Previsión tecnológica para la transición de la sociedad del hidrógeno en Japón: enfoque del modelo GTAP-E-Power



Extracto

Con sus características portátiles, almacenables y de cero emisiones, la energía del hidrógeno se considera una de las energías alternativas más prometedoras para la próxima generación. Junto con el desarrollo de aplicaciones de tecnología de hidrógeno, los experimentos piloto de Japón han demostrado la viabilidad de una sociedad de hidrógeno. Sin embargo, los estudios empíricos siguen siendo escasos y se limitan al análisis de eficiencia energética o al análisis de costo-beneficio, y carecen de un debate inclusivo que contribuya al enfoque basado en la evidencia dirigido a la implementación de políticas de la hoja de ruta del hidrógeno. La investigación tiene como objetivo proporcionar una evaluación cuantitativa del impacto de la sociedad del hidrógeno de Japón mediante la aplicación del modelo GTAP-E-Power con los parámetros de previsión tecnológica de 2025-2035 procedentes del Sistema de Asistencia de Inteligencia de Políticas SciREX – Simulador Económico (SPIAS-e) para investigar el cambio en la producción, el precio y la desfragmentación de las cadenas de suministro de los sectores energéticos, así como la emisión de dióxido de carbono de empresas nacionales y extranjeras. En el escenario de transición de la energía fósil existente de carbón, gas natural, petróleo crudo y otras energías renovables, incluida la energía solar y eólica, los resultados de la simulación demostraron que las emisiones de CO2 de las empresas nacionales en los sectores de transporte y servicios podrían reducirse en un 3,3% y 2,3%, respectivamente, para los sectores de generación de energía, un total equivalente a 26,6 millones de toneladas gracias a la mejora de la eficiencia energética. En comparación, la exportación de equipos de transporte y los sectores intensivos en energía aumentaron un 6,5% y un 5,6%, respectivamente. Además, el análisis de bienestar de las variaciones equivalentes de la sociedad del hidrógeno de Japón mostró un aumento de $ 75,696 millones y un crecimiento del 1.3% en el PIB.

Palabras clave: sociedad del hidrógeno, emisión de CO2, SPIAS-e, sociedad neta cero, GTAP-E-Power

Clasificación JEL: C68, R11, O13, O14, Q47

1. INTRODUCCIÓN

Japón, un país altamente desarrollado con una escasez crítica de recursos de hidrocarburos, ve múltiples valores en el uso del hidrógeno, incluida la seguridad energética, la competitividad industrial y la reducción de las emisiones de carbono. En 2017, Japón fue el primer país en adoptar un marco de hidrógeno con su Estrategia Básica de Hidrógeno (METI 2020). El marco promueve un enfoque de uso final que se centra en la electricidad, el transporte, la vivienda, la industria pesada y la refinación. Mientras tanto, al ser un líder en tecnología de celdas de combustible, particularmente vehículos de celdas de combustible (FCV), las empresas manufactureras de los campos relacionados buscan exportar esta tecnología al resto del mundo. El problema principal es experimentar con diferentes opciones para obtener hidrógeno para ajustar su política industrial y energética para una sociedad que utiliza el desarrollo de la energía del hidrógeno.

1.1 Desarrollo de la tecnología del hidrógeno

Para lograr los objetivos a mediano y largo plazo de la Estrategia Básica, y para realizar la "sociedad del hidrógeno" que los japoneses han establecido, el gobierno ha asignado consistentemente un presupuesto de 98.9 mil millones de yenes (aproximadamente $ 693 millones) en el año fiscal 2022 para investigación y desarrollo (R&D) relacionado con las celdas de combustible y la tecnología de electrolizadores de agua (METI 2021). Para reducir efectivamente el riesgo y proporcionar un incentivo para alentar a las empresas privadas hacia este campo emergente, la coinversión público-privada en investigación y desarrollo y proyectos piloto es esencial para crear sinergia (Arque-Castells y Spulber 2022). La preocupación central es que el sector de la movilidad aplique tecnologías de hidrógeno, como "power to gas", que se concibe como una resolución a la intermitencia de energía renovable para estimular la producción nacional de hidrógeno con beneficios colaterales.

En la aplicación de mercado, la generación de energía de hidrógeno ha madurado con varios métodos categorizados en la tabla a continuación en diferentes colores (Tabla 1.1). Gracias a su característica de energía almacenable, la transición a una sociedad del hidrógeno podría denominarse como una inversión accesoria adicional en las fuentes de generación de energía existentes. También se prevé que disminuirá los costos de generación de energía de hidrógeno si las demandas y la investigación y el desarrollo continúan aumentando (Glenk y Reichelstein 2022; Hodges et al. 2022).



1.2 Hoja de ruta de Japón para la sociedad del hidrógeno

La Estrategia Básica del Hidrógeno fue anunciada por primera vez en 2017 por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) para establecer la hoja de ruta del hidrógeno con la ambición de establecer una cadena de suministro de hidrógeno integrada a nivel nacional e internacional para 2030, incluida la producción, el transporte, el almacenamiento y el consumo de arriba hacia abajo (METI 2017). El aumento de la capacidad de generación de energía renovable es vital para el plan de cero emisiones netas del gobierno. Sin embargo, debido a que la energía renovable es intermitente, no puede equilibrar la oferta y la demanda en la red eléctrica. Además, el aumento de la capacidad de generación de energía renovable puede dar lugar a restricciones más frecuentes (es decir, reducciones en la generación de energía renovable para equilibrar la oferta y la demanda de energía o debido a limitaciones de la línea de transmisión) para los futuros operadores de centrales eléctricas de energía renovable para una combinación energética óptima (Huang y Kim 2021). Las ambiciones se reconfirmaron en su mayoría con la estrategia a largo plazo en el marco del Acuerdo de París y la Estrategia de Crecimiento Verde (METI 2021) hacia la neutralidad de carbono 2050 para reducir sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono.

Además, el gobierno japonés ha reconocido la necesidad de regulaciones nuevas o modernizadas sobre hidrógeno y amoníaco, y de hecho, el Sexto Plan Básico de Energía (METI 2021) especifica la importancia de que Japón desempeñe un papel de liderazgo en la elaboración de normas internacionales. A pesar de que las empresas japonesas asumieron un papel pionero en impulsar la innovación en el campo de la tecnología del hidrógeno con una importante financiación gubernamental, las actividades regulatorias y normativas de Japón han sido comparativamente limitadas. Sin embargo, el éxito de la próxima fase de la revolución del hidrógeno depende del establecimiento de un marco regulatorio bien coordinado y consistente. Dado el estatus de Japón como uno de los primeros en adoptar la tecnología del hidrógeno y un importante importador futuro de hidrógeno puro, el desarrollo de la sociedad del hidrógeno aún requiere un esfuerzo sustancial en términos de implementación y popularidad.

