

Transformación del sector de calefacción en Rhode Island

Caminos hacia la descarbonización para 2050

PREPARADO PARA

División de Servicios Públicos y Transportistas de Rhode Island

Oficina de Recursos Energéticos de Rhode Island

APRIL 22, 2020

THE **Brattle** GROUP

AUTORES



Dr. Dean Murphy es economista con experiencia en ingeniería y más de 25 años de experiencia en la industria de la energía. Tiene experiencia en economía de la energía, economía y finanzas competitivas y regulatorias, así como en modelado cuantitativo. Su trabajo se centra en la industria eléctrica, incluyendo temas como el análisis y las políticas del cambio climático, y ha realizado una serie de estudios de planificación y previsión del sector eléctrico a largo plazo que examina la transición a un sector de generación en gran parte descarbonizado. A su vez, tiene experiencia en solicitudes de energías renovables, planificación de inversiones y recursos, y economía nuclear.

Decanato.Murphy@brattle.com



Dr. Jürgen Weiss es economista de organizaciones energéticas e industriales con 20 años de experiencia en consultoría en los Estados Unidos, Europa y Medio Oriente. Actualmente, encabeza las iniciativas relacionadas con la electrificación de Brattle. La práctica de consultoría del Dr. Weiss se centra en cuestiones ampliamente impulsadas por el cambio climático, como la electrificación del transporte y de la calefacción, la descarbonización profunda del sector eléctrico y el impacto que estos cambios tienen en los activos existentes, las estructuras de mercado, las necesidades de planificación a largo plazo y los modelos de negocio para las compañías de electricidad.

Jurgen.Weiss@brattle.com

AVISO

- Este informe fue preparado por The Brattle Group, con el apoyo de Buro Happold y Jens Ponikau de Buffalo Geothermal Heating, para la **Oficina de Recursos Energéticos (OER, por sus siglas en inglés) de Rhode Island** y el **Departamento de Servicios Públicos y Transportistas de Rhode Island (DPUC, por sus siglas en inglés)**. Está destinado a leerse y usarse en su totalidad, y no en partes. El informe refleja los análisis y las opiniones de los autores y no necesariamente aquellos de los de los clientes de The Brattle Group o de otros consultores.
- Agradecemos las valiosas contribuciones de la analista senior de investigación Maria Castaner, la OER, el DPUC, la oficina gubernamental y todas las partes interesadas que participaron en el proceso.

CONTENIDO

Resumen Ejecutivo (RE)	i
Cinco temas para guiar el camino a seguir en Rhode Island.....	v
Introducción y antecedentes	1
El sector de la calefacción de Rhode Island	5
Descripción general del sector de calefacción de Rhode Island y soluciones de descarbonización	5
Aplicaciones de calefacción primaria en Rhode Island	7
Soluciones de descarbonización para Rhode Island	11
1. El rol de la eficiencia energética.....	12
2. Electrificación descarbonizada con bombas de calor	15
3. Combustibles descarbonizantes	17
4. Calefacción urbana descarbonizada	21
5. Otras consideraciones	23
Metodología	26
Necesidades de calefacción y soluciones de descarbonización.....	26
Modelo económico de calor descarbonizado.....	27
Modelo del sistema de electricidad e impactos del calor descarbonizado.....	29
Modelo de combustibles renovables	32
1. Taxonomía de combustibles renovables	33
2. Mercados para combustibles renovables.....	34
3. Curva de suministro para combustibles renovables	34
Análisis de vías de calefacción descarbonizadas para Rhode Island	38
Resultados del modelo económico — Vivienda unifamiliar.....	38
1. Escenarios base	39
2. Escenario de adopción mixta	43
3. Energy Wallet	46
4. Conclusiones para la vivienda unifamiliar existente.....	47

Implicaciones para el calor espacial en edificios más grandes	47
Calentamiento de agua	49
Calor industrial	50
Evaluación cualitativa y otros factores	52
Conclusiones de la modelización analítica y de las entrevistas con las partes interesadas	54
Elecciones de las políticas para transformar el sector de la calefacción de Rhode Island	58
Principios de la política	59
Un mapa de la política para los próximos 10 años	61
1. Temas de la política para el corto plazo	62
Conclusiones y próximos pasos para Rhode Island.....	73
Glosario	74
Participantes del estudio y proceso de partes interesadas	75
Referencias.....	76

GRÁFICOS

Resumen Ejecutivo (RE)	i
Gráfico RE 1: Costo anualizado de la calefacción de espacios en 2050, Vivienda unifamiliar representativa, Escenarios base, 2018\$.....	ii
Gráfico RE 2: Costo anualizado de la calefacción de espacios en 2050, escenario base representativo de viviendas unifamiliares frente a escenarios mixtos, 2018\$	iii
Gráfico RE 3: Comparación de Energy Wallet total anual para el consumidor representativo: Escenario mixto 2020 vs. 2050, 2018\$.....	iv
Gráfico RE 4: Temas para guiar las recomendaciones de políticas tempranas	vi
Introducción y antecedentes	1
Gráfico 1: Composición de las emisiones de GEI de Rhode Island	2
Gráfico 2: Temperaturas medias anuales en Rhode Island (1895—2018)	3
Descripción general del sector de calefacción de Rhode Island y soluciones de descarbonización	5
Gráfico 3: Consumo total de energía de Rhode Island en 2017 por sectores	5
Gráfico 4: Fuente de calefacción para clientes residenciales de Rhode Island	6
Gráfico 5: Cantidad de edificios residenciales y comerciales por demanda de energía de calefacción	7
Gráfico 6: Acciones de edificios residenciales de Rhode Island por edad, tipo de vivienda y combustible	8
Gráfico 7: Acciones de edificios comerciales de Rhode Island por tipo de edificio, pies cuadrados y combustible	8
Gráfico 8: Demanda energética en Nueva Inglaterra de combustibles para calefacción distintos de la electricidad (Sector residencial, 2015)	9
Gráfico 9: Demanda energética de los combustibles para calefacción diferentes de la electricidad en Nueva Inglaterra (Sector comercial, 2017)	9
Gráfico 10: Costo anualizado de las tecnologías de calefacción actuales, Vivienda unifamiliar en 2020 y prevista para 2050 (2018\$)	11
Tabla 1: Soluciones de descarbonización	12
Gráfico 11: Proceso de conversión de electricidad en líquido (P2L).....	18
Gráfico 12: Proceso de conversión de electricidad en gas (P2G)	19

Gráfico 13: Esquema ilustrativo de los sistemas de calefacción urbana.....	21
Gráfico 14: Intensidad de carbono de sistemas selectos de calefacción urbana.....	22
Metodología.....	26
Gráfico 15: Estructura del análisis de transformación de la calefacción	27
Gráfico 16: Resumen del modelo analítico	29
Gráfico 17: Impacto de electrificar el calor a través de las ASHP vs GSHP — 2050.....	31
Gráfico 18: Precio de la electricidad en Rhode Island por escenario (centavos/kWh, en 2018\$)...	32
Gráfico 19: Fuentes de combustibles renovables	33
Gráfico 20: Curva de suministro para el gas renovable de la American Gas Foundation en Estados Unidos (Escenario de alto potencial de recursos).....	35
Gráfico 21: Estimaciones de costos alternativos del gas renovable	36
Análisis de vías de calefacción descarbonizadas para Rhode Island.....	38
Gráfico 22: Acciones en calefacción por combustible (número de edificios) Acciones actuales vs. escenario mixto (2050).....	39
Gráfico 23: Costo anualizado de calefacción de espacios, vivienda unifamiliar en escenarios base 2050 (2018\$)	40
Gráfico 24: Costo anualizado de calefacción de espacios, vivienda unifamiliar en 2050 Escenarios mixtos vs. Escenarios base (2018\$)	44
Gráfico 25: Precio de entrega del gas: Gas fósil 2020 vs. Gas renovable potencial 2050 (2018\$).....	45
Gráfico 26: Comparación de Energy Wallet total anual para la vivienda unifamiliar, en 2020 vs escenario mixto en 2050 (2018\$)	46
Gráfico 27: Costo anualizado de calefacción de espacios, edificio estilizado grande en los Escenarios base de 2050 (2018\$)	48
Gráfico 28: Costo anualizado del calentamiento de agua, Residencial en 2050 (2018\$).....	50
Tabla 2: Desafíos cualitativos que afectan a las alternativas de calefacción descarbonizada	55
Elecciones de las políticas para transformar el sector de la calefacción de Rhode Island	58
Gráfico 29: Temas para guiar las recomendaciones de políticas tempranas	62
Gráfico 30: Órdenes ilustrativas de mezclas de biodiésel que dan como resultado la descarbonización total del combustible entregado para 2030, 2040 o 2050.	64



Resumen Ejecutivo (RE)

Como parte del compromiso de Rhode Island con la descarbonización en toda la economía, este informe examina soluciones para transformar el sector de la calefacción del estado. En el sector de calefacción, predomina la calefacción de espacios para los sectores comerciales y residenciales, pero también se incluye el calentamiento de agua y la calefacción industrial, y representa, aproximadamente, un tercio de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del estado.¹

Existen muchas soluciones para descarbonizar el sector de la calefacción, pero se dividen en las tres siguientes grandes categorías:

1. Reducir las necesidades de energía mejorando la eficiencia energética de los edificios
2. Sustituir los combustibles fósiles de calefacción actuales por aceite o gas renovable neutro en carbono
3. Sustituir los hornos y las calderas de combustibles fósiles actuales por bombas de calor geotérmicas o aerotérmicas alimentadas por electricidad libre de carbono

El sector industrial puede necesitar otros tipos de soluciones, que pueden ser muy específicas de la aplicación.

Para hacer la transición al calentamiento descarbonizado lo suficientemente rápido como para cumplir con los objetivos de descarbonización de mediados de siglo, Rhode Island necesitará políticas de apoyo significativas. Las razones incluyen los bajos precios de los combustibles fósiles (particularmente para el gas natural), que tampoco reflejan los costos sociales de las emisiones de gases de efecto invernadero; el cambio a soluciones de calefacción electrificada requiere costos iniciales sustanciales para el equipo y la instalación en comparación con el reemplazo de calderas u hornos; y otras más factores cualitativos como los déficits de información, las cadenas de suministro inmaduras y la renuencia natural de los consumidores a cambiar lo que parece funcionar bien.

Rhode Island debe basar su marco de políticas para la transformación del sector de la calefacción en la comprensión del atractivo económico relativo de varias soluciones de descarbonización. **El gráfico RE 1** muestra el rango proyectado de costos de calefacción anuales promedio en 2050 para una vivienda unifamiliar representativa presente en Rhode Island, que utiliza combustibles fósiles ya existentes (a la izquierda) o varias soluciones alternativas de calefacción descarbonizada (a la derecha). En este gráfico se muestran dos ideas clave:

¹ Aunque no forma parte directamente del sector de la calefacción, la refrigeración también desempeñará un papel en la transformación del sector de la calefacción, ya que algunos equipos de calefacción (especialmente, las bombas de calor) también pueden proporcionar enfriamiento.

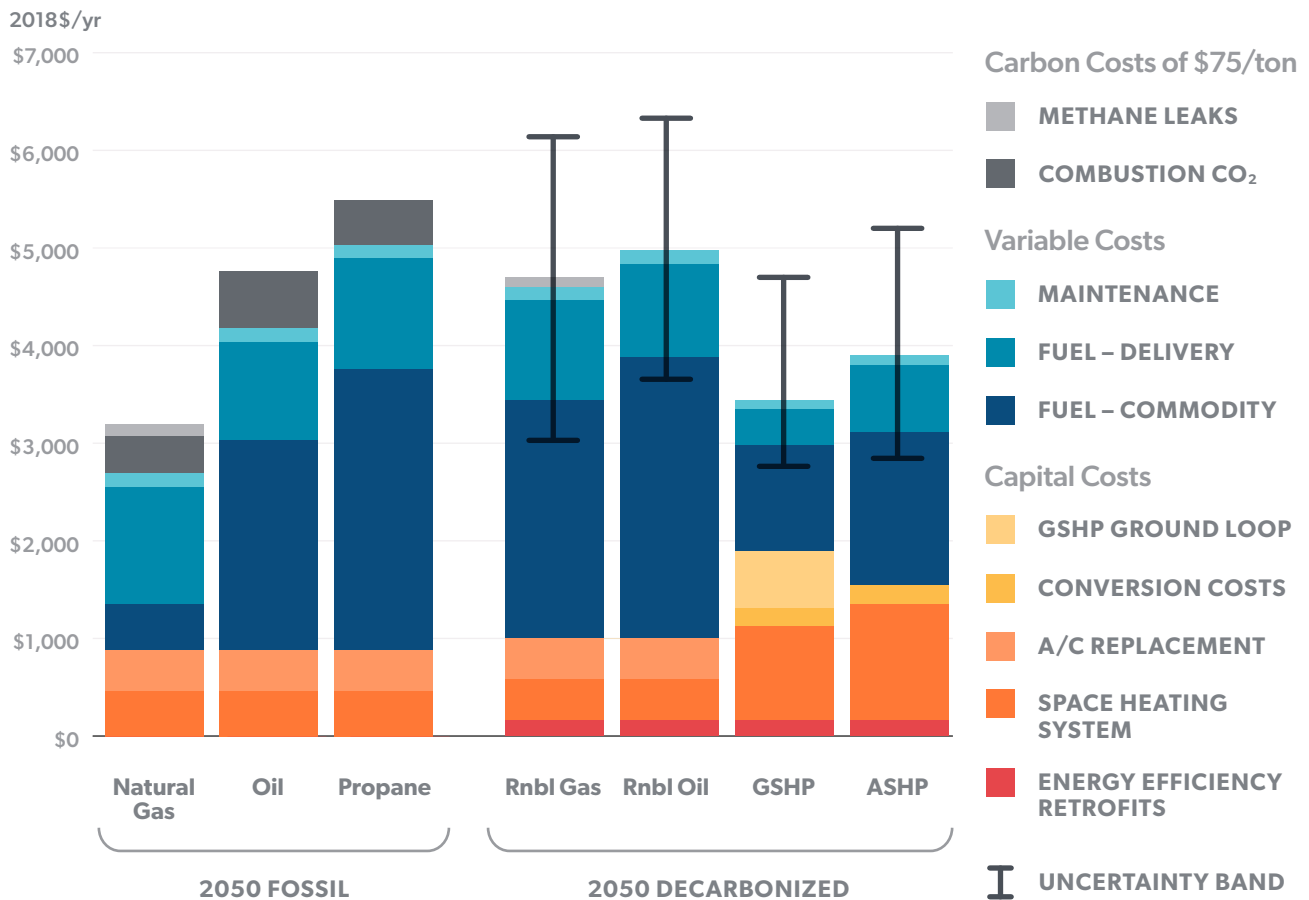


GRÁFICO RE 1: COSTO ANUALIZADO DE LA CALEFACCIÓN DE ESPACIOS EN 2050, VIVIENDA UNIFAMILIAR REPRESENTATIVA, ESCENARIOS BASE, 2018\$

1. Para los clientes de gas natural, que representan la mayoría de los clientes de calefacción en el estado, es probable que todas las soluciones de calefacción descarbonizadas generen algún aumento en los costos generales de calefacción. Esto es menos claro para los clientes de propano y de aceite combustible. Sin embargo, la adopción por parte del cliente de soluciones de calefacción sin carbono o bajas en carbono no se llevará a cabo de forma aislada. Si consideramos la transformación de la calefacción en el contexto de esfuerzos de descarbonización más amplios en los sectores de la electricidad y el transporte, es probable que los gastos totales de energía de los consumidores sean similares a los que se pagan hoy en día en un sistema basado en combustibles fósiles.
2. Desde la perspectiva actual, ninguna solución es claramente más atractiva que las demás, desde el

punto de vista económico. Esto se debe a la gran incertidumbre relacionada con la manera en que evolucionarán los costos de todas las soluciones de calefacción descarbonizadas en las próximas décadas. Las alturas de las barras son menos importantes que las bandas de incertidumbre que las rodean (representadas por bandas negras que se extienden por encima y por debajo de la parte superior de las barras). Estas bandas de incertidumbre se superponen en gran medida para las tecnologías descarbonizadas, lo que indica que no está claro, en este punto, cuál de estas tecnologías será más económica a largo plazo.

El análisis en **El gráfico RE 1** supone que, como parte de la descarbonización del sector de la calefacción, se implementarán medidas rentables de eficiencia energética, como el sellado del aire y el aislamiento del ático, en, esencialmente, todos los edificios de Rhode Island. Hacerlo reduce el desafío de descarbonizar la

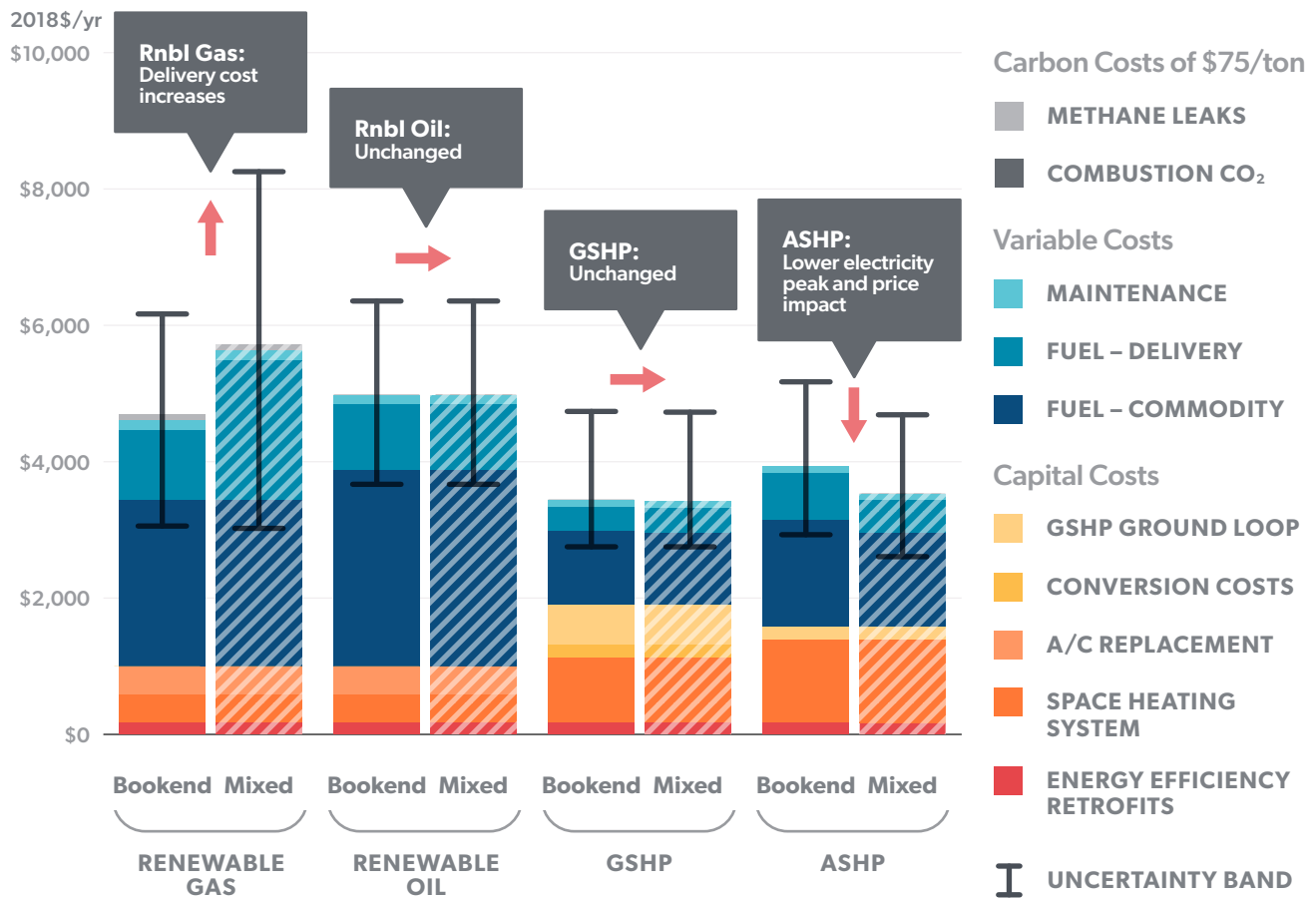


GRÁFICO RE 2: COSTO ANUALIZADO DE LA CALEFACCIÓN DE ESPACIOS EN 2050, ESCENARIO BASE REPRESENTATIVO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES FRENTE A ESCENARIOS MIXTOS, 2018\$

calefacción y les ahorra dinero a los consumidores, lo cual es relevante para todos los consumidores y puede ser particularmente importante para las comunidades desfavorecidas.

Este análisis en particular se basa en un conjunto de escenarios «base» que suponen para cada tecnología descarbonizada que esta tecnología proporciona calor en toda Nueva Inglaterra. Compara los casos en los que los combustibles (gas y aceite, en formas renovables) continúan proporcionando calor principalmente; o en el caso de las bombas de calor eléctricas, se supone la adopción del 100 % de bombas de calor geotérmicas (GSHP) o bombas de calor aerotérmicas (ASHP). Esto plasma los impactos potenciales de estas tecnologías en los sistemas energéticos generales de la región. Por ejemplo, el atractivo económico de las bombas de calor eléctricas depende, en parte, del costo de la electricidad (limpia) que, a su vez, depende del impacto que las

bombas de calor tengan en el sistema eléctrico. Las bombas de calor en sí mismas representan una demanda sustancial de electricidad y pueden afectar el precio de la energía. Del mismo modo, el atractivo del gas renovable depende de su costo, el cual depende del volumen total de gas requerido a nivel regional y nacional, ya que los suministros de bajo costo son limitados.

Una lección importante de estos escenarios base es que la adopción generalizada de ASHP podría requerir inversiones adicionales sustanciales en el sistema regional de energía eléctrica y podría crear desafíos operativos. A temperaturas exteriores muy bajas, cuando la necesidad de calor es mayor, las ASHP se vuelven significativamente menos eficientes. Si se adoptan ampliamente las ASHP, se podría crear una demanda eléctrica máxima extremadamente alta durante unos días muy fríos.

Dado que es poco probable que tales escenarios

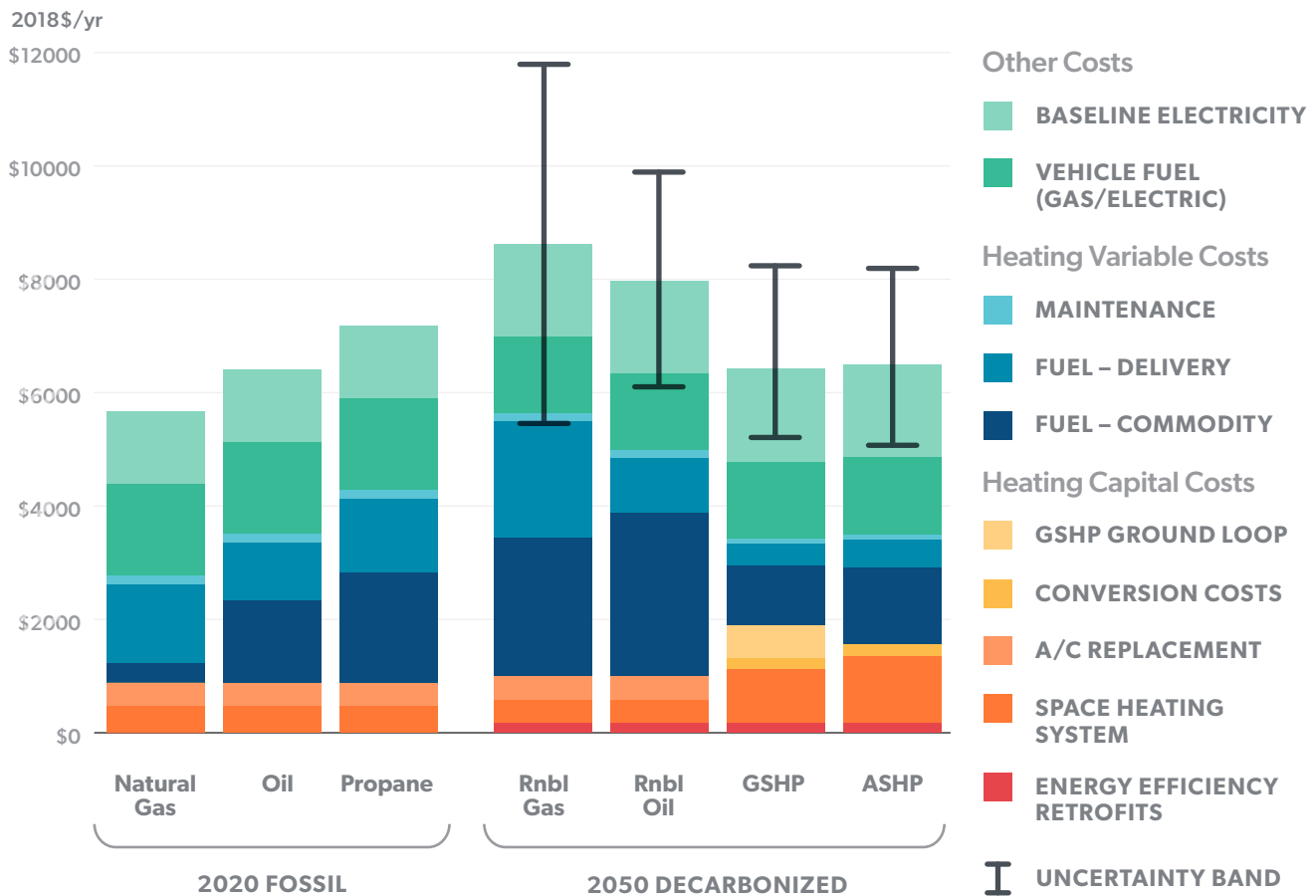


GRÁFICO RE 3: COMPARACIÓN DE ENERGY WALLET TOTAL ANUAL PARA EL CONSUMIDOR REPRESENTATIVO: ESCENARIO MIXTO 2020 VS. 2050, 2018\$

Aclaración: La banda de incertidumbre refleja duda sobre los costos de calefacción como se muestra anteriormente, más el efecto de la incertidumbre del precio de la electricidad en otros objetivos finales. El precio de la gasolina excluye los impuestos estatales y federales. El costo del calentamiento del agua no se desglosa explícitamente, aunque en la medida en que la electricidad, hoy en día, se usa para calentar el agua, esto está incluido, implícitamente, en el consumo de electricidad de referencia.

base representen la adopción real de soluciones de calefacción descarbonizadas, **El gráfico ES 2** muestra cómo los resultados podrían cambiar en uno de los tantos escenarios posibles de adopción más equilibrados. Este ejemplo muestra un escenario que supone que, para 2050, las bombas de calor eléctricas (un tercio de cada ASHP y GSHP) proporcionarán dos tercios de la calefacción; que el gas (renovable) —que pierde solo el 50 % del volumen en relación con la actualidad— proporciona la mayor parte del calor restante; y que el aceite proporciona la cantidad restante.

Esta adopción más mixta de todas las soluciones de calefacción descarbonizadas mitiga parcialmente el impacto extremo de la adopción del 100 % de la ASHP

en los picos del sistema eléctrico (y el costo resultante de la electricidad), lo que hace que las ASHP sean relativamente más atractivas. Por otro lado, reducir los volúmenes de gas suministrado, debido al aumento de la eficiencia energética o las conversiones a calor electrificado, podría aumentar el costo de suministro del gas renovable, haciéndolo relativamente menos atractivo. Sin embargo, lo que es más importante, el patrón de adopción más equilibrado del escenario mixto no altera la conclusión básica de no preferir, claramente, ninguna solución de descarbonización. Los rangos de incertidumbre de las tecnologías descarbonizadas aún se superponen, en gran medida, entre sí. Debido a que el atractivo relativo de las soluciones de descarbonización de la calefacción

es sensible a a) los impactos eléctricos máximos y a b) los impactos del volumen de gas, el desarrollo de una mejor comprensión de estos efectos y las oportunidades para mitigarlos será un enfoque político importante en los próximos años.

Finalmente, la descarbonización de la calefacción no tendrá lugar de forma aislada. Si no que está integrada en los esfuerzos de descarbonización más amplios de toda la economía, incluido un probable cambio hacia el transporte electrificado. La descarbonización de la calefacción, y en particular el nivel de penetración de la bomba de calor eléctrica, pueden afectar los precios de la electricidad. Esto podría tener un impacto más amplio en «energy wallet» de los consumidores; sus gastos totales de energía en el consumo de electricidad de referencia y la carga de vehículos eléctricos (EV, por sus siglas en inglés), además de la calefacción. Sin embargo, los cambios en los costos de calefacción podrían verse compensados o exacerbados por los impactos en otros elementos de energy wallet, particularmente el transporte. Se espera que los vehículos eléctricos, al menos para 2050, tengan costos operativos más bajos que los motores de combustión interna actuales.

El gráfico RE 3 compara el gasto de la cartera de energía de un consumidor representativo hoy en día con lo que podría ser el gasto en energía para 2050, teniendo en cuenta las diversas soluciones de calefacción descarbonizadas. El gráfico indica que el atractivo de las ASHP no disminuiría sustancialmente al considerar la billetera energética general. También muestra que, en comparación con el año 2020, cualquier aumento potencial en el costo de la calefacción podría compensarse, al menos en parte, por las disminuciones de costos en otras partes de Energy Wallet y por el ahorro a través de la eficiencia energética. Esto no significa que los consumidores individuales o las empresas no verán cambios en sus costos de calefacción (y Energy Wallet). Es probable que las políticas desempeñen un papel clave en la mitigación de cualquier posible aumento de costos, particularmente cuando puedan afectar a las poblaciones

o industrias que son vulnerables al aumento de los costos de energía (y, por lo tanto, podrían reflejarse en la economía del estado).

Las mismas conclusiones generales se aplican a los usos de la calefacción de espacios en otros entornos, como edificios residenciales y comerciales más grandes (multifamiliares), así como al calentamiento de agua doméstica. Finalmente, también existen varias soluciones de descarbonización para los usos más pequeños del calor restantes, como la cocción eléctrica y el secado de ropa.

CINCO TEMAS PARA GUIAR EL CAMINO A SEGUIR EN RHODE ISLAND

La conclusión de esta evaluación cuantitativa del atractivo relativo de varias soluciones de descarbonización de calefacción en Rhode Island es que, en la actualidad, no hay un enfoque ganador claro. Si no que el atractivo relativo de descarbonizar la calefacción en el estado depende de la evolución de los costos relevantes (gas renovable, aceite renovable, ASHP y GSHP) que son muy inciertos hoy en día. Además, el atractivo de las soluciones en casos específicos dependerá del contexto en particular: el edificio, la ubicación o la aplicación en particular. Además, cada una de las soluciones de descarbonización enfrenta desafíos únicos de implementación y adopción únicos que Rhode Island deberá abordar para permitir una adopción amplia a lo largo del tiempo.

Esto implica que, para que la política apoye la transformación del sector de la calefacción de Rhode Island, los próximos 10 años no debe centrarse en promover un conjunto único o limitado de soluciones. En cambio, Rhode Island debe asegurarse de que se está progresando, independientemente de qué solución (o combinación de soluciones) prevalezca en última instancia. Como se ilustra en **el gráfico RE 4**, un marco político para los próximos 10 años debe incluir cinco elementos: **Garantizar, Aprender, Informar, Habilitar, y Planificar.**

Garantizar	Aumentar la eficiencia y reducir el contenido de carbono a cero de todos los combustibles con el paso del tiempo – asegura el progreso independientemente de las tecnologías que se utilicen
Aprender	Recopilación de datos, I+D, proyectos piloto para entender las tecnologías, la infraestructura y los clientes
Informar	Educar a las partes – clientes, instaladores, legisladores – sobre los pros y los contras de las opciones, las interacciones del sistema, etc.
Habilitar	Facilitar la implementación con incentivos; apuntar a las oportunidades de inversión natural; alinear las regulaciones, reglas y códigos; expandir la fuerza laboral
Planificar	Ampliar el horizonte de planificación; desarrollar ahora planes de contingencia a largo plazo y de alto nivel (sin comprometerse aún) y utilizarlos para guiar la política a corto plazo

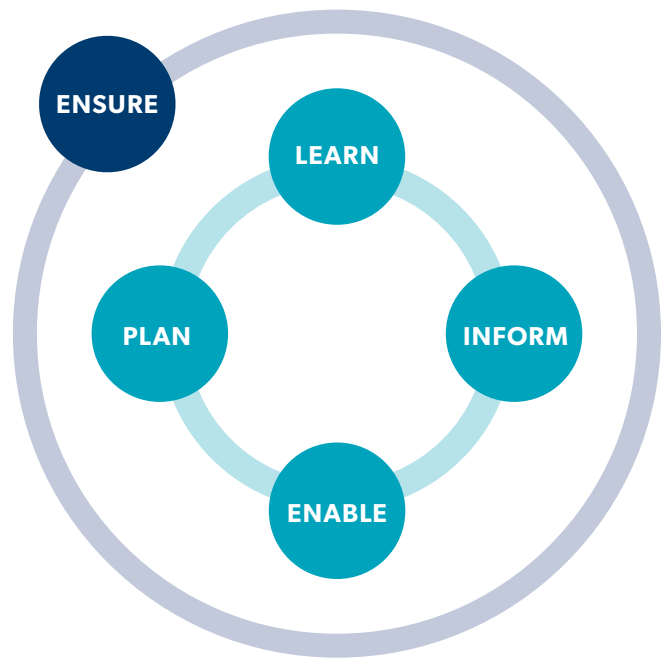


GRÁFICO RE 4: TEMAS PARA GUIAR LAS RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS TEMPRANAS

Como primer paso para **garantizar** la descarbonización, la mejora de la eficiencia energética de los edificios proporcionará varios beneficios inmediatos. Al reducir las necesidades de calor, se reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero, independientemente de la tecnología de calefacción que se utilice (y en la medida en que la calefacción esté electrificada, la mejora de la eficiencia del edificio reducirá el impacto de la calefacción en las cargas eléctricas). Es importante destacar que las medidas de eficiencia energética rentables reducirán el costo total de la calefacción, lo que mitigará cualquier aumento potencial en el costo que conlleva proporcionar calor con soluciones descarbonizadas. Por último, los programas de eficiencia existentes proveen una red efectiva de entrega de programas que puede apoyar los esfuerzos de descarbonización del estado relacionados con el sector de la calefacción.

Un segundo elemento de la política clave que garantizará el progreso hacia la descarbonización del sector de la calefacción es la promulgación de un conjunto de medidas tecnológicamente neutras, las cuales reducirán la intensidad de carbono de todas

las fuentes de energía utilizadas para la calefacción (electricidad, gas, aceite y propano) con el correr del tiempo. Dichas medidas pueden incluir requisitos de electricidad renovable, precios del carbono o políticas de límite y comercio, normas de calefacción o combustibles renovables, u otros enfoques. Las políticas complementarias para lograr la carbono neutralidad incluyen esfuerzos acrecentados y continuos para mejorar la eficiencia energética de los edificios existentes de Rhode Island, y, al mismo tiempo, reforzar los requisitos de eficiencia para las nuevas construcciones.

Rhode Island debe enfatizar **el aprendizaje** durante la próxima década, dado el alto grado de incertidumbre que hay sobre los factores generales y específicos del estado, relacionados con cada una de las soluciones descarbonizadas y su implementación. Las estrategias de aprendizaje deben utilizar proyectos de demostración y piloto, dirigidos a cuestiones específicas del estado o en colaboración para asuntos más generales. Como mínimo, las políticas de aprendizaje deben incluir lo siguiente:

- La recopilación de información para permitir una mejor focalización de incentivos (como la información sobre el tipo y la antigüedad de los equipos relacionados con la calefacción en el estado)
- La investigación y el desarrollo adecuados dirigidos a problemas específicos de Rhode Island
- Más información general en colaboración con otros estados u organizaciones

Rhode Island debe **informar** a las partes interesadas clave, incluidos los consumidores y los sectores de la construcción, sobre los problemas técnicos y económicos relacionados con las soluciones de calor descarbonizado que requerirán esfuerzos significativos para mejorar el nivel y el flujo de información. Las políticas potenciales en esta área incluyen amplias campañas de información sobre las soluciones disponibles, incluidos sus pros y contras; proyectos de demostración públicamente visibles; desarrollo de programas de capacitación y certificación para instaladores; y poner a disposición de los consumidores la información sobre instaladores experimentados y calificados.

Los legisladores deberán promulgar varias estrategias adicionales para **posibilitar** una transformación del sector de la calefacción. Estas estrategias incluyen políticas que identifican y abordan las barreras de implementación, las cuales pueden tomar la forma de incentivos para los consumidores y las empresas diseñadas para superar tanto los costos generales como los obstáculos de primer costo, como el alto costo inicial de las bombas de calor. Además, Rhode Island debe realinear sus marcos regulatorios. Los ejemplos incluyen eliminar los incentivos existentes que favorecen la expansión del sistema de gas, reconsiderar las estructuras tarifarias tanto para la electricidad como para el gas y explorar formas de integrar el tratamiento regulatorio de los negocios de electricidad y de gas de National Grid.

Otro importante principio de política habilitante se relaciona con identificar y capitalizar las

«oportunidades de inversión naturales», donde las soluciones descarbonizadas pueden implementarse a un costo más bajo y con menos interrupciones mediante la coordinación con otros trabajos hechos en la infraestructura o el edificio. Los ejemplos incluyen casos en los que se está actualizando o reemplazando la infraestructura de gas natural o electricidad, edificios bajo renovaciones profundas o equipos de calefacción existentes que deben reemplazarse a medida que se acerca el fin de su vida útil. Las políticas que permiten el progreso también pueden apuntar a códigos, reglas, etc. existentes que pueden crear involuntariamente barreras para implementar soluciones de calefacción descarbonizadas que, de otro modo, serían atractivas. Por último, las políticas habilitantes deben identificar y mitigar los casos en los que la descarbonización de la calefacción podría imponer cargas indebidas a las poblaciones vulnerables.

