densidad energética del hidrógeno almacenado en estado gaseoso. Esto hace que su aplicación sea más factible en camiones y buses, donde el volumen de almacenamiento no es tan acotado, y el peso de los tanques no representa una proporción tan importante en el peso total.

3.3.4. Infraestructura actual del H₂ para el transporte

Existe una página web que lleva el seguimiento de la cantidad de estaciones de llenado de hidrógeno a nivel mundial. A modo de resumen tomamos de la página H2Stations.org los datos de cantidad de estaciones por zona, y el mapa donde se ilustra su distribución. Para el año 2022 el número de estaciones en todo el mundo asciende a 814.



Referencias: As: Asia; Eu: Europa; NA: América del norte; RoW: Resto del mundo.

Figura 5. Cantidad de estaciones de hidrógeno por zona. Extraído de <https://www.h2stations.org/>.

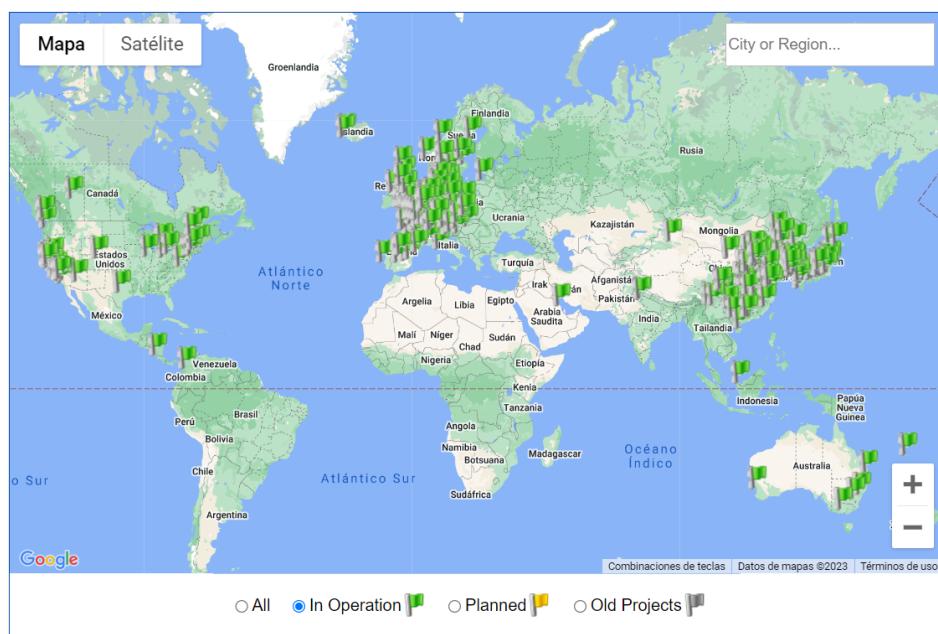


Figura 6. Mapa de estaciones de hidrógeno en operación actual. Extraído de <https://www.h2stations.org/>.



Cabe resaltar que el costo de la infraestructura para instalar una estación de hidrógeno es sustancialmente mayor que el de instalar una estación de carga rápida para autos eléctricos. La mayoría de las estaciones de hidrógeno en los Estados Unidos se encuentran en California debido a que el estado ha sido un líder en la promoción de vehículos de celda de combustible y ha invertido en la construcción de una infraestructura de hidrógeno para apoyarlos. Además, California ha establecido objetivos ambiciosos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ha llevado a una mayor inversión en tecnologías de energía limpia, incluida la producción de hidrógeno.

Según un informe de PetrolPlaza, el gobierno de los Estados Unidos tiene como objetivo tener 200 estaciones de hidrógeno en California para 2025 y un total de 1,000 estaciones en el estado para 2030. Actualmente, la mayoría de las estaciones de hidrógeno obtienen hidrógeno gaseoso presurizado, que depende de las estaciones de compresión y de una red de camiones para hacer llegar el H2 a las estaciones de servicio.

3.4. Desafíos técnicos

a. Dependencia de fuentes renovables: Su producción requiere fuentes renovables de electricidad (eólica, solar, geotérmica, hidráulica). Pero deben mejorar su rentabilidad. Necesitan más inversión en I+D para aumentar su eficiencia, cambios favorables en las regulaciones fiscales, subvenciones, precios, etc., y economías de escala.

b. Almacenamiento: La acumulación de energía en tanques de hidrógeno a través de la electrólisis plantea desafíos en términos de costos, eficiencia y distribución descentralizada. La descentralización de la producción y la gestión de la oferta y la demanda mediante medios ciberneticos complejos también se menciona como un desafío técnico. La densidad energética del H2 gaseoso es baja para utilizar en vehículos livianos. Sí podría ser utilizada en vehículos de larga distancia o transporte de cargas, donde el volumen de almacenamiento es más generoso.