Para interpretar la transición a una sociedad del hidrógeno, simplemente analizar el avance de la tecnología desde una perspectiva de ingeniería es insuficiente. Hay ciudades piloto de hidrógeno equipadas con tuberías de energía de hidrógeno, como en la ciudad de Kitakyushu (Fuel Cells Bulletin 2011) y en el área de Harumi de Tokyo Metrópolis (Fuel Cells Works 2019); El alcance más amplio de un enfoque sectorial será más beneficioso para ilustrar la imagen esperanzadora de la realización de una sociedad del hidrógeno. Se espera que la investigación aporte más información sobre las implicaciones de la política del hidrógeno a partir de una metodología integral con respecto a la mejora tecnológica, la inversión de capital, la cadena de suministro de los sectores relacionados con el hidrógeno y la evaluación general del impacto económico para la transición a una sociedad del hidrógeno.

1.3 Reformulación de la Estrategia del Hidrógeno bajo la Tendencia Global de Descarbonización

En medio de la crisis ucraniana y la crisis energética mundial desde 2022, Japón reformuló su estrategia de hidrógeno para liderar el desarrollo de regulaciones pioneras y sistemas de apoyo para una sociedad del hidrógeno con descarbonización apoyando a las empresas en el desarrollo de un suministro de hidrógeno y amoníaco bajo en carbono en Japón alrededor de 2030. De acuerdo con el Marco de políticas (borrador) para realizar una sociedad del hidrógeno (METI 2023), el apoyo consiste en una infraestructura de suministro eficiente, como tanques y tuberías, para promover la competitividad internacional y las cadenas de suministro eficientes. Además, Japón también promoverá la producción y utilización de hidrógeno en las regiones a través del desarrollo de cadenas de suministro locales y redes de infraestructura.

En el sector de la generación de energía, se prevé que el uso de hidrógeno y amoníaco sea una fuente rentable para garantizar la estabilidad energética al tiempo que reduce las emisiones de CO2 de la generación de energía térmica y promueve la expansión de la demanda y la reducción de costos a través del establecimiento de una cadena de suministro a gran escala hacia 2030. También se implementarán regulaciones y apoyo para acelerar el uso del hidrógeno en la generación de energía, como las Subastas de Descarbonización a Largo Plazo y la proporción de combustibles no fósiles de 2030 del 44% o más.

En el sector de la movilidad, se ha prestado apoyo al desarrollo de vehículos de pila de combustible (FCV) y estaciones de hidrógeno para turismos, pero es necesario centrarse en los vehículos comerciales, que tienen un mayor potencial de demanda de hidrógeno y para los que las ventajas de los FCV son más evidentes. Esto incluye ampliar los recursos políticos, incluidas las medidas fiscales, para apoyar la construcción a gran escala de estaciones de hidrógeno. En el caso de los ferrocarriles, se promoverá el desarrollo y la demostración de una cadena de suministro nacional de hidrógeno mediante el uso de vehículos ferroviarios de pila de combustible y el transporte ferroviario de bajo impacto ambiental.

La Ley de Conservación de Energía enmendada establece objetivos para operadores de transporte y transportistas específicos, incluidos objetivos de conversión de energía no fósil como el hidrógeno. Los objetivos futuros incluyen la implementación de aproximadamente 800,000 FCV, equivalentes a automóviles de pasajeros, para 2030 a través de la acumulación de demanda de transporte de larga distancia y el establecimiento de cadenas de suministro de hidrógeno. Para los vehículos ferroviarios de pila de combustible y el transporte ferroviario, el objetivo es lograr la implementación social para 2030, y para las estaciones de hidrógeno, el objetivo es hacer que el negocio sea autosuficiente para fines de la década de 2020, teniendo en cuenta las reducciones de costos debido a la relajación regulatoria, y establecer aproximadamente 1,000 estaciones para 2030. En general, Japón está dando pasos hacia la creación de una sociedad basada en el hidrógeno con miras a lograr la neutralidad de carbono para 2050. Además, Japón tiene como objetivo colaborar con los gobiernos locales y las empresas para promover el uso del hidrógeno en diversos sectores e industrias, incluidos puertos y fábricas. El país planea invertir hasta 2 billones de yenes ($ 18 mil millones) en la industria durante la próxima década.

1.4 Pregunta de investigación y estructura

Para comprender la evaluación económica general de la transición hacia una sociedad del hidrógeno en Japón, la investigación aplicará un enfoque cuantitativo para investigar el impacto de implementar una sociedad del hidrógeno a través de la inversión de capital en la infraestructura relacionada con el hidrógeno con la tecnología de previsión de 2025-2035. La investigación procede de la siguiente manera: la Sección 2 proporcionará una revisión de la literatura de la tendencia de la sociedad del hidrógeno y su brecha en los estudios empíricos; En la sección 3 se introducirá la metodología de calibración de los parámetros de mejora tecnológica y la estructura del modelo analítico; En la sección 4 se muestra el escenario y la configuración de las perturbaciones de política; La sección 5 muestra los resultados de la simulación y su interpretación; y la Sección 6 presenta observaciones finales que incluyen implicaciones políticas, limitaciones de investigación y perspectivas futuras.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Medidas de investigación y desarrollo para la hoja de ruta de la sociedad del hidrógeno

El cambio climático y la interdependencia del mercado mundial han puesto de relieve la necesidad de nuevas soluciones energéticas. En 2020, el gobierno japonés estableció un objetivo para alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 a través del logro de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero. Esta determinación llevó al establecimiento propuesto de una "sociedad del hidrógeno", con la promoción de vehículos eléctricos de pila de combustible, generación de energía basada en hidrógeno y gases sintéticos en el sector industrial. A pesar de que el hidrógeno sigue siendo una fuente de energía emergente y escasa, no debe subestimarse la importancia de las opciones de energía renovable para satisfacer las demandas mundiales de energía y reducir al mismo tiempo las emisiones de CO2.