La planificación también será importante. Los cambios en los enfoques de planificación actuales y algunos esfuerzos de planificación específicos deberán formar parte de la estrategia de transformación de la calefacción. En general, los esfuerzos de planificación deben considerar un horizonte temporal largo, 2050 o incluso más, aun si un ejercicio de planificación típico solo puede cubrir los próximos 10 años. Esto permitirá a Rhode Island planificar la magnitud de los cambios necesarios para descarbonizar el sector de la calefacción para mediados de siglo, y dar cuenta de la larga vida útil de la mayoría de las infraestructuras relacionadas con la calefacción: edificios, tuberías, equipos de transmisión y distribución eléctrica, bucles de tierra de GSHP e incluso hornos, calderas, y las propias bombas de calor.

Además, se necesitarán algunos esfuerzos de planificación específicos. Un ejemplo es la planificación para expandir de la red de distribución eléctrica. Es probable que, en las próximas décadas, se pongan en marcha nuevas cargas eléctricas significativas, no solo para la calefacción sino también para la carga de vehículos eléctricos. Esto brinda la oportunidad de comprender mejor las negociaciones entre darle

«eficiencia futura» a la red, por medio de anticipar demandas futuras adicionales y planificar solo para demandas a corto plazo. Esto puede conducir a una serie de actualizaciones más pequeñas que, en última instancia, podrían costar más. De manera similar, incluso antes de cualquier claridad sobre el papel a largo plazo del sistema de distribución de gas, desarrollar planes sobre cómo se podría modificar el sistema de gas para acomodar su uso reducido para calefacción, y si puede haber formas de hacerlo de manera más económica, ayudará a informar las decisiones que Rhode Island deberá comenzar en las próximas décadas.

Este informe identifica varios problemas técnicos importantes que afectarán a la transformación del sector de la calefacción. Estos incluyen los impactos potenciales del calor electrificado en el sector de la energía, y el papel futuro del sistema de gas y cómo la reducción de los volúmenes de suministro de gas podría afectarlo. Estos conocimientos respaldan un análisis económico de las diferentes vías para descarbonizar la calefacción, mediante el uso de combustibles renovables con una infraestructura de calefacción similar a la actual o, alternativamente, electrificando la calefacción con GSHP o ASHP.

Ese análisis mostró que hay una incertidumbre significativa que se superpone con el atractivo económico futuro de las soluciones descarbonizadas, respecto al costo a largo plazo de los combustibles renovables (que probablemente esté, en gran medida, por encima del costo actual de los combustibles fósiles), así como el costo de las bombas de calor en sí mismas y la electricidad limpia para alimentarlas. Debido a estas incertidumbres superpuestas, no es posible identificar un ganador claro entre las tecnologías. Sin embargo, parece que es probable que el calor descarbonizado sea algo más costoso que el calor de gas natural en la actualidad, y potencialmente comparable con el aceite o el propano. Aun así, los

gastos generales de los consumidores en la energía, en una economía totalmente descarbonizada, pueden ser, aproximadamente, comparables con los costos actuales.

Esto tiene varias implicaciones políticas para impulsar la transformación del sector de la calefacción en las próximas décadas. Los enfoques políticos deben apoyar el progreso temprano en la descarbonización, mediante la búsqueda de la eficiencia energética para reducir las necesidades de calor y la descarbonización de todas las fuentes de energía utilizadas para la calefacción, tanto combustibles como el gas y el aceite, y también electricidad para alimentar nuevos sistemas de calefacción electrificados. Más allá de esto, las políticas deben apoyar tanto las etapas de información como de aprendizaje, para comenzar a abordar las incertidumbres, recopilar la información que será necesaria para la transformación, y garantizar una comprensión amplia de las soluciones y sus implicaciones. Los cambios regulatorios pueden permitir la transformación, abordando las barreras y facilitando el progreso en cualquiera o en todos los caminos. Las políticas que crean estructuras para identificar y capitalizar las oportunidades de inversión natural también permitirán la transformación.

Ampliar los enfoques de planificación para los sistemas de electricidad y gas permitirá que los legisladores consideren horizontes temporales más largos consistentes con la vida natural de los componentes de la infraestructura de calefacción y con el marco temporal y la magnitud de la transformación. Si bien parece contradictorio, Rhode Island debe desarrollar planes de acción sabiendo que, quizá, en última instancia podría no necesitarlos, ya que el desarrollo de los planes influirá en las decisiones sobre si implementarlos. La transformación del sector de la calefacción en las próximas décadas será un proyecto de gran envergadura, pero es posible de lograr con un enfoque de política sostenido y temprano.



Introducción y antecedentes

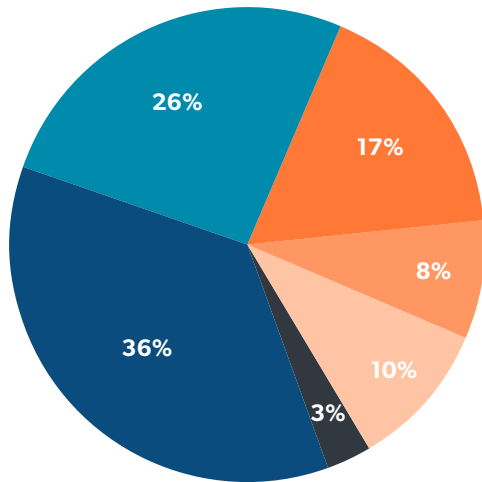
De acuerdo con el consenso bien establecido en la comunidad científica y los compromisos internacionales, como el Acuerdo de París, Rhode Island se ha comprometido a una descarbonización profunda de toda la economía para 2050. Específicamente, la Resilient Rhode Island Act establece una meta de 80 % de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero («GEI») en toda la economía en relación con una línea de base de 1990 para 2050 con metas provisionales de 10% de reducción para 2020 y 45 % de reducción para 2035.¹ Además, el decreto 17-06 del 12 de junio de 2017 reafirma el compromiso de Rhode Island con los principios del Acuerdo Climático de París.²

Como parte de este compromiso, el decreto 19-06 emitido por la gobernadora Gina M. Raimondo exige que la DPUC y la OER lideren una transformación del sector de la calefacción y presenten un informe correspondiente con recomendaciones al

gobernador el 22 de abril de 2020 o alrededor de esa fecha.³ Para cumplir con este requisito, la DPUC y la OER pidieron a The Brattle Group que analizara las opciones para descarbonizar el sector de la calefacción de Rhode Island y, en este informe, se presentan los resultados de este análisis.

El informe es el resultado de un análisis independiente realizado por The Brattle Group, respaldado por un amplio esfuerzo de los interesados que incluye entrevistas y reuniones con más de 20 organizaciones de partes interesadas individuales, así como tres talleres públicos celebrados para compartir información, presentar resultados intermedios y recopilar comentarios.⁴ Junto con este informe, se adjunta un **Documento de soporte técnico**, el cual proporciona más detalles sobre el modelo y los supuestos que subyacen a las conclusiones. Si bien este informe aborda lo que se necesitaría para lograr los objetivos de descarbonización del sector

- ¹ Ley de Rhode Island resiliente de 2014 - Consejo de Coordinación del Clima, Capítulo 42-6.2. <http://webserver.rilin.state.ri.us/Statutes/TITLE42/42-6.2/INDEX.HTM>
- ² «Executive Order 17-06, Reaffirming Rhode Island's Commitment to the Principles of the Paris Climate Agreement», Plantaciones del Estado de Rhode Island y Providence. 12 de junio de 2017. http://www.governor.ri.gov/documents/orders/ExecOrder_17-06_06112017.pdf
- ³ «Executive Order 19-06, Heating Sector Transformation to Ensure Reliability and Protect Against Climate Change», plantaciones del estado de Rhode Island y Providence. 8 de julio de 2019. <http://www.governor.ri.gov/documents/orders/Executive%20Order%2019-06.pdf>
- ⁴ Durante el transcurso de este proyecto, se realizaron tres talleres públicos: dos reuniones presenciales y una presentación basada en un seminario en línea. Cada taller atrajo a más de 60 participantes registrados e incluyó oportunidades para realizar preguntas y respuestas de las partes interesadas. También se aceptaron comentarios públicos por escrito por correo electrónico.



Inventoried Green House Gas Emission Sources 2016

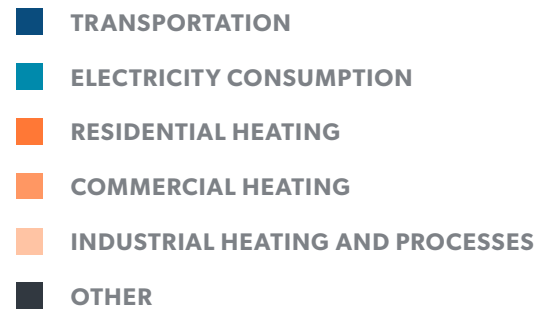


GRÁFICO 1: COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES EN RHODE ISLAND DE GEI

Fuente: Departamento de Gestión Ambiental de Rhode Island, Actualización del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de 2016 en Rhode Island, reunión del Consejo ejecutivo de coordinación de cambio climático (EC4, por sus siglas en inglés), 12 de septiembre de 2019.

de la calefacción, no pretende abordar de manera integral los costos agregados de la descarbonización, ni cómo se financiarían esos costos o el período de tiempo durante el cual se puede lograr la transformación, dada la práctica desafíos que inevitablemente deberán abordarse.

Esta iniciativa para evaluar la transformación del sector de la calefacción se produce en medio de la pandemia de COVID-19, que ha perturbado gran parte de la economía estatal, nacional e internacional, incluido el sector energético. Si bien esta interrupción sin duda causará muchos impactos a corto plazo en toda la economía, incluido el sector de la calefacción, suponemos que estos impactos serán de naturaleza relativamente a corto plazo y no alterarán fundamentalmente las necesidades y objetivos a largo plazo y a varias décadas para descarbonizar la economía. De hecho, el cambio climático es un problema que seguirá existiendo y que deberá abordarse después de que se haya resuelto la pandemia.

Este análisis también se produce tras la interrupción del servicio de gas que se produjo en la isla Aquidneck el 21 de enero de 2019.⁵ Si bien este informe aborda la transformación del sector de la calefacción en el contexto del cambio climático, también puede tener implicaciones para el futuro de la confiabilidad del servicio de calefacción. Para la mayoría de los clientes de Rhode Island, la calefacción depende en gran medida de los sistemas de distribución de gas interestatales y locales para proporcionar gas natural en los días más fríos, cuando la demanda de gas es más alta y el sistema de gas está más limitado. Electrificar partes del sector de la calefacción reduciría esta dependencia del sistema de gas, pero crearía una nueva dependencia en la infraestructura de transmisión y distribución eléctrica, que podría verse limitada de manera similar en los días más fríos del invierno.

El esfuerzo para transformar el sector de la calefacción de Rhode Island se produce en el contexto de las preocupaciones sobre los

⁵ Investigación sumaria sobre la interrupción del servicio de gas de la isla Aquidneck del 21 de enero de 2019, 30 de octubre de 2019

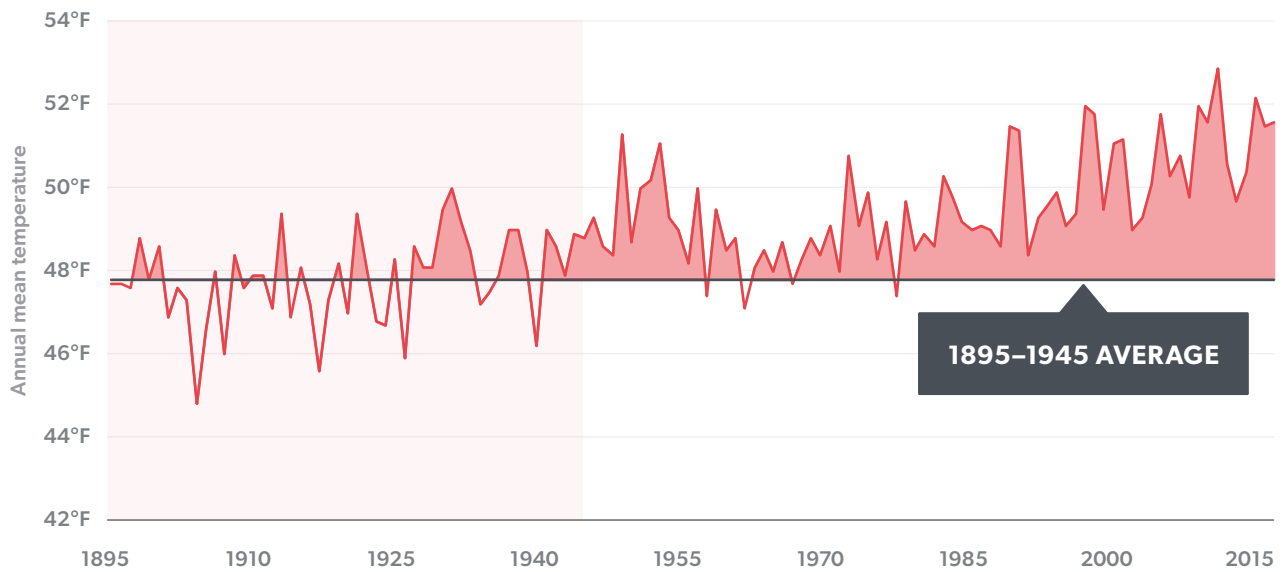


GRÁFICO 2: TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES EN RHODE ISLAND (1895—2018)

Fuente: Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica), Climate at a Glance: Serie cronológica estatal, publicada en enero de 2020, recuperada el 2 de febrero de 2020 de <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>

riesgos relacionados con el cambio climático y los consiguientes esfuerzos y objetivos de reducción de gases de efecto invernadero a nivel estatal. **El gráfico 1** muestra la composición de las emisiones de GEI de Rhode Island a partir de 2016. Como se presenta, las emisiones relacionadas con la calefacción (incluidas las emisiones industriales) representan el 35 % de las emisiones estatales y son, aproximadamente, iguales a las emisiones del transporte. Por lo tanto, incluso si todos los sectores que no están relacionados con la calefacción quedaran completamente libres de emisiones para 2050, el sector de la calefacción todavía tendría que descarbonizarse significativamente para cumplir con los objetivos actuales de reducción de emisiones de GEI.

Lo más probable es que algunas emisiones en el sector del transporte, así como las emisiones de procesos industriales (y probablemente algunas relacionadas con la calefacción) sean muy difíciles de eliminar. En consecuencia, incluso si el estado logra descarbonizar completamente el sector eléctrico,

aun la descarbonización total del sector de la calefacción requeriría reducciones muy significativas en los sectores emisores restantes para lograr una reducción del 80 % de las emisiones de GEI para 2050. Esto es sin tener en cuenta las incertidumbres sobre las contribuciones de las emisiones de fugas de metano o emisiones no energéticas, como los cambios en el uso de la tierra, los cuales no se incluyeron en el borrador más reciente del inventario de emisiones de GEI del estado.

Además, como lo establece el decreto reciente emitido por el gobernador Raimondo, lograr un suministro de electricidad 100 % renovable en Rhode Island para 2030⁶ y esfuerzos similares para acelerar los objetivos de descarbonización en relación con las reducciones del 80 % para 2050, la evolución de la ciencia y la evidencia relacionada con el cambio climático pueden requerir una aceleración de la descarbonización en comparación con los objetivos políticos actuales.

⁶ Decreto 20-01, Progreso hacia un futuro de energía 100 % renovable para Rhode Island para 2030, 17 de enero de 2020

Por estas razones, este informe identifica y evalúa diferentes opciones y soluciones para la descarbonización total del sector de la calefacción del estado, reconociendo que lograr la descarbonización total puede ser muy difícil para algunas aplicaciones de calefacción. A su vez, que una descarbonización más profunda en los otros sectores emisores o la aparición de tecnologías de emisiones negativas (incluidas las medidas de uso de la tierra que podrían aumentar la retención de GEI para compensar algunas emisiones) puede dar lugar a algunas emisiones restantes en el sector de la calefacción.

Sin embargo, reconocer las incertidumbres descritas anteriormente, desarrollar vías para una transición a un sector de calefacción totalmente descarbonizado está en línea con los objetivos de la política existente y proporciona un valor de seguro en caso de que las reducciones de emisiones que no están relacionadas con la calefacción sean más difíciles o más caras de lograr, o si se deben intensificar las emisiones de GEI.

Por último, este informe supone que abordar las emisiones del sector de la calefacción seguirá siendo vital, incluso si se espera que el cambio climático genere aumentos en las temperaturas medias anuales. Como **se muestra en el gráfico 2,**

las temperaturas promedio de Rhode Island ya han aumentado en más de 3 grados Fahrenheit desde principios del siglo XX.

También hay algunas pruebas de que las temperaturas medias más altas dan lugar a inviernos medios más cálidos en el noreste,⁷ lo que tendría una tendencia a reducir la energía total necesaria para calentar las empresas y los hogares de Rhode Island. Por otro lado, la demanda de calefacción es mayor durante los días más fríos del año y, de una forma algo ilógica, hay algunas pruebas que sugieren que el cambio climático puede aumentar las temperaturas extremas en Nueva Inglaterra, tanto en verano como en invierno, lo que lleva a tener períodos continuos (y, quizá, más intensos) de temperaturas extremadamente frías.⁸ Dado que nuestros sistemas de energía están diseñados para garantizar un suministro confiable de energía durante esencialmente todas las condiciones esperadas, la posibilidad de que las temperaturas extremas en invierno permanezcan prácticamente sin cambios o empeoren incluso a medida que aumentan las temperaturas promedio del estado, por lo tanto, debe tenerse en cuenta al desarrollar una estrategia de transformación del sector de la calefacción para Rhode Island.

7 Consulte, por ejemplo, USA Today, El noreste se calienta antes que el resto de los Estados Unidos: «Nuestros inviernos ahora no son como nuestros inviernos de antes (<https://www.usatoday.com/story/news/nation/2019/12/25/climate-change-northeast-warming-faster-united-states/2743119001>), consultado el 2 de febrero de 2020)

8 Consulte, por ejemplo, Axios, El vórtice polar se divide y envía una ola de frío huracanado a EE. UU., Europa, 16 de enero de 2019 (<https://www.axios.com/polar-vortex-means-winter-is-coming-to-east-coast-and-europe-5fb653fd-1664-41aa-9a99-549e2541d89a.html>), consultado el 2 de febrero de 2020)

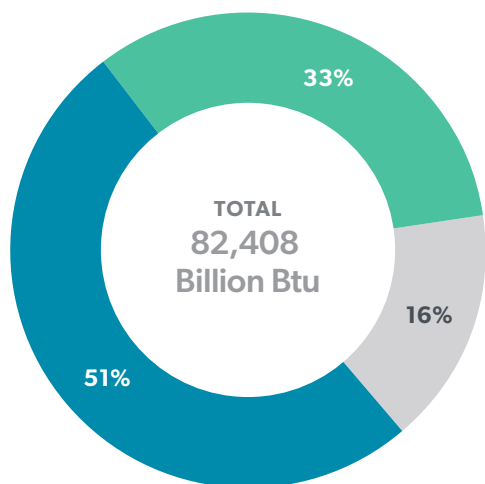
Descripción general del sector de la calefacción de Rhode Island y las soluciones de descarbonización

EL SECTOR DE LA CALEFACCIÓN DE RHODE ISLAND

El sector de la calefacción de Rhode Island se compone de una variedad de usos y entornos. El calor se utiliza principalmente para la calefacción de espacios y el calentamiento de agua en los sectores residencial y comercial (con cantidades más pequeñas para cocinar, secar la ropa, etc.) y en diversas aplicaciones industriales, principalmente como calor de proceso. En los edificios, la calefacción se produce en edificios residenciales unifamiliares y multifamiliares, en una amplia variedad

de edificios comerciales y, finalmente, en una serie de aplicaciones industriales. Las aplicaciones de calefacción industrial incluyen una multitud de usos de calor de proceso diferentes y, por lo tanto, son significativamente diferentes de los espacios comerciales y residenciales, y el calentamiento de agua. Hay poca información detallada disponible sobre el uso de energía relacionado con la calefacción en el sector industrial de Rhode Island.

El gráfico 3 muestra las participaciones del consumo total de energía en el sector residencial, comercial e industrial, respectivamente. Del uso total de energía en el estado, el sector residencial representa aproximadamente el 50 % del



Total 2017 Rhode Island Energy Consumption by Sector

- RESIDENCIAL — 42,541 BBtu
- COMERCIAL — 26,927 BBtu
- INDUSTRIAL — 12,940 BBtu

GRÁFICO 3: CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA DE RHODE ISLAND EN 2017 POR SECTORES

Fuente: Análisis Buro de Happold.

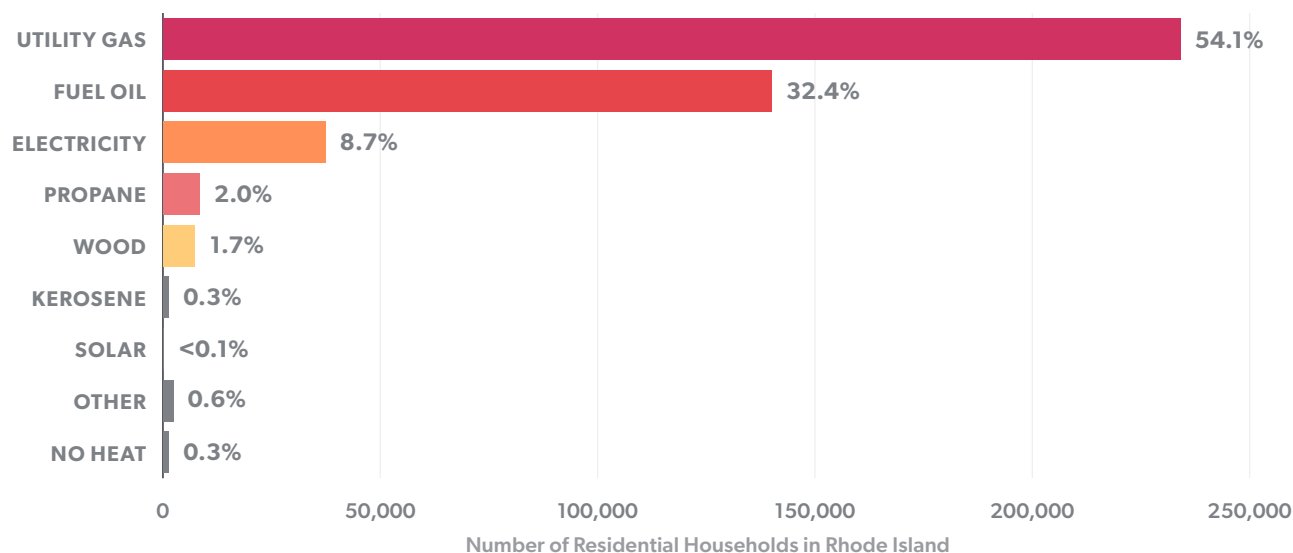


GRÁFICO 4: FUENTE DE CALEFACCIÓN PARA CLIENTES RESIDENCIALES DE RHODE ISLAND

Fuente: Meister Consultants Group, Estrategia de desarrollo del mercado térmico renovable de Rhode Island, preparado para la Oficina de Recursos Energéticos de Rhode Island, enero de 2017.

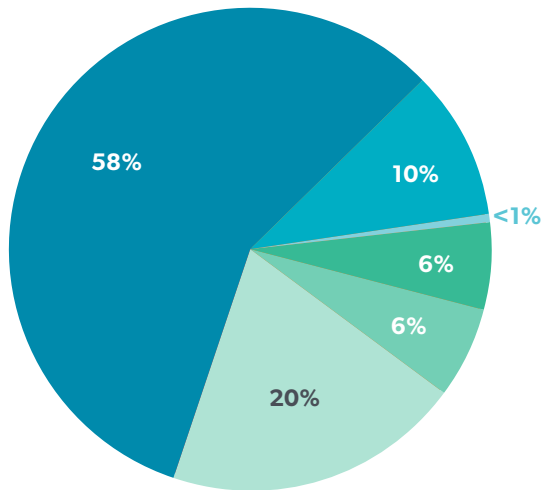
uso total de energía, el sector comercial un tercio y el sector industrial el resto. La proporción del uso de energía por tipo (calefacción, refrigeración, otros) probablemente difiera de manera significativa según el sector, y la participación de la calefacción en el uso total de energía quizá sea la mejor para el sector residencial, seguido del sector comercial. En general, esto implica que transformar el sector de la calefacción en Rhode Island será imposible sin un enfoque significativo en los sectores residencial y comercial. Si bien la descarbonización de todo el sector de la calefacción en Rhode Island será imposible sin abordar, también, el calor industrial, que incluye el calentamiento de agua y de espacios, así como varios tipos de calor de proceso, la descarbonización del calor de proceso requerirá enfoques más personalizados.

El gráfico 4 ofrece una visión general de la composición de la calefacción en Nueva Inglaterra. El gráfico 5 proporciona información adicional sobre cómo el uso total de energía relacionado con la calefacción se distribuye en varios tipos de edificios residenciales y comerciales en el estado. Como se muestra, los edificios residenciales unifamiliares representan cerca del 60 % de todo el

consumo de energía relacionado con la calefacción en el estado. En consecuencia, el análisis de este informe se centra particularmente en este tipo de edificio. Los edificios más grandes, como los edificios multifamiliares y de oficinas, también son consumidores importantes de energía relacionada con la calefacción, y se consideran por separado.

El gráfico 6 ilustra que la gran mayoría de los edificios residenciales de Rhode Island se construyeron antes de 1980 y, por lo tanto, son relativamente antiguos. Con pocos permisos de construcción nuevos emitidos cada año,⁹ está claro que la transformación del sector de la calefacción en Rhode Island debe centrarse principalmente en los edificios existentes. A su vez, proporciona información sobre el tipo de combustible de calefacción por antigüedad del edificio, lo que confirma que el gas natural es la fuente dominante de calefacción en los edificios de todas las épocas, seguido del aceite de calefacción, que ocupa un segundo lugar en el caso de los edificios construidos entre 1950 y 1980. El hecho de que la mayoría de las viviendas residenciales sean antiguas, con sistemas de calefacción existentes diseñados para combustibles fósiles, resalta los desafíos prácticos que

⁹ En 2019, se emitieron 1.138 permisos de construcción para nuevas viviendas residenciales. (<https://fred.stlouisfed.org/series/RIBPPRIV>). En 2018, la cifra era de 1 192. A este ritmo, se agregarán menos de 40 000 nuevas unidades de vivienda para 2050, es decir, menos del 10 % del número actual de unidades de vivienda.



Rhode Island Residential and Commercial Building Stock by Heating Energy Demand

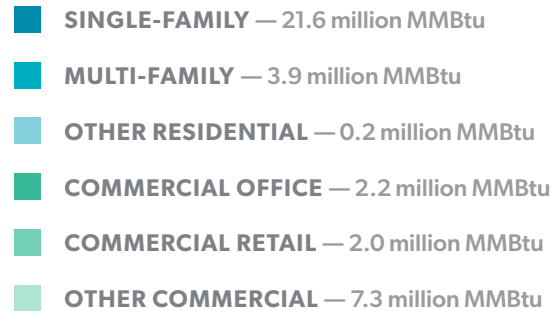


GRÁFICO 5: CANTIDAD DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES POR DEMANDA DE ENERGÍA DE CALEFACCIÓN

Fuente: Análisis Buro de Happold.

Rhode Island puede enfrentar al convertir los sistemas de calefacción en tanta cantidad de edificios, en las próximas décadas.

El gráfico 7 muestra descripciones resumidas similares de los edificios comerciales de Rhode Island, por tipo de edificio y pies cuadrados. Este es el trasfondo con el que el resto de este informe se basa para evaluar las soluciones de descarbonización para el sector de la calefacción de Rhode Island.

APLICACIONES DE CALEFACCIÓN PRIMARIA EN RHODE ISLAND

La calefacción se utiliza para tres fines ampliamente definidos: calefacción de espacios, calentamiento de agua y calefacción de procesos. Las aplicaciones secundarias incluyen cocinar, secar ropa, etc. Dentro de los sectores residencial y comercial, que en conjunto representan el 84 % de la demanda total de energía de calefacción en el estado, el calentamiento de espacios y agua doméstica representa la mayor parte de la demanda total de combustible relacionada con la calefacción.

El gráfico 8 indica que entre la calefacción a base de combustible, la calefacción de espacios en Nueva Inglaterra representa más de tres cuartas partes del uso total de energía y que todos los usos distintos de la calefacción de espacios o agua representan solo el cuatro por ciento de la demanda total de energía.¹⁰

El gráfico 9 proporciona el mismo resumen para el sector comercial e indica que, si bien otros usos de la calefacción son más frecuentes en el sector comercial (especialmente en la cocina), la proporción de calefacción de agua y espacios, en el sector comercial, también supera el 80 %.

Debido al predominio de la calefacción de espacios en la demanda total de calefacción, la transformación del sector de la calefacción de Rhode Island debe centrarse en el espacio y, en menor medida, en el calentamiento del agua doméstica.

Para los edificios más pequeños en Rhode Island, como las viviendas unifamiliares, los edificios multifamiliares pequeños y algunos edificios comerciales chicos, la calefacción primaria se proporciona normalmente de una de las pocas maneras. El combustible se puede quemar

¹⁰ Estos gráficos excluyen a los hogares que utilizan electricidad para calentar espacios y agua doméstica, pero es probable que las proporciones respectivas de cada tipo de calefacción sean similares. Además, estos gráficos representan los promedios de Nueva Inglaterra, que probablemente sean aproximaciones cercanas de las acciones relevantes de Rhode Island.

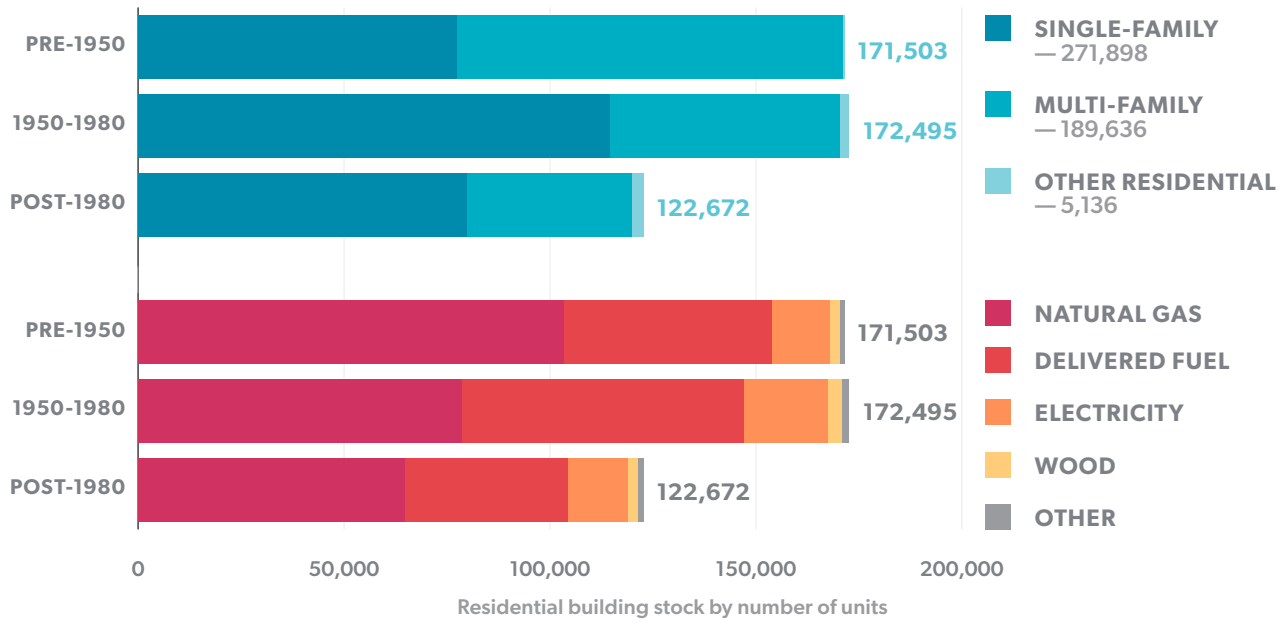


GRÁFICO 6: ACCIONES DE EDIFICIOS RESIDENCIALES DE RHODE ISLAND POR EDAD, TIPO DE VIVIENDA Y COMBUSTIBLE

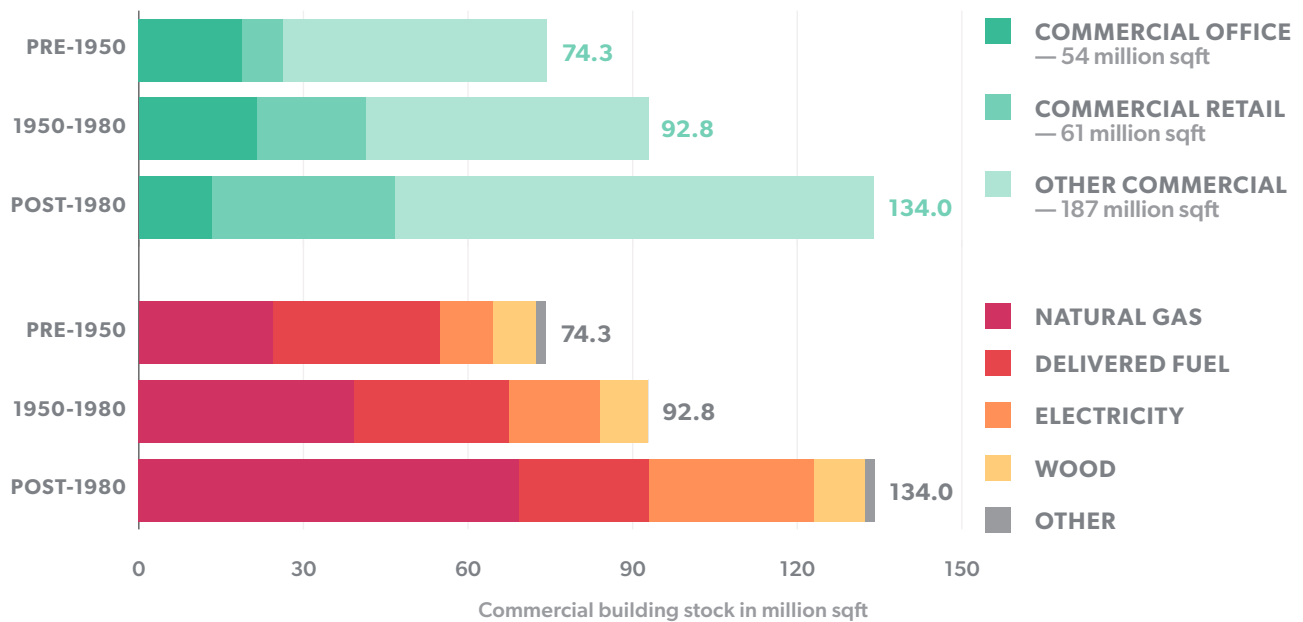
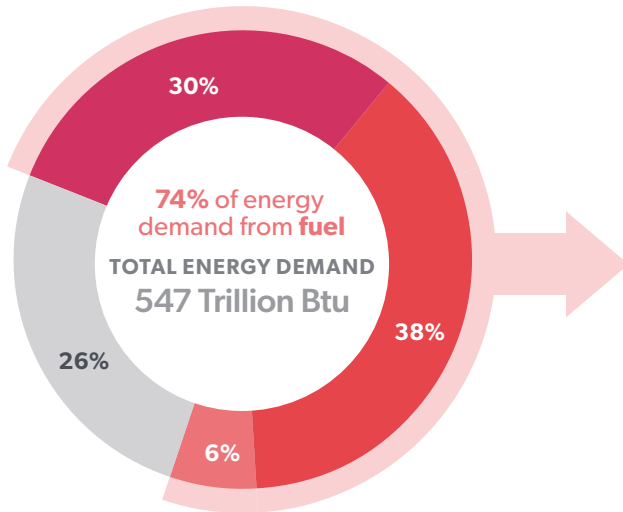


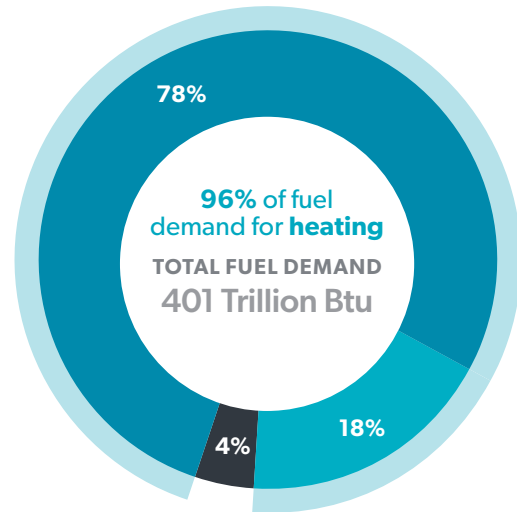
GRÁFICO 7: INVENTARIO DE EDIFICIOS COMERCIALES DE RHODE ISLAND POR TIPO DE EDIFICIO, PIES CUADRADOS Y COMBUSTIBLE

ENERGY DEMAND BY SOURCE IN 2015



■ NATURAL GAS ■ PROPANE
■ FUEL OIL/ KEROSENE ■ ELECTRICITY

FUEL DEMAND BY END-USE IN 2015

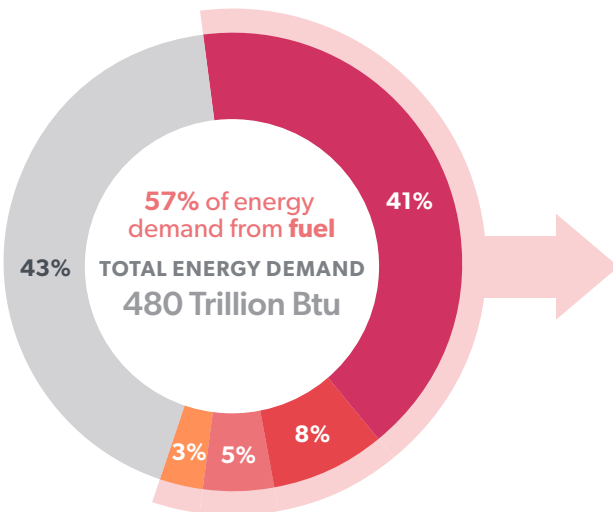


■ SPACE HEATING ■ OTHER
■ WATER HEATING

GRÁFICO 8: ENERGÍA DEMANDA EN NUEVA INGLATERRA DE COMBUSTIBLES PARA CALEFACCIÓN DISTINTOS DE LA ELECTRICIDAD (SECTOR RESIDENCIAL, 2015)

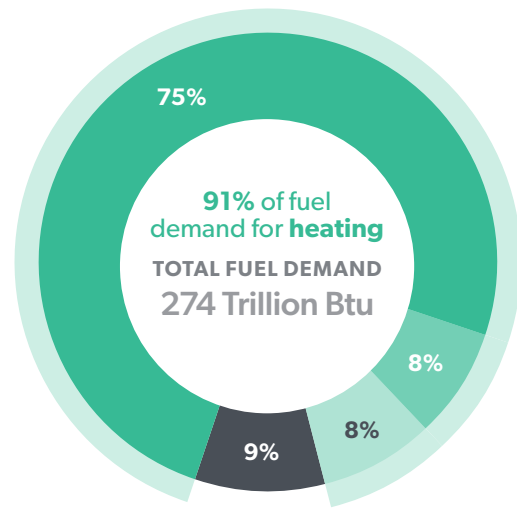
Fuente: Datos de la encuesta de los certificados de energía renovable (RECs, por sus siglas en inglés) de 2015 de la Administración de información de energía (EIA, por sus siglas en inglés).