4. Aspecto económico

4.1. Oportunidades Económicas:

a. Impulso a la Innovación y Empleo: El auge del hidrógeno verde presenta oportunidades económicas significativas, especialmente en términos de innovación y creación de empleo. La transición hacia esta fuente de energía renovable estimula la demanda de tecnologías más eficientes y sostenibles, generando oportunidades para la investigación y desarrollo en el sector. Además, la expansión de la industria del hidrógeno verde podría conducir a la creación de empleos en áreas como la



producción, transporte, almacenamiento y mantenimiento de infraestructuras relacionadas.

b. Diversificación de la Economía: Reducir la dependencia de los combustibles fósiles a través del hidrógeno verde contribuiría a la diversificación de las economías nacionales. Esto puede generar resiliencia ante fluctuaciones en los precios del petróleo y abrir nuevas oportunidades comerciales en el mercado de energía renovable, promoviendo una mayor estabilidad económica a largo plazo.

c. Contribución a la Neutralidad Climática: El hidrógeno verde se presenta como una solución clave en el camino hacia la neutralidad climática, lo que puede tener beneficios económicos a largo plazo. Las inversiones en energías limpias y sostenibles podrían traducirse en una disminución de los costos asociados con eventos climáticos extremos y problemas de salud relacionados con la contaminación, lo que tendría impactos positivos en los sistemas de atención médica y seguros.

4.2. Desafíos Económicos:

a. Costos Iniciales Elevados: Uno de los principales desafíos económicos radica en los costos iniciales asociados con la infraestructura necesaria para la producción y distribución del hidrógeno verde. Las inversiones significativas requeridas pueden representar una carga financiera para gobiernos y empresas, especialmente en un contexto donde la rentabilidad a corto plazo puede ser incierta. El costo de producir hidrógeno en grandes centrales y distribuirlo por gasoductos a consumidores lejanos es alto. Una solución factible es la descentralización de la producción (generación distribuida), reduciendo así el transporte. Esto es factible ya que la energía solar y eólica, necesarias para producir hidrógeno verde, pueden ser distribuidas también. Esto lo convertiría en una infraestructura resiliente, ya que la centralización implica vulnerabilidad ante ataques de cualquier tipo.

b. Competencia con Fuentes Convencionales: El hidrógeno verde debe competir económicamente con las fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles. Aunque la tendencia apunta hacia una disminución de costos en el futuro, actualmente se enfrenta al desafío de ser más costoso que las opciones tradicionales, lo que podría limitar su adopción masiva.

c. Eficiencia y Pérdida de Energía: Desde una perspectiva económica, la eficiencia del hidrógeno verde plantea preocupaciones. Las pérdidas de energía a lo largo de su cadena de producción y distribución implican mayores costos operativos y podrían afectar su viabilidad económica frente a alternativas más eficientes, como la energía solar y eólica.



d. Financiamiento para Nuevas Infraestructuras: La transición hacia un régimen energético basado en el hidrógeno requerirá inversiones significativas en nuevas infraestructuras. Se plantea la pregunta sobre cómo los países más pobres y endeudados financiarán estas inversiones.

4.3. Perspectivas Futuras:

El éxito económico del hidrógeno verde dependerá en gran medida de cómo se aborden estos desafíos. Las políticas gubernamentales que fomenten la inversión, la innovación y la transición hacia energías renovables desempeñarán un papel clave en su desarrollo. La economía mundial podría beneficiarse a largo plazo de la reducción de costos y la integración efectiva del hidrógeno verde, pero se requerirá una planificación cuidadosa y enfoques estratégicos para superar los obstáculos económicos y maximizar sus beneficios.