Una sociedad del hidrógeno podría referirse al concepto de "comunidad inteligente" de Japón, que aprovecha las tecnologías digitales y de comunicación para gestionar de manera eficiente la generación y el consumo de energía. El éxito de esta política es vital para asegurar el futuro crecimiento económico de Japón, la seguridad energética y el bienestar ambiental. Sin embargo, la dependencia de los portadores de energía importados plantea un desafío importante para el sistema energético y la seguridad energética de Japón. Para acomodar la "sociedad del hidrógeno" indicada en la estrategia básica de hidrógeno de Japón con su objetivo de neutralidad de carbono en 2050, la política energética de Japón ha fortalecido en gran medida la transición verde al reducir la dependencia de las centrales eléctricas de combustibles fósiles al tiempo que promueve la infraestructura de energía renovable para la industria y los hogares.

Durante un período de varias décadas, la política energética japonesa ha favorecido la ambición de avanzar en el desarrollo de celdas de combustible que sean más baratas, más eficientes y más duraderas, así como el avance de los sistemas de producción, almacenamiento, transporte y suministro de combustible de hidrógeno para facilitar el uso generalizado de celdas de combustible. El gobierno y la industria japoneses apoyan firmemente esta política, y se está formando un consenso político de que Japón debe alejarse de la energía nuclear y buscar activamente una sociedad de hidrógeno eficiente, integrada y respetuosa con el medio ambiente. Para fortalecer esta estrategia, Japón debería centrarse explícitamente en ampliar los esfuerzos de investigación y desarrollo en sectores energéticos clave (Behling, Williams y Managi 2015). La captura de los factores de investigación y desarrollo proporcionaría indicadores medibles, que podrían ayudar sustancialmente al análisis a hacer una hoja de ruta factible para una sociedad del hidrógeno.

En un estudio reciente, Burandt (2021) utilizó un modelo estocástico de sistema de energía de código abierto a gran escala, junto con el despacho completo del sistema de energía por hora, para analizar el impacto potencial de las importaciones de hidrógeno en el sistema eléctrico, los precios de la electricidad, la dependencia de las importaciones y otros sectores industriales. Los hallazgos indican que la integración de las importaciones de hidrógeno tendría un impacto significativo en el desarrollo del sistema eléctrico, lo que llevaría a un cambio sustancial hacia fuentes de energía renovables, como la energía solar fotovoltaica, la energía eólica terrestre y marina, y la energía hidroeléctrica. En particular, se espera que la energía solar fotovoltaica sea la principal fuente de electricidad, representando entre el 40% y el 45% de la generación total, mientras que se espera que la energía eólica terrestre la complemente en gran medida, y se espera que la energía hidroeléctrica proporcione energía de carga base en todos los casos. Además, las importaciones de hidrógeno tienen el potencial de reducir el precio promedio de la generación de electricidad en áreas altamente urbanizadas, reemplazando la electrificación de edificios y el sector industrial con tecnologías basadas en hidrógeno. Es importante reconocer las limitaciones del enfoque de modelado utilizado en el estudio, y los análisis futuros deben considerar estas limitaciones para proporcionar una perspectiva más completa.

2.2 Sectores aplicables a la Sociedad del Hidrógeno

Una sociedad del hidrógeno podría ayudar en la transición de un sistema de energía de combustibles fósiles a una economía verde sostenible, teniendo en cuenta factores técnicos, ambientales, económicos y sociales. Trattner, Klell y Radner (2022) destacan el potencial de una sociedad del hidrógeno para facilitar la transición de una economía basada en combustibles fósiles a una economía verde sostenible, teniendo en cuenta factores tecnológicos, ambientales, económicos y sociales. Esta transición requiere un cambio completo de los combustibles fósiles a las fuentes de energía renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica, calor ambiental y biomasa, empleando máquinas electroquímicas, incluidos electrolizadores, baterías y celdas de combustible, para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de CO2 en todas las áreas de movilidad, industria, hogares y servicios de energía verde. Los mercados iniciales para el hidrógeno verde podrían ser productos intermedios para aplicaciones industriales, seguidos de la generación de energía y la movilidad (Acar et al. 2019). Una gama de sistemas multigeneración bien diseñados que aprovechan el espectro solar y generan productos de sistemas de valor agregado, como electricidad, calor, Cl2, NaOH, agua limpia y amoníaco, están disponibles. Fomentar métodos sostenibles de producción de hidrógeno es crucial para promover iniciativas internacionales.

En el ámbito de la sostenibilidad, la implementación de energía verde e hidrógeno en el sector de la movilidad es crucial, ya que puede reemplazar los combustibles fósiles tradicionales y reducir las emisiones de carbono en aplicaciones industriales. Sin embargo, la adopción del hidrógeno como portador de energía requiere alteraciones en las cámaras de combustión y quemadores, y se debe tener en cuenta la sustitución de los combustibles fósiles en cada proceso. A medida que crece la utilización de hidrógeno para vehículos eléctricos de pila de combustible, una importante empresa automotriz de la República de Corea ha considerado factible la infraestructura actual de suministro de hidrógeno y las estrategias para desarrollar la industria del hidrógeno (Kim et al. 2023). Se están explorando varios métodos para la producción y el transporte de hidrógeno, incluido el reformado de gas natural, la energía renovable y el hidrógeno verde. En un esfuerzo por reducir el precio del gas hidrógeno, el gobierno coreano está proporcionando subsidios al sector privado para fomentar la instalación de más estaciones de servicio de hidrógeno.

Para promover una oferta y una demanda estables de hidrógeno, los países deben capitalizar sus puntos fuertes para producir hidrógeno y desarrollar estrategias apropiadas de abastecimiento de combustible a través de asociaciones público-privadas y la cooperación internacional. En Japón, los responsables políticos se enfrentan a importantes desafíos para garantizar la seguridad energética sostenible tras la crisis nuclear de Fukushima. Por lo tanto, necesitan descarbonizar el sistema energético al tiempo que garantizan la seguridad y la continuidad en caso de desastres naturales. Según Khan, Yamamoto y Sato (2020), los vehículos de pila de combustible de hidrógeno (HFCV) apenas podrían cumplir en la transición verde de Japón, incluso con incentivos proporcionados por el gobierno para promover los HFCV como una tecnología respetuosa con el medio ambiente. Por lo tanto, la demanda potencial de HFCV y los incentivos gubernamentales siguen siendo factores críticos en la adopción del hidrógeno como portador de energía en Japón. Los sectores de movilidad, industria, servicios y hogares están altamente correlacionados con un posible efecto de contagio generado entre diferentes usuarios. Por lo tanto, una plataforma modelo integral podría servir como una mejor herramienta analítica para interpretar una red eléctrica integrada y una sociedad del hidrógeno.