ENERGY DEMAND BY SOURCE IN 2017



■ NATURAL GAS ■ PROPANE ■ MOTOR GASOLINE
■ FUEL OIL/ KEROSENE ■ ELECTRICITY

FUEL DEMAND BY END-USE IN 2017



■ SPACE HEATING ■ WATER HEATING
■ COOKING ■ OTHER

GRÁFICO 9: DEMANDA DE ENERGÍA EN NUEVA INGLATERRA POR COMBUSTIBLES DE CALEFACCIÓN DISTINTOS DE LA ELECTRICIDAD (SECTOR COMERCIAL, 2017)

Fuente: Datos de encuesta de consumo energético de edificios comerciales (CBECS, por sus siglas en inglés) sobre el panorama de energía anual de 2019 (AEO, por sus siglas en inglés) y EIA de 2012.

Aclaración: «Otros» incluye equipamiento de oficina, enfriamiento, refrigeración, fabricación y generación de electricidad.

en un horno para calentar aire, que luego se distribuye a través del edificio mediante un sistema de aire caliente forzado que consiste en un ventilador soplador y una red de conductos. Alternativamente, el combustible se quema en una caldera para calentar agua en un sistema hidrónico, el cual bombea el agua caliente a través de tuberías para distribuir el calor a los radiadores (a veces, las calderas producen vapor que circula a través de las tuberías de vapor hasta los radiadores). Tanto en los hornos como en las calderas, el combustible puede ser gas natural, aceite combustible o propano. Con menos frecuencia, el calor lo proporciona la electricidad, generalmente, con calor de resistencia eléctrica (zócalo) y, rara vez, por el momento, mediante una bomba de calor, que funciona de manera muy similar a un aire acondicionado (y se puede usar en modo refrigeración o calefacción). Algunos edificios se calientan por otros medios, como estufas de leña y energía solar.

El gráfico 10 muestra una comparación indicativa de los costos de las opciones predominantes de calefacción fósil, para una vivienda unifamiliar representativa en Rhode Island con un uso promedio de energía para calefacción.¹¹ Este tipo de comparación se utilizará nuevamente más adelante en este informe para ilustrar, también, los costos relativos de las soluciones térmicas descarbonizadas. Los tonos de naranja en la parte inferior de cada barra representan el costo anualizado del equipo de capital requerido: horno o caldera que debe reemplazarse periódicamente en el caso de calor fósil; tal como se muestra a continuación, las necesidades del equipo

para algunas de las soluciones térmicas descarbonizadas son diferentes y más complicadas. Los tonos de azul en la parte superior representan los costos operativos de los sistemas de calefacción, principalmente, el costo de la energía de entrada, que es combustible para la mayoría de los sistemas actuales, o la electricidad. Actualmente, el gas natural es la opción menos costosa para la calefacción en Rhode Island, con un costo total de alrededor de USD 2700 por año para una vivienda unifamiliar independiente existente representativa, ya que el costo del combustible del gas natural es mucho menor que el del aceite (USD 3500) o el propano (USD 4300). El calentamiento por resistencia eléctrica es la solución más costosa de calefacción actual (USD 5500 por año). También se proporcionan proyecciones para los costos de 2050, con costos futuros del combustible basados en las predicciones de los precios del combustible de la AEO,¹² e incluyendo supuestas mejoras en la eficiencia de los hornos y las calderas, en particular para la calefacción a gas natural.¹³ El área gris en la parte superior de cada barra representa el costo de las emisiones de carbono a USD 75 por tonelada métrica de CO₂ (basado en el valor de carbono implícito actual utilizado para evaluar las inversiones en eficiencia) tanto para 2020 como para 2050; aunque para 2050, el precio relevante del carbono puede ser más alto y, de hecho, puede convertirse en parte de los precios de los combustibles pagados por los consumidores. (no hay costo de carbono asociado con la calefacción eléctrica en 2050, ya que se supone que la electricidad estará libre de carbono para entonces, en línea con los objetivos de la política regional y de Rhode Island).¹⁴

¹¹ Los análisis económicos aquí se expresan en dólares reales (es decir, ajustados a la inflación) de 2018.

¹² Administración de Información Energética de los Estados Unidos, Panorama energético anual 2019, Tabla 3: Precios de la energía por sector y fuente.

¹³ Se debe tener cuidado al interpretar las proyecciones para 2050, ya que los pronósticos de precios de los combustibles dados por la AEO que subyacen a estos valores, probablemente, no sean consistentes con el futuro descarbonizado considerado por Rhode Island y otros estados de Nueva Inglaterra.

¹⁴ Las estimaciones del «costo social del carbono», medida del valor para la sociedad al evitar una tonelada de emisiones de CO₂, tienden a aumentar con el tiempo, ya que el valor es equivalente al valor de los daños futuros evitados causados por las emisiones de GEI y porque el momento en que se esperan daños más graves debido a las emisiones de GEI está más cerca del presente en 2050 que en la actualidad. Por ejemplo, hasta 2017, los Estados Unidos estimaron que el costo social del carbono era de USD 42 por tonelada en 2020 (expresado en dólares constantes de 2007 y con una tasa de descuento del 3%), aumentando a 69 dólares por tonelada para 2050. Con una tasa de descuento del 2,5%, el valor aumenta de USD 62 por tonelada en 2020 (lo que representa aproximadamente USD 75 por tonelada en 2017) a USD 95 por tonelada (o USD 115 por tonelada en 2017) en 2050. Consulte el documento de soporte técnico: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866; Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, Gobierno de los Estados Unidos, agosto de 2016. Los precios de la electricidad para 2050 reflejan el costo proyectado de un suministro de electricidad descarbonizado.

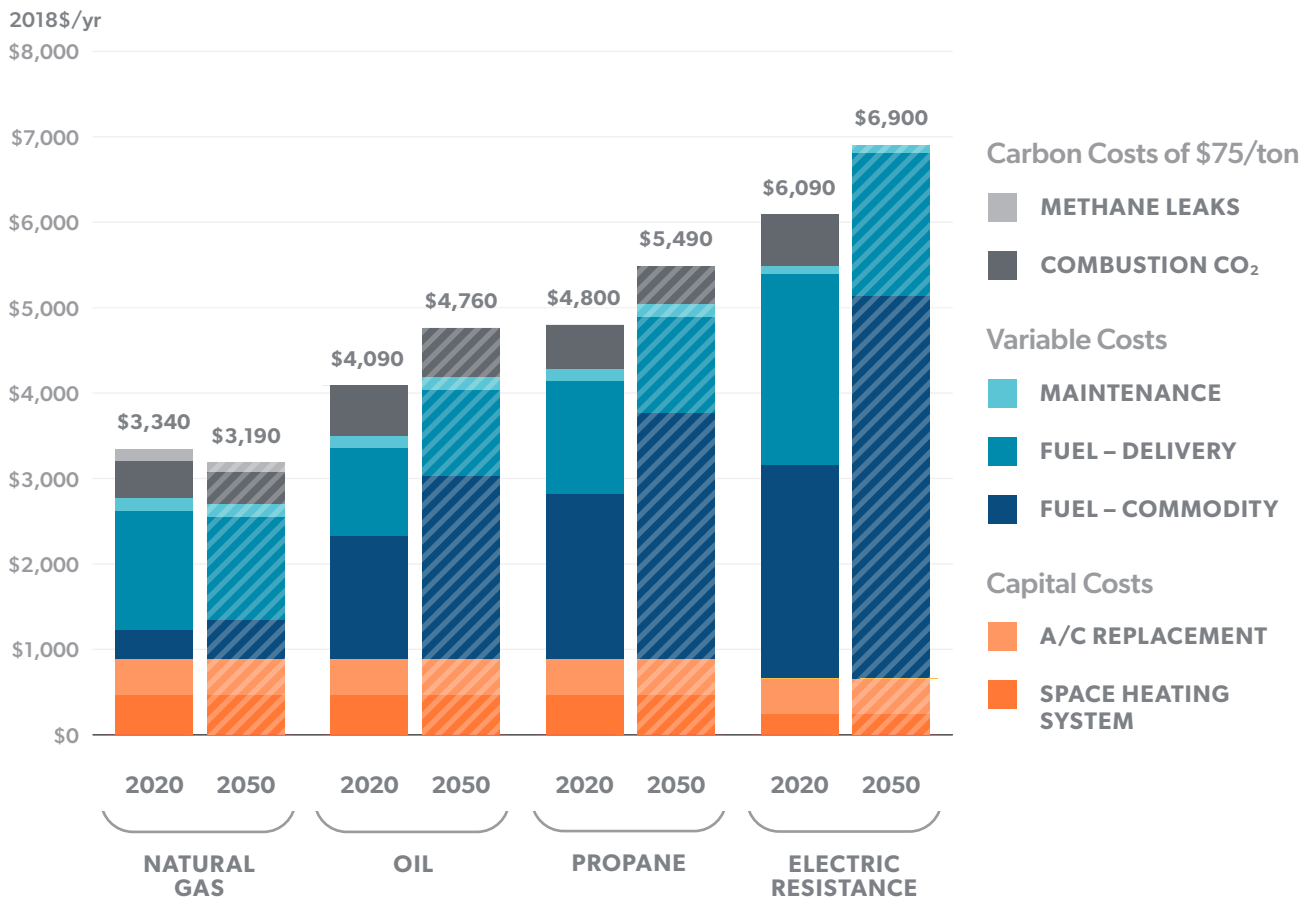


GRÁFICO 10: COSTO ANUALIZADO DE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES DE CALEFACCIÓN, VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN 2020 Y PREVISTOS PARA 2050 (2018\$)

Aclaraciones: Los precios de los combustibles fósiles para 2050 se basan en las predicciones del panorama energético anual. El precio de la electricidad para 2050 se basa en el costo de un supuesto suministro de electricidad libre de carbono para Nueva Inglaterra que podría suministrar los usos tradicionales de electricidad, más la electrificación de vehículos livianos.

La clasificación relativa de las tecnologías de calefacción estándar permanece sin cambios, siendo la calefacción a gas natural la menos costosa, y la calefacción por resistencia eléctrica continúa siendo la más costosa.

La demanda de calefacción en edificios más grandes (por ejemplo, edificios de departamentos multifamiliares y edificios comerciales grandes, como torres de oficinas), por supuesto, tiende a ser mayor en total, aunque la necesidad de calor generalmente aumenta con menos rapidez que los pies cuadrados del edificio (es decir, a medida que aumenta el tamaño del edificio, la superficie exterior área del edificio, a través de la cual se pierde calor, crece con menos rapidez que los pies cuadrados). Estos edificios más grandes pueden tener diferentes tipos de sistemas de calefacción

o refrigeración, particularmente, en lo que respecta a los sistemas de distribución interna dentro del edificio. Además de necesitar menos calor por pie cuadrado, los edificios más grandes suelen necesitar refrigeración incluso en la temporada de calefacción. Sin embargo, los edificios más grandes son muy idiosincrásicos en cuanto a sus sistemas de calefacción, quizá, aun más que los edificios pequeños. Por lo general, combinan calderas grandes que proporcionan calor con enfriadores y torres de enfriamiento para la refrigeración, y utilizan sistemas de distribución hidrónicos (a base de agua) dentro del edificio para mover el calor y el frío a donde sea necesario. Los ventiladores o sistemas de aire forzado se utilizan para mover el calor o el frío desde el sistema hidrónico hacia los diversos espacios del edificio que requieren acondicionamiento

Espacio y calor de agua Varias soluciones principales son factibles en muchas aplicaciones o edificios	Combustible descarbonizado El suministro puede estar limitado por fuentes menos costosas	Gas renovable/conversión de electricidad en gas (P2G) para clientes de gas <ul style="list-style-type: none"> Gas de vertedero, digestores anaeróbicos, gasificación, gas sintético
		Biocombustible o conversión de electricidad en líquidos (P2L) para la mayoría de los demás clientes <ul style="list-style-type: none"> Biodiesel, etanol, combustibles sintéticos
	Bombas de calor	Bomba de calor aerotérmica (ASHP)
		Bomba de calor de fuente terrestre (GSHP) <ul style="list-style-type: none"> Incluye GeoMicroDistric
Calor industrial	<ul style="list-style-type: none"> Puede ser más especializado (por ejemplo, alta temperatura) Puede requerir combustible (descarbonizado), incluido hidrógeno 	

TABLA 1: SOLUCIONES DE DESCARBONIZACIÓN

del espacio. Sin embargo, a pesar de las diferencias en sus sistemas de calefacción, la economía relativa del calor en los edificios grandes es similar a la de los edificios pequeños, ya que ambas están impulsadas por los costos relativos de los diferentes combustibles disponibles y el equipo de calefacción

SOLUCIONES DE DESCARBONIZACIÓN PARA RHODE ISLAND

Según la aplicación de calefacción y el tipo de edificio, existen varias opciones para descarbonizar la calefacción, algunas de las cuales son sustitutas, mientras que otras se pueden usar en combinación. En esta sección se analizan las diversas soluciones en un alto nivel. El informe de la estrategia de desarrollo del mercado de energía térmica renovable de Rhode Island 2017 («Informe Meister»)¹⁵

proporciona una descripción técnica más detallada de muchas de estas tecnologías. Se proporciona más información en el **Documento de soporte técnico** que acompaña al presente informe. En términos muy generales, aparte de las medidas de eficiencia energética, que deben desempeñar un papel importante independientemente de la solución de calor que se elija, las soluciones de descarbonización se incluyen en las categorías descritas en **la tabla 1**.

Como muestra la tabla, las dos vías principales incluyen la descarbonización de combustibles y la electrificación del calor mediante bombas de calor. El atractivo relativo de estos caminos se ha estudiado en una variedad de contextos y geografías.¹⁶ Estos y otros estudios similares proporcionan un contexto importante para los análisis de este informe como base para desarrollar una estrategia de transformación de la calefacción para Rhode Island.

¹⁵ Meister Consultants Group, Estrategia de desarrollo del mercado térmico renovable de Rhode Island, preparado para la Oficina de recursos energéticos de Rhode Island, enero de 2017

¹⁶ Consulte, por ejemplo, KPMG, 2050 Energy Scenarios, July 2016; DNV-GL, The Potential Role of Power-to-Gas in the e-Highway 2050 study, 2017; E3, The Challenge of Retail Gas in California's Low-Carbon Future, Final Project Report, California Energy Commission, CEC-500-2019-055-F, Diciembre 2019; E3, Deep Decarbonization in a High Renewables Future, California Energy Commission, CEC-500-2018-012, junio de 2018

1. El rol de la eficiencia energética

Uno de los enfoques más evidentes para descarbonizar el sector de la calefacción es reducir la necesidad general de calor, lo cual se puede lograr aumentando la eficiencia de los edificios. Principalmente, mediante la climatización o equipos de calefacción más eficientes para los edificios existentes, y mediante códigos de construcción que requieren mejores rendimiento energético para edificios nuevos.¹⁷ Las medidas rentables de eficiencia energética reducirán las emisiones de GEI y el costo total para los clientes, mitigando el costo potencialmente más alto del calor descarbonizado. Evidentemente, los esfuerzos de eficiencia energética dirigidos a la demanda de calefacción y electricidad ya desempeñan un papel importante en Rhode Island a través de los programas de eficiencia energética que implementan los servicios públicos estatales.¹⁸ Los programas de eficiencia existentes proporcionan una red de entrega de programas eficaz que se puede acelerar para reducir aún más las necesidades de energía para calefacción (y refrigeración) en edificios existentes y nuevos, y también se puede ampliar para apoyar el suministro de sistemas de calefacción descarbonizados. Las medidas de eficiencia energética relacionadas con la calefacción pueden ser muy rentables en edificios nuevos. Al diseñar un edificio para que sea energéticamente eficiente desde las primeras etapas, su necesidad de calor (así como otras formas de energía) se puede reducir drásticamente por un costo inicial muy modesto, a menudo solo un pequeño porcentaje del costo inicial.¹⁹ Específicamente, los cerramientos de edificios muy estrechos, el aislamiento, las ventanas eficaces y los sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, a menudo, son muy rentables, ya que tienden a requerir poco o ningún aumento de mano de obra y solo un costo modelo de materiales, y a menudo se amortizan en dos

o tres años.²⁰ Sin embargo, incluso estas medidas fáciles y rentables no siempre se aplican en los edificios nuevos, en parte porque no son una parte integral de los enfoques de diseño tradicionales, lo que se complica por el hecho de que el diseñador o desarrollador no suele pagar los costos de energía del edificio y, por lo tanto, tiene poco incentivo para reducirlos. Por estas razones, los nuevos códigos y normas de construcción, así como los requisitos de divulgación de energía, son una forma importante de garantizar que los nuevos edificios cumplan con los objetivos de descarbonizar el sector de la calefacción, haciendo que los edificios del estado sean más eficientes a medida que la cantidad de construcciones se renueva y crezca en un plazo mayor de tiempo. El hecho de que las nuevas construcciones representarán una pequeña parte de los edificios en Rhode Island para 2050, una estrategia eficaz de transformación de la calefacción debe garantizar que las medidas de eficiencia rentables para los nuevos edificios, probablemente principalmente en forma de códigos de construcción, también formen parte de Rhode Estrategia de transformación de calefacción de la isla. Las medidas de eficiencia rentables logran que los clientes ahorren dinero y, a pesar de que el conjunto de edificios se renueva lentamente (quizá, especialmente, porque se renueva de ese modo), garantizar que los nuevos edificios sean eficientes protegerá a los clientes de Rhode Island a largo plazo.

Sin embargo, dado que la mayoría de los edificios existentes en Rhode Island son bastante antiguos (casi el 75 % de los edificios residenciales tienen más de 40 años), es muy probable que la mayoría de los edificios que existirán en 2050 ya se hayan construido. Por lo tanto, transformar el sector de la calefacción requerirá un esfuerzo sustancial para modernizar los edificios existentes, a menos que haya un combustible descarbonizado sustituto que pueda usarse con los sistemas de calefacción existentes y los aparatos que

¹⁷ El cambio a las bombas de calor también ha sido respaldado por los programas de eficiencia energética existentes, pero estos se analizan, a continuación, como una vía de descarbonización separada.

¹⁸ Rhode Island es sede de tres empresas de distribución eléctrica (National Grid, Block Island Utility District y Pascoag Utility District, y National Grid presta servicios a la gran mayoría de los clientes) y de una empresa de distribución de gas (National Grid).

¹⁹ Consulte, por ejemplo, EPA, Rules of Thumb – Energy Efficiency in Buildings, p.2, que sugiere un aumento en los costos de construcción del 2-7 % para los edificios ecológicos de alto rendimiento en comparación con los edificios «normales».

²⁰ Consulte, por ejemplo, la EPA, Reglas generales — Eficiencia energética en edificios, p.2, que sugiere un período de amortización para edificios de alto rendimiento de 2 años, 2,1 años para las bibliotecas y 2,6 años para las escuelas.

utilizan combustibles fósiles vigentes.²¹

Las medidas de eficiencia para los edificios existentes, como burletes, sellado de aire y aislamiento de áticos, tienden a tener un costo relativamente bajo, ya que no requieren intervenciones intrusivas en el edificio. Se ha demostrado que son rentables y están en el centro de los programas de eficiencia energética de Rhode Island. Hasta la fecha, estas medidas han representado la mayor parte de las medidas de eficiencia energética relacionadas con la «cerramiento del edificio». Por ejemplo, en el programa del año 2018, el programa EnergyWise de National Grid dio como resultado la implementación de más de 3700 medidas de climatización, extraídas de más de 10 000 clientes que recibieron una auditoría energética como parte del programa. Teniendo en cuenta los gastos generales del programa EnergyWise, los costos promedio por climatización fueron apenas inferiores a USD 4200, y los clientes participantes promedio contribuyeron con, aproximadamente, USD 575.²² Sin embargo, estas medidas suelen lograr solo una reducción moderada de la demanda general de calefacción; en conjunto, tienden a reducir las necesidades de energía de calefacción entre un 10 y un 15 %. Las reducciones adicionales en las necesidades de energía de calefacción requieren medidas adicionales que tienen un costo más alto y son más intrusivas para el ocupante de la estructura existente.²³

Es posible ahorrar energía térmica del 40 % o más en los edificios existentes, pero requieren reformas «profundas» con medidas como el reemplazo de las ventanas y la adición de aislamiento no solo a los áticos, sino también a las paredes y pisos exteriores. Dichas actividades tienden

a ser más disruptivas y conllevan un costo significativo al modernizar un edificio existente. Las intervenciones necesarias en un edificio existente también tienden a ser muy específicas del edificio y, por lo tanto, difíciles de estandarizar.²⁴ Su costo puede superar los USD 50 000 o incluso USD 100 000 para una casa residencial, con costos comparativamente altos para la mayoría de los edificios comerciales. Hasta ahora, estas medidas de adaptación profunda no se han considerado rentables en los edificios existentes y se enfrentan a grandes obstáculos iniciales de costo e implementación.²⁵

De cara al futuro, las medidas de eficiencia energética en los edificios existentes que son rentables hoy en día tienen aún más probabilidades de serlo más adelante. La implementación de medidas de eficiencia rentables reduce los gastos de calefacción (y electricidad) de los clientes, lo que es particularmente relevante en un momento como el actual, cuando la pandemia de COVID-19 está afectando los ingresos de muchos residentes y negocios locales, pero también es importante en tiempos normales. La eficiencia energética también tendrá que desempeñar un papel importante en la transformación del sector de la calefacción a largo plazo. En la actualidad, National Grid está en vías de completar las auditorías energéticas de, prácticamente, todos los edificios residenciales del estado para 2050. Sin embargo, a pesar de que estas medidas son generalmente rentables, solo alrededor de un tercio de los clientes residenciales que reciben una auditoría energética también optan por estas medidas de climatización. En el futuro, será importante desarrollar políticas e incentivos para mejorar esta tasa de

²¹ Este informe no aborda cómo se financiarían las remodelaciones integrales de los edificios ya existentes.

²² Calculado en base a National Grid, Informe de fin de año de eficiencia energética de 2018, 15 de mayo de 2019, p. 8 y Tabla E-3.

²³ Cuando se evaluó en un paquete con aislamiento, una evaluación de los programas de climatización de Maine encontró una reducción promedio de 17.9 MMBtu o de 17 % en relación con el consumo de energía medido previamente en hogares con calefacción de gas natural. Una comparación con otros programas de sellado y aislamiento de aire sugiere un rango típico de ahorro entre el 9 y el 17 %. West Hill Energy and Computing, Efficiency Maine Trust Home Energy Savings Program Impact Evaluation, años de programa 2014-2016, 23 de agosto de 2019, p.23, Tabla 3-5.

²⁴ Hay esfuerzos para desarrollar enfoques estandarizados de reacondicionamiento profundo para edificios residenciales existentes. NYSERDA se encuentra actualmente en una fase de proyecto piloto a través del programa RetroFitNY, aprovechando los esfuerzos para desarrollar modernizaciones estandarizadas en los Países Bajos, promovidas por EnergieSprong. (Consulte <https://energiesprong.org/country/new-york/> y <https://www.greenbuildingadvisor.com/article/u-s-looks-to-europe-for-energy-retrofit-model>)

²⁵ Evaluación del impacto de los servicios de energía en el hogar (Res 34), producida en colaboración con Navigant y Cadeo, preparada para los Administradores del Programa de Electricidad y Gas de Massachusetts, agosto de 2018, página 26.

conversión, de modo que los esfuerzos de climatización rentables reduzcan la necesidad de proporcionar calor descarbonizado en la mayor medida posible. Los programas de eficiencia energética también pueden ser mecanismos de entrega útiles para soluciones de transformación de la calefacción, como el despliegue de bombas de calor donde sea rentable. En ese caso, es probable que la política futura deba centrarse en aumentar las tasas de conversión (la tasa de adopción una vez que se haya establecido la rentabilidad, por ejemplo, a través de una auditoría energética), ya que el grado de implementación de tales soluciones en los más de 400 000 edificios dependerá, fundamentalmente, de qué fracción de los clientes adoptan estas soluciones.

Más allá de la climatización, también hay nuevas medidas de eficiencia energética basadas en la tecnología que pueden proporcionar ahorros adicionales de energía térmica. Incluyen programas conductuales para fomentar la conservación, incluidos los que son posibles a través de termostatos inteligentes. En la actualidad, no está claro cuál podría ser el efecto neto de la simple climatización y de tales programas de comportamiento. Dado que la penetración del termostato inteligente aumentará probablemente con el tiempo, quizá más clientes tengan acceso a dichos programas. Más allá de la conservación, estos programas también contribuyen a reducir los picos de demanda, lo que ayudará a reducir el costo de la electricidad en una red eléctrica totalmente limpia del futuro.

Se debe dejar en claro otros dos puntos. En primer lugar, es probable que las medidas rentables de eficiencia energética que no afecten a la demanda de calefacción, sino a la demanda de electricidad, sean críticas para permitir una descarbonización exitosa del sector de la calefacción. Al reducir la demanda de electricidad en relación con lo que sería de otra manera, reducirán el desafío de construir una cartera de recursos generadores de electricidad capaz de suministrar al estado (y a la región) electricidad 100 % limpia. En segundo lugar, al haber estado implementados durante muchas décadas y haber mejorado constantemente con el tiempo, los

programas de eficiencia energética existentes y su administración y entrega son probablemente un vehículo clave para implementar otras políticas relacionadas con la calefacción. El hecho de que los incentivos estatales actuales para las bombas de calor se entreguen a través de los programas de eficiencia energética existentes es probablemente solo el comienzo del uso y la mejora de un canal de suministro existente para muchas de las políticas necesarias para transformar el sector.

Reconociendo la contribución de la climatización rentable en los costos de varias soluciones de descarbonización para los clientes para 2050, el siguiente análisis supone que la combinación de medidas rentables de eficiencia energética reducirá los requisitos totales de calefacción de un edificio representativo de Rhode Island en 15 % y que las fuentes de calor restantes (muy importantes) deben descarbonizarse para lograr los objetivos de descarbonización del estado. A continuación, se analizan las dos vías principales para descarbonizar el calor en Rhode Island: la electrificación mediante bombas de calor (con un sector eléctrico descarbonizado) y la descarbonización del combustible de calefacción.

2. Electrificación descarbonizada con bombas de calor

El uso de la electricidad para calefaccionar los hogares no es algo nuevo. De hecho, es la principal fuente de calor para aproximadamente el 9% de los clientes residenciales de Rhode Island y el 13% de los pies cuadrados comerciales.²⁶ Actualmente, la mayor parte del calor eléctrico en Rhode Island es por resistencia eléctrica, pero se utilizan, cada vez más, bombas de calor eléctricas, particularmente en el sector comercial. Las bombas de calor se basan en una tecnología bien conocida y ampliamente implementada; es el mismo enfoque que se usa en refrigeradores y acondicionadores de aire. A diferencia de los hornos y calderas que generan calor, una bomba de calor mueve el calor desde el exterior del edificio hacia el interior (o al revés en el modo de enfriamiento). Con este enfoque, las bombas de calor aprovechan la energía disponible

²⁶ Informe Meister, Gráfico 1, Tabla 5, Tabla 7.

en el medio ambiente (incluso el aire frío del exterior en invierno contiene una energía térmica significativa) y, en consecuencia, pueden lograr eficiencias muy por encima del 100 %. Es decir, por cada unidad de energía eléctrica consumida, se proporciona más de una unidad de calor al edificio.

Existen muchos tipos de aplicaciones de bombas de calor, pero se pueden agrupar en dos grandes categorías: Bombas de calor aerotérmicas (ASHP) y bombas de calor geotérmicas (GSHP), con la principal distinción de la fuente de calor exterior utilizada (o disipador de calor en modo de enfriamiento). Las ASHP utilizan el aire exterior como fuente de calor, con un ventilador para mover el aire a través de un intercambiador de calor. La eficiencia de calefacción de las ASHP disminuye con las temperaturas exteriores y, por lo tanto, las ASHP consumen más electricidad, especialmente en climas más fríos. Por esta razón, a pesar de las recientes mejoras de rendimiento, las ASHP se instalan, generalmente, con un sistema de calefacción de respaldo que puede sustituir o complementar las ASHP durante temperaturas exteriores muy bajas.²⁷ Las GSHP, por otro lado, utilizan agua subterránea o el suelo mismo, lo que mantiene una temperatura estable durante todo el año de unos 50 grados Fahrenheit unos pocos pies por debajo de la superficie. Para acceder a este depósito de calor, las GSHP requieren un «bucle de tierra», una tubería que hace

circular un refrigerante que absorbe el calor del suelo o del agua, o que inyecta calor en modo de enfriamiento. Un bucle de tierra se puede instalar horizontalmente como una bobina «ajustada» de tubería flexible enterrada a unos pocos pies bajo tierra, o verticalmente perforando uno o más pozos de varios cientos de pies de profundidad. Por lo general, el bucle de tierra hace que la instalación de las GSHP sea más costosa, pero dado que la temperatura del suelo es constante durante todo el año, pueden funcionar con una eficiencia muy alta independientemente de la temperatura exterior.

Una ventaja de las bombas de calor sobre la combustión de combustibles descarbonizados (por ejemplo, petróleo o gas renovable) es que proporcionan refrigeración y calefacción, mientras que los hornos y calderas que queman combustibles solo pueden proporcionar calor.²⁸ En un Rhode Island más cálido, es probable que el aire acondicionado se vuelva más importante y, al poder proporcionar calefacción y aire acondicionado, las bombas de calor pueden reemplazar no solo un horno o una caldera, sino también la necesidad de un sistema de aire acondicionado separado.

Una desventaja potencial de las bombas de calor es la demanda que imponen al sistema eléctrico, particularmente en un escenario de despliegue a gran escala. Las bombas

²⁷ A pesar de que las ASHP pueden dimensionarse para proporcionar suficiente calor cuando hay temperaturas exteriores muy bajas, el «sobredimensionamiento» requerido de la bomba de calor tiende a ser poco económicos. Cuando las bombas de calor sustituyen (o complementan) un sistema de calefacción ya existente, el sistema de calefacción existente puede conservarse para proporcionar calor de respaldo, al menos hasta que ese sistema requiera una inversión significativa (como reemplazar un horno). El calentamiento por resistencia eléctrica probablemente proporcione el calentamiento de respaldo más rentable a largo plazo, ya que a temperaturas por debajo de -5°F, la eficiencia de una ASHP disminuye la eficiencia del calor de resistencia eléctrica. Las estufas de leña son otra fuente potencial de calefacción de reserva neutra en carbono. Este análisis no ha intentado proyectar el uso provisional de calor de respaldo no eléctrico, sino que se centra en escenarios base totalmente eléctricos para comprender la magnitud potencial del impacto del sistema eléctrico. Sin embargo, el análisis a continuación realmente considera un escenario mixto en el que el calor descarbonizado proviene de una variedad de fuentes; este escenario ofrece un buen indicador para el uso provisional de fuentes de calor de respaldo no eléctricas.

²⁸ Una bomba de calor también puede diseñarse para funcionar con gas natural y podría proporcionar refrigeración y calefacción, aunque actualmente las bombas de calor a gas no están disponibles comercialmente. Aunque sería menos eficiente que una bomba de calor eléctrica, una bomba de calor de gas proporcionaría una mejora significativa de la eficiencia en comparación con los hornos o calderas de gas. El COP de una bomba de calor de gas en modo de calefacción es de aproximadamente 1,3 (y 0,6 en modo de enfriamiento), en relación con eficiencias en el intervalo de 0,80-0,9 para un horno o caldera de gas. (Consulte Baig y Fung, Impacto de la fijación de precios del carbono en el ahorro de costos de energía resultantes de la instalación de una bomba de calor de absorción a gas en un edificio de biblioteca en Ontario, Procedimientos de MDPI, 16 de agosto de 2019). Hoy en día, hay poca información sobre el costo probable de instalación de dichas bombas de calor, por lo que no se analizaron, en este análisis, como una opción separada para la calefacción totalmente descarbonizada. Sin embargo, la evolución futura podría convertirlos en una opción atractiva. Probablemente, tendrían costos iniciales relativamente altos, potencialmente similares a los de las bombas de calor eléctricas, y probablemente requerirían modificaciones similares a los edificios existentes, pero sus costos de combustible serían más bajos que los de los hornos o calderas que funcionan con gas renovable.

de calor tienen el potencial de crear un fuerte pico invernal en la demanda de electricidad en los climas más fríos. Este impacto máximo es, particularmente, agudo para las ASHP, como se analiza más adelante en la Sección III.C. Mientras que el análisis a continuación establece que descarbonizar la red y ampliarla para satisfacer una demanda máxima tan alta solo conduciría a costos de electricidad moderadamente más altos a largo plazo; proyectar el impacto de este doble desafío (descarbonización y aumento) en los precios sigue siendo una fuente de incertidumbre significativa. También aumenta el desafío de construir un suministro regional de electricidad libre de carbono a tiempo para satisfacer la demanda pico potencialmente mucho más alta.

También hay una pregunta sobre si las ASHP deben dimensionarse para cubrir todas las temperaturas exteriores razonablemente esperadas. Si bien las ASHP se pueden dimensionar para satisfacer todas las necesidades de calefacción razonablemente esperadas, este análisis supone que es probable que sea más rentable utilizar una capacidad de calentamiento por resistencia eléctrica económica para cubrir el pequeño número de horas cuando las temperaturas son tan frías que las ASHP no son mucho más eficientes que las tradicionales resistencia al calor.

Otra desventaja práctica de las bombas de calor en relación con los combustibles descarbonizados es que la conversión a bombas de calor requeriría que la mayoría de los edificios existentes en todo el estado necesitaran reemplazar sus sistemas de calefacción, abandonando, alterando o eliminando partes de los sistemas existentes. Esto requeriría una actividad de construcción disruptiva en los hogares de la mayoría de los habitantes de Rhode Island, y un costo inicial que es mucho más costoso que simplemente reemplazar una caldera u horno existente por uno nuevo y más eficiente que, de otro modo, sería similar.

3. Combustibles descarbonizantes

En lugar de instalar bombas de calor eléctricas para reemplazar las calderas y los hornos que queman

combustibles fósiles, también es posible mantener el mismo equipo de calefacción o uno similar, pero descarbonizar los combustibles por sí mismos. Es decir, los combustibles fósiles de gas natural, aceite y propano actualmente en uso pueden ser reemplazados por combustibles de sustitución directa neutros en carbono, es decir, combustibles cuyas emisiones de carbono, durante la combustión, liberan, esencialmente, carbono que fue recientemente absorbido de la atmósfera para sintetizar el combustible. Dos ejemplos, que se explican con más detalle a continuación, son los combustibles basados en biomasa, en los que el carbono absorbido a través de la fotosíntesis por las plantas se convierte en biocombustible y se vuelve a liberar a la atmósfera cuando se quema, y los enfoques «Power2Fuels», que utilizan energía renovable para convertir el agua en hidrógeno y añadir dióxido de carbono capturados de la atmósfera para producir gas renovable, aceite u otros combustibles. La implementación de tales combustibles sustitutos directos tiene la ventaja de que se necesitan pocos o ningún cambio dentro del edificio, ya que, en su mayor parte, los equipos de calefacción y los sistemas de distribución existentes pueden seguir utilizándose.

Aceite de calefacción Aceite renovable

Actualmente, alrededor de un tercio de los clientes de Rhode Island utilizan aceite de calefacción y otro 2 % de calor con propano.²⁹ Muchos de estos clientes residen fuera de las comunidades centrales urbanas de Rhode Island. Un combustible líquido descarbonizado, como el biodiésel, se puede utilizar como reemplazo inmediato del aceite de calefacción. Existen varias fuentes potenciales de aceite de calefacción descarbonizado, incluidos los derivados de aceites usados (aceite de cocina usado), varios cultivos oleaginosos (colza, soja, palma) y combustibles líquidos potencialmente sintéticos producidos a partir de la electrólisis del agua y los pasos posteriores para sintetizar combustibles neutros en carbono.

De hecho, la Ley de aceite de calefacción de biodiésel de Rhode Island de 2013 actualmente exige una mezcla de

²⁹ Consulte el Informe Meister, p. 24.