5. Desafíos Sociales:

a. Transición Laboral: La adopción del hidrógeno verde plantea desafíos en términos de transición laboral. Las comunidades que dependen de las industrias vinculadas a los combustibles fósiles podrían enfrentar dificultades económicas y sociales durante esta transición. Es crucial implementar políticas y programas que ofrezcan oportunidades de empleo y capacitación para aquellos afectados, asegurando una transición justa y equitativa.

b. Acceso y Equidad: La implementación del hidrógeno verde debe abordar cuestiones de acceso y equidad. Es fundamental garantizar que los beneficios de esta transición energética lleguen a todas las comunidades, evitando la creación de brechas económicas y sociales. El acceso equitativo a la energía y a las oportunidades económicas derivadas del hidrógeno verde es esencial para construir una sociedad más justa.

c. Participación Comunitaria: La participación de las comunidades en la planificación y toma de decisiones es esencial. La falta de participación puede generar resistencia social y conflictos, especialmente si las comunidades afectadas no se sienten involucradas en el proceso de transición. La comunicación abierta y transparente, así como la consideración de las preocupaciones locales, son cruciales para mitigar tensiones sociales.

6. Desafíos Políticos:

a. Marco Regulatorio: La falta de un marco regulatorio claro y coherente puede obstaculizar el desarrollo del hidrógeno verde. La creación de políticas que fomenten la inversión, la investigación y el desarrollo es esencial para impulsar esta



tecnología. Además, los incentivos fiscales y las regulaciones ambientales deben estar alineados para garantizar un impulso efectivo hacia la sostenibilidad.

b. Coordinación Internacional: Dada la naturaleza global de la transición hacia el hidrógeno verde, la coordinación entre países es esencial. La falta de armonización en las políticas y estándares puede generar obstáculos en la producción, transporte y comercio del hidrógeno verde. La diplomacia y la colaboración internacional son necesarias para superar estos desafíos y garantizar una transición fluida y eficiente.

c. Inversiones y Financiamiento: La falta de inversiones y financiamiento adecuado puede ser un obstáculo significativo. Los gobiernos y el sector privado deben colaborar para proporcionar la financiación necesaria para proyectos de investigación, desarrollo y despliegue de infraestructuras de hidrógeno verde. Además, es esencial abordar las preocupaciones sobre la rentabilidad a corto plazo y establecer mecanismos que faciliten la inversión a largo plazo.

d. Educación y Concientización: La falta de educación y concientización pública sobre el hidrógeno verde puede generar resistencia y falta de apoyo. Las políticas deben incluir iniciativas de educación pública que informen sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales de esta tecnología. La participación ciudadana y la creación de conciencia son fundamentales para ganar apoyo social.

Dominio de Grandes Empresas y Corporaciones: Se destaca que unas pocas empresas privadas y estatales dominan el mercado global de petróleo y gas. El texto sugiere que, a pesar de la necesidad técnica de una red de generación eléctrica descentralizada, la propiedad de los medios de producción podría permanecer en manos de grandes corporaciones.

Impacto en Relaciones Internacionales: Se menciona que la posible desestabilización política de las monarquías árabes debido a la transición energética representa un escenario de pesadilla. Además, se señala que las diferencias en la productividad entre países podrían generar conflictos comerciales y, posiblemente, conflictos más violentos.

Amenazas a la Seguridad y Bioterrorismo: La referencia a la "policía global" necesaria para contrarrestar el bioterrorismo destaca un desafío político en términos de equilibrar la autonomía local con la seguridad global en un contexto de cambio de régimen energético.

Influencia del Islamismo Integrante: Se plantea la preocupación de que la transición al hidrógeno pueda aumentar la amenaza del islamismo integrante, especialmente si los países productores de petróleo se resisten a la transición debido a sus intereses económicos.



7. Caso particular H2 verde en Argentina

7.1. Proyecto Hidrógeno Verde Fortescue

En noviembre de 2021, la compañía australiana Fortescue anunció una inversión significativa de más de USD 7.000 millones para la implementación de un proyecto de hidrógeno verde (H2V) en Argentina, considerado como una de las fuentes de energía menos desarrolladas y más sostenibles en la actualidad. Este anuncio se realizó durante la cumbre climática COP26 en Glasgow, Escocia, contando con la participación del presidente Alberto Fernández, y fue calificado por el Gobierno como la inversión más relevante del siglo XXI.

Según información reciente de medios nacionales, la empresa ha establecido oficinas en Viedma y en la ciudad de Buenos Aires, esta última ubicada en un moderno edificio en el barrio de Palermo Chico, cercano al Malba. La sede porteña supervisa todas las operaciones de la empresa australiana en América Latina, así como los dos proyectos locales de minería en San Juan, que se iniciaron en 2018.