2.3 Sistema eléctrico integrado en el caso de Noruega

Con el fin de fomentar el desarrollo de hidrógeno bajo en carbono, el gobierno noruego ha implementado varias medidas de apoyo relacionadas con la investigación y el desarrollo. La "Estrategia del hidrógeno" fue publicada por el gobierno en junio de 2020, refiriéndose a todo el sector energético y proporcionando una hoja de ruta para el hidrógeno. Según la AIE (2022), Noruega planea eliminar gradualmente su industria de exportación de petróleo para 2050, y el hidrógeno desempeñará un papel central en la transición hacia una sociedad baja en emisiones. Este cambio hacia el hidrógeno destaca la importancia de la descarbonización en Noruega. Aunque el sector petrolero todavía representa aproximadamente el 30% de las emisiones de CO2 de Noruega, se espera que el hidrógeno reemplace a los combustibles fósiles en los sectores de transporte e industrial.

A la luz del ambicioso objetivo de reducción de gases de efecto invernadero de Noruega de lograr una reducción del 90% al 95% (excluyendo los sumideros) de los niveles de 1990 para 2050, los combustibles de hidrógeno de energía verde se consideran la clave para la tecnología de bajas emisiones (AIE 2022). A pesar de esto, la adopción de la tecnología del hidrógeno sigue siendo limitada debido a la falta de apoyo político y regulatorio, así como a la limitada conciencia pública. Para promover el uso generalizado de la tecnología del hidrógeno, deben tenerse en cuenta diversos factores, como la conciencia y los beneficios ambientales, la disponibilidad de infraestructura de hidrógeno, la compatibilidad de los aparatos térmicos domésticos e industriales, los niveles de precios del combustible, la cobertura de los medios y el apoyo al mercado del hidrógeno (Høyland, Kjestveit y Skotnes 2023).

Para investigar los impactos económicos de las políticas destinadas a reducir la producción de combustibles fósiles y promover la demanda de hidrógeno en los sistemas de energía integrados, los modelos de Equilibrio General Computable (CGE) pueden servir como una herramienta valiosa. Espegren et al. (2021) emplearon un modelo CGE dinámico y multirregional para simular la transición energética de Noruega, demostrando el potencial de una descarbonización significativa para 2050 con la ayuda del hidrógeno. No obstante, el estudio también destaca los desafíos y las compensaciones asociadas con la transición, incluidos los posibles impactos en el crecimiento del PIB. El análisis indica que las tasas de crecimiento del PIB serán inicialmente inferiores a las del escenario alternativo principal, pero se recuperarán después de 2030. Para analizar los sistemas de energía integrados con diversas fuentes de energía, el uso de modelos CGE puede ser beneficioso, ya que permiten un examen exhaustivo de las implicaciones económicas de diferentes medidas políticas destinadas a lograr un sistema energético sostenible.

Damman et al. (2021) emplean un enfoque híbrido que combina el análisis sociotécnico cualitativo con modelos cuantitativos para explorar la dinámica sociotécnica que condujo a la situación actual en Noruega con respecto al hidrógeno en la transición energética. Este método de análisis puede ser particularmente útil en situaciones complejas, con múltiples vías y soluciones que se están considerando. Emplean dos modelos, a saber, el modelo de optimización ascendente del sistema energético nacional (TIMES-Norway) y el modelo de equilibrio general de arriba hacia abajo (REMES), para realizar un análisis cuantitativo de la viabilidad de diferentes rutas hacia una sociedad de cero emisiones en Noruega para 2050. El estudio señala que la transformación efectiva requiere la consideración de numerosas vías y la condición plausible para que cada vía se realice. Los abundantes recursos de energía hidroeléctrica, eólica terrestre y marina de Noruega, y la fuerte dependencia del petróleo y el gas ofrecen varias oportunidades para soluciones de energía de hidrógeno, arrojando así luz sobre el potencial y los desafíos de desplegar y producir hidrógeno a gran escala.

2.4 El potencial de la Sociedad del Hidrógeno para la descarbonización

La energía del hidrógeno es un elemento crítico para lograr una sociedad baja en carbono, pero su expansión enfrenta varios obstáculos, incluidos desafíos técnicos, financieros e institucionales. Si bien ha habido recomendaciones desde la perspectiva gubernamental y empresarial, los estudios sobre los usuarios de estaciones de hidrógeno son limitados, y los encuestados a menudo carecen de información suficiente sobre la tecnología. Las características de una futura economía del hidrógeno están actualmente sujetas a debate. Oliveira, Beswick y Yan (2021) proponen una visión en la que el hidrógeno se utiliza principalmente para la descarbonización con un plan de despliegue de hidrógeno de tres etapas que incluye varios sectores, incluidos la industria, el transporte, la construcción y la calefacción, y la electricidad, mostrando que el hidrógeno podría descarbonizar alrededor del 18% de los sectores relacionados con la energía. Mientras tanto, Hienuki et al. (2021) realizaron una encuesta a usuarios que repostan en estaciones de hidrógeno para evaluar la aceptabilidad social de estas estaciones. Compararon la aceptación de los usuarios de las estaciones de hidrógeno de autoservicio con la de las estaciones de servicio existentes. Al evaluar la confianza de los usuarios en la tecnología, pudieron mejorar la aceptabilidad de las estaciones de hidrógeno y aprovechar el modelo de aceptabilidad existente.

La utilización del mercado de intercambio de energía, además de la energía fotovoltaica in situ, puede mejorar el costo unitario del hidrógeno. La tecnología power-to-gas (PtG) para la producción de hidrógeno podría servir como un medio para estabilizar los sistemas de energía y reducir las emisiones de CO2. Yoshida et al. (2022) examinan el potencial de la tecnología PtG como medio para estabilizar los sistemas de energía y reducir las emisiones de CO2 a través de la producción de hidrógeno. Proponen un modelo de programación lineal entero mixto para optimizar el programa anual de producción de hidrógeno, con el costo unitario de producción de hidrógeno como índice de evaluación. Los resultados indicaron que la tecnología PtG podría servir como una solución prometedora para reducir las emisiones en el sector industrial, particularmente a medida que se introduzcan fuentes de energía renovables más variables en el futuro, y puede contribuir a la introducción de la demanda de hidrógeno para aplicaciones industriales.