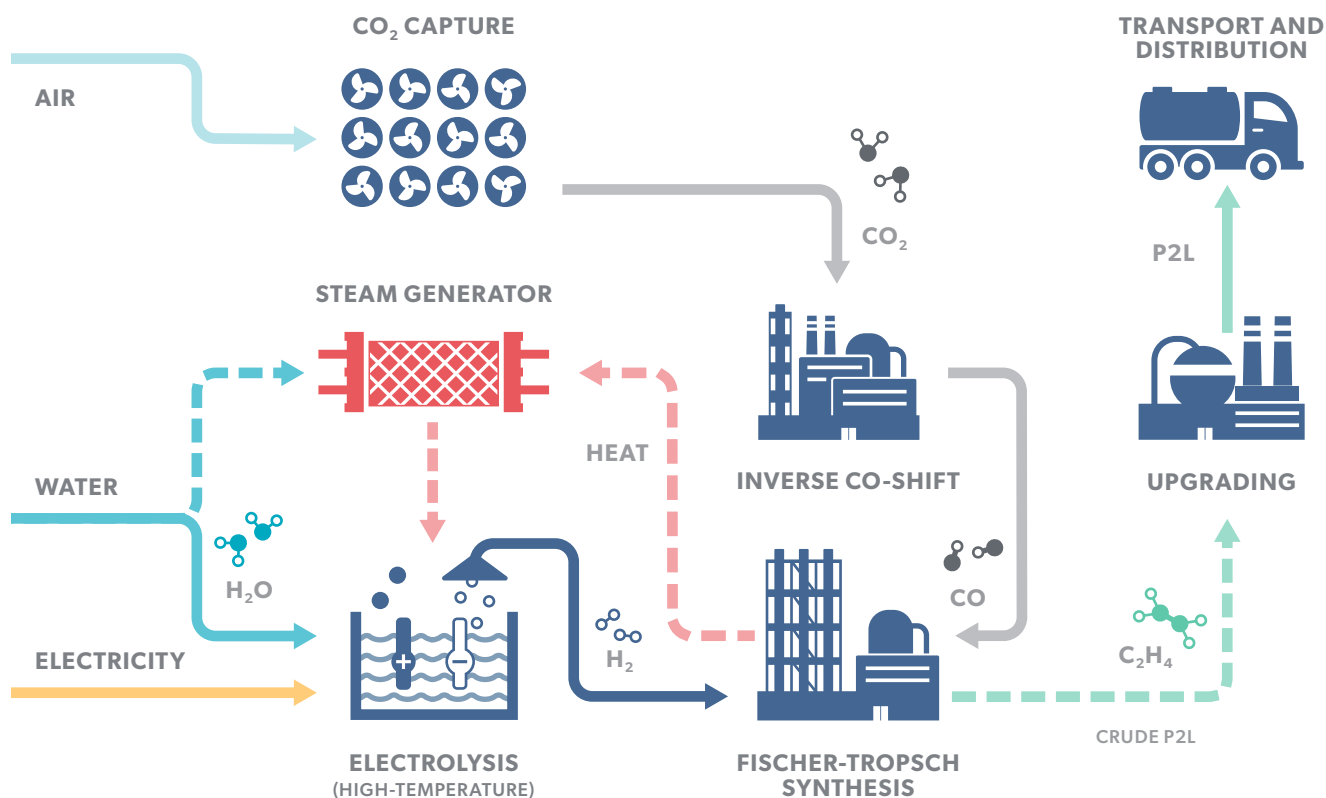


GRÁFICO 11: PROCESO DE CONVERSIÓN DE ELECTRICIDAD EN LÍQUIDO (P2L)

Fuente: Reproducido del gráfico 3, Power-to-Liquids Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel, Umweltbundesamt, septiembre de 2016

biodiésel al 5% (B5) en el combustible para calefacción.³⁰ En teoría, este requisito de mezcla podría aumentar significativamente con el tiempo. En línea con esta posibilidad, la industria del aceite de calefacción del noreste se ha comprometido recientemente a lograr cero emisiones netas de CO₂ para 2050, con objetivos provisionales de una mezcla de biodiésel del 20% (reducción del 15% en la intensidad de carbono) para 2023, y una mezcla del 50% (reducción del carbono del 40%) para 2040.³¹ A niveles de mezcla más altos, puede haber algunos problemas de «límite de mezcla» para el biodiésel.³² Sin embargo,

parece haber soluciones para superar algunos de estos problemas.³³ y existe la oportunidad para que Rhode Island comience a aumentar sus requisitos de mezcla siguiendo las líneas comprometidas por la industria del combustible suministrado.

Si bien es probable que existan algunos límites a las cantidades disponibles de fuentes relativamente menos costosas,³⁴ se podría producir una versión sintética del biodiésel en cantidades ilimitadas, al menos, teóricamente. La vía «conversión de electricidad en líquido» (P2L), ilustrada en el gráfico 11, podría utilizar electricidad libre de carbono,

³⁰ Estado de Rhode Island, Ley de aceite para calefacción biodiésel de 2013, § 23-23.7-4.

³¹ Consulte <https://nefi.com/news-publications/recent-news/heating-oil-industry-commits-net-zero-emissions-2050/> y nbb.org.

³² Hoy en día, un contenido de biodiésel superior al 20% puede causar varios problemas con los equipos existentes; por ejemplo, un tanque de biodiésel debe estar en un espacio acondicionado, ya que el B100 se congela a temperaturas por debajo de 42 °F.

³³ Ibid.; véase también una serie de medidas sencillas propuestas para la conversión a B100 (<https://www.netzeromontpelier.org/blog/2018/10/8/biodiesel-for-home-heating>, consultado el 2 de febrero de 2020). Consulte también <https://www.hpac.com/heating/article/20925981/b100-makes-the-grade> (consultada el 2 de febrero de 2020), que analiza una prueba del Laboratorio Nacional de Brookhaven de una caldera de condensación hidrónica que utiliza B100.

³⁴ Consulte RIEC4, Rhode Island Greenhouse Gas Reduction Plan, diciembre de 2016, p.73

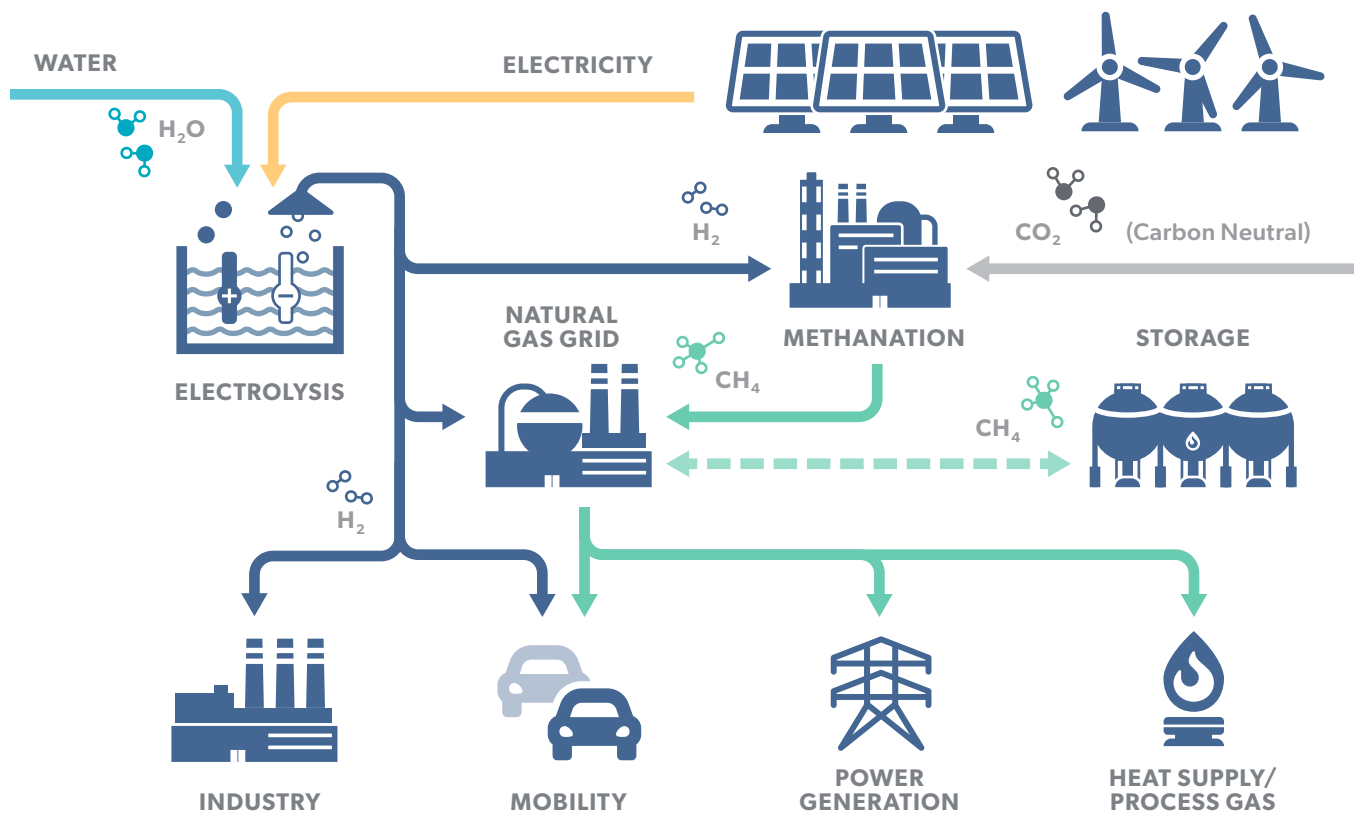


GRÁFICO 12: PROCESO DE CONVERSIÓN DE ELECTRICIDAD EN GAS (P2G)

Fuente: Muhammad Akif, Análisis de los sistemas de energía de gas, Hoy y mañana, 2015, Gráfico 17, p.21

electrólisis del agua y mayor refinación para proporcionar combustible líquido descarbonizado en cantidades limitadas únicamente por la disponibilidad de electricidad renovable, y la capacidad de desarrollar la infraestructura y el equipo necesarios para producirla. La principal preocupación con el enfoque P2L puede ser el costo de producir combustible de esta manera. Esto sugiere que, incluso si el suministro de biodiésel de costo relativamente bajo a partir de productos de desecho puede ser limitado, el potencial de P2L significa que probablemente no haya un límite estricto para la disponibilidad de aceite renovable.

El resto de este informe utilizará el término «aceite renovable» para referirse tanto al biodiésel como a los combustibles P2L sintéticos, ya que estos últimos no tienen una base biológica.

Por último, si bien la EPA considera que el biodiésel es neutro en carbono,³⁵ otras evaluaciones de las emisiones del biodiésel durante el ciclo de vida útil concluyen que la producción de biodiésel emite algunos GEI. Algunas estimaciones sugieren que el cambio al biodiésel podría reducir las emisiones de GEI hasta en un 80 %, pero no en un 100 %.³⁶ De manera similar, un estudio de caso de Fulcrum Sierra BioFuels para el Estándar de combustible bajo en carbono de California estimó una reducción potencial de GEI del 62,1 % con biodiésel.³⁷ Por lo tanto, el potencial de descarbonización del B100 para el sector de la calefacción de Rhode Island, probablemente, dependerá de las emisiones evaluadas durante el ciclo de vida del B100 que, a su vez, depende de cómo (y de qué) se produzca el B100.

³⁵ Consulte <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/biodiesel-and-the-environment.php>

³⁶ Consulte (S & T)² Consultores, EMISIONES DE GEI DE BIODIÉSEL, PASADO, PRESENTE Y FUTURO, Un informe para IEA Bionenergy Task 39, enero de 2011, Tabla ES-2

³⁷ Consulte Life Cycle Associates, Life Cycle GHG Emissions for Fulcrum Sierra Biofuels LLC's MSW-to-Fischer Tropsch Fuel Production Process, LCA.6060.120.2015, diciembre de 2015, Tabla 6, página 12.

El propano también se usa como combustible para el calor en Rhode Island, aunque en raras ocasiones.³⁸

Conceptualmente, el propano renovable podría producirse mediante procesos similares a los del gas renovable y el petróleo renovable, incluidas las vías P2Fuel, por lo que es probable que los mismos tipos de cuestiones discutidas para esos combustibles se apliquen al propano renovable.

Gas natural fósil ≥ Gas renovable

El gas natural (metano) es el combustible de calefacción dominante en Rhode Island y sirve al 54 % de los clientes residenciales del estado.³⁹ Casi todo el gas natural que se utiliza hoy en día se produce a partir de fuentes fósiles y se transporta a través de tuberías hasta el lugar de aplicación. Hay pequeñas cantidades de metano disponibles en el gas de vertedero y los digestores anaeróbicos (que utilizan residuos animales, alimentos y agrícolas, aguas residuales, etc.), y se pueden mezclar con el gas de gasoducto. Se están discutiendo ampliamente dos posibles combustibles gaseosos de reemplazo para el gas natural: hidrógeno y biometano, y un número creciente de informes discuten el papel potencial del gas descarbonizado en un sistema de energía descarbonizado.⁴⁰ Además, el metano se puede sintetizar a través de las vías «de electricidad a gas» (P2G), que comienzan con la producción de hidrógeno. Al igual que con el petróleo, este informe utilizará el término «gas renovable» para referirse tanto al biogás como a los combustibles P2G sintéticos, y empleará «combustibles renovables» para referirse al gas renovable y al petróleo

renovable colectivamente. **El gráfico 12** ilustra la vía P2G.

El hidrógeno se puede mezclar con metano en el sistema de gas o se puede usar en forma pura como combustible en sí solo. La mayor parte del hidrógeno se produce actualmente dividiendo el gas natural en hidrógeno y CO₂ mediante un proceso llamado reforma de metano a vapor («SMR», por sus siglas en inglés), que libera el CO₂

a la atmósfera. Si el CO₂ se fuera capturado y aislado permanentemente, el hidrógeno sería neutro en carbono; esto se conoce como «hidrógeno azul».⁴¹ Alternativamente, se puede producir «hidrógeno verde» a partir de electricidad libre de carbono, mediante electrólisis para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. Cualquiera de estas formas de hidrógeno neutro en carbono se pueden utilizar para reemplazar el gas natural como combustible de calefacción y, potencialmente, en aplicaciones industriales de calor de procesos de alta temperatura. Sin embargo, el hidrógeno no es un verdadero combustible «directo», ya que difiere del metano en formas que pueden requerir mejoras e inversiones significativas en la infraestructura de gas existente. Esto, probablemente, implicaría equipos tanto delante del medidor (tuberías de transporte y distribución e infraestructura asociada) como detrás de él (líneas internas de gas, aparatos de gas).⁴² Por lo tanto, el hidrógeno sacrifica la capacidad de continuar utilizando la infraestructura existente, así como las ventajas de conveniencia y costo que lo acompañan. Por estas razones, no nos centramos en el hidrógeno como candidato principal para un combustible de calefacción gaseoso,

³⁸ Consulte el Informe Meister, p. 24.

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Consulte, por ejemplo, Black & Veatch, El papel del gas natural en la transición hacia una economía baja en carbono, mayo de 2019; Navigant, Gas for Climate, marzo de 2019

⁴¹ Dado que el gas natural es actualmente muy barato en los Estados Unidos, el hidrógeno producido así podría tener un costo relativamente bajo si el valor de aislamiento de carbono fuera razonablemente bajo, aunque aislarlo, hasta el momento, lamentablemente ha sido muy costoso.

⁴² Es posible mezclar hidrógeno con gas natural a bajas concentraciones (hasta alrededor del 10 %) sin mejoras significativas de la infraestructura. Esto puede lograr reducciones de GEI a corto plazo, pero dado que dicha mezcla se limita a concentraciones bajas, no ofrece una vía hacia la descarbonización completa. El «límite de mezcla» de hidrógeno más allá del cual pueden ser necesarias mejoras significativas de la infraestructura depende de la composición del sistema de distribución de gas en particular en cuestión, y su determinación requeriría un estudio detallado. Para una evaluación más detallada de varios problemas relacionados con la mezcla de hidrógeno, consulte, por ejemplo, Melaina et al., Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues, NREL, marzo de 2013.

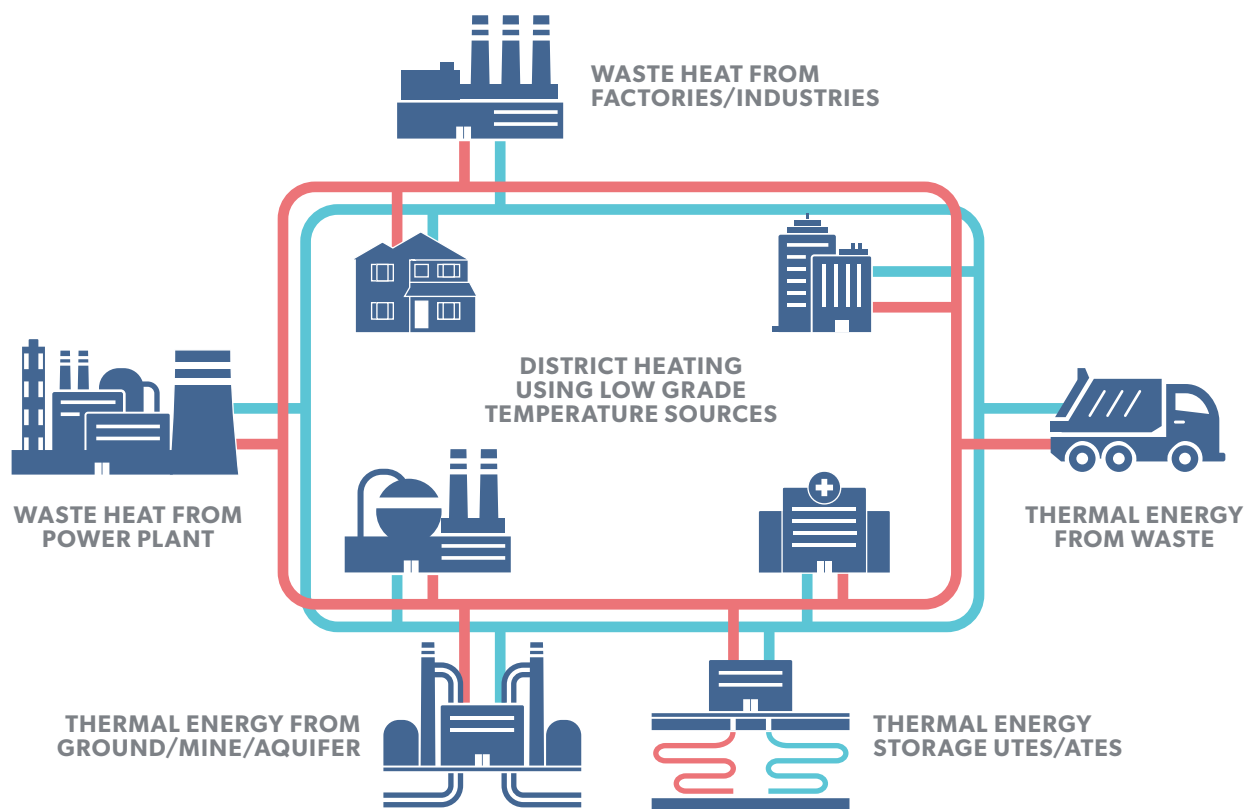


GRÁFICO 13: ESQUEMA ILUSTRATIVO DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN URBANA

Fuente: <https://www.flexis.wales/research-item/wp9-smart-thermal-energy-grid-prof-hr-thomas/low-grade-district-heating-network/>

pero creemos que es probable que el metano renovable sea más adecuado.⁴³ Sin embargo, si el hidrógeno supera estas desventajas para ser la versión más atractiva del gas renovable, o si el hidrógeno y el metano renovable son viables, las conclusiones a las que llegamos a continuación sobre el metano renovable también son aplicables al hidrógeno renovable.

La alternativa al hidrógeno es crear gas renovable que sea el equivalente químico del gas natural. El metano se puede producir a partir de diversas fuentes biológicas: gas de vertedero, digestión anaeróbica o gasificación de materias

primas biológicas como madera, residuos de alimentos, desperdicios sólidos municipales, etc.⁴⁴ El gas renovable también se puede producir sintéticamente a través de una vía P2G combinando el hidrógeno de la electrólisis del agua con CO₂ de una fuente neutra en carbono, en un proceso químico se llama «metanización». El gas renovable tiene la ventaja de ser totalmente compatible con los equipos de calefacción de gas natural existentes, y con una infraestructura de gas existente muy grande, que incluye tuberías, sistemas de distribución de gas y grandes campos de almacenamiento de gas, donde se puede almacenar durante largos períodos de tiempo (particularmente útil para el comercio con

⁴³ El hidrógeno puede ofrecer ventajas en algunas aplicaciones particulares, especialmente para usos de gran volumen en los que se puede utilizar una infraestructura dedicada, evitando la necesidad de actualizaciones más amplias. Esto podría incluir grandes aplicaciones industriales, y también la generación de energía, donde el hidrógeno podría ofrecer una forma atractiva de almacenar energía para su uso en generadores térmicos, para facilitar la adaptación de la generación intermitente a la carga y la prestación de servicios auxiliares. Las oportunidades del hidrógeno para abordar algunas de estas necesidades industriales y de generación de energía requieren un estudio más a fondo. Para una discusión sobre algunas de las oportunidades para el hidrógeno, consulte «Hydrogen in a low-carbon economy», Comité de cambio climático del Reino Unido, noviembre de 2018, en <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-in-a-low-carbon-economy.pdf>.

⁴⁴ Para una discusión en profundidad de ambas reservas de alimentación biológica, consulte American Gas Foundation, Renewable Sources of Natural Gas: Supply and Emissions Reductions Assessment, diciembre 2019.

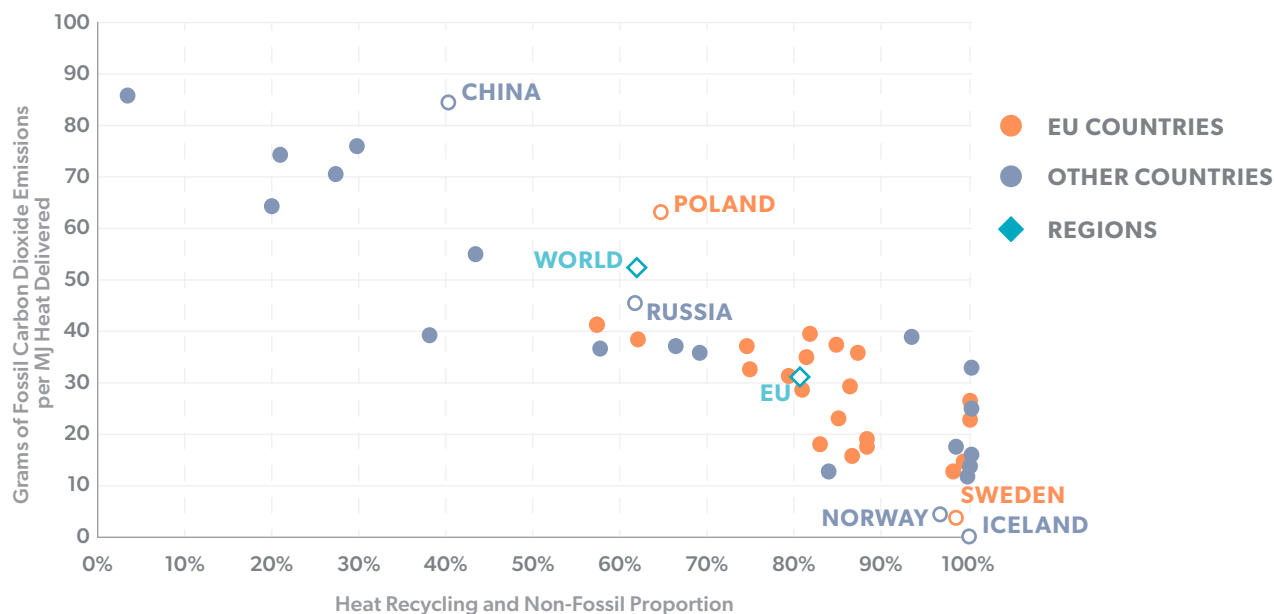


GRÁFICO 14: INTENSIDAD DE CARBONO DE SISTEMAS SELECTOS DE CALEFACCIÓN URBANA

Fuente: Sven Werner, Análisis internacional de refrigeración y calefacción urbana, Energy 137 (2017), pp. 617-631

necesidades de almacenamiento estacionales).

Una preocupación con el gas renovable es su costo potencial, que puede ser considerablemente más alto que los precios actuales del gas natural fósil, particularmente para las vías P2G. Otro factor es que los gasoductos y los sistemas de distribución local pierden parte del gas que se transporta. El metano es un GEI particularmente fuerte en sí mismo, de 30 a 85 veces más fuerte que el CO₂,⁴⁵ por lo que, incluso si el propio gas renovable se descarboniza por completo, cualquier fuga compensaría parcialmente la reducción de emisiones de la sustitución del gas natural fósil por gas renovable. Con la tasa de fuga actual, las fugas de metano pueden añadir aproximadamente un 30 %-85 % al GEI del CO₂ en los productos de combustión. Si bien se está intentando reducir las fugas, es poco probable que se puedan eliminar por completo. Por último, el gas renovable, como el gas natural, presenta riesgos de seguridad por fugas de gas en interiores y riesgos para la salud relacionados con la

calidad del aire interior).

4. Calefacción urbana descarbonizada

Todas las soluciones de descarbonización discutidas hasta ahora se refieren al «combustible» o «tecnología» utilizados para descarbonizar la calefacción. Cualquiera de estos enfoques se puede aplicar en un sistema distribuido, con cada unidad de construcción individual con su propio sistema de conversión de combustible, como una caldera, un horno o una bomba de calor. Sin embargo, la calefacción también se puede proporcionar a través de sistemas más centralizados donde, en lugar de distribuir combustible (aceite, gas, electricidad) a edificios individuales, el calor en sí se produce de forma centralizada y se distribuye a edificios individuales para su uso. Esta última se conoce a menudo como «calefacción urbana», que es prominente en varios países

⁴⁵ Las tasas de fuga de gas natural se estiman en 2.7 % según Descarbonización profunda en el Ocean State: The 2019 Rhode Island Greenhouse Gas Reduction Study, septiembre de 2019, Stockholm Environment Institute, et al. El potencial de calentamiento global (PCG) a 100 años para el metano es de 30, y el PCG a 20 años es de 85, según los rangos de la EPA de EE. UU. (EPA, EE. UU. «Understanding Global Warming Potentials»), disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>). Esto es coherente con las estimaciones del IPCC (IPCC, Fifth Assessment Report, Capítulo 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, p.714, Tabla 8.7).

del norte de Europa y Asia y, en menor escala, en los campus universitarios y de oficinas, etc. **El gráfico 13** muestra cómo funciona un sistema de calefacción urbana.

El uso de la calefacción urbana como sustituto del típico sistema de calefacción distribuido ofrece oportunidades adicionales para descarbonizar la calefacción, al mejorar potencialmente la economía, la viabilidad o la velocidad de transformación del sector de la calefacción.

Los sistemas de calefacción urbana existen desde el siglo XIX y se introdujeron inicialmente por una variedad de razones, entre ellas, para reducir la contaminación del aire local (fundamentalmente, mediante la creación de calor a través de la combustión de carbón, aceite o gas) y para aprovechar el calor y la energía residuales (usando plantas de cogeneración, incineración de residuos o, directamente, el calor residual de los procesos industriales). Como fuente principal de calefacción de espacios y agua, los sistemas de calefacción urbana son particularmente importantes en la antigua Unión Soviética, China y varios países del norte de Europa (Dinamarca, Suecia, Finlandia, Alemania). En particular, como se muestra en **el gráfico 14**, los países escandinavos han conseguido sistemas de calefacción urbana con muy bajas emisiones de carbono.

En la mayoría de los sistemas de calefacción urbana, el calor se genera de forma centralizada, por ejemplo, en una gran planta de cogeneración (una central eléctrica, en la que el calor que se genera como subproducto se utiliza en lugar de desperdiciarse) y, luego, se distribuye a través de una red de tuberías a los usuarios finales. El medio de transferencia puede ser tanto el vapor, como el sistema de calefacción urbana que todavía está en funcionamiento en algunas partes de la ciudad de Nueva York, como a través de agua caliente, que luego se utiliza para calentar edificios. Más recientemente, la «calefacción

urbana mini» ha surgido como una posible alternativa a los grandes sistemas centralizados. Una aplicación particular que ha recibido la atención de los medios de comunicación, recientemente, es el desarrollo del llamado [GeoMicroDistricts](#),⁴⁶ que crean bucles de calor geotérmicos en el vecindario que pueden suministrar calor a varios edificios en un barrio en particular.

Dos de las principales ventajas de la calefacción urbana son que aprovecha las grandes economías de escala al producir calor de forma centralizada y, por lo tanto, evitar la necesidad de hornos y calderas en el sitio del usuario final y también que permiten un uso eficaz del calor residual. Como consecuencia, se ha demostrado que los sistemas de calefacción urbana son opciones de calefacción muy rentables, especialmente en nuevos desarrollos, como campus universitarios o nuevos desarrollos de viviendas, es decir, donde el sistema de calefacción urbana no reemplaza un sistema ya existente. De manera similar, los sistemas comunitarios que utilizan un bucle de tierra común tienen el potencial de reducir, significativamente, el costo del circuito de tierra.⁴⁷ Los sistemas a mayor escala (comunitaria) probablemente también creen oportunidades de eficiencia operativa al aprovechar la diversidad de demandas de calefacción y refrigeración de los diversos edificios conectados al sistema. Por ejemplo, si estos sistemas se instalan en vecindarios con clientes comerciales y residenciales (y, quizá, incluso industriales), la demanda simultánea de calefacción y refrigeración, por ejemplo, para refrigeración o producción de agua caliente, puede dar como resultado que dicho sistema funcione con eficiencias promedio más altas (y posiblemente reducir los costos generales al requerir un tamaño más pequeño, en comparación con los sistemas que sirven a edificios individuales).⁴⁸

Los desafíos técnicos más importantes para los sistemas

⁴⁶ Consulte <http://www.hydrogenfuelnews.com/massachusetts-might-replace-natural-gas-with-geothermal-heating/8538985/>

⁴⁷ Consulte Justin Mahlmann y Albert Escobedo, *Geothermal Heat Pump Systems for Strategic Planning on the Community Scale*, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2012, que afirma que para aplicaciones residenciales unifamiliares (por lo general, menos de 10 toneladas de capacidad de calefacción), el costo del bucle de tierra cuesta USD 50-100 por cada bucle de ese tipo. Para sistemas con 100 toneladas o más de capacidad de calefacción, los costos disminuyen a USD 15-25 por pie. Un ejemplo es un sistema para la Universidad Estatal de Ball con más de 1000 toneladas de demanda de calefacción que requiere 680 pozos de 500 pies de profundidad cada uno (el equivalente a 680 sistemas unifamiliares), los costos disminuyen a USD 11 por pie. (pág. 6).

⁴⁸ *Ibid.*, p.6.

de calefacción urbana son su tamaño adecuado: una vez en el suelo, puede resultar costoso cambiar la capacidad general de suministro de calor, por ejemplo, en respuesta a la creciente demanda a través de la densidad de población en un área determinada, así como el hecho de que la rentabilidad depende del nivel de participación. Dicho de otra manera, los sistemas de calefacción urbana pueden ser muy rentables⁴⁹ si todos participan (distribuyendo los altos costos fijos de un sistema de este tipo entre muchos clientes), pero menos si la participación es baja. En áreas sin sistemas de calefacción urbana preexistentes, esto hace que la adopción de la calefacción urbana mediante el cambio de la calefacción existente sea potencialmente difícil.

Por último, las soluciones descarbonizadas de calefacción urbana se enfrentan a algunas de las mismas barreras prácticas que las bombas de calor. Los edificios a los que serviría un sistema de calefacción urbana propuesto necesitarían reemplazar sus sistemas de calefacción, abandonando, alterando o eliminando partes de los sistemas que ya existen, y necesitando una actividad disruptiva en esos edificios y en el vecindario. Además, la conversión a una solución de calefacción urbana requiere una alta participación para obtener las eficiencias potenciales, lo que requiere el acuerdo de muchos propietarios de casas o de edificios en el área afectada.⁵⁰

5. Otras consideraciones

Otras consideraciones influyen en el costo y la viabilidad de las soluciones de descarbonización de calefacción y deben tenerse en cuenta al desarrollar una estrategia de transformación del sector de calefacción de Rhode Island.

En primer lugar, el atractivo de varias alternativas de descarbonización para el calor del espacio y del agua puede verse influido por el tamaño del edificio (hasta cierto punto),

aunque las vías de solución básica sean similares. Mientras que los edificios comerciales más pequeños suelen ser similares a los edificios residenciales más grandes, la mayoría de los edificios comerciales grandes (y a menudo los grandes edificios residenciales multifamiliares) difieren. Suelen utilizar calderas para la calefacción, y una combinación de enfriadores y torres de refrigeración para la refrigeración. En estos edificios más grandes, la calefacción es relativamente menos importante y la refrigeración es más relevante que en los edificios más pequeños debido a la menor relación entre la superficie y el volumen y, a menudo, la gran densidad de fuentes de calor incidentales dentro del edificio (luces, computadoras, personas). Los sistemas de distribución de calor (y refrigeración) internos son en su mayoría hidrónicos, en contraste con la gran cantidad de sistemas basados en aire (aire caliente forzado, aire acondicionado central) en los entornos residenciales típicos. Aunque este informe no explora este tema en gran detalle, las soluciones descarbonizadas descritas anteriormente pueden funcionar en edificios que tienen cargas de calefacción muy diferentes, diversos usos y distintos sistemas de distribución de calor a nivel de edificio, aunque los detalles particulares de cómo se aplican no serán los mismos de edificio a edificio.

En segundo lugar, es probable que diferentes edificios requieran soluciones diferentes, en parte debido a la gran diversidad de edificios existentes. Las características idiosincrásicas de un edificio o sitio determinado pueden afectar qué soluciones de descarbonización pueden ser factibles o razonables. Tales características pueden incluir si están aislados y en qué medida, y la capacidad de agregar aislamiento, conductos interiores o distribución hidrónica; si un edificio dado tiene acceso a la red de distribución de gas; o si la geología es apropiada para un bucle de tierra para una GSHP, incluso si hay espacio suficiente en una zona urbana para instalar dicho bucle.

En tercer lugar, si bien parece probable que la electricidad

⁴⁹ Un estudio de viabilidad encargado por HEET concluye que los GeoMicroDistricts pueden generar ahorros significativos en los costos de instalación en relación con las GSHP individuales. Buro Happold, GeoMicroDistrict Feasibility Study.

⁵⁰ Si bien la solución de calefacción urbana también presenta una barrera de costos inicial similar a otras soluciones de las GSHP, esto podría mitigarse en la medida en que la empresa de distribución esté autorizada a financiar, construir y operar el sistema como parte de su modelo de negocio, incluido en la base de tarifas. En Massachusetts, el regulador estatal está considerando algunas propuestas geotérmicas pendientes patrocinadas por los servicios públicos. Consulte <https://www.wbur.org/earthwhile/2020/01/13/heat-eversource-geothermal-energy-climate-change>.

desempeñe un papel cada vez mayor en cualquier futuro descarbonizado (tanto para el transporte como para el calor), lo mismo es menos claro para el gas y el sistema de distribución de gas. Si muchos clientes actuales de gas adoptan alternativas eléctricas para cubrir una parte o la totalidad de sus necesidades de calor, el rendimiento de los sistemas de distribución de gas existentes disminuirá, quizá, de manera significativa. Incluso si la intensidad de carbono del gas que fluye a través de estas tuberías se puede reducir, por ejemplo, al mezclarse con mayores cantidades de gas renovable, el rendimiento reducido concentrará los costos (esencialmente fijos) del sistema de distribución de gas en mayor medida en cada unidad de gas restante. El aumento de las tasas de distribución, particularmente si se combina con costos más altos para el gas descarbonizado en sí, podría causar un aumento sustancial en los precios del gas entregado para los clientes de servicios públicos locales. Esto plantea algunas cuestiones importantes. Por ejemplo, los clientes de ingresos bajos y moderados pueden tener una capacidad limitada para cambiar de gas, debido al alto costo inicial de las bombas de calor electrificadas y porque es más probable que sean inquilinos que no puedan controlar la fuente de calor en sus hogares. A falta de alguna forma de contrarrestar esto, podrían ser los más perjudicados del aumento de los costos del gas. De manera más general, plantea dudas sobre si es necesario reconfigurar el sistema de gas y cómo hacerlo. Esto podría incluir la reducción o eliminación del servicio en áreas residenciales, donde la electrificación de la calefacción está muy extendida, planteando la cuestión de cómo «desconectar» parte de la red de manera ordenada y, particularmente, cómo proteger a las poblaciones vulnerables en el proceso. Todo esto, manteniendo la salud económica de la empresa de gas, para que pueda garantizar un servicio seguro y confiable a aquellos clientes que siguen dependiendo del este servicio. A su vez, podría incluir el mantenimiento o incluso la expansión del sistema

de gas en áreas como las zonas industriales, donde hay pocas alternativas viables a la quema de combustible. El futuro potencial del sistema de distribución de gas se ha convertido, por lo tanto, en un tema cada vez más importante para un futuro descarbonizado.⁵¹ Sin embargo, en Rhode Island, una empresa de servicios públicos proporciona servicios de distribución de electricidad y gas. Puede ser posible abordar o mitigar este efecto regulando la empresa de servicios públicos como una «empresa de suministro de energía», en lugar de tratar a la entidad como negocios separados de gas y de electricidad para fines de fijación de precios y tarifas.

Por último, el atractivo de cualquiera de las soluciones anteriores puede depender de los efectos «sistémicos». Por ejemplo, el precio de la electricidad puede depender de cómo se adopten las ASHP generalizadas. Las ASHP aumentan el «pico» de la demanda de electricidad, lo que aumenta el costo de la electricidad y, a su vez, afecta el atractivo económico de las ASHP (además de afectar el costo de otros usos de la electricidad). La mejor estrategia también puede depender de una serie de cuestiones prácticas de implementación: ¿Cuánta climatización rentable se puede lograr realmente para 2050? ¿Cuántos hogares se pueden convertir, en términos reales, en bombas de calor para 2050, dada la necesidad de mano de obra especializada para realizar las instalaciones y la rigidez actual de esta fuerza laboral? ¿Cómo afectan las condiciones geológicas y otras condiciones locales a la viabilidad y el costo de las GSHP? ¿Cuánto suministro de aceite renovable hay disponible y cómo se compara con la demanda potencial, teniendo en cuenta el hecho de que Rhode Island puede no ser el único estado que dependa de los combustibles renovables como parte de su estrategia de descarbonización? Por estas razones, se debe considerar una amplia gama de problemas de costos y de implementación al desarrollar una estrategia de transformación de la calefacción para Rhode Island.