Paralelamente, la empresa se encuentra en la fase de completar un estudio de impacto socio ambiental, iniciado en septiembre de 2022 con la participación de 60 personas, incluyendo científicos locales de la Universidad del Comahue y del Instituto de Biología de Puerto Madryn. Se espera que dicho estudio concluya en septiembre de este año, abarcando un período de un año para evaluar las condiciones del ambiente, la flora y la fauna a lo largo de las cuatro estaciones.

No obstante, Fortescue reconoce que la progresión del proyecto se ve limitada por la ausencia de una Ley de Hidrógeno Verde, la cual proporcionaría el marco de estabilidad necesario para una inversión a largo plazo. Según reportes, la clave en esta etapa radica en el financiamiento, y la empresa ha presentado su proyecto ante organismos internacionales como el Banco Mundial, el BID, la CAF, así como a los principales bancos privados de Nueva York y el Banco Santander en Europa. Sin embargo, la falta de un marco regulatorio específico en Argentina ha frenado las decisiones.

Informes sugieren que, si bien se elaboró un proyecto de ley durante la gestión de Matías Kulfas en el Ministerio de Producción, la falta de consenso y las diferencias surgidas tras su salida del Gobierno han postergado su presentación. El proyecto contempla la integración de contenido nacional para acceder a beneficios fiscales, siendo este un punto crítico debido a que la mayoría de las tecnologías asociadas se desarrollan en otros países, lo cual complica la viabilidad de la inversión.

Es importante destacar que, ante la demora en la presentación del proyecto y las dificultades económicas, Fortescue ha redirigido su foco hacia un proyecto en el



noroeste de Brasil, en el estado de Ceará, donde se llevará a cabo la construcción de una unidad de desalinización y una planta de hidrógeno verde. La empresa ha destacado que la agilidad en la aprobación del marco regulatorio y otras facilidades en Brasil han posicionado este proyecto como su principal prioridad, desplazando a Argentina a la vigésima posición en su lista de proyectos a nivel mundial.

Entre los requisitos presentados al presidente Alberto Fernández se encuentran el acceso a un dólar competitivo, la exención de impuestos para el desarrollo del parque eólico, y la estabilidad fiscal por un período de 30 años. A pesar de la afirmación positiva del Presidente, no se ha alcanzado una definición concreta hasta el momento, lo que ha llevado a Fortescue a dar prioridad al proyecto en Ceará, Brasil.

Fortescue quiere ser líder en el desarrollo de hidrógeno verde, una energía que prevén que será más demandada en el marco del proceso de descarbonización que lleva adelante Europa.

Se estima que para 2030, los países europeos demandarán unos 20 millones de toneladas de hidrógeno verde, la mitad se producirá en la región y el resto será importada de otros países. Por eso, se trabaja en un acuerdo entre el puerto de Ceará en Brasil y el puerto de Rotterdam en Holanda para los futuros envíos de varias empresas, además de Fortescue.

7.2. Foro Global de Hidrógeno Verde 2023

El primer Foro Global de Hidrógeno Verde se llevó a cabo en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina, los días 18 y 19 de mayo de 2023. El evento fue organizado por la Green Hydrogen Organization (GH2), la Provincia de Río Negro (RN) y el Consejo Federal de Inversiones (CFI), con el apoyo de diversas empresas promotoras del tema como son Shell, Toyota e YPF, entre otras. El foro reunió a expertos de todo el país y el mundo para discutir temas relacionados con la producción de hidrógeno verde, su aplicación en procesos industriales, producción de fertilizantes, y similares. También se discutió la creación de una cadena de valor de hidrógeno verde sostenible, y la visión al 2030 del desarrollo de la cadena de valor del H2V en Argentina dentro de la transición energética

7.3. Régimen Nacional de Promoción del Hidrógeno Verde

El proyecto de ley que impulsa la producción y uso del hidrógeno verde en Argentina es el Régimen Nacional de Promoción del Hidrógeno Verde. El mismo fue elevado al Congreso por el gobierno argentino y se encuentra en proceso de aprobación. La ley tiene como objetivo promover y fortalecer la producción y el uso del hidrógeno



verde como combustible y vector energético, diversificando la matriz energética en pro de un desarrollo sostenible y consciente con el medio ambiente hacia una descarbonización de la economía. La ley declara de interés nacional la producción del hidrógeno de origen renovable, como combustible y vector de energía y como insumo industrial.

8. Conclusiones

Con base en el análisis, la transición hacia el hidrógeno verde como una estructura crítica en el panorama energético global presenta desafíos significativos, que son necesarios abordarse de manera integral. Aunque el hidrógeno verde ofrece un potencial revolucionario para transformar la matriz energética y cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, se enfrenta a obstáculos técnicos, económicos y sociales que requieren atención especial.