En relación con el potencial de los sistemas de conversión de energía solar térmica a gas (StG) para facilitar la transición hacia la energía sin carbono en Japón, esta tecnología se considera muy prometedora debido a su capacidad para convertir la energía renovable en gases sintéticos como el hidrógeno y el metano, que pueden almacenar eficazmente energía renovable intermitente (Wai, Ota y Nishioka 2022). La producción de gases químicos sintéticos a través de la conversión de StG tiene un potencial significativo como alternativa a los combustibles fósiles, y el gobierno japonés está promoviendo la generación de energía renovable rentable y la conversión eficiente de PtG, específicamente para la producción, descarbonización y almacenamiento de hidrógeno. Además, el Japón participa actualmente en el desarrollo de tecnologías de reciclaje de carbono destinadas a reducir las emisiones de CO2 y capturar carbono del sector industrial.

Para lograr una transición hacia sistemas sociotécnicos sostenibles y establecer la conversión de energía, es imperativo considerar las dimensiones sociales de la conversión de hidrógeno. Estas dimensiones abarcan disparidades y desafíos contextuales, incluida la viabilidad técnica, el cumplimiento de las regulaciones nacionales, la aceptación pública y la viabilidad económica. La incorporación de una perspectiva social es crucial para garantizar un funcionamiento estable y eficiente de los sistemas sociotécnicos. Sin embargo, el hidrógeno, a pesar de ser capaz de complementar la electricidad renovable y contribuir a diversos sectores relacionados con la energía, no es la fuente de energía predominante en la actualidad. Para satisfacer la demanda futura de hidrógeno, la economía del hidrógeno debe expandirse, y la adopción del hidrógeno verde en sectores como la síntesis química debe priorizarse junto con las fuentes de energía convencionales para garantizar la cadena de suministro de hidrógeno para la producción para lograr economías de escala. Además, el hidrógeno puede ayudar a los esfuerzos de descarbonización en virtud de su alta densidad de energía de masa, peso ligero, facilidad de conversión electroquímica y capacidad para almacenar energía durante períodos prolongados. Sería deseable desarrollar una medida cuantitativa para capturar la transición de las fuentes de energía hacia una sociedad del hidrógeno respaldada por el avance tecnológico para evaluar el impacto en la industria y las emisiones de GEI.

3. METODOLOGÍA

Para realizar una evaluación de impacto integral para la transición a una sociedad del hidrógeno, es esencial utilizar el instrumento con el alcance comúnmente aceptado de la base de datos y un enfoque consistente. Sin embargo, bajo la literatura existente sobre el hidrógeno se centra principalmente en la eficiencia energética. Además, el análisis económico todavía se limita al análisis de costo-beneficio, y encontramos parámetros tecnológicos basados en la evidencia para implementar la energía del hidrógeno con los indicadores de tecnología de previsión y aplicar un modelo CGE para obtener el impacto de la sociedad del hidrógeno.

3.1 La captura de la mejora tecnológica

Para evaluar cuantitativamente las políticas sociales y económicas relacionadas con la ciencia y la tecnología para presentar múltiples opciones de políticas posibles, es indispensable capturar las características tecnológicas del capital tangible y de conocimiento como compilación de activos fijos intangibles en las tablas input-output (Kuroda et al. 2018). El modelo de interdependencia económica general multisectorial capta explícitamente el impacto en la economía y la sociedad a través de la interdependencia general de la economía en términos de flujos y existencias por sector industrial basado en la actividad de tres dimensiones: producto principal, intra-TIC e intra-I&D.

El modelo utiliza un caso de referencia de un escenario tecnológico (ciencia y tecnología y tecnología social) que se da exógenamente a la economía y la sociedad sin ninguna medida política específica para comparar su impacto en la economía y la sociedad utilizando diversos indicadores para establecer la dirección del cambio económico y social. Además, se creó el Sistema de Asistencia de Inteligencia de Políticas ScREX – Simulador Económico (SPIAS-e) para servir como una herramienta analítica para comprender las características de la ciencia y la tecnología y sus impactos económicos y sociales en el escenario de la economía de Japón en la proyección de 2021-2050 (Huang y Kuroda 2021), cuyos parámetros podrían utilizarse para el análisis económico.

3.2 Modelo GTAP-E-Power

Para analizar el impacto de la energía o el sistema de energía en la economía a escala global, se utiliza comúnmente el modelo del Proyecto de Análisis de Comercio Global (GTAP) desarrollado por la Universidad de Prude (Hertal 1997). El modelo GTAP se basa en un marco GCE con las tablas input-output aportadas por la comunidad investigadora. En muchas extensiones del modelo GTAP, el GTAP-E-Power es un modelo de economía detallada de electricidad que ha descompuesto diferentes generaciones de energía a partir de combustibles fósiles de carbón, petróleo crudo y gas natural, o energía renovable como la energía hidroeléctrica, solar y eólica (Peters 2016a, b). El modelo GTAP-E-Power implementa el modelo GTAP al presentar indicadores económicos de producción, precio, comercio exterior y emisiones de dióxido de carbono de 75 sectores, lo que lo convierte en una herramienta de política útil para identificar un problema económico nacional o mundial (Huang, Iwaki, Liou, 2023). Aunque la energía del hidrógeno todavía no está incluida en el modelo, podríamos utilizar los parámetros procedentes de otras bases de datos disponibles como SPIAS-e y otra literatura clave para ilustrar el impacto de la hoja de ruta de la sociedad del hidrógeno.

4. ESCENARIO

Creamos un escenario de una hoja de ruta hacia una sociedad del hidrógeno en el modelo GTAP-E-Power. Como se ha indicado, en ausencia del sector de la energía del hidrógeno en el alcance del modelo, asumimos una mayor productividad gracias a la mejora tecnológica con energía de hidrógeno generada por diferentes fuentes de energía. Por lo tanto, en lugar de diferenciar las fuentes de hidrógeno, demostramos la implementación de una sociedad del hidrógeno utilizando los parámetros procedentes de SPIAS-e para la mejora tecnológica y los supuestos de costo del hidrógeno (AIE 2021) como los choques de política.