51 Por ejemplo, la Comisión de Servicios Públicos de California (CPUC, por sus siglas en inglés) ha iniciado un procedimiento regulatorio que requiere una planificación anticipada para explorar varios caminos futuros potenciales para la infraestructura de gas natural. (CPUC, Order Instituting Rulemaking to Establish Policies, Processes, and Rules to Ensure Safe and Reliable Gas Systems in California and perform Long-Term Gas System Planning, Proceeding R2001007, emitido el 27 de enero de 2020)



Metodología

Esta sección describe la metodología utilizada para analizar varias vías de descarbonización de la calefacción para Rhode Island, en forma reducida. Se incluye una descripción más detallada de la metodología, incluidos modelos y supuestos, en el **documento de soporte técnico**.

Preguntas de investigación

1. Comprender el atractivo económico relativo de los tratamientos térmicos descarbonizados identificados, tal como se usó para las aplicaciones de calefacción primaria en Rhode Island.
2. Entender cómo la descarbonización puede afectar a los sectores energéticos relacionados que proporcionan la energía para la calefacción (es decir, combustible renovable y electricidad limpia), y cómo estos efectos de retroalimentación impactan sobre los costos para los consumidores, la calefacción y el consumo general de energía.
3. Identificar las implicaciones de estos análisis que se pueden utilizar para guiar las políticas para la transformación del sector de la calefacción.

NECESIDADES DE CALEFACCIÓN Y SOLUCIONES DE DESCARBONIZACIÓN

Para comprender el atractivo y la viabilidad de varias vías de descarbonización, se hizo el esquema de varias situaciones de calentamiento para soluciones de descarbonización, como se ilustra estilísticamente en **el gráfico 15**.

El gráfico 15 no representa explícitamente todos los tipos de edificios, combustibles actuales, aplicaciones o soluciones de descarbonización, aunque sí cubre la gran mayoría de las situaciones de calefacción y soluciones de descarbonización para Rhode Island. Pueden existir opciones adicionales, como el uso de calefacción solar de agua caliente o de calefacción de leña, aunque es probable que solo desempeñen un papel relativamente pequeño y complementario en la transformación del sector de la calefacción de Rhode Island.

Dos juegos de flechas (de diferentes colores) en **el gráfico 15** proporcionan dos ejemplos de situaciones de calefacción «representativas», para las cuales las soluciones de descarbonización se identificaron como «aplicables» y, por lo tanto, se analizaron para un tipo específico de edificio, combustible actual o aplicación.

El análisis preliminar mostró que se puede utilizar un subconjunto significativamente más pequeño de situaciones de calentamiento «representativas» para analizar el atractivo de las soluciones de descarbonización de calefacción, en toda la gama de aplicaciones de calefacción. Esto se debe a que, en última instancia, la viabilidad y el atractivo de la descarbonización por

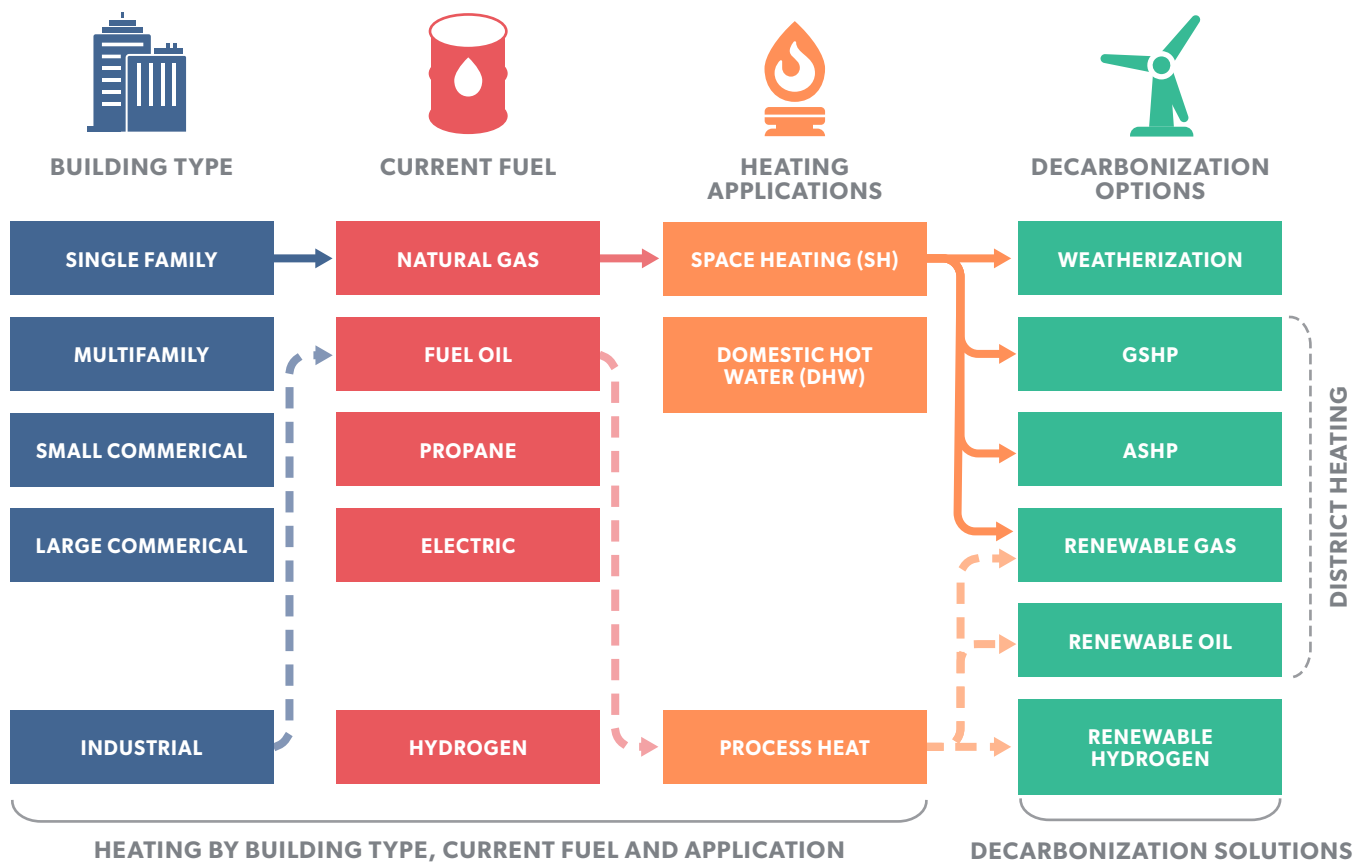


GRÁFICO 15: ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS DE TRANSFORMACIÓN DE LA CALEFACCIÓN

Aclaración: Las flechas indican dos situaciones. 1) Una vivienda unifamiliar que actualmente utiliza gas natural para calentar espacios podría descarbonizarse utilizando la eficiencia en combinación con una bomba de calor o gas renovable (flechas continuas). 2) Una instalación industrial que actualmente utiliza aceite para el calor de proceso podría descarbonizarse sustituyendo el aceite renovable, el gas renovable o el hidrógeno renovable (flechas discontinuas).

calentamiento dependen, en gran medida, de un pequeño número de factores. Para la calefacción de espacios, la economía (y en algunos casos la viabilidad) de varias soluciones de descarbonización se basa principalmente en la demanda total de calefacción de un edificio dado y el sistema de calefacción actual. Hasta cierto tamaño, los edificios residenciales (unifamiliares y multifamiliares) y comerciales tienden a utilizar los mismos tipos de tecnologías de calefacción fósil y pueden transformarse utilizando soluciones de descarbonización similares. Las tecnologías actuales de calefacción en edificios más grandes difieren de las utilizadas para edificios más pequeños; si bien esto no altera fundamentalmente las soluciones de descarbonización para dichos edificios, puede afectar las compensaciones de costos entre las soluciones descarbonizadas. Se aplican relaciones similares para el calentamiento de agua doméstica. La

calefacción industrial representa una pequeña parte de la demanda general de calefacción de Rhode Island y es muy específica para aplicaciones industriales particulares, para las que se dispone de poca información detallada. Por esta razón, las aplicaciones de calefacción industrial se trataron por separado y de forma más cualitativa.

MODELO ECONÓMICO DE CALOR DESCARBONIZADO

Para explorar la economía de la descarbonización de la calefacción para situaciones de calefacción residenciales o comerciales «representativas», este estudio utiliza un modelo económico para estimar los costos de calefacción anualizados. Este modelo se puede aplicar tanto a las alternativas actuales como a las futuras alternativas descarbonizadas. Los costos anualizados incluyen tanto los

costos de «combustible» (gas natural, aceite, electricidad) como los costos de los equipos (horno o caldera, bomba de calor, etc.), amortizados durante la vida útil esperada de cada componente del equipo principal. Esto requiere el uso de una tasa de descuento para poder comparar el costo inicial de la instalación o reemplazo del equipo con un flujo de costos y beneficios futuros. Cuando las diferentes opciones de calefacción implican una división muy diferente entre los costos iniciales y los costos operativos continuos, la tasa de descuento es importante, a saber: una tasa de descuento más alta significa que los costos de instalación inicial son más importantes en relación con los costos y beneficios que se producirán en el futuro; una tasa de descuento más baja significa lo contrario: que los costos iniciales importan menos. Dado que las soluciones de descarbonización de calefacción disponibles difieren sustancialmente en ese sentido (las GSHP, por ejemplo, tienen costos de instalación significativamente más altos que las ASHP que, a su vez, son más costosas que los hornos y calderas tradicionales), esto puede ser un punto importante. El análisis cuantitativo utiliza una tasa de descuento del 3 % (real), que refleja una «tasa de descuento social» comúnmente utilizada, como la que se usa, a menudo, para determinar el valor de las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas.⁵² Sin embargo, hay evidencia de que las personas, cuando se enfrentan a decisiones sobre inversiones como la eficiencia energética que compensan los costos iniciales frente al ahorro de costos de energía a lo largo del tiempo, eligen como si tuvieran una tasa de descuento sustancialmente superior al 3 %. Para reflejar esto, también mostramos «períodos de recuperación» para las compensaciones entre alternativas, para ilustrar cómo los consumidores podrían ver las diversas soluciones de descarbonización y cómo las tasas de adopción podrían

verse influenciadas por un período de recuperación más largo o más corto.

Dado que las dos vías principales son la electrificación descarbonizada de la calefacción y la descarbonización de los «combustibles», es necesario considerar los impactos de la electrificar la calefacción en el sector eléctrico, lo que a su vez afecta el costo de la electricidad y el costo potencial de los combustibles renovables.⁵³ Ambos serán factores importantes en el atractivo de las vías respectivas, particularmente dado que la adopción generalizada de algunas de estas tecnologías podría afectar el precio del combustible respectivo. Para explorar la cuestión de la retroalimentación entre el calor de descarbonización y la disponibilidad y los costos de la electricidad y/o los combustibles descarbonizados, varios «Escenarios base», en los que cada opción de tecnología se evalúa en un contexto en el que se desarrolla esencialmente todo el calor en la región que proporciona esa tecnología.⁵⁴ Estas investigaciones generan varias ideas importantes por derecho propio, que se discuten más adelante en las Secciones III.C y III.D. **El gráfico 16** ilustra la estructura de modelado analítico utilizada para desarrollar comparaciones cuantitativas entre varias soluciones de descarbonización de calefacción, incorporando interacciones con el sector eléctrico y considerando la disponibilidad y el costo de los combustibles renovables. El enfoque principal de estos análisis es la calefacción de espacios, que representa alrededor del 60 % de la demanda total de energía residencial en Rhode Island; también examinamos las opciones para descarbonizar el calentamiento de agua doméstica (la segunda mayor necesidad de energía, con un 16 %). Además de estos análisis cuantitativos, realizamos un análisis más cualitativo de las consideraciones relacionadas con la descarbonización de la calefacción industrial.

⁵² No hay una tasa de descuento «correcta» per se. Existe una amplia literatura que discute el uso de una «tasa de descuento social» para evaluar políticas que tienen en cuenta varios problemas sociales, en lugar de reflejar simplemente la toma de decisiones privadas. En general, las tasas de descuento social están en el rango del 2.5 al 7 %, y algunos argumentan a favor de una tasa de descuento del 0 % (en términos reales). Por ejemplo, las estimaciones estadounidenses del costo social de las tasas de descuento por consumo de carbono son del 2.5 %, 3 % y 5 % (consulte Resources for the Future, Social Cost of Carbon 101, 1 de agosto de 2019). Consulte también la Circular A-4 de la OMB, 17 de septiembre de 2003, que incluye una discusión en profundidad de las razones para usar varias tasas de descuento.

⁵³ No modelamos por separado el costo y la disponibilidad del aceite renovable, sino que nos basamos en los precios configurados existentes del aceite renovable.

⁵⁴ Los escenarios base son los siguientes: toda las GSHP, las ASHP y todos los combustibles renovables (donde los clientes retienen el tipo de combustible que utilizan actualmente, pero el combustible en sí se reemplaza por una versión renovable: el aceite fósil de calefacción se reemplaza por aceite renovable (B100) y el gas natural fósil se reemplaza por gas renovable).

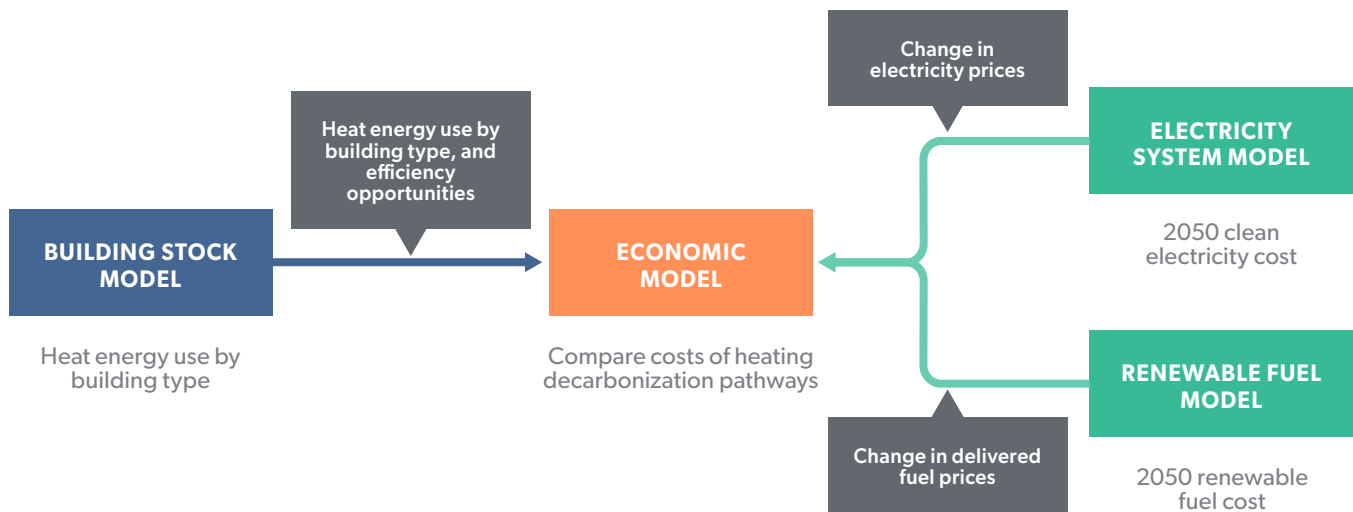


GRÁFICO 16: RESUMEN DEL MODELO ANALÍTICO

Debido a que proyectar los costos de la calefacción dentro de tres décadas implica, necesariamente, grandes incertidumbres, el modelo considera una gama de posibles costos futuros. También hay una serie de factores no cuantificables relacionados con las soluciones de descarbonización de calefacción, como las barreras de implementación y otros beneficios y costos que no se pueden cuantificar fácilmente. Estos factores más cualitativos también se consideran parte de la evaluación general del atractivo de una solución dada para un tipo de edificio determinado. Antes de describir el modelo financiero en sí, a continuación se describen los modelos de electricidad y combustibles renovables.

MODELO DEL SISTEMA DE ELECTRICIDAD E IMPACTOS DEL CALOR DESCARBONIZADO

Debido a que la calefacción en los climas del norte requiere una gran cantidad de energía, la electrificación descarbonizada generalizada de la calefacción mediante bombas de calor tendría un impacto sustancial en la demanda de electricidad. El impacto en la forma de la demanda de electricidad puede ser incluso mayor, ya que las necesidades de calor están altamente correlacionadas en toda la región, alcanzando su punto máximo en el clima más frío. Estos impactos se evalúan utilizando los escenarios base presentados anteriormente, en el contexto

de un sector eléctrico descarbonizado. Electrificar toda la calefacción en Nueva Inglaterra con las GSHP o ASHP convertiría el actual sistema eléctrico de Nueva Inglaterra, que alcanza su punto máximo en el verano, en un sistema con un fuerte pico en invierno, afectando las necesidades de suministro y los precios de la electricidad. Si bien la calefacción y la refrigeración eléctricas utilizan esencialmente la misma tecnología, la electricidad necesaria para calentar un edificio con una bomba de calor es mucho mayor que la energía necesaria para enfriarlo con un aire acondicionado, porque las diferencias de temperatura que se deben mantener entre el exterior y el interior son mucho mayores. en invierno (50-70°F) que en verano (20-30°F).

Sin embargo, hay una clara diferencia entre las bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas. Cualquiera de las dos tecnologías debe tener en cuenta el hecho de que la demanda de calor es mucho mayor cuando la temperatura exterior es muy baja. Sin embargo, es más fácil para una GSHP proporcionar la cantidad necesaria de calor que para una ASHP. Las GSHP extraen calor del suelo, que siempre es de alrededor de 50°F, mientras que las ASHP extraen calor del aire exterior, que contiene menos energía térmica cuando la demanda de calor es mayor. Esto significa que cuando hace mucho frío, las ASHP deben usar considerablemente más electricidad para entregar la misma cantidad de calor que las GSHP. Es decir, a temperaturas muy bajas, su eficiencia es mucho menor.

La eficiencia de una bomba de calor se mide por su «coeficiente de rendimiento» o CoP, la relación entre la energía térmica de salida y la cantidad de energía eléctrica consumida. Para una GSHP, este CoP es constante en unos 3,6 independientemente de la temperatura exterior, es decir, por cada kWh de electricidad consumida, la GSHP suministra unos 3,6 kWh de calor. Pero para la ASHP, el CoP depende de la temperatura del aire exterior. A una temperatura exterior de 50°F, una ASHP tiene un CoP muy similar a una GSHP. Pero el CoP para una ASHP cae a aproximadamente 1,0 cuando la temperatura del aire es de alrededor de 0°F, lo que significa que cuando hace 0°F en el exterior, una ASHP requerirá aproximadamente 3,6 veces más electricidad que una GSHP para entregar la misma cantidad de calor. Por lo tanto, en el escenario base de ASHP, la demanda máxima de electricidad de la calefacción sería aproximadamente 3,6 veces mayor que en el escenario GSHP. (Por supuesto, el pico general del sistema difiere en menos de 3,6 veces debido a la otra carga eléctrica que es similar en ambos casos).

El gráfico 17 ilustra el impacto proyectado de electrificar toda la calefacción de Nueva Inglaterra a través de todas las ASHP frente a todas las GSHP en 2050, cuando también se supone que el transporte estará, en gran medida, electrificado. Como se puede observar, el impacto de la calefacción eléctrica en el consumo total de energía es discreto: La demanda aumenta entre un 12 y un 15 % en relación con la demanda sin electrificación de la calefacción (pero con la electrificación del transporte). Con todas las GSHP, la demanda máxima aumenta un 17 %, un poco más que el aumento de energía. Pero con todas las ASHP, el aumento de la demanda máxima sería dramático, del 94%, casi el doble de la demanda máxima sin calefacción electrificada a través de las ASHP. Como se puede ver en el panel inferior de la figura, que clasifica la demanda horaria de mayor a menor, este aumento en el pico se debe a un número muy pequeño de horas, precisamente

aquellas en las que las temperaturas exteriores disminuyen notoriamente, donde la eficiencia de las ASHP se acerca al 100 % (y, por lo tanto, es igual a la eficiencia de calor de resistencia eléctrica; de hecho, suponemos que la resistencia eléctrica se utilizará para complementar las ASHP para alcanzar el pico). La casi duplicación de la demanda máxima con un sistema de ASHP podría resultar en precios de la electricidad considerablemente más altos.⁵⁵ Debido a que las ASHP requieren más electricidad, y su impacto máximo desproporcionado aumentaría los precios de la electricidad, la adopción generalizada de las ASHP podría aumentar sustancialmente el costo de la calefacción eléctrica.

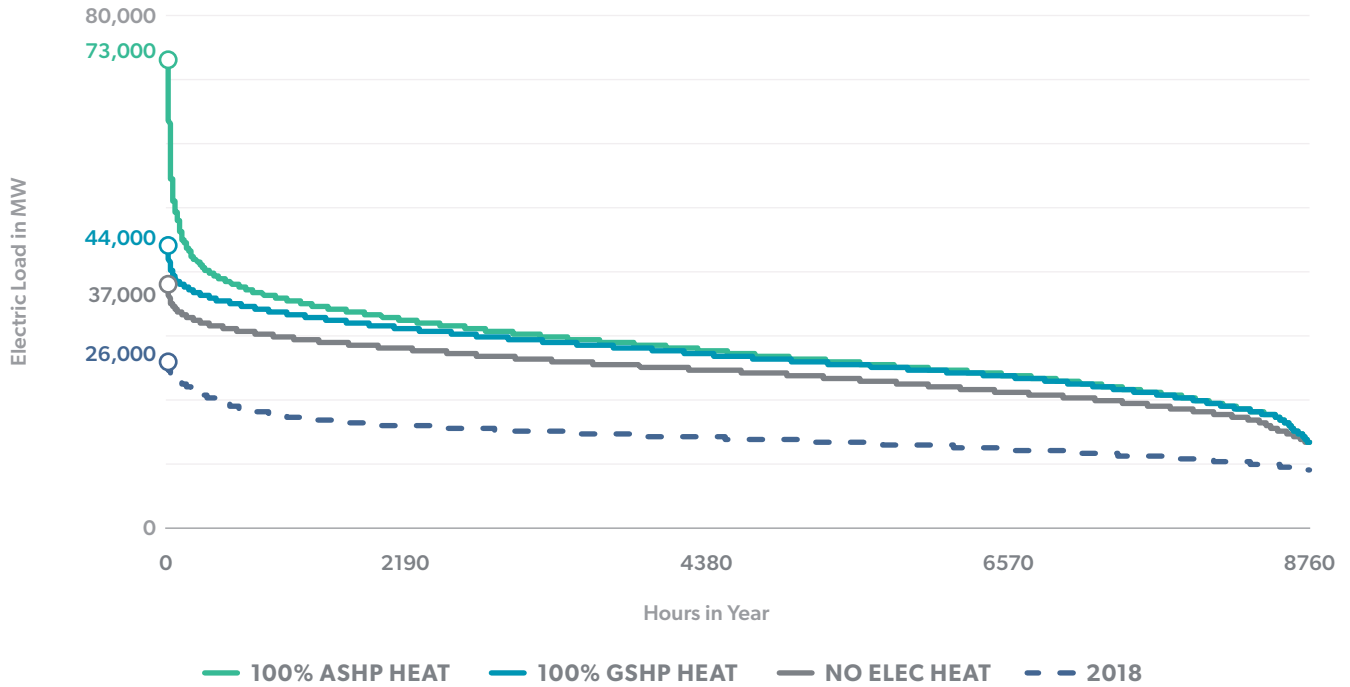
El gráfico 18 muestra estimaciones del precio de la electricidad entregada en estos escenarios futuros, basadas en el costo proyectado de construir un sistema de energía renovable que será de utilidad para cada uno de estos perfiles de carga.⁵⁶ El precio promedio actual de entrega de la energía en Rhode Island es 18¢/kWh. En un sistema descarbonizado de 2050 sin calefacción electrificada, los costos de electricidad serían algo más altos que en la actualidad, con 22¢/kWh (en \$2018). Con toda la calefacción electrificada a través de las GSHP, el precio de la electricidad se mantendría esencialmente sin cambios (21.8¢/kWh), pero con las ASHP, sería considerablemente mayor, con 24,6¢/kWh. Esto explica el mayor costo de generación, ya que sería necesaria una mayor capacidad máxima (en un sistema descarbonizado, esto sería una combinación de almacenamiento como baterías y, posiblemente, generadores convencionales que utilizan combustible renovable). A su vez, considera los costos adicionales para el sistema de transmisión y distribución, que deben dimensionarse para cumplir con el pico del sistema y, por lo tanto, se ven muy afectados por un pico del sistema más alto.

El aumento estimado en los costos minoristas para una fuente de alimentación totalmente descarbonizada capaz

⁵⁵ El modelado de los precios de la electricidad asume algunos factores atenuantes, como el uso de baterías para alejar tanto requerimiento de las horas de mayor demanda. Otras opciones de mitigación no modeladas incluyen el uso de almacenamiento térmico, que acaba de emerger como una opción tecnológica potencial para las ASHP. Para obtener más información sobre el modelado del sector eléctrico que subyace a estos cálculos, consulte el Documento de soporte técnico.

⁵⁶ Un pico de demanda más alto afectaría tanto al costo de la generación de electricidad renovable como al costo del sistema de transmisión y distribución necesario para entregar electricidad de manera confiable a los consumidores.

Sorted Electric Load Hours



Annual Energy by Heat Source (TWh)



Peak Demand by Heat Source (GW)

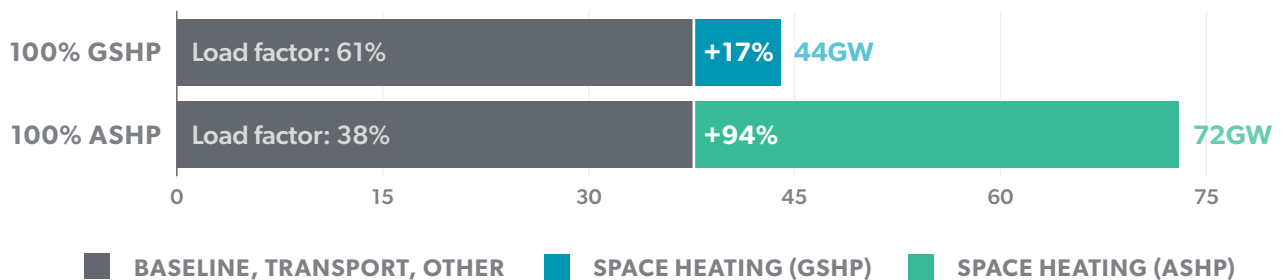


GRÁFICO 17: IMPACTO DE ELECTRIFICAR EL CALOR A TRAVÉS DE LAS ASHP VS GSHP — 2050

Aclaración: La caracterización de la carga para 2050 supone que el sector del transporte está electrificado en su mayoría, y también supone mejoras continuas de la eficiencia en los usos estándares de la electricidad (usos actuales).

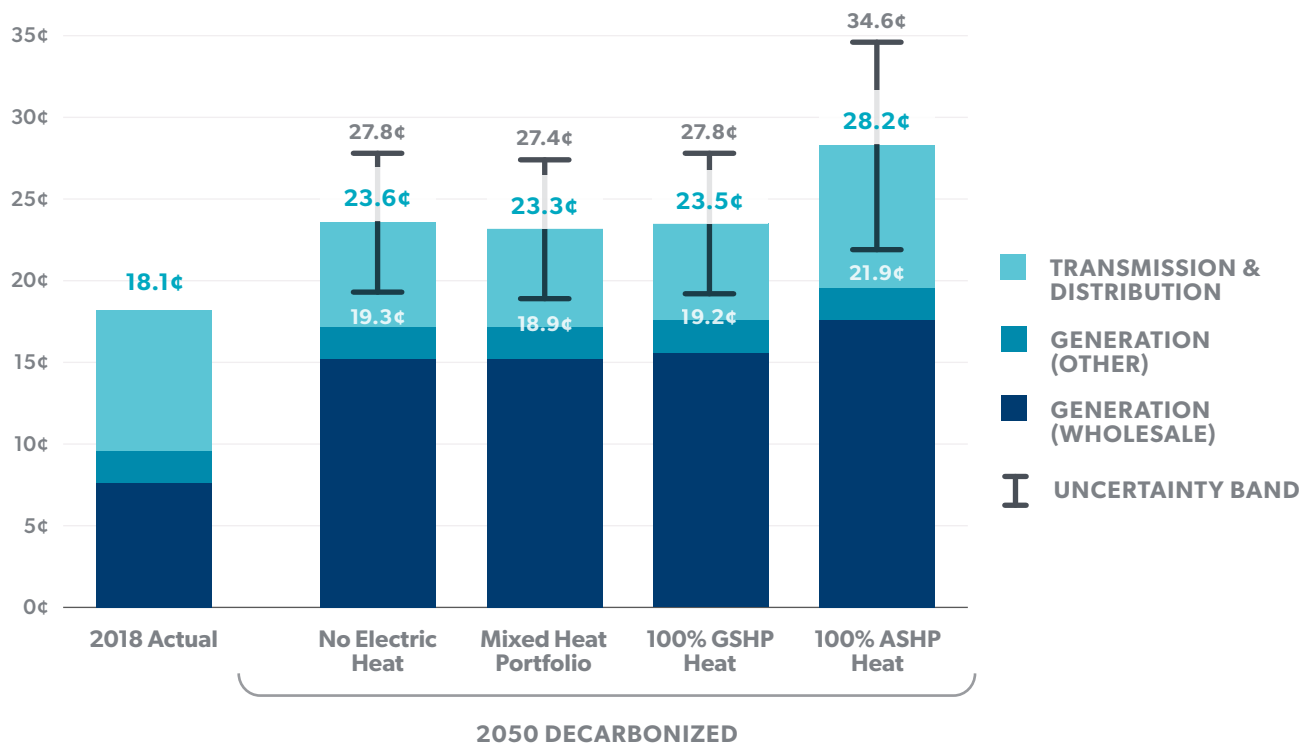


GRÁFICO 18: PRECIO DE LA ELECTRICIDAD EN RHODE ISLAND POR ESCENARIO (centavos/kWh, EN 2018\$)

Aclaración: Las estimaciones descarbonizadas para 2050 suponen que el transporte está electrificado en su gran mayoría. La generación (mayorista) representa el costo de un sistema de generación de electricidad libre de emisiones, basado en el modelo del sector eléctrico descrito en el Documento de soporte técnico. La generación (otros) refleja los costos relacionados con el suministro de electricidad más allá de los propios recursos de suministro (costos administrativos de la ISO y la utilidad para gestionar la compra de electricidad, etc.). Las estimaciones de precios altos y bajos de la electricidad reflejan un cambio de +20 % (altos) a -20 % (bajos) en el componente de generación. Los costos T & D (transmisión y distribución) reflejan el costo del sistema de transmisión y distribución, con las expansiones de T & D necesarias para cumplir con el aumento de carga evaluado al costo aproximado de T & D integrado de National Grid de USD 291/kw-año (caso alto), al valor de componentes de suministro de energía evitados de National Grid de USD 83.26/kW-año (caso bajo), y en el punto medio de los dos (187/kW-año) para la estimación nominal.

de satisfacer la demanda de electricidad, en cada uno de los escenarios, es relativamente moderado, en el rango del 10 al 35 %. Claro está que estas estimaciones son inciertas, ya que los costos de muchos de los recursos para suministrar electricidad 100 % limpia están evolucionando rápidamente, y se prevé que el componente de generación de energía limpia aumente más bruscamente. Sin embargo, es probable que parte de este aumento se vea compensado por menores costos de transmisión y distribución por kWh. A pesar de que se necesitará una cantidad considerable de nueva infraestructura de transmisión y distribución en un futuro descarbonizado y en gran medida electrificado, y los costos totales de T & D serán más altos (especialmente en el 100 % del escenario de calor de la ASHP), los volúmenes totales de energía entregada, incluida la carga de vehículos eléctricos, así como el calor electrificado, probablemente aumenten aún más, lo que reduce el costo

unitario de T & D. Gran parte de este efecto se debe a la carga de los vehículos eléctricos, que proporciona una demanda significativa durante todo el año con una forma de carga diaria algo complementaria en relación con otras demandas de electricidad, lo que aumenta la utilización de la infraestructura de T & D existente. Además, el sistema de T & D puede albergar entre un 20 y un 25 % más de energía en invierno que en verano, lo que significa que el pico de invierno causado por el calor electrificado requerirá una expansión de T & D sustancialmente menor que un pico de verano.

MODELO DE COMBUSTIBLES RENOVABLES

La segunda vía básica para descarbonizar la calefacción es sustituir los combustibles renovables, como el aceite

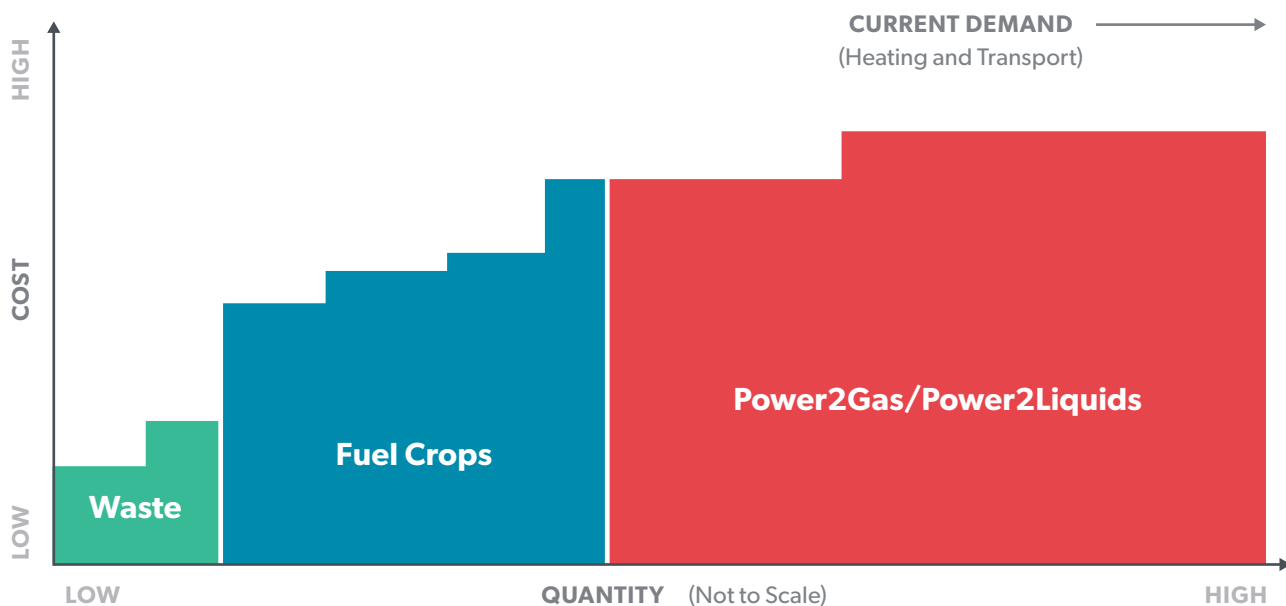


GRÁFICO 19: FUENTES DE COMBUSTIBLES RENOVABLES

renovable o el gas renovable, por el aceite fósil y el gas natural que se utilizan actualmente en la gran mayoría de los casos. Una ventaja importante de esta vía es que los combustibles renovables generalmente requieren pocos o ningún cambio en la infraestructura y el equipo existentes, ya sea en el sitio del cliente o en el sistema de suministro.⁵⁷ Tal como se indicó más arriba, hay una serie de fuentes potenciales tanto para el aceite renovable como para el gas renovable, aunque uno de los desafíos pueden ser las cantidades limitadas disponibles de fuentes menos costosas.

1. Taxonomía de combustibles renovables

Las fuentes de combustibles renovables se pueden considerar en tres categorías: biocombustibles de desecho, cultivos combustibles y tecnologías de conversión de energía a combustible, como se ilustra en el gráfico 19.⁵⁸ Las posibles fuentes de desechos incluyen aceite de cocina usado para biodiésel y gas de vertedero o biomasa residual (por ejemplo, desperdicios de alimentos, estiércol animal o aguas residuales a través de digestores

anaeróbicos) para el gas natural. Parte de la biomasa leñosa puede estar disponible como subproductos de los procesos agrícolas o forestales, que se pueden gasificar o, quizá, convertir en metanol. A menudo se encuentran entre las fuentes menos costosas de combustibles renovables, pero debido a que su fuente son los residuos o subproductos de algún otro proceso, las cantidades disponibles son limitadas y, de hecho, son pequeñas en comparación con la demanda actual de gas natural y aceite de calefacción.

La segunda categoría son los cultivos combustibles: biomasa que se cultiva y cosecha específicamente como combustible. Esto incluye cultivos oleaginosos (canola, soja, palma), otros cultivos como pasto varilla o caña de azúcar que se pueden utilizar para producir etanol o metanol, y muchos tipos de biomasa que se pueden gasificar. Estos tipos de fuentes ya se utilizan a una escala relativamente pequeña, pero si se ampliaran para producir las cantidades necesarias para su uso generalizado como combustible de calefacción, la cantidad de tierra y de recursos que requerirían podría suponer una gran presión para la

⁵⁷ Como se discutió anteriormente, el hidrógeno renovable, si se usa más allá de bajas concentraciones, probablemente requeriría actualizaciones en muchos componentes de la infraestructura de gas.