Desde el punto de vista técnico, los desafíos comienzan con la producción eficiente de hidrógeno. Aunque existen diferentes métodos, la dependencia predominante de fuentes no renovables, como el gas natural, destaca la necesidad de avanzar hacia procesos de producción más sostenibles, como la electrólisis utilizando energía renovable. La elección entre métodos como el hidrógeno gris, azul o verde tiene implicaciones directas en las emisiones de gases de efecto invernadero y en la viabilidad a largo plazo del hidrógeno como fuente limpia.

El almacenamiento de hidrógeno, como pieza clave en el uso de las energías limpias, destaca la importancia de superar los desafíos inherentes a las tecnologías actuales, ya sea mediante almacenamiento de hidrógeno comprimido, líquido criogénico, hidruros metálicos, nanoestructuras de carbono, almacenamiento subterráneo de hidrógeno gaseoso . Estas tecnologías presentan limitaciones significativas en eficiencia, costos y seguridad, lo que subraya la necesidad de una continua innovación en el campo del almacenamiento.

En este contexto, el almacenamiento a gran escala emerge como una aplicación crucial en períodos de alta demanda energética generando una estructura mas eficiente, capaz de sustituir eficientemente la energía eléctrica, cuya difícil tarea de almacenamiento se complica, aún más en un panorama futuro centrado en el uso de energías renovables.

La innovación continua en las tecnologías de almacenamiento es esencial para superar los obstáculos existentes y aprovechar al máximo el potencial del hidrógeno como vector energético.

Además, la aceptación social y las políticas gubernamentales son factores cruciales que influyen en la adopción de esta nueva fuente de energía. Las políticas deben



fomentar la transición hacia el hidrógeno verde, teniendo en cuenta los posibles impactos en la fuerza laboral y en las comunidades afectadas por la transformación.

9. Bibliografía

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2023). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: en la mitad del camino hacia 2030. Objetivos, metas e indicadores (LC/PUB.2023/13-P), Santiago.
- Acciona Australia. (16 de Junio de 2022). What Are The Colours Of Hydrogen And What Do They Mean? ACCIONA. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <https://www.accionau.com.au/updates/stories/what-are-the-colours-of-hydrogen-and-what-do-they-mean/>
- College of the Desert. (Diciembre de 2001). Module 3: Hydrogen Use in Internal Combustion Engines. www1.eere.energy.gov. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm03r0.pdf
- H2 Stations. (n.d.). Hydrogen refuelling stations worldwide. H2Stations.org. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.h2stations.org/>
- Ministerio de Economía Argentina. (18 de Enero de 2022). Energías Renovables Gran Escala 2021. Argentina.gob.ar. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/energias_renovables_2021_se-c.pdf
- Rosetta Technology Solutions. (4 de Marzo de 2021). Pilas de Combustible de Hidrógeno ¿Cómo funcionan? | Rosetta. Rosetta Technology Solutions. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/pila-combustible-hidrogeno-como-funcionan>
- U.S. Department of Energy. (24 de Julio 2020). HYDROGEN STRATEGY Enabling A Low-Carbon Economy. Department of Energy. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July2020.pdf
- Biblioteca Universidad de Sevilla. (n.d.). Almacenamiento del Hidrógeno. Recuperado de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/3823/fichero/3.2+Almacenamiento+del+Hidr%C3%B3geno.pdf>



- Cámara de Diputados de la Nación Argentina. (2023). Proyecto de Ley 3878-D-2023. Recuperado de <http://www.hcdn.gob.ar>
- Bariloche2000. (n.d.). Hidrógeno verde: se cae la inversión de Fortescue en Río Negro. Recuperado de <https://www.bariloche2000.com/noticias/leer/hidrogeno-verde-se-cae-la-inversion-de-fortescue-en-rio-negro-/146918>
- UNIDO. (n.d.). COP27: UNIDO to support new Global Renewable Hydrogen Forum. Recuperado de <https://www.unido.org/news/cop27-unido-support-new-global-renewable-hydrogen-forum>
- PetrolPlaza. (n.d.). Recuperado de <https://www.petrolplaza.com/news/29328>
- Energías Renovables. (16 de Noviembre de 2018). Hidrógeno: un gran aliado para almacenar las energías renovables. Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/eficiencia/hidrogeno-un-gran-aliado-para-almacenar-las-20181116>