4.1 Mejora tecnológica

Nos referimos a la proyección de indicadores económicos como prospectiva tecnológica debido a su característica en el flujo acumulado de capital social tangible e intangible. En SPIAS-e, los indicadores en la proyección a 50 años se generan junto con la mayor eficiencia generada por la tecnología de la información y la comunicación (TIC) y el cambio demográfico (Huang y Kuroda 2021).

El índice de precios del capital tangible agregado de 93 sectores representa el costo del insumo de capital (gráfico 4.1); Un índice más alto indica un costo más alto. Entre 2014 y 2035, los sectores energéticos muestran el valor más bajo, lo que implica que el sector tiene una mejora tecnológica más significativa; por otro lado, el sector de servicios muestra un alto valor, lo que indica que el cambio demográfico en Japón ha encarecido el costo de los servicios. Los indicadores podrían denominarse efectos indirectos aportados por la investigación y el desarrollo (Huang, Liou e Iwaki 2021). Por lo tanto, calibramos el índice de 2025-2035 como nuestros parámetros para la mejora tecnológica (Tabla 4.2).





4.2 Choque de la política de la sociedad del hidrógeno

Los sectores de energía y generación de energía en el modelo GTAP-E-Power son más específicos que los sectores clasificados en SPIAS-e. Por lo tanto, para simplificar y coherencia, unificamos los parámetros para estos dos sectores y el índice de inversión de capital para la generación de hidrógeno (Tabla 4.3).

4.2.1 Crecimiento de la productividad

En 2025-2035, la actividad de investigación y desarrollo acumulada en la trayectoria de negocios habituales (BAU) muestra un índice de precios más bajo para la mayoría de los sectores, especialmente en los sectores de energía (6,1%), equipos de transporte (5,97%) y agricultura (4,96%), lo que indica que las empresas podrían lograr el mismo desempeño con menos insumos. Sin embargo, debido a la disminución de la población, el crecimiento de la productividad disminuyó en los sectores de servicios (–1,72%) y manufactura (–1,64%).

4.2.2 Inversión de capital

Para lograr una sociedad del hidrógeno, la inversión de capital en la generación de hidrógeno es fundamental. Se supone que el índice de inversión para la generación de energía con combustibles fósiles es del 10% después de la instalación de equipos con sectores asociados. En comparación, la proporción se establece en 50% para la fuente de energía renovable de energía solar y eólica debido a la declaración del objetivo de neutralidad neta de carbono cero. El volumen total de inversión es de $ 924.7 millones.

4.2.3 Eficiencia energética

Según la estimación de costos de generación de energía de hidrógeno por la AIE (2019), a partir de 2019, el costo relativo de H2 por KG por reformado de metano de vapor (petróleo y gas), gasificación de carbón y electrólisis (energía renovable) es 1: 2: 4; Por la presente asumimos que la eficiencia de generación de hidrógeno para los sectores de servicios y fabricación podría aumentar en un 20%, 10% y 5% para cada método de generación de energía, respectivamente. Además, dada la evidencia de que una mayor tasa de uso también aumentaría la eficiencia, asumimos que la generación de energía de carga máxima para sectores intensivos en energía para el análisis de simulación.



5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Con base en los parámetros de cambio tecnológico del escenario y los choques de políticas, obtuvimos los resultados de una hoja de ruta hacia una sociedad del hidrógeno. Dado que los parámetros se calibraron durante diez años, implicaba que los resultados de la simulación podían considerarse como un indicador económico acumulado de diez años (gráfico 5.1). A continuación, discutimos los resultados de la simulación desde cuatro perspectivas: (1) producción y cambio de precios, (2) comercio exterior y cadena de suministro, (3) emisión de dióxido de carbono y (4) análisis del PIB y el bienestar.

5.1 Cambio de producción y precio

En términos generales, los sectores energéticos muestran un aumento de la producción, excluyendo una ligera caída del carbón. Dado que el volumen de la producción de Japón para los sectores energéticos es mínimo, el aumento podría pasarse por alto. Sin embargo, la disminución de los precios podría implicar la transición de las fuentes de energía. La producción y el precio de la electricidad mostraron crecimiento, lo que indica la creciente importancia de la electricidad de todas las fuentes de generación de energía.



La producción agrícola mostró un ligero crecimiento del 0,5% y una disminución del 3,1% en el precio gracias a la mayor productividad de los sistemas inteligentes y autónomos. Por otro lado, los equipos de transporte mostraron un crecimiento vibrante del 5,0% con una disminución del precio, lo que refleja la competitividad de Japón en la producción de vehículos nuevos que se adaptan a las transiciones energéticas. Por su parte, cabe destacar que la producción disminuyó un 3,7% en equipos electrónicos y un 1,0% en el sector intensivo en energía a pesar de su aumento de productividad. La producción del sector manufacturero cayó un 6,6%, y el precio aumentó un 6,1%, lo que indica la influencia en declive.

El cambio demográfico ha amenazado al sector de servicios de Japón, que tiene la mayor participación económica. Sin embargo, la transición energética ha ayudado a activar el sector, con ligeros incrementos del 0,7% en el transporte y del 0,4% en los servicios. Aunque los aumentos de precios alcanzaron el 5,4 por ciento y el 15,8 por ciento, el crecimiento positivo de los sectores de servicios contribuye a mantener la estabilidad a largo plazo de los resultados económicos.

5.2 Comercio exterior y cadena de suministro

El escenario de perturbaciones políticas sobre la eficiencia energética y la inversión en sectores relacionados con la sociedad del hidrógeno también puede afectar a la cadena de suministro mundial en relación con el cambio porcentual del volumen comercial con los socios comerciales (gráfico 5.2). Por lo tanto, la interpretación de las posibles consecuencias puede ayudar a las empresas y facilitar la formulación de políticas en la preparación para el ajuste de la producción y la fluctuación.

5.2.1 Sectores energéticos S

Dado que Japón sólo produce muy poca energía, ignoraremos el cambio en la exportación de Japón a otros países. Además de la situación estable en los sectores del carbón y el petróleo crudo, Japón aumenta su importación de gas natural de Europa y de las regiones asiáticas, mientras exporta petróleo refinado a otras regiones. Mientras tanto, Australia y Nueva Zelanda redujeron la importación de petróleo de otras regiones, pero aumentaron sustancialmente las importaciones en un 7,9% de Japón, lo que podría implicar otras posibles asociaciones energéticas.