⁵⁸ Puede haber algunos híbridos entre estas categorías, como la combinación de residuos o materias primas agrícolas con la tecnología P2Fuel como una forma de facilitar la producción de otros tipos de combustible.

agricultura y el medio ambiente. En parte debido a esto, el costo de los combustibles renovables producidos a partir de cultivos combustibles generalmente será mayor que los producidos a partir de biomasa residual. Además, tanto la cantidad disponible como el impacto neto de las emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos combustibles siguen siendo inciertos.⁵⁹

La tercera categoría incluye las tecnologías Power2Fuels introducidas anteriormente, en las que los combustibles se sintetizan utilizando electricidad renovable para crear hidrógeno, se convierten aún más a través de lo que se llama metanización en metano y, posiblemente, mediante procesos químicos adicionales para convertir el metano en combustibles líquidos. En principio, los procesos P2Fuels (ilustrados en las figuras 11 y 12 anteriores) deben ser escalables a volúmenes muy altos, limitados únicamente por la disponibilidad de electricidad renovable y los bienes de capital necesarios. Se sugirió que las vías de P2Fuels podrían complementar un sistema de energía altamente renovable, de otro modo, se limitaría el aprovechamiento de la electricidad renovable barata o gratuita; esto podría conducir a combustibles renovables relativamente baratos, ya que el costo de la electricidad de entrada es un componente de su costo.⁶⁰ Sin embargo, es poco probable que haya suficiente electricidad renovable excedente disponible si la producción de P2Fuels se implementara a gran escala. La demanda de electricidad renovable para la producción de P2Fuels consumiría energía renovable limitada, en la mayoría de las horas, elevando el precio hasta que sea coherente con el precio de la energía vigente en otros momentos, o que la economía de la producción de

P2Fuels a precios más altos ya no sea atractiva. Además, el equipo necesario para producir P2Fuels: electrolizadores, metanizadores y, potencialmente, CO₂ dispositivos de captura aérea - es costoso, por lo que no sería rentable operar solo en los momentos relativamente poco frecuentes en que la electricidad sigue siendo muy barata o gratuita. Además, las restricciones operativas pueden impedir el tipo de operación flexible que puede ser necesaria para aprovechar los períodos de generación excesiva de energía renovable. Por lo tanto, si se implementa a gran escala, la electricidad utilizada como insumo para la producción de P2Fuels probablemente tendrá un precio igual o cercano al costo promedio de producción de energía renovable (que incluye sus costos de capital). Finalmente, dependiendo de dónde se lleven a cabo los procesos de P2Fuels, en teoría, la captura de CO₂, electrólisis, metanización ^{podría} ocurrir en diferentes lugares, pero también es probable que existan sinergias para la ubicación: los fabricantes de combustibles renovables incurrirían en gastos de suministro por la electricidad utilizada en el proceso.

2. Mercados para combustibles renovables

Dado que los combustibles renovables que se pueden utilizar para calefacción, también se pueden utilizar en otros sectores, incluidos el transporte y la industria, y son fácilmente transportables. El mercado de combustibles renovables para calefacción, al igual que los mercados actuales de combustibles fósiles, no será local ni se limitará al sector de la calefacción. Esto hará que los precios tiendan a equilibrarse en todos los sectores y las regiones.⁶¹ Esto significa que los precios de los combustibles renovables

⁵⁹ Hay un debate muy activo sobre el impacto de los cultivos combustibles en el uso de la tierra y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de la cuestión de la disponibilidad de la tierra para satisfacer los altos niveles de demanda de combustibles renovables de los cultivos combustibles, las reducciones netas de las emisiones de gases de efecto invernadero también son inciertas, dado que los cultivos combustibles probablemente darían lugar a cambios directos o indirectos en el uso de la tierra que implicarían la conversión de áreas de tierra que son sumideros de carbono en tierras de cultivo que, en el mejor de los casos, serían neutras en carbono. Para una discusión de la literatura sobre este tema, consulte <https://farm-energy.extension.org/indirect-land-use-impacts-of-biofuels/>.

⁶⁰ Para una discusión sobre el uso de excedentes de energía renovable para producir hidrógeno o gas renovable para su uso en la generación de energía, consulte, por ejemplo <https://physicsworld.com/a/oversizing-renewables-to-avoid-shortfalls/> o <https://www.windpowermonthly.com/article/1578773/green-hydrogen-economically-viable-2035-researchers-claim>.

⁶¹ Los precios de los fósiles difieren entre las regiones de los Estados Unidos, en parte debido a lo cerca que está la producción de combustible del consumo de combustible, pero también por los diferentes estándares de combustible que dan lugar a diferentes procesos de producción. Uno esperaría que también se produjeran algunas diferencias de precios para los combustibles renovables, aunque las diferencias de precios estarían limitadas por la oportunidad de vender dichos combustibles en mercados de destino de precios más altos.

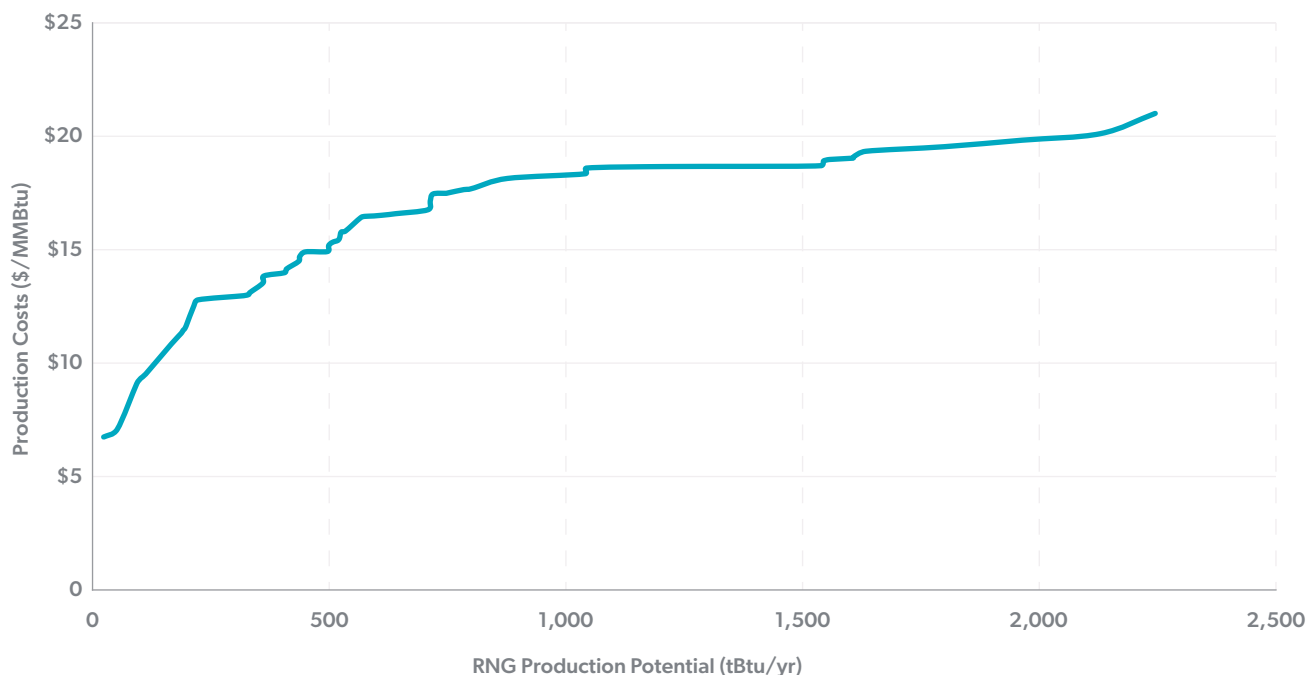


GRÁFICO 20: CURVA DE SUMINISTRO PARA EL GAS RENOVABLE DE LA AMERICAN GAS FOUNDATION EN ESTADOS UNIDOS (ESCENARIO DE ALTO POTENCIAL DE RECURSOS)

Fuente: Reproducción del gráfico 34, Curva combinada de costo-abastecimiento del gas natural renovable (RNG, por sus siglas en inglés) (basada en un escenario de alto potencial de recursos), menos de \$20/MMBtu en 2040, American Gas Foundation, Fuentes renovables de gas natural: Evaluación de las reducciones de las emisiones y del suministro, diciembre de 2019.

serán establecidos por las fuerzas del mercado que trabajan en una región geográfica mucho más grande que Rhode Island y sectores económicos mucho más allá del combustible para calefacción. También significa que, al igual que con todos los bienes, las fuerzas económicas competitivas garantizarán que se utilicen primero las fuentes de producción menos costosas, y que la última y más costosa fuente necesaria para satisfacer un nivel dado de demanda —en todos los sectores y geografías— fijará el precio a ese nivel de demanda.

Por lo tanto, el mercado de combustibles renovables probablemente tendrá un alcance nacional o internacional. Las fuentes de residuos de biocombustibles se extienden por todo el país, pero no se concentran en el noreste y, en conjunto, solo pueden suministrar una pequeña parte de los usos actuales de combustible.

3. Curva de suministro para combustibles renovables

Por todas estas razones, y debido a que los procesos

P2Fuels aún son incipientes, la disponibilidad y los costos de los combustibles renovables, tanto líquidos como gas, a corto plazo y hasta 2050 siguen siendo muy inciertos. Es probable que solo estén disponibles cantidades limitadas a costos relativamente bajos.

Para el gas renovable, un informe reciente de la American Gas Foundation estimó que el suministro de gas renovable está disponible a un costo inferior a 20 \$/MMBtu, que es aproximadamente ocho veces el precio actual del gas natural. **El gráfico 20** reproduce esta oferta modelada, que refleja el escenario de alto potencial de recursos de AGF (American Gas Foundation).

Como **el gráfico 20 muestra**, el análisis de la American Gas Foundation concluye que en su escenario de alto potencial de recursos, se podrían producir aproximadamente dos billones de BTU por año a un costo de 20 USD/MMBtu o menos. El potencial técnico total para producir gas renovable en ese escenario es de 4,5 billones de BTU por año, aproximadamente igual al promedio total de la demanda anual de gas natural residencial entre 2009 y

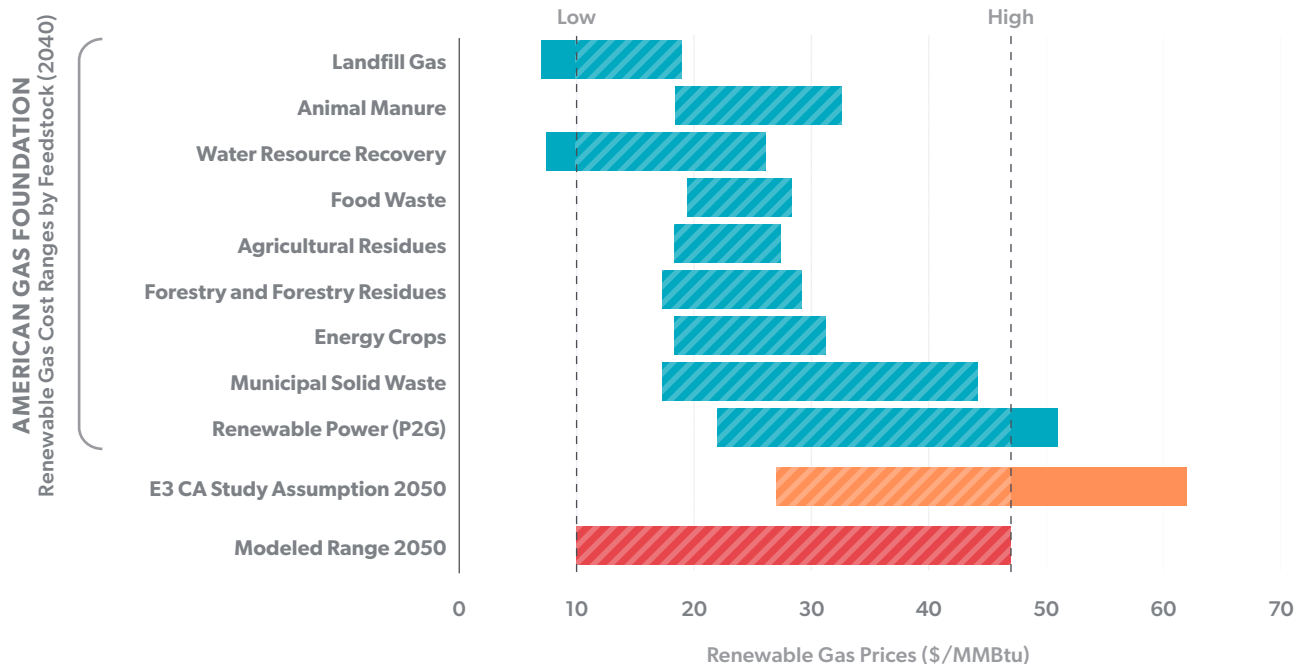


GRÁFICO 21: ESTIMACIONES DE COSTOS ALTERNATIVOS DEL GAS RENOVABLE

Fuente: American Gas Foundation, Recursos renovables de gas natural, diciembre de 2019, E3. Borrador de resultados: El futuro de la distribución de gas natural en California, 6 de junio de 2019.

2018, pero solo alrededor del 25 % del consumo anual promedio total de gas natural en todos los sectores combinados.⁶² En consecuencia, especialmente dado que la demanda de gas renovable probablemente no se limitaría al sector residencial, el precio del gas renovable probablemente se fijará en función del costo de la tecnología Power2Gas. Este costo se estima utilizando un modelo ascendente del costo de fabricación del gas renovable a través de Power2Gas, como se explica con mayor detalle en el **documento de soporte técnico**. Utilizando una variedad de sensibilidades, resulta en un costo estimado del gas renovable a través de Power2Gas de 30 USD/MMBtu para 2050, con un rango de entre 10 USD/MMBtu y 47 USD/MMBtu. Este rango está en línea con el rango estimado de costos del gas renovable derivado de diversas materias primas de biomasa, así como con otros estudios que estiman el costo del gas renovable, como se ilustra en **el gráfico 21**.

El análisis del aceite renovable se basa en el modelo Power2Gas, en los costos actualmente observados para el biodiésel (B100) en Nueva Inglaterra y los Estados Unidos, así como en otros estudios que estiman el costo del combustible renovable utilizando la tecnología Power2Liquids, para estimar el rango potencial del costo del aceite renovable en 2050. Al igual que con el gas renovable, el potencial de suministro limitado de fuentes baratas significa que el precio del aceite renovable en 2050 probablemente se fije por el costo de las tecnologías Power2Fuels, que nuevamente están sujetas a incertidumbres considerables.

En la actualidad, el precio del B100 de Nueva Inglaterra de USD 2.75 por galón es en realidad USD 0.39 por galón más bajo que el precio del diésel, aunque a nivel nacional, el B100 es consistentemente entre 0.3 y 0.8/galón más caro que el diésel.⁶³ Los precios actuales del

⁶² Consulte American Gas Foundation, Fuentes renovables de gas natural: Estudio de evaluación de la reducción del suministro y las emisiones, resumen de 2 páginas.

⁶³ Departamento de Energía de los Estados Unidos, Clean Cities Alternative Fuel Price Report, enero de 2020, p. 21, que muestra los precios del diésel y del B100 entre 2011 y enero de 2020.

biodiésel están vinculados a los precios regulares del diésel (y del aceite mundial subyacente) y, por lo tanto, proporcionan una visión limitada del costo de producción a largo plazo del aceite renovable.⁶⁴ Sin embargo, es poco probable que las fuentes actuales de biodiésel (principalmente, aceites de cocina usados y vegetales) puedan proporcionar los volúmenes necesarios para utilizarlo ampliamente como combustible de calefacción, lo que obliga al mercado a recurrir a otras fuentes más costosas, como Power2Liquids. Esto es particularmente cierto si se tiene en cuenta que los biocombustibles también se pueden utilizar en el sector del transporte, lo que representa una demanda potencial extremadamente grande y relativamente insensible a los precios de combustibles líquidos descarbonizados. Se ha estimado que el costo (por barril) de P2L es aproximadamente 3, 3 veces el costo promedio de la fuente de electricidad utilizada para fabricarlo.⁶⁵ El uso de un costo de 60 USD/MWh (por ejemplo, energía eólica marina de bajo costo más costos de transmisión) resultaría en un costo de aproximadamente USD 200 por barril, o aproximadamente 5 USD/galón.⁶⁶ Esto representaría un poco menos del doble del costo del B100 en relación con los precios actuales del diésel en Rhode Island.

Dado que la tecnología Power2Liquids generalmente convierte el gas renovable en combustible líquido mediante un paso de producción adicional, es probable que, por unidad de energía, el costo del aceite renovable sea ligeramente superior al del gas renovable. Este costo estimado de aceite renovable de 5 dólares por galón corresponde a 36 USD/MMBtu,⁶⁷ ligeramente superior al costo estimado de 30 \$/MMBtu del gas renovable. Si bien tanto el gas renovable como el aceite renovable son materialmente más caros que sus homólogos fósiles, el aumento proporcional es mucho mayor para el gas. Es probable que el costo a largo plazo del aceite renovable esté entre un 15 % y un 160 % por encima del costo actual del aceite fósil, pero el costo a largo plazo del gas renovable puede ser entre un 40 % y un 300 % mayor que el costo actual del gas fósil. Esto se debe a que, sobre una base energética, el gas natural es, actualmente, mucho más barato que el aceite de calefacción. Esto podría tener implicaciones para el atractivo relativo a largo plazo del aceite renovable frente al gas renovable. Si sus precios son similares, los combustibles líquidos pueden tener algunas ventajas sobre los combustibles gaseosos: son más fáciles de manejar, almacenar y entregar, y no requieren una infraestructura de entrega costosa, duradera y dedicada.

⁶⁴ Además, el biodiésel y otros combustibles avanzados se benefician de una serie de mecanismos de apoyo financiero. Actualmente, el biodiésel recibe un crédito fiscal de inversión de 1 USD/galón; varios otros programas de incentivos se resumen en <https://afdc.energy.gov/fuels/laws/BIOD?state=US>.

⁶⁵ Consulte <http://euanmearns.com/lcoe-and-the-cost-of-synthetic-jet-fuel/>

⁶⁶ Otros costos modelados ascendentes son similares. Por ejemplo, Fasihi et al. estiman que el costo del diésel de P2G es de 160.85 USD/barril. También observan que la relación entre los precios del diésel y el aceite crudo es de aproximadamente 1,14, lo que significa que comparar el biodiésel con los precios del diésel regular a través del precio del petróleo requiere un ajuste adicional. Consulte Fasihi et al, *Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants*, *Energy Procedia* 99 (2016) 243 – 268, p.255

⁶⁷ Basado en un contenido energético supuesto del combustible de calefacción de 139 000 BTU/galón. Consulte https://www.engineeringtoolbox.com/energy-content-d_868.html



Análisis de vías de calefacción descarbonizadas para Rhode Island

La Sección IV considera los factores económicos y de otro tipo que pueden afectar la elección de las vías preferidas de transformación de calor para Rhode Island en términos de las soluciones de calentamiento descarbonizadas identificadas anteriormente. La Sección IV compara la economía de las alternativas descarbonizadas para una casa residencial representativa, suponiendo que para cada tecnología prevalezca el escenario base correspondiente. Por ejemplo, el costo de la calefacción con una ASHP se evalúa en función del sistema eléctrico y los precios de la energía que prevalecerían si toda Nueva Inglaterra dependiera de las ASHP para la calefacción. Esto causaría un pico extremo de carga eléctrica en las épocas más frías del invierno, y los recursos del sistema eléctrico necesarios para alcanzar este pico resultarían en precios de la electricidad más altos que en los otros escenarios base. Del mismo modo, el costo de la calefacción con combustibles descarbonizados se evalúa en función de los precios de los combustibles renovables que son consistentes con toda la calefacción en la región que depende de los combustibles descarbonizados. Eso implica que la demanda de combustibles descarbonizados sería alta, por lo que el precio debe ser lo suficientemente alto como para producir esta cantidad de suministro. Además de considerar una estimación de costos de «rango medio» para cada una de las alternativas, se construye un rango de incertidumbre en torno a esta estimación a partir de las incertidumbres tanto en los costos iniciales como en los costos operativos en curso. Al final de esta sección, el alcance del análisis se amplía para considerar el impacto de la descarbonización de los otros sectores energéticos importantes (el consumo actual de electricidad y el transporte electrificado) en combinación con la descarbonización del calor (utilizando

los mismos escenarios base) y las consecuencias de costos resultantes, para la «cartera de energía» general de los consumidores en relación con los costos actuales.

RESULTADOS DEL MODELO ECONÓMICO — VIVIENDA UNIFAMILIAR

La aplicación de la metodología descrita anteriormente permite una comparación de la economía futura de las diversas soluciones de descarbonización por calentamiento. En esta sección, se presentan los resultados de este análisis para una vivienda unifamiliar existente representativa desde tres perspectivas diferentes:

- La primera perspectiva presenta varios escenarios base, es decir, el análisis supone que los consumidores mantienen su combustible de calefacción actual y, por lo tanto, los volúmenes de gas y aceite entregados permanecen constantes (en los casos que examinan la economía del aceite renovable y el gas renovable), o asume que todos los consumidores adoptan GSHP o todas las ASHP (con los impactos correspondientes en los precios de la electricidad). Estos escenarios base destacan los efectos de retroalimentación en los consumidores individuales bajo suposiciones relativamente extremas, sobre las tasas de adopción de soluciones de descarbonización individuales. En realidad, estos escenarios base son poco probables por varias razones, entre ellas, que el costo relativo y el atractivo de las soluciones de descarbonización probablemente variarán significativamente según las condiciones específicas del edificio y debido a las

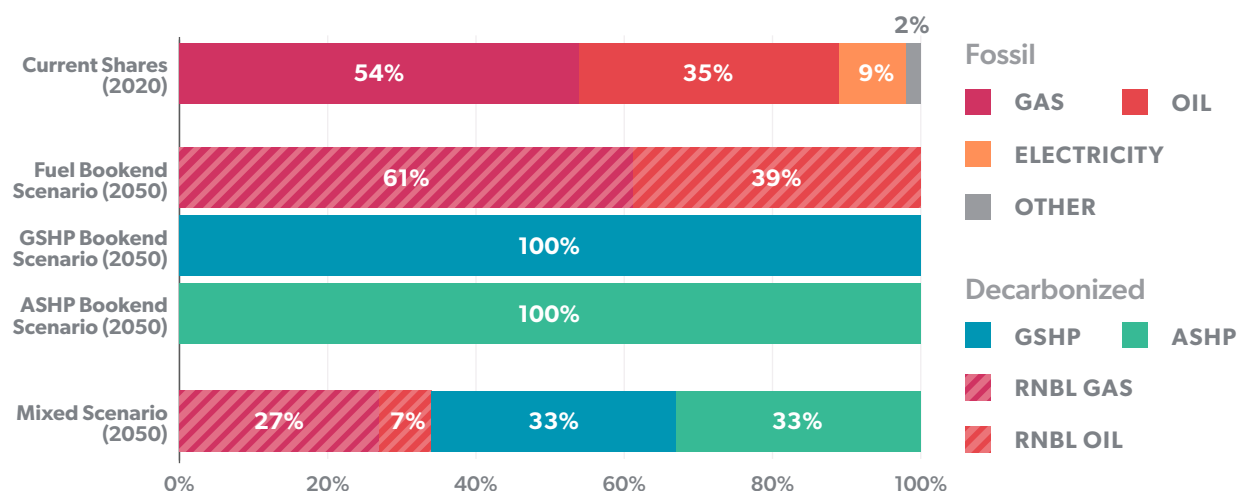


GRÁFICO 22: ACCIONES DE CALEFACCIÓN POR COMBUSTIBLE (NÚMERO DE EDIFICIOS) ACCIONES ACTUALES VS. ESCENARIO MIXTO (2050)

diferentes preferencias de los consumidores y otros factores cualitativos que se analizan a continuación.

- La segunda perspectiva examina la economía de las diversas soluciones de descarbonización de un consumidor, asumiendo un patrón de adopción ilustrativo «mixto» (reconociendo que las participaciones relativas de cada una de las soluciones de descarbonización disponibles en el futuro siguen siendo muy inciertas).
- Por último, una tercera perspectiva utiliza el escenario de adopción mixta para evaluar cómo la economía de varias soluciones de descarbonización afecta la «Energy Wallet» general de un consumidor individual que compara los costos actuales con los costos futuros potenciales con cada una de las soluciones de calor descarbonizadas, en el contexto de una economía descarbonizada. La perspectiva de la billetera de energía es instructiva, ya que las tasas de adopción a nivel estatal y regional de varias soluciones de calefacción descarbonizadas tendrán impactos en particular en los precios de la electricidad, lo que a su vez afectará a otros gastos relacionados con la energía, incluyendo a corto plazo las facturas actuales de electricidad y a largo

plazo. Probablemente, también gaste en transporte suponiendo que el transporte personal se descarboniza mediante un cambio a vehículos eléctricos.

El gráfico 22 ilustra las acciones de cada solución de calefacción que existen ahora, en los tres escenarios base y en el escenario mixto.

1. Escenarios base

El gráfico 23 compara el costo anualizado de las soluciones de calefacción de espacios residenciales, tanto fósiles como descarbonizadas, bajo estos escenarios base para una vivienda unifamiliar representativa de Rhode Island, utilizando los costos proyectados para el año 2050 para sistemas de calefacción alternativos que brindan todas las necesidades de calefacción de la casa, no solo sistema parcial o suplementario. Las opciones tradicionales de emisión de carbono de gas natural fósil, aceite o propano están a la izquierda utilizando los costos proyectados para 2050, y a la derecha están las opciones descarbonizadas de gas renovable, aceite renovable o electrificación descarbonizada con bombas de calor geotérmicas o aerotérmicas (o resistencia eléctrica).⁶⁸ El análisis supone una demanda anual de calor de 76 MMBtu por año, que está un

⁶⁸ Como se señaló anteriormente, el análisis del gas renovable aquí proporciona un buen indicador para una solución de hidrógeno renovable, ya que el costo proyectado del hidrógeno renovable generalmente está dentro del rango considerado para los costos del gas renovable (quizás hacia el extremo inferior), ya que producir hidrógeno con P2G puede evitar el paso de la metanización). Tal solución podría implicar mezclar hidrógeno con gas renovable o usarlo como combustible de calefacción independiente, aunque en este último caso, el análisis de gas renovable no tiene en cuenta las mejoras en la infraestructura de suministro de gas que pueden ser necesarias para acomodar el hidrógeno.

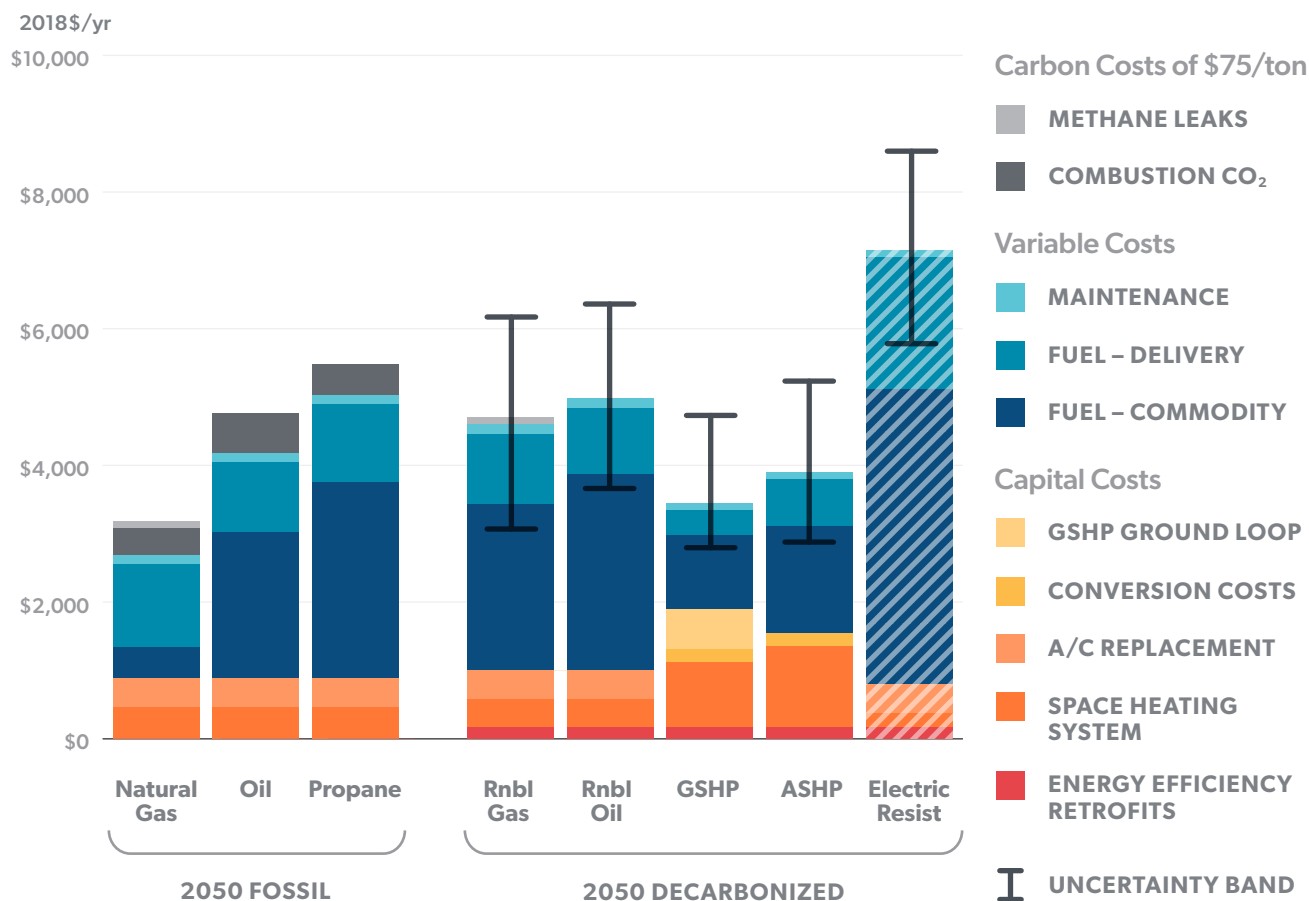


GRÁFICO 23: COSTO ANUALIZADO DE CALEFACCIÓN DE ESPACIOS, VIVIENDA UNIFAMILIAR EN 2050 ESCENARIOS BASE (2018\$)

Aclaraciones: Descuento del 3 % para reflejar la tasa de descuento social. Precio del carbono: \$75/ton. Capacidades del calefactor: Caldera u horno de 7,5 toneladas con eficiencia energética y caldera u horno de 9 toneladas sin eficiencia energética (dimensionados para satisfacer el doble de la demanda máxima), bombas de calor de 5,0 toneladas (dimensionadas para que el sistema satisfaga al menos el 120 % de la demanda máxima, con la ASHP que utiliza capacidad de calentamiento por resistencia eléctrica suplementaria).* Eficiencias: 93 % para hornos de gas, 84 % para hornos/calderas de petróleo, 360 % para GSHP, 285 % (promedio ponderado basado en temperatura y carga) para ASHP y 100 % para resistencia eléctrica. Precios: gas natural 17,43 USD/MMBtu, aceite 4,14 USD/gal, propano 3,83 dólares por galón, aceite renovable 5,33 dólares/gal, gas renovable 42,57 USD/MMBtu; precio de la electricidad 23 cents/kWh (GSHP), 28 cents/kWh (ASHP y resistencia eléctrica). Se pueden encontrar entradas y fuentes de datos adicionales en el documento de soporte técnico. El tamaño de la bomba de calor modelada difiere de las bombas de calor que se instalan normalmente en la actualidad, ya que tiene el tamaño adecuado para cumplir con todos los requisitos de calor excepto en los días extremos. La capacidad de diseño está, levemente, por encima de la sugerencia de diseño de tamaño del 100-115% de NEEP (consulte NEEP, Guía para dimensionar y seleccionar las ASHP en climas fríos, rev. 12/7/18, pág. 5 (Reemplazo completo del sistema))

15 % por debajo del promedio actual de 89 MMBtu por año para las viviendas unifamiliares en Rhode Island, lo que refleja mejoras rentables en la eficiencia de los edificios que se supone que se implementarán para prácticamente todos los hogares para 2050. La vivienda «representativa» modelada no es una vivienda real, sino que representa una vivienda con la demanda anual promedio de energía de calefacción en el estado (calculada dividiendo el consumo total de

energía de calefacción por el número total de viviendas unifamiliares). Aun así, dado el inventario de viviendas de Rhode Island, una casa «representativa» tendría al menos varias décadas de antigüedad con entre 1500 y 2000 pies cuadrados de espacio habitable. El impacto de las medidas rentables de eficiencia energética se basa en el rango de impactos reportados de los programas de climatización, expresados en porcentaje de mejoras sobre la demanda

de calefacción existente, de los programas de climatización en Nueva Inglaterra. La cantidad precisa de calor necesaria para cualquier hogar en particular tendrá poco impacto en los costos relativos de las alternativas, y las conclusiones generales de este análisis se aplican a una amplia gama de tamaños de edificios y necesidades de calor.

El gráfico 23 incluye un desglose del costo anualizado en costos de operación (en tonos azules) y costos de capital anualizados (en tonos naranja). Los costos operativos son principalmente el costo del «combustible»: gas natural fósil, aceite o propano para las opciones de emisión de carbono, en comparación con el gas renovable, el aceite renovable o la electricidad para las bombas de calor para las opciones descarbonizadas. Los costos de combustible se dividen aproximadamente según el costo del producto básico en sí (azul más claro) frente al costo de entregar ese producto al edificio (azul más oscuro). El costo de capital anualizado de las tecnologías de calefacción (que incluye el valor de instalación) se muestra en tonos naranja. Los hornos o calderas deben reemplazarse periódicamente, pero el costo no es grande, ya que el equipo y la instalación son razonablemente simples y no se necesitan modificaciones en el hogar. Para las bombas de calor, el costo de capital es mayor porque el equipo y la instalación de la bomba de calor pueden ser más costosos y también pueden requerir

componentes adicionales: un bucle de tierra para las GSHP y costos adicionales para adaptar el edificio existente a una forma diferente de proporcionar calor (por ejemplo, conductos, actualizaciones eléctricas).⁶⁹ La comparación de costos de capital también incluye el costo de reemplazar un sistema de aire acondicionado central si se usa un horno o una caldera; ese costo se puede evitar con una bomba de calor, que también proporciona refrigeración.

Para permitir una mejor comparación de las opciones de calefacción fósil con las descarbonizadas, **el gráfico 23** también incluye un costo supuesto de las emisiones de carbono. Incluir ese costo es importante, ya que refleja los costos reales para la sociedad sobre las emisiones continuas de carbono. Además, es probable que para 2050 (o antes), los precios de los combustibles fósiles a los que se enfrentan los consumidores reflejen estos costos, por ejemplo, en forma de un impuesto o tarifa al carbono, un programa de límite y comercio, u otro mecanismo. El análisis utiliza un costo de USD 75/tonelada métrica, en línea con los análisis actuales de costo-beneficio realizados por el estado.⁷⁰ Este costo se aplica a los GEI netos de la combustión del combustible (se supone que es cero para las opciones de combustibles renovables, lo que implica que el combustible es neutro en carbono),⁷¹ y también la contribución de GEI de las fugas de metano (al ritmo de fuga actual).⁷² El gas

⁶⁹ La idiosincrasia de los edificios individuales puede tener un impacto sustancial en la economía relativa caso por caso. Por ejemplo, un edificio en particular puede encontrar mucho más costoso convertirlo en una bomba de calor debido a la necesidad de una amplia red de conductos y una importante actualización del sistema eléctrico; un edificio diferente puede no enfrentar estos costos en absoluto. Reconociendo estas posibilidades, y reconociendo que es muy difícil obtener costos representativos para tales requisitos de modernización debido a la amplia diversidad de circunstancias en edificios individuales, el análisis económico supuso que reemplazar un sistema de calefacción fósil por una bomba de calor requeriría aproximadamente USD 5000 en actualizaciones (por ejemplo, conductos y electricidad) para permitir la transición.

⁷⁰ Un valor de carbono de 75 USD/tonelada métrica (68 dólares por tonelada corta) se utiliza actualmente como valor de carbono evitado al evaluar los programas de eficiencia energética de Rhode Island. Synapse Energy Economics, "Avoided Energy Supply Components in New England: 2018 Report", preparado para el Grupo de Estudio AESC 2018, publicado originalmente el 30 de marzo de 2018 (modificado el 24 de octubre de 2018), disponible en: <http://rieermc.ri.gov/wp-content/uploads/2019/04/aesc-2018-17-080-oct-rerelease.pdf>. Para los fines de este análisis, se utiliza el mismo valor para las comparaciones de 2050 aunque, como se describió anteriormente, es probable que el valor de las emisiones de carbono evitadas aumente, como se refleja en el aumento de los valores del costo social del carbono a lo largo del tiempo.

⁷¹ Tal como se mencionó anteriormente, la mayoría de los combustibles renovables que utilizan materias primas biológicas actualmente no son neutros en carbono. El potencial a largo plazo para lograr (casi) cero emisiones netas de carbono depende tanto de la propia materia prima como del proceso de conversión. Por ejemplo, la intensidad general de carbono puede reducirse de manera muy significativa si la energía de transporte y proceso utilizada en la producción de biocombustibles está libre de carbono (como la electricidad renovable).

⁷² El análisis supone una tasa de fuga del sistema de distribución del 2.7 %, de Descarbonización profunda en el Ocean State: The 2019 Rhode Island Greenhouse Gas Reduction Study, septiembre de 2019, Stockholm Environment Institute, et al. Utiliza un potencial de calentamiento global a 100 años para el metano de 30, basado en el rango de la EPA de los Estados Unidos (EPA de los EE. UU., «Understanding Global Warming Potentials»), disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>), y se ajusta a las diferentes masas de metano frente a CO₂ podría. Los esfuerzos exitosos para reducir las fugas de gas reducirían los costos de las fugas de metano correspondientemente.

renovable también incluye el componente de fugas, ya que incluso si el gas fuente en sí es neutro en carbono, las fugas de metano siguen generando emisiones de GEI, ya que el metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el CO₂ podría.