5.2.2 Otros sectores manufactureros

Con un suministro de energía más estable para los sectores intensivos en energía, como los sectores del acero, los productos químicos y la maquinaria, Japón se ha vuelto más autosuficiente, con un fuerte aumento de las exportaciones del 5,6% a todas las regiones. Además, la competitividad básica de Japón en equipos de transporte también se mostró en el notable aumento de las exportaciones entre un 5,7% y un 7,2%, especialmente en Europa y en las regiones asiáticas. Es interesante ver el aumento significativo de las exportaciones del 15% en el sector agrícola de Japón, que contribuyó principalmente a su alto valor agregado y sistema inteligente. Como no se prevé ninguna perturbación política, el Japón podría sustituir la importación por suministro interno para el sector del transporte marítimo.

Por otro lado, la demanda de los sectores manufacturero y de equipos electrónicos de Japón mostró una disminución significativa, lo que implica la disminución de las ventajas comparativas de Japón en las redes mundiales de producción. Sin embargo, la alta interdependencia entre Japón y el mundo para los sectores intensivos en energía y equipos de transporte puede resaltar la importancia de desarrollar el proceso esencial hacia una sociedad del hidrógeno mediante el suministro de equipos de transporte de próxima generación y la actualización de los productos de los sectores intensivos en energía.

5.3 Emisión de dióxido de carbono

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono mediante el uso de energía renovable es la medida principal para lograr el objetivo de neutralidad neta cero de carbono (figura 5.3). Los parámetros de mejora tecnológica que establecimos para los shocks de política podrían proyectar posibles vías de emisión de CO2 con implicaciones políticas informativas hacia el objetivo de reducción. Sin embargo, como los choques solo se aplican a nivel nacional en Japón, nos centramos más en la emisión interna de dióxido de carbono.

Una mayor emisión de combustible fósil puede implicar una fluctuación en la transición energética, mientras que el gas natural mostró una disminución de emisiones del 3,7%. Al implementar el supuesto equipo de generación de energía de hidrógeno de alta eficiencia, los sectores de generación de energía, incluidos el carbón, el petróleo crudo y el gas natural, han contribuido a una disminución del 2,3% en las emisiones, o 6,8 millones de toneladas. Otras reducciones significativas de emisiones podrían referirse a los sectores de equipos electrónicos (–4,4%) y manufactura (9,5%), lo que implica la reconstrucción de la cadena de suministro global. Por otro lado, los sectores intensivos en energía mostraron un aumento del 5,2% en las emisiones debido a la ventaja comparativa sectorial de Japón como compensación para otros sectores manufactureros.

La competitividad central de Japón en la producción de equipos de transporte ha dado sus frutos en la reducción de emisiones en un 1,0%, lo cual es pequeño pero innegable porque la producción de los llamados vehículos electrónicos de "cero emisiones" es conocida por las emisiones masivas de CO2 durante su proceso de producción. Curiosamente, incluso sin choques de política de eficiencia energética, el sector del transporte marítimo podría alcanzar una reducción de emisiones del 2,8%, principalmente debido al cambio en el comercio exterior y el crecimiento de la productividad en la logística global.

Mientras tanto, la reducción de emisiones del 3,3% o un total de 19,8 millones de toneladas en los sectores de transporte y servicios es impresionante, lo que representa indicadores vitales para la transición a una sociedad del hidrógeno. Por último, podríamos empezar a preocuparnos por el aumento masivo de las emisiones si nos fijamos en los indicadores de las empresas importadoras. Esto se debe principalmente a que no se establecieron parámetros de mejora tecnológica ni se aplicaron perturbaciones de política a regiones distintas de Japón.

5.4 Cambio en el empleo

Junto con el cambio demográfico y la mejora tecnológica hacia la sociedad del hidrógeno, el empleo sectorial también muestra la transición (cuadro 5.1). Con la implantación de las nuevas instalaciones de generación de hidrógeno, el empleo muestra un crecimiento significativo de la energía solar (12,9%) y del sistema de transporte de energía (12,9%), el gas natural (12,5%) y la energía térmica (10,3%), mientras que se evidencia una disminución en el carbón (–11,6%) y el petróleo (–7,5%). Los sectores intensivos en energía y otros disminuyen entre un 6,4% y un 6,9%, mientras que un aumento sustancial es evidente en el equipo de transporte (10,5%).

En cuanto al número de empleados, la mayor eficiencia y el sistema automático han disminuido el transporte en 413.712 personas. Sin embargo, el servicio muestra un aumento de 614.248 personas, lo que indica una asignación de carga de trabajo más específica a los sectores de mantenimiento o atención médica. Como la disminución y el envejecimiento de la población es inevitable en Japón, el cambio de empleo no debe tomarse como un shock, sino más bien como un proceso de transición hacia la sociedad del hidrógeno. La mejora tecnológica aún podría sostener una logística, transporte y servicio eficientes con una calidad de vida satisfactoria y mitigar el cambio climático con fuentes de energía limpias y renovables.

5.5 Análisis del bienestar y PIB

En el alcance del modelo GTAP, utilizamos variaciones equivalentes para comparar el cambio de utilidad en las condiciones ex ante y ex post para evaluar el bienestar (Figura 5.4). La utilidad regional es la función de los bienes, incluida la energía consumida por los hogares de la región. Calibramos los parámetros de crecimiento tecnológico, inversión de capital para sectores relacionados con el hidrógeno y supuestos de eficiencia energética, lo que contribuyó a una mejora sustancial en el bienestar en $ 75,696 millones. Aunque los parámetros relevantes no se aplican a otras regiones, la ASEAN mostró un aumento de $ 299 millones en bienestar, lo que implica que su economía también se vio afectada positivamente por nuestra supuesta transición de la sociedad del hidrógeno en la cadena de suministro regional.

Los resultados consistentes en el PIB también revelan que la transición a una sociedad del hidrógeno podría traer un crecimiento económico del 1,3%. La mejora del sistema de energía del hidrógeno con inversiones estratégicas podría conducir a una mayor calidad de vida con menos emisiones de CO2. La hoja de ruta de la sociedad del hidrógeno podría tener un impacto positivo en la economía incluso para un país como Japón con su tremenda presión sobre el cambio demográfico con una población en disminución.

6. CONCLUSIONES

La composición de una sociedad del hidrógeno es compleja, y requiere un enfoque interdisciplinario y un análisis inclusivo para coordinar los factores críticos para acelerar el desarrollo trazado en la hoja de ruta de manera efectiva. Pero, lo que es más importante, un enfoque más amplio del análisis socioeconómico podría motivar sustancialmente a más partes interesadas a cooperar para una implementación integral para expandir la demanda para lograr una sociedad del hidrógeno con un desarrollo limpio y sostenible.

La principal contribución de la investigación es su inclusión basada en la evidencia del indicador de tecnología de previsión 2025-2035 para un escenario de transición de la sociedad del hidrógeno asumido con modelos económicos GTAP-E-Power para intuiciones políticas plausibles. Los resultados de la simulación proporcionaron información de amplio alcance que podría ayudar a las industrias a ajustar la fluctuación y la oportunidad junto con la sociedad del hidrógeno. Este método permitió que más especialistas se unieran al proceso de formulación de políticas con su experiencia para fortalecer y cumplir las recomendaciones de políticas gradualmente.

6.1 Implicaciones políticas

Basándonos en los resultados de la simulación de la transición de la sociedad del hidrógeno de Japón, encontramos que la inversión de capital en los sectores de generación de energía para equipos de generación de energía de hidrógeno podría mejorar la eficiencia energética, contribuyendo así a estimular la economía de Japón al aumentar el PIB en un 1,3% con una mejora del bienestar en $ 75,696 millones, así como una reducción estimada en las emisiones de CO2 de 19.8 millones de toneladas en los sectores de transporte y servicios.

Más específicamente, la transición de la sociedad del hidrógeno podría reducir la dependencia de Japón de los combustibles fósiles con una cadena de suministro global más resistente para los sectores intensivos en energía, equipos de transporte e incluso agricultura. Además, la inversión en sectores relacionados con el hidrógeno también reforzó la competitividad de Japón y creó la posibilidad de una asociación energética con Australia y Nueva Zelanda y redes de producción con la ASEAN.

Nuestro estudio indica que el logro de economías de escala es imperativo para disminuir notablemente los gastos asociados con la energía del hidrógeno. La solidez de la cadena de suministro de hidrógeno depende de la existencia de una sólida demanda de energía de hidrógeno en todos los sectores, incluidos el transporte, la fabricación y los dominios residenciales. Además, para garantizar el buen funcionamiento y el mantenimiento de la cadena de suministro de hidrógeno, el establecimiento de redes de producción en ámbitos cruciales como los vehículos de pilas de combustible de hidrógeno (HFCV) y otros componentes vitales de la infraestructura de hidrógeno es crucial y produciría beneficios para los colaboradores regionales en Asia y el Pacífico.

La transformación en los patrones de empleo subraya la importancia de crear capacidad e impartir capacitación en industrias relacionadas con el hidrógeno. Si bien los avances en la eficiencia podrían conducir al desplazamiento de algunos empleos tradicionales en el sector de los combustibles fósiles, se espera que la demanda de energía sostenible genere oportunidades de empleo para los técnicos y los sectores orientados a los servicios, lo que permitirá una mayor movilidad internacional de los recursos humanos. Es probable que esta transferencia de conocimientos y aptitudes tenga un efecto indirecto, no sólo dentro de la región sino también entre regiones, debido a la creciente adopción de fuentes de energía renovables como la energía eólica marina y las industrias manufactureras asociadas. Los diálogos continuos sobre políticas relacionados con la transferencia de tecnología y las asociaciones con las partes interesadas son vitales para la formulación y colaboración efectivas de políticas dentro de la cadena de suministro mundial. Finalmente, recomendamos el establecimiento de una zona piloto de la sociedad del hidrógeno para facilitar la adopción de la energía del hidrógeno.

6.2 Limitación de la investigación

Para llenar el vacío en los estudios de hidrógeno entre el enfoque de ingeniería y el análisis económico, la investigación aplicó un modelo GTAP-E-Power para simular la transición de la sociedad del hidrógeno de Japón con parámetros de mejora tecnológica calibrados a partir de SPIAS-e. Sin embargo, aunque los indicadores económicos informativos se identificaron a través del escenario supuesto en la simulación de shocks de política, las limitaciones son inevitables para el alcance de la investigación actual. Por ejemplo, el supuesto de mejora tecnológica podría simplificarse demasiado en el marco de parámetros homogéneos de eficiencia energética para todas las fuentes de bienes energéticos y generación de energía. Por lo tanto, se deben hacer indicadores más precisos de los parámetros de energía para mejorar la precisión de los resultados de la simulación.

Además, el alcance del modelo GTAP-E-Power es un modelo estático y, por lo tanto, no se pudo medir el impacto recursivo, lo que dificulta reflejar la viabilidad fiscal de la inversión masiva en infraestructura. Además, no es realista que los parámetros de mejora tecnológica solo ocurran en Japón, lo que ha restringido drásticamente la revelación de la cadena de suministro global de hidrógeno. Es deseable superar estas limitaciones para que el análisis GTAP-E-Power pueda ser un instrumento más práctico para interpretar la sociedad del hidrógeno.

6.3 Perspectivas futuras

Además de recuperarse de la pandemia de COVID-19, se instalarán más sistemas relacionados con el hidrógeno para cumplir con la hoja de ruta y el objetivo de una sociedad de carbono neto cero. Para hacer frente a las limitaciones de investigación indicadas anteriormente, sería indispensable aplicar parámetros más precisos para los indicadores de mejora tecnológica para Japón y otras regiones, específicamente a las fuentes particulares de generación de energía, para ilustrar mejor el impacto de la transición a una sociedad del hidrógeno.

No obstante, será esencial revisar el alcance del modelo GTAP-E-Power de estático a dinámico para capturar adecuadamente el impacto recursivo de las opciones de inversión para permitir a los responsables de la formulación de políticas designar planes fiscales viables para apoyar el proyecto bajo las referencias basadas en la evidencia.

Finalmente, y fundamentalmente, de manera similar al esfuerzo invertido en distinguir los sectores de energía renovable de la generación de energía solar y eólica de los combustibles fósiles, será necesario que los economistas y los estadísticos piensen en extrapolar la energía del hidrógeno a un sector independiente. Esta tarea ayudará enormemente a analizar la interdependencia entre los sectores y hacer recomendaciones políticas directas para acelerar la realización de una sociedad del hidrógeno.