El gráfico 23 también indica una banda de incertidumbre alrededor de la estimación de rango medio, ilustrada por la línea negra vertical que muestra estimaciones plausibles de costos altos y bajos basadas en estimaciones razonables de la incertidumbre en el futuro costo instalado de los equipos (bombas de calor) e incertidumbre en el precio de los combustibles renovables y electricidad.

Para las bombas de calor, el alto costo inicial representa una parte sustancial de su costo anualizado total, mientras que los combustibles renovables tienen bajos costos iniciales de equipo, pero costos de combustible que son sustancialmente más altos y también muy inciertos. Las GSHP tienen costos iniciales incluso más altos que las ASHP, aunque la anualización del costo hace que la diferencia sea menos pronunciada, dado que la vida útil del equipo de la GSHP es mayor (se aloja en interiores) y los costos del bucle de tierra se distribuyen a lo largo de una vida útil más larga.⁷³ Estos costos iniciales más altos se compensan con un menor costo operativo de GSHP: debido a una mayor eficiencia promedio (especialmente durante temperaturas frías, como se explicó anteriormente), las GSHP utilizan alrededor de un 20 % menos de electricidad en general, y si se adopta ampliamente la ASHP, probablemente aumentarían los precios de la energía.

En general, este análisis muestra que entre las diversas soluciones de descarbonización para una vivienda unifamiliar representativa, si bien hay algunas diferencias en los costos estimados de rango medio, las incertidumbres son significativas y las bandas de incertidumbre se superponen en gran medida. Los rangos de costos anualizados para las cuatro soluciones de calefacción descarbonizadas se superponen ampliamente (alrededor de USD 3000 a USD 5000 por año). Esto significa que ninguna tecnología es

una clara ganadora basada en la economía, lo que dificulta la elección de una de estas vías descarbonizadas sobre las demás dada la información que está disponible ahora. Las bombas de calor geotérmicas parecen ser nominalmente la opción menos costosa, seguidas de las bombas de calor aerotérmicas y el gas renovable. Sin embargo, el rango de incertidumbre sobre el costo futuro de cada una de estas opciones de calefacción excede las diferencias en las estimaciones de costos nominales entre ellas, lo que indica que un conjunto alternativo (pero muy razonable) de supuestos sobre cómo pueden evolucionar los costos de estas tecnologías, en las próximas décadas, podría conducir a una clasificación diferente.

También vale la pena comparar el costo estimado de la calefacción descarbonizada con el costo de continuar utilizando combustibles fósiles como calor. Utilizando los precios de los fósiles proyectados para 2050, las soluciones de calefacción descarbonizadas son generalmente más costosas que la calefacción de gas natural, pero podrían ser competitivas con el aceite de calefacción y el propano. Es probable que la calefacción descarbonizada con combustibles renovables sea más costosa a menos que estos combustibles renovables terminen cerca del extremo inferior de su banda de incertidumbre de costos. Si se incluyen los costos del carbono (aquí se ejemplifica a USD 75/TCO₂ podría), las alternativas descarbonizadas se vuelven algo más competitivas. Sin embargo, una observación general es que el rango de incertidumbre hace que sea difícil sacar conclusiones firmes, ya sea comparando soluciones descarbonizadas o comparándolas con el uso continuo de calefacción fósil (reconociendo que también hay incertidumbre sobre los costos futuros de los combustibles fósiles, no caracterizados aquí). Los costos actuales de calefacción de combustibles fósiles son moderadamente más bajos que los costos proyectados para 2050 (consulte **el gráfico 10**), por lo que es razonablemente probable que, para el consumidor promedio, la calefacción descarbonizada pueda aumentar los costos de calefacción en 2050 con respecto a su nivel actual, *pero quizás no*

⁷³ Otra ventaja de la GSHP es que no requiere un sistema de calor de respaldo para cubrir las necesidades de calor máximo en el clima más frío. Con una ASHP, por el contrario, la producción es más baja cuando la demanda de calor es más alta, por lo que se necesita un sistema de respaldo. Sin embargo, este respaldo puede proporcionarse mediante calor de resistencia eléctrica, que tiene poca penalización operativa en climas fríos y tiene un bajo costo inicial.

mucho más de lo que aumentarían los costos con el uso continuado de combustibles fósiles. Es importante destacar que los impactos reales de la descarbonización de los sistemas de calefacción pueden diferir significativamente para los consumidores individuales, debido a la idiosincrasia de los edificios individuales. E incluso si los aumentos en los costos de calefacción debido a la descarbonización son modestos en promedio, la política, que se analiza más adelante, debe tener en cuenta que los aumentos de costos podrían ser más pronunciados para algunos grupos de consumidores, y que incluso los aumentos modestos de costos pueden suponer una carga significativa para los consumidores ya desfavorecidos, en cuyo caso las medidas políticas de mitigación serán aún más importantes.

Para entender algunos de los otros factores que pueden impulsar la transformación del sector de la calefacción, es útil considerar otra perspectiva además de la visión económica de la sociedad presentada anteriormente: la de un consumidor que contempla la economía de los sistemas de calefacción alternativos. Por diversas razones, el comportamiento del consumidor a menudo no refleja la economía a largo plazo caracterizada anteriormente. En lugar de elegir la alternativa con el costo total más bajo a largo plazo, los consumidores generalmente requieren inversiones en energía para pagar cualquier inversión inicial en solo unos años, o se negarán a hacer la inversión.⁷⁴ Este es un problema muy real para un consumidor que está pensando en cambiar de la calefacción a base de combustible a una bomba de calor, lo que puede requerir una inversión inicial de decenas de miles de dólares y modificaciones potencialmente significativas en el hogar (conductos, mejoras eléctricas), en lugar de unos pocos miles de dólares para reemplazar la vieja alimentada con combustible caldera u horno con uno nuevo.

Los mayores costos iniciales de las bombas de calor podrían llevar a los clientes a seguir con la solución de

combustión de combustible (ya sea que el combustible sea fósil o renovable), incluso si los costos operativos mucho más bajos de la bomba de calor ofrecen ahorros significativos de por vida. Este efecto se exagera aún más para las bombas de calor geotérmicas que tienen el costo adicional del bucle de tierra. Esto sugiere que, incluso si las bombas de calor tienen costos económicos más bajos a largo plazo, es posible que se requiera una intervención política significativa y un apoyo al programa para inducir a los clientes a adoptarlas. Esta intervención política podría adoptar la forma de incentivos directos o financiación de capital de bajo costo, que reduzcan los costos iniciales. Por ejemplo, un GeoMicroGrid no solo puede reducir el costo inicial de la GSHP, sino que la propiedad de la empresa de servicios públicos del bucle de tierra podría ayudar a reducir la barrera del costo inicial.

2. Escenario de adopción mixta

Los escenarios base analizados anteriormente suponen que toda la calefacción de Nueva Inglaterra proviene de una sola tecnología (o que los tipos de combustible actuales se mantienen en el caso de los escenarios de aceite renovable y gas renovable, respectivamente) para iluminar su impacto potencial en otros sistemas. Por supuesto, el futuro descarbonizado real casi seguramente incluirá una combinación de las tecnologías elegibles. Para reflejar un resultado tan realista, al tiempo que se incorporan los efectos de retroalimentación sobre los precios de la electricidad y los costos de suministro de gas discutidos anteriormente, también se desarrolló un escenario mixto, en el que el sector de la calefacción de Nueva Inglaterra se descarboniza utilizando una combinación de las tecnologías candidatas. Por supuesto, la combinación particular que se analiza refleja solo una posibilidad, pero ilustra algunos efectos potenciales importantes. Para este escenario mixto ilustrativo, se supone que la mitad de los clientes de gas existentes electrifican su calefacción, junto con el 80 % de los clientes de aceite y esencialmente todos los clientes que utilizan

⁷⁴ Esto no implica necesariamente que los clientes se comporten de manera irracional en tales situaciones. Un umbral de inversión tan alto puede reflejar, por ejemplo, la interrupción personal asociada con un proyecto de construcción; la posibilidad de que el propietario de la vivienda se mude en unos pocos años y, por lo tanto, recupere solo unos pocos años de ahorro en los costos operativos; o el hecho de que los costos de financiación de los consumidores suelen ser muy superior a la baja tasa de descuento utilizada para la perspectiva social anterior.

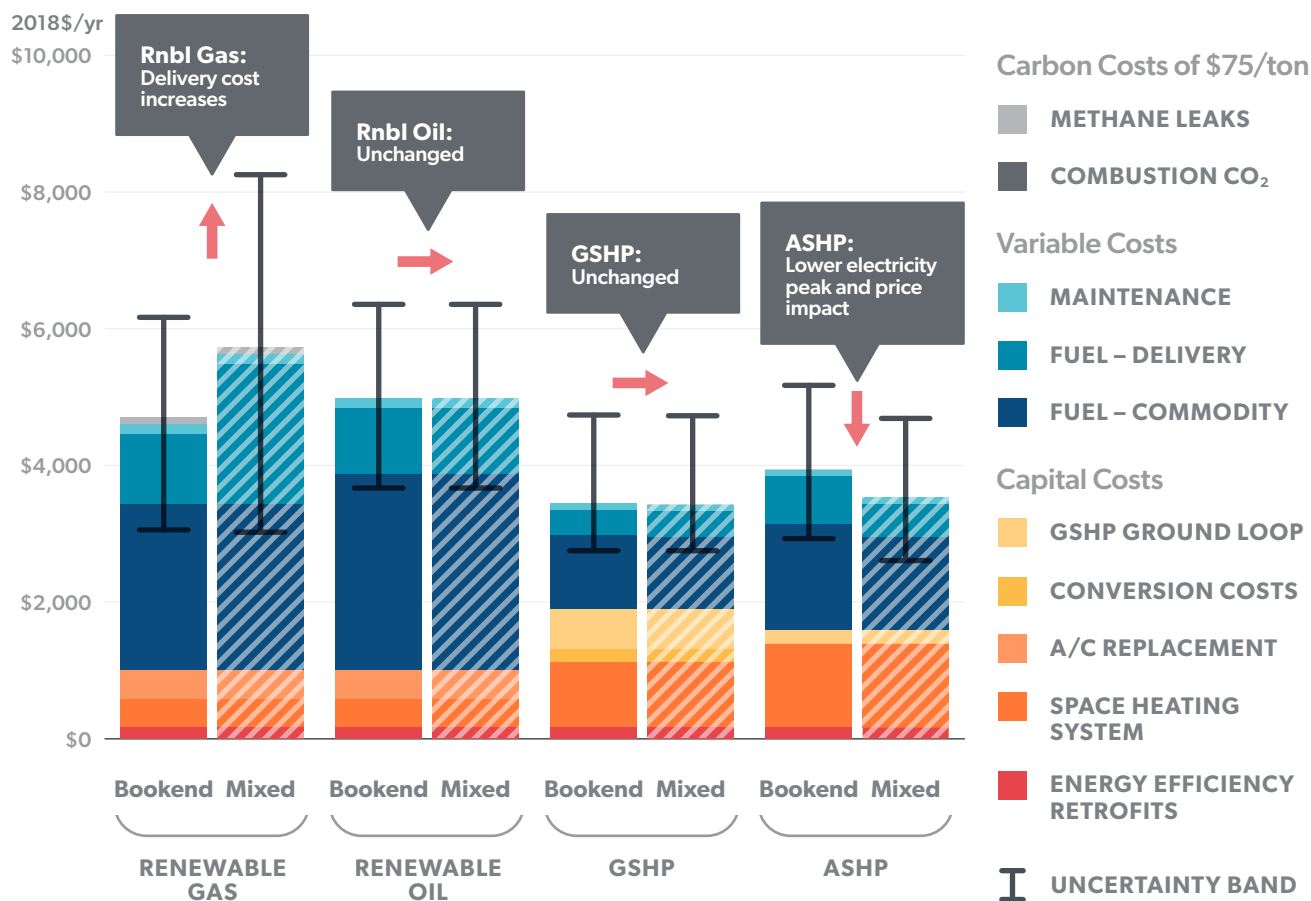


GRÁFICO 24: COSTO ANUALIZADO DE CALEFACCIÓN DE ESPACIOS, VIVIENDA UNIFAMILIAR EN 2050. ESCENARIOS MIXTOS VS. ESCENARIOS BASE (2018\$)

otros combustibles.⁷⁵ En conjunto, dos tercios de los clientes se cambian a bombas de calor eléctricas, divididas a partes iguales entre ASHP y GSHP. Los clientes que mantienen su tipo de combustible actual quemarían una versión renovable de ese combustible en 2050. El gráfico 22 de arriba ilustra las cuotas actuales de combustible para calefacción, así como las acciones asumidas en el escenario mixto.

El gráfico 24 compara cómo este escenario mixto cambia los resultados de los escenarios base examinados en El gráfico 23. La demanda y el precio de la electricidad en los escenarios

mixtos son similares al escenario base de GSHP, por lo que los costos de GSHP son muy similares y los costos de ASHP son más bajos que en sus respectivos escenarios base.

El impacto más significativo está en el costo de la calefacción con gas renovable. Dado que los volúmenes entregados a través del sistema de distribución de gas son sustancialmente más bajos en este escenario (y suponiendo que el costo de mantenimiento y operación del sistema de suministro de gas sea esencialmente fijo), el precio entregado del gas renovable aumentaría notablemente. El gráfico 25 proporciona una ilustración

⁷⁵ Esta es solo una suposición con respecto a las acciones de los clientes que pueden electrificar; no pretende ser una predicción para que los clientes cambien la propensión en función de sus combustibles existentes. Sin embargo, una tasa de electrificación más baja para los clientes de gas podría deberse al menor costo actual de la calefacción a gas en comparación con otros combustibles actuales y, quizá, el deseo de algunos clientes de mantener el gas como combustible para cocinar en lugar de la falta de aceite renovable disponible. De hecho, teniendo en cuenta las mejoras en la eficiencia del edificio y la posibilidad de que los clientes usen una bomba de calor para cubrir solo una parte de sus necesidades de calor, manteniendo su sistema fósil como respaldo, quizás como una solución provisional, hay muchas formas diferentes en las que la descarbonización podría reducir la demanda de gas y otros combustibles tradicionales. Este escenario mixto también proporciona información sobre estos escenarios alternativos.

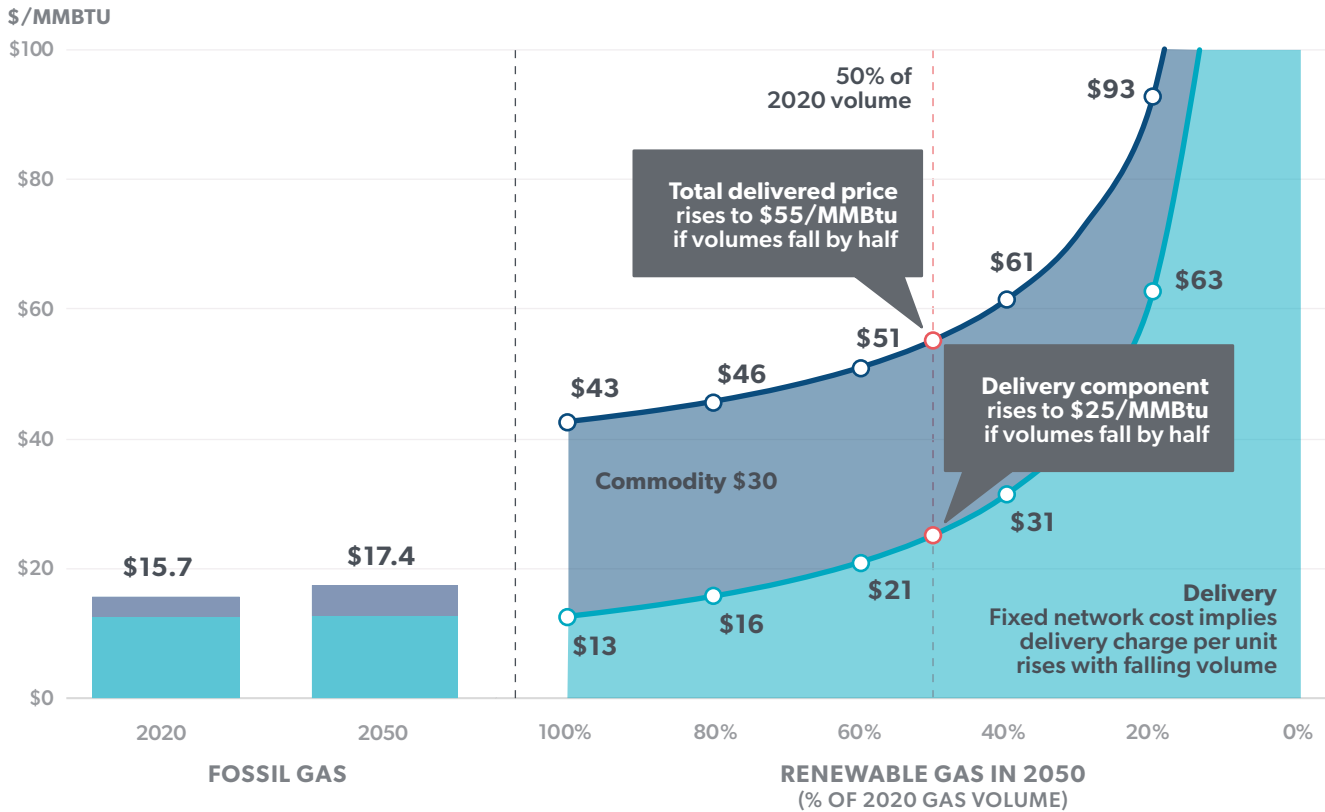


GRÁFICO 25: PRECIO DE ENTREGA DEL GAS: GAS FÓSIL EN 2020 VS. GAS RENOVABLE POTENCIAL EN 2050 (2018\$)

simple de la dinámica potencial que afecta los precios del gas entregado en un futuro descarbonizado. El lado izquierdo del gráfico muestra los precios actuales del gas fósil y proyectados en 2050 con los volúmenes de entrega actuales. El lado derecho ilustra cómo el costo de suministro futuro del gas 100 % renovable podría verse influido por el costo de la materia prima del gas (en este caso, se supone que es de 30 USD/MMBtu independientemente de la cantidad entregada)⁷⁶ y volúmenes de entrega reducidos. A los volúmenes actuales, el cargo de entrega sería de USD 13/MMBtu como lo es hoy, lo que resulta en un precio de entrega de USD 43/MMBtu del gas renovable. Si los volúmenes de entrega disminuyen, el costo de entrega por unidad aumentaría, ya que los costos totales del sistema de distribución no cambiarían. Por ejemplo, si el volumen cayera a la mitad, tal como se suponía en el escenario mixto, el componente de gastos de suministro podría duplicarse, y el precio del gas entregado alcanzaría los USD 55/MMBtu, más de tres veces el precio actual del gas

entregado.

Una reducción de la mitad o más en los volúmenes de gas puede no ser una suposición particularmente extrema; las mejoras de eficiencia que se suponen aquí reducirían, por sí solas, la demanda de gas en un 15 %, incluso sin que los clientes de este servicio cambien a una solución de calefacción diferente. Esto señala un importante desafío potencial para el sistema de gas: Cualquier volumen de ventas de gas perdido por la electrificación (o por la mejora de la eficiencia del edificio, o incluso por el aceite renovable que no tiene una red de entrega de costo fijo) aumentará el precio de entrega del gas, ya que los costos de distribución fijos se distribuyen por menos gas. Esto podría provocar una mayor pérdida de volumen y un espiral de costos en aumento para los clientes restantes. A su vez, esto impondría riesgos significativos para los clientes que no pueden prescindir del gas fácilmente, así como para la empresa de gas. La forma más obvia de evitar estos problemas sería retener la mayor parte del volumen de gas

⁷⁶ Como se señaló anteriormente, el precio de las materias primas del gas renovable en Rhode Island probablemente no dependerá de la demand local, ya que es probable que un futuro mercado de gas renovable tenga un alcance regional o nacional.

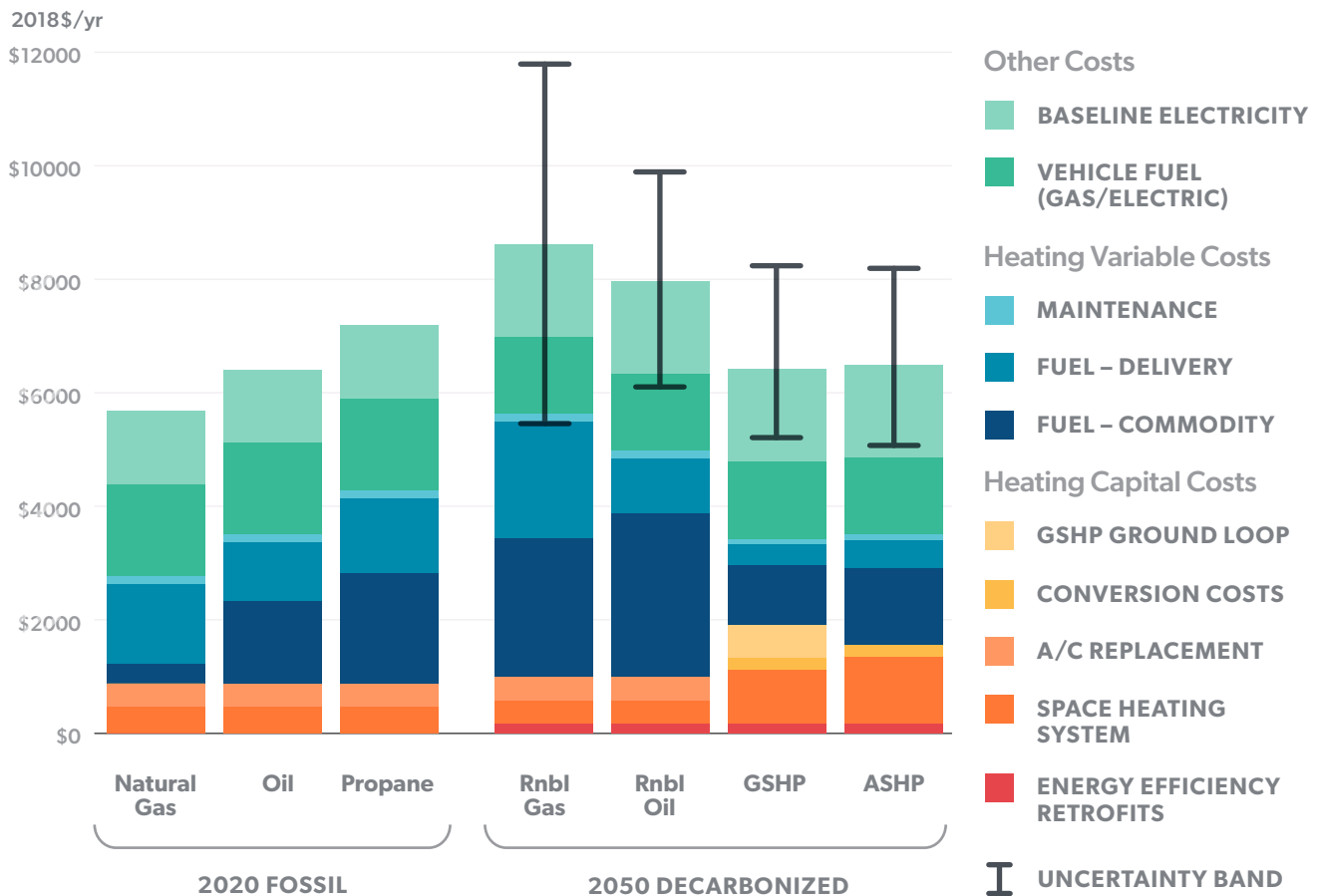


GRÁFICO 26: COMPARACIÓN ANUAL TOTAL DE ENERGY WALLET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, EN 2020 VS. ESCENARIO MIXTO EN 2050 (2018\$)

Aclaración: La banda de incertidumbre refleja duda sobre los costos de calefacción como anteriormente, más el efecto de la incertidumbre del precio de la electricidad en otros objetivos finales. El precio de la gasolina excluye los impuestos estatales y federales. El costo del calentamiento de agua no se proporciona explícitamente, aunque la electricidad se usa, actualmente, para dicho proceso; esto se incluye, implícitamente, en el uso de electricidad de referencia.

mientras se descarboniza el gas. Otros enfoques podrían incluir reducir los costos del sistema de suministro a medida que disminuyen los volúmenes (por ejemplo, concentrando las pérdidas en algunas partes del sistema y podando esas sucursales por completo), o compartir los costos de la infraestructura de gas de manera más amplia entre todos los clientes de «energía», reconociendo el beneficio social generalizado de descarbonización mientras se protege a los clientes individuales.⁷⁷

3. Energy Wallet

También es importante reconocer que la calefacción es solo un elemento de la cartera energética general de un consumidor representativo, que también incluye el gasto en los usos finales tradicionales de la electricidad y el transporte. **El gráfico 26** considera la comparación de Energy Wallet de energía de un cliente con los gastos de energía actuales, en todos los sectores de la izquierda con una proyección de 2050 que muestra el costo de varias soluciones de calefacción descarbonizadas combinado

⁷⁷ Sin embargo, incluso si los costos del sistema de gas se distribuyen más ampliamente entre los clientes, será importante continuar monitoreando los costos, en su mayoría fijos, del mantenimiento del sistema de gas. Esto debe compararse con el coste de las soluciones alternativas, como la electrificación de toda la demanda de gas restante (incluidos los requisitos de infraestructura que ello implica), para garantizar que el enfoque seguido sea el mejor para los consumidores en general.

con el costo promedio de carga de vehículos eléctricos y el consumo de electricidad tradicional. Este análisis supone que los vehículos ligeros están totalmente electrificados en toda Nueva Inglaterra, y que los precios de la electricidad y el gas son consistentes con el escenario mixto que emplea una combinación de tecnologías de calefacción descarbonizada, proyectando un futuro plausible. Una característica para destacar de esta comparación es que, aunque los costos totales de la calefacción descarbonizada pueden ser más altos que algunos tipos de calefacción fósil, y es probable que los precios de la electricidad sean más altos con una red descarbonizada, los consumidores no necesariamente pagarán mucho más en costos totales de energía de lo que gastan hoy en día en un medioambiente en base de combustibles fósiles. Para compensar parcialmente cualquier aumento en el costo de la calefacción para algunos clientes, los vehículos eléctricos son más eficientes, lo que hace que sea un poco menos costoso «alimentar» hoy un automóvil con electricidad que con gasolina, a pesar de que el precio de la electricidad descarbonizada para 2050 sea más alto que el precio actual. Aun así, la perspectiva de Energy wallet no cambia la conclusión fundamental anterior. La incertidumbre en los costos futuros aún supera las diferencias relativamente pequeñas en los costos esperados entre las opciones (y en relación con la actualidad), y no se prefiere ningún enfoque en particular de descarbonización por calor.

4. Conclusiones para las viviendas unifamiliares existentes

En resumen, para una vivienda unifamiliar independiente representativa, el tipo de edificio más común en Rhode Island, una comparación cuantitativa de los costos anuales de calefacción para las diversas soluciones descarbonizadas sugiere que, al menos de acuerdo con lo que se sabe hasta ahora, ninguna solución en particular proporciona una clara ventaja económica por encima del resto. Más bien, la opción que tenga los costos anuales de calefacción más bajos depende de cómo evolucionen varios factores inciertos en la siguiente década, como la disponibilidad y el precio de los combustibles renovables y la electricidad renovable, el costo de instalación y el rendimiento de las bombas de calor eléctricas o el costo de instalación de bucles de tierra. Cualquier política estatal que

promueva la descarbonización del sector de la calefacción de Rhode Island debe tener en cuenta esta incertidumbre.

IMPLICACIONES PARA EL CALOR ESPACIAL EN EDIFICIOS MÁS GRANDES

La vivienda residencial unifamiliar representativa analizada anteriormente representa el tipo de edificio más común en Rhode Island, en el extremo más bajo de lo que se requiere de calefacción «por edificio», ya que son edificios más pequeños. También hay un número significativo de edificios más grandes en el estado, tanto edificios residenciales multifamiliares más grandes como edificios comerciales, y por cierto también deben tenerse en cuenta para descarbonizar el sector de la calefacción. Los mismos problemas discutidos anteriormente con respecto a los edificios existentes vs. los nuevos también tienden a aplicarse a los edificios más grandes. Es decir, la eficiencia de los edificios es relativamente simple y muy rentable para los edificios nuevos, y puede reducir drásticamente la necesidad de calefacción en esos edificios. Pero con pocos edificios grandes que se están construyendo hoy en día, y muchos edificios grandes ya existentes en uso en el estado, la transformación del sector de la calefacción entre los edificios más grandes también debe centrarse, mayormente, en la modernización de los edificios existentes. Además, al igual que ocurre con las viviendas unifamiliares, los edificios más grandes pueden tener algunas oportunidades rentables y de costo relativamente bajo para mejorar la eficiencia energética de los edificios; esto ayudará a reducir los costos generales para los clientes, pero no puede acercarse a la descarbonización total. Los edificios grandes seguirán necesitando calor y ese calor debe ser descarbonizado.

Las vías básicas de descarbonización descritas anteriormente (electrificación descarbonizada con bombas de calor y combustibles descarbonizados) también son relevantes para edificios medianos y grandes, aunque las compensaciones de costos a largo plazo, entre sí y en relación con los sistemas de calefacción fósiles típicos, pueden diferir. Esto es el resultado de sus diferentes escalas, diferentes equipos de calefacción (y refrigeración) con diferentes costos de

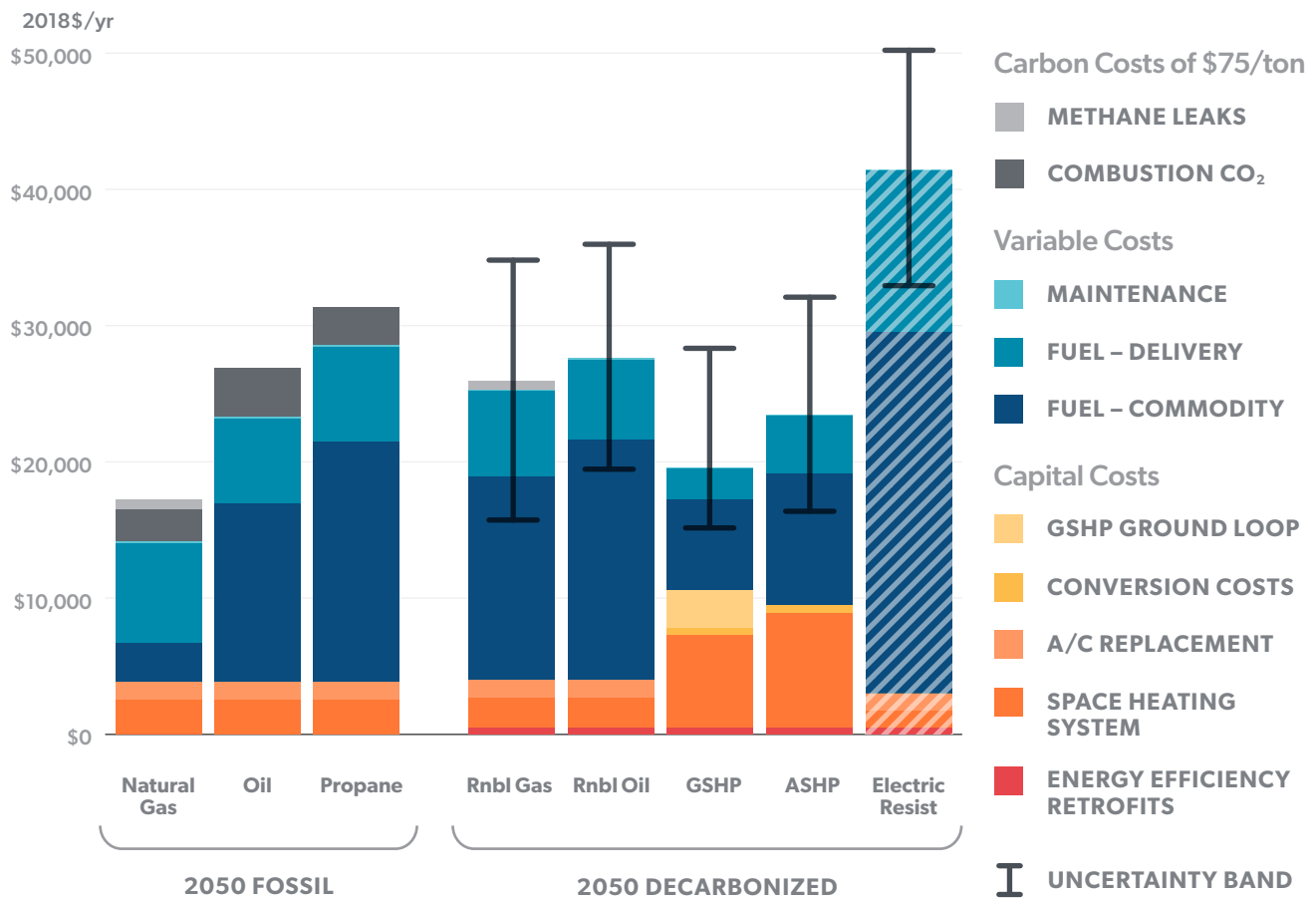


GRÁFICO 27: COSTO ANUALIZADO DE CALEFACCIÓN DE ESPACIOS, EDIFICIO ESTILIZADO GRANDE EN LOS ESCENARIOS BASE DE 2050 (2018\$)

capital y eficiencias operativas y, por lo tanto, diferentes compensaciones entre las soluciones de combustibles renovables con un menor costo de capital, pero mayores costos operativos, en comparación con las soluciones de bomba de calor con un capital relativamente mayor costos. Frecuentemente, algunos costos de conversión de edificios para reconfigurar el edificio para calefacción con un sistema diferente.

Para representar las posibles compensaciones, **el gráfico 27** muestra una comparación de la economía de los enfoques de descarbonización alternativos para un edificio estilizado más grande. Este ejemplo utiliza un edificio comercial de tamaño medio en Nueva Inglaterra (14 250 pies cuadrados), que correspondería a un edificio de oficinas de tamaño medio. La demanda de calefacción se basa en el análisis de Buro Happold, que estimó que los edificios comerciales consumen actualmente 38.305 BTU/pie cuadrado al año; al igual que el análisis

residencial anterior, esto se reduce en un 15 % para las supuestas mejoras en la eficiencia de los edificios, lo que produce una demanda anual de calor de 464 MMBtu. Los equipos de calefacción son más costosos porque son más grandes, aunque aumentan ligeramente menos que proporcionalmente; en particular, se supone que el costo del bucle de tierra para la GHSP exhibe costos unitarios decrecientes para instalaciones más grandes. Muchos de los factores no dependen del tamaño ni del tipo de edificio. Por ejemplo, las ASHP se enfrentan a la misma disminución de la eficiencia en climas fríos, y el precio de los combustibles renovables no depende del tamaño del edificio. Del mismo modo, las fugas de gas renovable contribuyen a las emisiones de GEI, y el costo por unidad de la distribución de gas aumenta, si el volumen de gas entregado disminuye. Sin embargo, **el gráfico 27** muestra los costos relativos que son muy similares a los del **gráfico 23** para una vivienda unifamiliar. Las bombas de calor tienen un costo de capital mucho más

alto, pero costos operativos más bajos. Las opciones descarbonizadas son, generalmente, más costosas que el gas natural y, en general, están a la par con el costo del aceite y del propano; y los rangos de incertidumbre de las opciones descarbonizadas se superponen considerablemente.

Dado que los edificios más grandes tienden a ser más idiosincrásicos, una comparación como esta puede ser mucho menos aplicable que el análisis anterior para una vivienda unifamiliar representativa. Sin embargo, puede haber observaciones adicionales. Por ejemplo, debido a que los edificios grandes suelen necesitar refrigeración, incluso en la temporada de calefacción, puede haber algo de calor residual disponible que podría proporcionar una fuente de calor útil para una bomba de calor, ya sea para calentar una parte diferente del edificio o para almacenarlo para más adelante. Los edificios grandes también pueden ofrecer cierta flexibilidad, por ejemplo, para convertir parte de un edificio a la vez (como convertir uno o más pisos de una torre de oficinas a medida que se remodela entre inquilinos), y para conectar diferentes fuentes de calefacción y refrigeración simultáneamente a los sistemas de distribución interna del edificio. A modo de ejemplo, el circuito de agua caliente de un edificio podría configurarse con una caldera y una bomba de calor, que pueden compensarse y complementarse entre sí en funcionamiento, y el uso puede cambiar de uno a otro con el tiempo. Debido a que las necesidades de calor son mayores en los edificios más grandes, las soluciones de costos de capital más altos (como las bombas de calor y posiblemente las GSHP) pueden ser relativamente más atractivas, ya que hay que ahorrar costos operativos más grandes y puede haber economías de escala en los costos de instalación y de equipo.

CALENTAMIENTO DE AGUA

Como se muestra arriba, el calentamiento de agua doméstica representa más del 15 % de la demanda total de energía en los edificios residenciales de Rhode Island y moderadamente menos en los edificios comerciales, lo que la convierte en la segunda fuente más importante de demanda de calefacción. Esta sección considera los costos relativos de varios enfoques descarbonizados para el calentamiento del agua. La mayoría de las

opciones son similares a los enfoques de calentamiento de agua existentes, pero implican descarbonizar el combustible (gas renovable en lugar de gas natural o petróleo renovable en lugar de aceite de calefacción) o usar electricidad libre de emisiones en un calentador de agua de resistencia eléctrica. Los calentadores de agua eléctricos con bomba de calor representan una alternativa relativamente nueva y prometedora a los calentadores de agua de resistencia eléctrica tradicionales. Estas bombas de calor (aerotérmicas) integran la bomba de calor con el tanque de agua, extrayendo calor del espacio circundante (y normalmente acondicionado) para calentar el agua del tanque. Si bien un calentador de agua con bomba de calor también utiliza electricidad, lo hace mucho más eficiente que un calentador de resistencia eléctrica.

El gráfico 28 compara el costo anualizado de varias soluciones de calentamiento de agua para una vivienda unifamiliar representativa: dos opciones de combustibles fósiles (gas natural y aceite de calefacción) y cuatro opciones descarbonizadas: gas renovable, aceite renovable, resistencia eléctrica y bomba de calor eléctrica. Como se muestra, se espera que los costos del calentamiento de agua anualizado con una bomba de calor eléctrica sean más bajos que los de las otras opciones descarbonizadas, más bajos que el aceite fósil y comparables al gas natural, si se incluyen los costos de carbono. Aunque tiene un costo de capital ligeramente superior al de la mayoría de las otras opciones, su costo operativo variable es mucho más bajo, en gran parte debido a la eficiencia con la que utiliza la electricidad. Esto da como resultado que las bombas de calor eléctricas no solo tengan un costo anual total más bajo en comparación con las otras tecnologías descarbonizadas, sino también un período de recuperación mucho más corto de menos de dos años en comparación con esas otras tecnologías descarbonizadas. Esto sugiere que los calentadores de agua eléctricos con bomba de calor pueden ser la alternativa de calentamiento de agua descarbonizada más rentable a largo plazo, así como una oportunidad atractiva de inversión en energía desde la perspectiva del cliente, dado su corto período de recuperación. Además, puesto que este análisis utiliza de forma conservadora los parámetros de eficiencia y costo de los calentadores de agua con bomba de calor disponibles en la actualidad, las mejoras a lo largo del

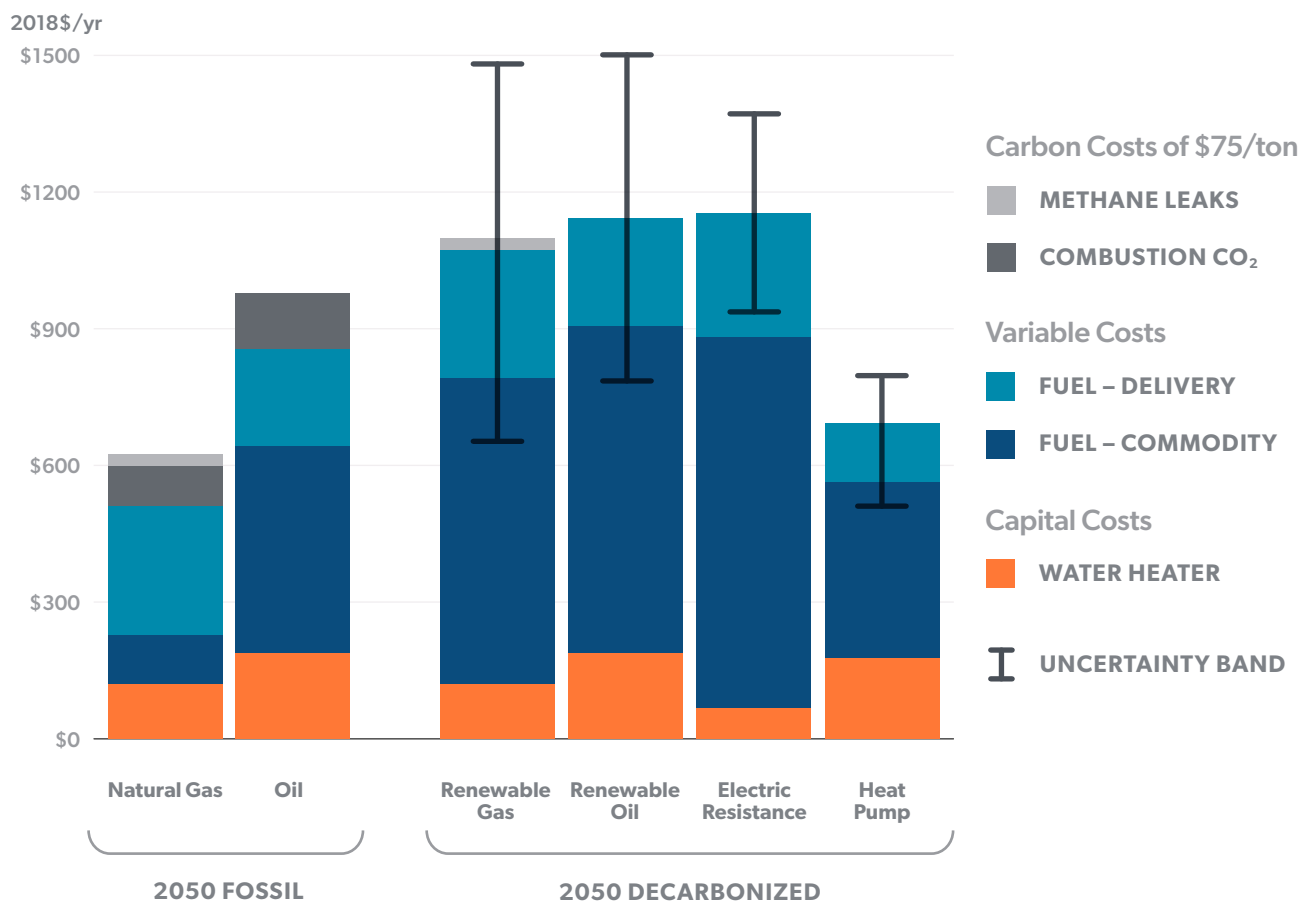


GRÁFICO 28: COSTO ANUALIZADO DEL CALENTAMIENTO DE AGUA, RESIDENCIAL EN 2050 (2018\$)

Aclaraciones: Se supone una capacidad de 50 galones, un consumo anual de 15 millones Btu y un precio de carbono de 75 dólares por tonelada métrica. Supuestos de eficacia: 67 % para los calentadores de agua a gas, 95 % para calentadores de agua de resistencia y 200 % para calentadores de agua con bomba de calor.* Conjeturas de precios: 17,4 USD/MMBtu para gas natural, 4,1 USD/gal para aceite, 42,6USD/MMBtu para gas natural renovable, 5,3 USD/gal para aceite renovable y 0,23 USD/kWh para electricidad. Suponiendo una tasa de descuento del 5 % y una vida económica promedio de 13 años para todas las tecnologías, excepto para los calentadores de agua con bomba de calor (10 años). Fuentes de datos en el documento de soporte técnico. ENERGY STAR® Calentadores de agua residenciales: Análisis de criterios finales, 1 de abril de 2018.

tiempo para esta tecnología, aún parcialmente inmadura, podrían hacer que los calentadores de agua con bomba de calor sean relativamente más atractivos en el futuro.⁷⁸

El análisis anterior supone que la elección de la solución de calentamiento de agua es independiente de qué calefacción se elija para los espacios. En realidad, las dos opciones están potencialmente vinculadas. Dado que

esencialmente todos los edificios de Rhode Island están conectados al sistema eléctrico (y lo estarán en 2050), se puede usar una bomba de calor o un calentador de agua por resistencia eléctrica con cualquier tecnología de calefacción de espacios. Esto puede no ser así para los calentadores de agua que utilizan gas o aceite. Si la calefacción de espacios se convierte en una bomba de calor eléctrica, mantener la conexión de distribución de

⁷⁸ Un impacto potencial cuyos efectos aún no se comprenden completamente y, por lo tanto, no se incluyen aquí, es el impacto potencial en los requisitos de calor del espacio si, como suele ser el caso, se instala un calentador de agua con bomba de calor en un espacio acondicionado y, por lo tanto, extrae calor del interior del edificio. Esto podría aumentar las necesidades totales de calefacción de espacios en invierno, lo que aumentaría el costo de la calefacción de espacios. Este efecto, si está presente, funcionaría en la dirección opuesta en verano para reducir las necesidades de refrigeración del edificio, especialmente si hay una forma de hacer circular el aire frío dentro del edificio.

gas (o un tanque de aceite) solo para calentar el agua puede resultar mucho menos rentable. Esto puede aumentar aún más el potencial de calentadores de agua con bomba de calor.

En los edificios más grandes, como los grandes edificios de apartamentos multifamiliares y los grandes edificios de oficinas comerciales, los sistemas de calentamiento de agua, como los de calefacción de espacios, tienden a ser más idiosincrásicos y específicos del edificio en particular. Las compensaciones cualitativas para el calentamiento del agua serían generalmente similares, aunque la escala más grande podría permitir ahorrar costos o una mayor eficiencia en los calentadores de agua con bomba de calor. En algunos edificios, el calor del agua está integrado actualmente con el sistema de calefacción de espacios y, por lo tanto, podría abordarse con el mismo sistema descarbonizado que el calor espacial.

CALOR INDUSTRIAL

Más allá de las aplicaciones residenciales y comerciales para el calentamiento de espacios y agua discutidas anteriormente, el sector industrial de Rhode Island también requiere calor, que también tiene que descarbonizarse. El sector industrial del estado representa aproximadamente el 15 % del uso total de energía. Aunque no se dispone de información detallada sobre el desglose de los usos de energía en el sector industrial, parte de ella es para el calentamiento de espacios y agua para edificios (como en edificios residenciales y comerciales), otra es para las necesidades de calor de procesos industriales; y algunos combustibles también pueden usarse como materia prima. Dicho esto, el sector industrial de Rhode Island en su conjunto no se caracteriza por grandes sectores industriales en los que el calor de proceso es un insumo importante para la producción (como la fabricación de acero), ni como materia prima (fertilizantes o plásticos). Esto sugiere que una parte sustancial de las necesidades de calefacción del sector industrial pueden ser para calentar espacios y agua. En este caso, las soluciones descarbonizadas y su atractivo relativo discutido anteriormente para edificios más grandes se aplicarían de manera similar a las necesidades industriales.

Más allá del calor del espacio y del agua en las instalaciones industriales, también hay una serie de necesidades y aplicaciones especializadas de calor de procesos industriales que pueden ir más allá de las tecnologías analizadas hasta ahora.⁷⁹ Estas pueden variar ampliamente, siendo el tipo de calor requerido y las tecnologías capaces de proporcionarlo a menudo muy específicas para el proceso industrial en particular. Las bombas de calor solo pueden proporcionar calor a temperaturas relativamente bajas; si bien esto es adecuado para la calefacción de espacios, no es adecuado para la mayoría de las necesidades de calor de procesos industriales de alta intensidad. Para algunas aplicaciones industriales que requieren temperaturas intermedias, el calor por resistencia eléctrica puede ser útil, aunque la posibilidad de utilizar una fuente de calor en un caso particular depende no solo de la temperatura que puede proporcionar, sino también de cómo la fuente de calor pueda integrarse físicamente con ese proceso industrial particular. Las aplicaciones a temperaturas muy altas requieren típicamente quemar combustible que, si se va a descarbonizar, requerirá gas o aceite renovable o, posiblemente, hidrógeno renovable. Es probable que existan otras aplicaciones que pueden usar inducción, láser, microondas, etc., pero tenderán a ser menos comunes, y las oportunidades son muy específicas para la aplicación particular en cuestión.

Debido a que las necesidades de calor de los procesos industriales tienden a ser muy específicas para aplicaciones industriales particulares, es probable que la disponibilidad y el costo de las soluciones descarbonizadas también sean específicos del proceso. En muchos casos en los que se utiliza gas natural o fueloil hoy en día, debería ser posible sustituirlo por el gas renovable o el aceite renovable. El hidrógeno renovable (verde) podría desempeñar un papel más importante en el sector industrial que en los sectores residencial y comercial. A diferencia de esos sectores, el hidrógeno podría almacenarse in situ o, potencialmente, entregarse a través de tuberías dedicadas a sitios industriales específicos que tienen una demanda grande y concentrada. Dada la diversidad de aplicaciones industriales y la escasa información sobre las actividades industriales actuales y especialmente cómo podrían

⁷⁹ Las necesidades generales de calor industrial representan una participación menor en Rhode Island que en los EE. UU. en su totalidad.

implementarse las alternativas descarbonizadas, este estudio no ha intentado analizar la economía relativa de las soluciones de descarbonización para el sector industrial.

Sin embargo, donde la descarbonización industrial implica la sustitución de combustibles renovables (gas, aceite, hidrógeno) por los combustibles fósiles utilizados actualmente, el costo de los combustibles será mayor —potencialmente mucho más alto, especialmente en el caso de los combustibles gaseosos— y esto puede aumentar los costos de fabricación para las industrias que consumen mucha energía. Estos costos operativos más altos pueden crear una desventaja competitiva para las empresas cuyos competidores no cumplen con objetivos de descarbonización igualmente ambiciosos, a menos que se mitiguen de otro modo a través de estructuras de incentivos administradas por el estado o los servicios públicos. Además, en la medida en que la industria se traslade a regiones sin objetivos de descarbonización similares, esto puede simplemente reubicar las emisiones globales de GEI en general, en lugar de reducirlas. La sección de las políticas que aparece a continuación analiza algunas formas de abordar este problema, y el **documento de soporte técnico** que acompaña al presente informe proporciona más detalles sobre cuestiones relacionadas con el sector industrial.

EVALUACIÓN CUALITATIVA Y OTROS FACTORES

Además de los resultados de la evaluación cuantitativa de las soluciones alternativas de descarbonización por calentamiento que se presentaron anteriormente, se deben considerar otros factores más cualitativos. Las partes interesadas del sector de la calefacción plantearon varios de estos factores. En algunos casos, las ideas presentadas aquí representan perspectivas que expresaron algunos interesados en particular, pero pueden no todos las comparten. En términos generales, los factores cualitativos que afectan el atractivo y la viabilidad de ciertas soluciones de descarbonización en diversas aplicaciones se clasifican en las siguientes categorías:

- **Déficits de información.** Además de la incertidumbre inevitable sobre los desarrollos futuros que pueden afectar el rendimiento y el costo de las soluciones de calefacción descarbonizadas, hay una falta significativa

de información actual entre los consumidores, instaladores e incluso empresas de servicios públicos y legisladores sobre las alternativas disponibles, cómo funcionan cuando aplicados a escala, los edificios y las zonas geográficas en las que pueden aplicarse, cuánto cuestan y cómo funcionan. Esto se debe, en parte, a que estas tecnologías descarbonizadas son relativamente nuevas y aún no están generalizadas, especialmente en los Estados Unidos. En relación con esto, tampoco hay un «centro único» donde los interesados puedan ir para comprender y comparar las alternativas de calefacción. Los proveedores de varias soluciones de calefacción tienden a ser pequeños y, aunque cada uno esté familiarizado con las soluciones que ofrecen, pocos son capaces de poner las alternativas en contexto y comparar entre las opciones. Una mayor colaboración de la industria, junto con asociaciones estratégicas con la empresa de servicios públicos y el gobierno estatal, pueden ayudar a reducir esta barrera.

- **La asequibilidad de la energía es clave.** Los costos de energía en toda Nueva Inglaterra han sido, durante mucho tiempo, más altos que en otras regiones del país. Mantener la energía asequible durante la transición a una economía descarbonizada es fundamental para todos los residentes del estado y sus negocios. Esto se aplica particularmente para los consumidores de ingresos bajos y moderados, y las poblaciones desfavorecidas; las políticas destinadas a descarbonizar el sector de la calefacción (así como otros sectores) deben diseñarse para proteger a estas poblaciones en particular. Un enfoque que puede ayudar con esto es mejorar la eficiencia con la que se utiliza la energía y, por lo tanto, los programas de eficiencia energética rentables del estado deben seguir vigentes como una forma de ayudar a reducir el consumo de energía y administrar los costos de los clientes a más largo plazo.
- **Reconocer las necesidades de los clientes vulnerables.** Muchos clientes de bajos ingresos residen en viviendas de menor calidad con sistemas de calefacción menos eficaces y menos eficientes. Los costos de energía ya son una carga para muchos de estos clientes. Será importante garantizar que la descarbonización no aumente las cargas de estos clientes y que las políticas creen oportunidades para

que participen en las ventajas de la descarbonización, tanto como consumidores como potencialmente ofreciendo empleo en el lado de la oferta.

- **Preocupaciones de salud y seguridad sobre el gas natural.** El uso de gas natural presenta riesgos para la salud y la seguridad tanto reales como percibidos que pueden evitarse mediante la electrificación. El gas es combustible y crea riesgos cuando se producen fugas de gas en interiores. Además, la combustión de gas en interiores causa problemas de calidad del aire interior (NOx) que pueden provocar efectos perjudiciales para la salud. En este sentido, el uso de gas natural para cocinar puede tener un impacto mayor que la calefacción; mientras que la calefacción consume mucho más gas que la cocina, la calefacción casi siempre tiene salida al exterior, pero la cocina a gas a menudo no tiene salida de aire o no se ventila completamente.
- **Preferencias del consumidor.** La falta de voluntad de algunos consumidores para renunciar a sus cocinas de gas crea una barrera para dejar de usar el gas como combustible de calefacción. Las placas de inducción eléctrica ofrecen un rendimiento comparable al del gas (posiblemente mejor), pero la inducción no es una tecnología muy conocida.
- **Las fugas de metano significan que el gas renovable también emite GEI.** Incluso el gas renovable que se produce completamente sin emisiones de GEI contribuirá a los GEI a través de las fugas, debido al alto potencial de calentamiento global del metano (unas 30 veces mayor que el del CO₂ podría en un plazo de 100 años; 85 veces en 20 años). Las tasas de fuga actuales son sustanciales, del orden del 2,7 %, lo que significa que el impacto de GEI del metano filtrado puede añadir aproximadamente un 30 %-85 % al GEI del CO₂ en los productos de combustión. Si bien las fugas pueden reducirse, no llegarán a cero. Esto limita la capacidad del gas renovable para proporcionar calefacción totalmente descarbonizada.
- **Eficacia de la climatización.** Incluso si las medidas de

climatización son rentables, las tasas de su adopción son relativamente bajas. Es probable que esto se atribuya, al menos en parte, a barreras sin costo, como el hecho de que incluso los tipos de medidas de climatización cubiertas por programas como EnergyWise implican «intrusiones» en los hogares de las personas y, potencialmente, interrupciones en el uso normal del hogar. Esto es aún más evidente en el caso de modernizaciones mayores. La política de eficiencia energética ha evolucionado para abordar algunas de estas barreras, por ejemplo, al combinar el calendario de algunas medidas de eficiencia energética con las auditorías energéticas, pero la «conveniencia» probablemente siga siendo una barrera importante para una mayor adopción de medidas de climatización rentables.

- **Disponibilidad de los instaladores.** Hay una escasez de instaladores disponibles para las tecnologías de bombas de calor y los estrictos requisitos de licencia pueden crear un obstáculo para aumentar el número de instaladores con licencia. Una preocupación compensatoria es que la tecnología de las bombas de calor requiere un instalador bien capacitado para diseñar e implementar un sistema que funcione bien. Los programas de capacitación eficaces y la coordinación de la industria pueden ayudar a abordar estas inquietudes.
- **La electrificación depende de la descarbonización de la producción de electricidad.** El calor electrificante, como el de las bombas de calor, solo resulta en la descarbonización en la medida en que la propia red eléctrica se descarboniza. Tanto los retrasos percibidos como los reales en la descarbonización del sistema eléctrico podrían disminuir la voluntad del consumidor de cambiar a soluciones electrificadas. La descarbonización total del sistema eléctrico de Nueva Inglaterra para satisfacer las fuentes de demanda tradicionales y nuevas, como los vehículos eléctricos y las bombas de calor, para 2050, es probablemente un desafío muy importante.⁸⁰

⁸⁰ Para obtener más información sobre la magnitud de este desafío, consulte The Brattle Group, *Achieving 80% GHG Reduction in New England by 2050*, septiembre de 2019. El informe sugiere que será necesaria una aceleración del despliegue anual de energía renovable de 4 a 8 veces el ritmo anual planificado actualmente para la década de 2020 a 2030 para lograr un sistema totalmente descarbonizado con una demanda significativa de calefacción y transporte electrificados.

- **Los altos costos iniciales son un obstáculo para la adopción.** Las tecnologías de bomba de calor, en particular las bombas de calor geotérmicas, tienen altos costos iniciales que crean una barrera importante para la adopción por parte del consumidor. Este es particularmente el caso de los consumidores de bajos ingresos en ausencia de las políticas que mitiguen los costos iniciales. Las empresas de servicios públicos pueden ayudar a abordar esto en la medida en que puedan financiar los costos iniciales, mediante el financiamiento en la factura o la base de tarifas de parte del costo. Los mecanismos como la titularización o la financiación con bonos verdes pueden ayudar a reducir aún más el costo para los consumidores.
- **Los bajos niveles de utilización causan precios no competitivos.** Las tecnologías de bomba de calor, en particular las relevantes para la calefacción en Rhode Island (GSHP y ASHP para climas fríos), son relativamente nuevas y costosas. Esto hace que los consumidores se enfrenten a un mercado de instaladores relativamente incipiente (y, quizá, no muy competitivo), con precios de las bombas de calor más altos que los precios de las instalaciones de tecnologías más instaladas, como calderas y hornos. Es probable que esto sea particularmente cierto para las GSHP, donde el mercado de pozos geotérmicos también es incipiente, y el precio de la perforación de dichos pozos es potencialmente más alto de lo que sería en un mercado más desarrollado, con volúmenes más altos que permitan economías de escala y competencia.
- **Normas y códigos locales.** Los códigos de construcción y los requisitos de permisos de Rhode Island deben revisarse a través de la lente de la descarbonización del sector de la calefacción a gran escala. En particular, el estado debe trabajar con las comunidades locales y con la industria de la construcción para garantizar que las instalaciones de bombas de calor se puedan implementar de manera viable, al tiempo que se reducen los costos indirectos relacionados con la construcción para mejorar la asequibilidad. Los ejemplos incluyen reglas para perforar pozos geotérmicos en entornos urbanos densos, requisitos de distancia mínima para unidades condensadoras externas y diferentes condiciones de

permisos en diferentes áreas.

- **Dividir los incentivos** Una gran parte de la población de Rhode Island, en particular las poblaciones más desfavorecidas económicamente, no son propietarias de su residencia. Cuando los propietarios que no son inquilinos toman decisiones sobre la tecnología de calefacción, sus incentivos económicos pueden desfavorecer los altos costos de capital, ya que tienden a incurrir en ellos mientras que suelen transferir combustible y otros gastos operativos. Esto, a su vez, puede crear una barrera para la adopción de bombas de calor.

La **tabla 2** se organiza de acuerdo con las diversas soluciones para las tecnologías de calefacción descarbonizada, y resume algunos de los atributos menos fáciles de cuantificar que pueden afectar su atractivo desde la perspectiva de los consumidores individuales o del estado. A su vez, identifica si estos factores tienen implicaciones positivas o negativas para la tecnología en cuestión.

CONCLUSIONES DE LA MODELIZACIÓN ANALÍTICA Y DE LAS ENTREVISTAS CON LAS PARTES INTERESADAS

Los esfuerzos de modelado analítico y la serie de entrevistas a las partes interesadas, y los talleres públicos que se llevaron a cabo en este proyecto han planteado una serie de cuestiones y conclusiones importantes sobre la transformación del sector de calefacción de Rhode Island. Además de reforzar muchas de las conclusiones analíticas, los interesados señalaron otras implicaciones que estaban más allá del alcance de los análisis.

Descarbonizar el sector de la calefacción en Rhode Island significará, principalmente, descarbonizar la calefacción de espacios residenciales y comerciales, ya que estos representan la mayoría de las necesidades de calefacción en el estado. Y se producirá principalmente mediante la modernización de los edificios existentes, ya que la tasa de construcción de edificios nuevos es bastante baja; la mayoría de los inmuebles que existirán en Rhode Island en 2050 ya existen ahora.

Las mejoras en la eficiencia energética de los edificios

Enfoque	Desafío	Comentario
Bombas de calor aerotérmicas (ASHP), Bombas de calor geotérmicas (GSHP)	Madurez del mercado	<ul style="list-style-type: none"> El mercado para las bombas de calor aerotérmicas (ASHP, por sus siglas en inglés) y para las bombas de calor geotérmicas (GSHP, por sus siglas en inglés) está poco desarrollado. Los conocimientos sobre la calidad de la instalación, la competitividad de las ofertas, etc., están poco desarrollados tanto entre los consumidores como entre los contratistas.
GSHP	Restricciones de instalación	<ul style="list-style-type: none"> La instalación de GSHP requiere perforar o excavar. Existen restricciones de autorizaciones físicas y potenciales que hacen que la instalación de GSHP sea un desafío en ciertos casos, como en los barrios densamente poblados y en ciertas formaciones geológicas.
GSHP (algunas ASHP)	Costo inicial	<ul style="list-style-type: none"> Las GSHP requieren costos iniciales significativamente más altos que las ASHP y que los sistemas tradicionales de calderas y hornos. Esto crea barreras para la adopción debido a la negativa o a la incapacidad para pagar estos costos iniciales más altos (incluso si son beneficiosos en promedio durante la vida útil del equipo).
GSHP, ASHP, eficiencia energética	Incentivos divididos	<ul style="list-style-type: none"> Las soluciones con un alto costo de capital pueden ser complejas de implementar en situaciones de alquiler; dado que el inquilino se beneficia del ahorro de energía, el propietario puede tener poca motivación para invertir en un sistema de calefacción más eficiente.
Gas renovable	Fuga de metano	<ul style="list-style-type: none"> El gas renovable proporcionado a través de la infraestructura de tuberías provocará fugas de metano residual. Dado el alto potencial de forzamiento climático del metano, esto reduce la capacidad del gas renovable para proporcionar una calefacción totalmente descarbonizada.
Gas renovable	Calidad del aire interior	<ul style="list-style-type: none"> Al igual que con el gas natural, el uso de gas renovable para calefaccionar y especialmente para cocinar produce combustión en interiores, lo que puede provocar una mala calidad del aire interior, así como riesgos para la salud.
Gas renovable	Efectos de las fugas de gas	<ul style="list-style-type: none"> Al igual que con el gas natural, las fugas de gas renovable en interiores presentan riesgos para la salud y la seguridad.
Combustibles renovables	Reducción de GEI	<ul style="list-style-type: none"> Debido en gran parte a problemas de uso del suelo, es difícil o imposible eliminar todas las emisiones del ciclo de vida de los GEI de algunos combustibles renovables, como los derivados de los cultivos combustibles.
Modernizaciones profunda	Implementación e interrupción	<ul style="list-style-type: none"> Las reformas de eficiencia energética profunda (aislamiento de paredes, reemplazo de ventanas, etc.) requieren intervenciones disruptivas, que crean barreras adicionales más allá de los posibles problemas de rentabilidad.

TABLA 2: DESAFÍOS CUALITATIVOS QUE AFECTAN A LAS ALTERNATIVAS DE CALEFACCIÓN DESCARBONIZADA

Aclaración: Los desafíos para una solución representan una ventaja para aquellos procedimientos alternativos que no enfrentan un desafío similar.

existentes serán un componente importante de la descarbonización, ya que reducen la cantidad de calor que se debe proporcionar. Los requisitos de calefacción de un edificio existente generalmente se pueden reducir en, aproximadamente, un 15 % a un costo razonable con simples mejoras de eficiencia (burletes, sellado de aire, aislamiento del ático), lo que ahorra dinero a los consumidores y reduce las emisiones. Sin embargo, las mejoras de eficiencia mucho mayores tienden a ser costosas y disruptivas en los edificios existentes, y pueden no ser rentables. Esto significa que seguirá siendo necesario suministrar cantidades significativas de calor a estos edificios, y que el calor debe descarbonizarse.

Existen dos vías amplias para descarbonizar la calefacción de espacios: electrificar la calefacción mediante bombas de calor con electricidad descarbonizada o usar combustibles renovables descarbonizados (combustibles gaseosos o líquidos) en calderas y hornos como los que se utilizan, actualmente, con combustibles fósiles para calefacción. Cada una de estas vías y las tecnologías que las implementan tiene sus ventajas, y cada una, también, enfrenta ciertos desafíos.⁸¹

Los combustibles renovables tienen una ventaja significativa porque permiten el uso continuo de la infraestructura existente con pocos o con ningún cambio, tanto para la infraestructura de suministro como en el sitio del cliente. Sin embargo, es probable que solo haya cantidades limitadas disponibles a precios moderados y, si se utilizan ampliamente para calefacción (en cualquier parte de los Estados Unidos, ya que el mercado de dichos combustibles será regional o nacional), es probable que el precio de los combustibles renovables sea bastante alto, especialmente el precio del gas renovable en comparación con el gas natural actual que es ampliamente asequible. El gas renovable enfrenta desafíos adicionales. Las fugas desde las tuberías, desde el sistema de

distribución y desde las instalaciones del cliente generan importantes emisiones de GEI, incluso si el gas en sí está completamente descarbonizado. Las fugas en interiores también pueden crear riesgos de seguridad, y la combustión en interiores está asociada con riesgos para la salud debido al efecto en la calidad del aire interior.

Entre las soluciones de electrificación descarbonizadas, tanto las bombas de calor geotérmicas como las bombas de calor aerotérmicas para clima frío pueden cumplir con los requisitos de calefacción de los edificios de Rhode Island. A pesar de que las bombas de calor aerotérmicas experimentan una pérdida de eficiencia a bajas temperaturas exteriores, son capaces de satisfacer todos los requisitos de calor de un edificio.⁸² Sin embargo, esta pérdida de eficiencia puede crear algunos desafíos si la ASHP se implementa ampliamente. La electricidad necesaria para alimentar muchas ASHP, que funcionan de manera ineficiente en condiciones de frío extremo, crearía un aumento significativo en la demanda máxima del sistema eléctrico, lo que elevaría los precios de la electricidad. Las bombas de calor geotérmicas extraen calor del subsuelo, donde la temperatura es casi constante, por lo que no experimentan esta pérdida de eficiencia a temperaturas exteriores frías, ni contribuyen indebidamente a los picos de carga eléctrica y los precios. Sin embargo, requieren un costo inicial adicional significativo para instalar el bucle de tierra. Tanto para las ASHP como para las GSHP, la instalación de bombas de calor por sí sola no descarboniza el calor; es necesario, también, descarbonizar el suministro de electricidad.

Es probable que todas las alternativas para el calor descarbonizado sean algo más costosas que el calor de gas natural fósil hoy en día y, quizá, muy a la par con el costo de la calefacción con aceite, propano o resistencia eléctrica. Con base en la información disponible ahora, y teniendo en cuenta las incertidumbres sustanciales que afectan los costos futuros de todas las soluciones

81 Uno de los desafíos prácticos será financiar los programas de incentivos y educación del consumidor, que son necesarios para lograr los objetivos de descarbonización. Este informe no aborda el costo total de tales iniciativas ni los mejores medios para financiarlas, pero serán cruciales para garantizar la entrega de un futuro de calefacción descarbonizada que funcione para todos los habitantes de Rhode Island y para la economía del estado.

82 Para un sistema de bomba de calor aerotérmica, puede ser económico usar una fuente de calor suplementaria (por ejemplo, resistencia eléctrica o mantener un sistema de calor fósil existente, durante un período provisorio) para evitar tener que instalar una ASHP muy grande para cubrir las necesidades en el pico de calor.

de calefacción descarbonizadas (el precio de los combustibles renovables, el costo inicial de la instalación de bombas de calor y bucles de tierra, y el precio de la electricidad), no está claro que ninguna de las soluciones descarbonizadas serán materialmente más rentables que las demás. Esto ocurre tanto en las viviendas residenciales unifamiliares como, por extensión, en las estructuras residenciales y comerciales multifamiliares más grandes.

De hecho, la amplia diversidad de edificios y situaciones existentes sugiere que la rentabilidad y, a veces, la viabilidad de cualquier enfoque depende significativamente de las circunstancias locales y específicas del edificio. Por ejemplo, puede haber desafíos para instalar la GSHP en entornos urbanos densos y donde la geología local no es adecuada para un bucle de tierra. Esto llevará a que se elijan diferentes soluciones en diferentes circunstancias, y es probable que Rhode Island tenga una amplia combinación de estas tecnologías de calefacción descarbonizadas (ASHP, GSHP, gas renovable y aceite renovable) para 2050 en adelante. Esta probabilidad de una combinación de tecnologías se ve reforzada por el hecho de que si se depende completamente de cualquiera de ellas para todas las necesidades de calor, tendería a exacerbar sus propias desventajas: el impacto máximo eléctrico de la ASHP, el alto costo inicial de la GHSP y los límites en el suministro de combustibles renovables. Y el análisis de una solución mixta destaca un desafío particular para el sistema de gas actual: que el volumen de gas perdido por la electrificación o la eficiencia aumentará el costo de

suministro del gas, lo que impondrá riesgos a los clientes que no pueden dejar el gas fácilmente.

Esta advertencia sobre la falta de una solución tecnológica dominante se ve reforzada por una observación cualitativa de las entrevistas con las partes interesadas. Además de la incertidumbre inevitable sobre el rendimiento y los costos futuros, hay un «enorme déficit de información» y una falta de comprensión de las alternativas de calefacción descarbonizadas entre los consumidores, los instaladores e incluso los responsables de la formulación de políticas. También hay pocos proveedores de soluciones térmicas descarbonizadas y no hay un centro único de información que les permita a los consumidores comprenderlas y compararlas. Esta falta de información presenta en sí misma una barrera para comenzar la transición.

Una implicación importante que puede derivarse de la incapacidad de identificar una «vía de descarbonización preferida» es que, probablemente, sea prematuro interrumpir las opciones. Por ejemplo, no es momento de empezar a dismantelar la infraestructura de gas existente, ya que mantenerla, al menos por ahora, mantiene abiertas las opciones. Del mismo modo, también puede ser mejor evitar inversiones grandes y duraderas en cualquier tecnología o infraestructura en particular, ya que no hay garantía de que la inversión siga siendo útil a largo plazo.

La siguiente sección explora con cierta profundidad una serie de implicaciones de las políticas de estas observaciones que surgieron del esfuerzo analítico y de las entrevistas con las partes interesadas.



Elecciones de políticas para transformar el sector de calefacción de Rhode Island

El sector de la calefacción se caracteriza por una serie de características que justifican la intervención política, incluida la presencia de externalidades o bienes públicos, economías de escala, fallas de información, barreras financieras, monopolios naturales, etc. Las emisiones de gases de efecto invernadero son una externalidad clásica, aunque no la única: la otra es el impacto de la elección de la tecnología de calefacción individual en la carga máxima y el precio de la electricidad. También hay una considerable falta de conciencia entre los consumidores, los responsables políticos e incluso los instaladores sobre el estado actual y el posible desarrollo futuro de las tecnologías de calefacción descarbonizadas. A su vez, hay economías naturales de escala y alcance en las que la acción coordinada puede facilitar, acelerar y reducir el costo de la descarbonización del calor. Los beneficios ampliamente compartidos y las interacciones del sistema que acompañarán a la descarbonización hacen que las intervenciones de las políticas sean justificadas y necesarias. Estas intervenciones pueden acelerar y facilitar la transformación del sector de la calefacción y compartir los costos individuales dispares que probablemente asumirán los clientes individuales.

Los análisis que subyacen a este informe concluyen que, sobre la base de la información disponible actualmente, ninguna de las vías de descarbonización identificadas es evidentemente mejor que las otras. La solución de calefacción descarbonizada más adecuada y económica sigue siendo incierta y puede depender de las circunstancias únicas del cliente. Por ejemplo, el costo a largo plazo de los

combustibles renovables es muy incierto, especialmente si deben suministrar volúmenes de combustible similares a los actuales. También es incierta la capacidad de superar las barreras de despliegue de las bombas de calor geotérmicas, y el costo de las bombas de calor y el precio de la electricidad de una red totalmente descarbonizada. Además, el costo y la aplicabilidad de estas soluciones a cualquier edificio en particular (ya existente), a menudo, dependerán de sus circunstancias únicas. Parece probable que, sobre una base puramente económica, el calor descarbonizado sea más costoso que la solución fósil más barata de la actualidad (gas natural), aunque no necesariamente en comparación con el aceite o el propano.

Por estas razones, en lugar de requerimientos tecnológicos distintos que pueden dictar prematuramente los resultados tecnológicos y económicos, es apropiado desarrollar un conjunto de principios de política para guiar el desarrollo de políticas, dando flexibilidad para responder a circunstancias e información cambiantes. A corto y mediano plazo, la política debe seguir siendo independiente de la tecnología sobre la transformación a largo plazo, al tiempo que promueve la demostración temprana y el desarrollo de una serie de tecnologías prometedoras y estructuras de programas para aprender y llenar el vacío de información, así como tomar medidas para preparar el sistema de calefacción para el futuro sin fijarse en ningún camino en particular. La atención debe centrarse en actividades tempranas que no solo logren reducciones de emisiones (aunque eso es importante), sino que, también, faciliten una aceleración drástica de la descarbonización en el futuro.

PRINCIPIOS DE LA POLÍTICA

La incertidumbre sobre los mejores enfoques de descarbonización a largo plazo, la falta de información y experiencia, así como la necesidad de avanzar rápidamente en la transformación de la calefacción sugieren varios principios para el desarrollo de políticas, que se exponen a continuación en esta sección.

Garantizar el progreso: Colectivamente, el conjunto de políticas elegido debe garantizar que se realicen progresos materiales en la descarbonización. Una forma de hacerlo es descarbonizar todas las vías de calefacción posibles, de modo que sea cual sea la ruta que elijan los consumidores individuales, el sector general de la calefacción en Rhode Island avance hacia la descarbonización. Esto podría tomar la forma de descarbonizar la electricidad que alimentará las bombas de calor que se desplieguen y, al mismo tiempo, descarbonizar los combustibles de calefacción a base de combustibles fósiles para los clientes que siguen dependiendo de los hornos y calderas tradicionales. En cuanto a la electricidad, el decreto emitido por el Gobernador Raimondo que exige electricidad 100 % renovable para 2030 (EO 20-01) es un importante paso adelante.⁸³ Rhode Island también ha dado un paso inicial hacia la descarbonización de los combustibles fósiles tradicionales para calefacción con un requisito de mezcla de biodiésel del 5% para el aceite de calefacción en el estado. Extender este requisito de mezcla al sistema de gas natural y aumentar la participación a lo largo del tiempo, en última instancia, al 100 % tanto para el gas como para el aceite, garantizará la descarbonización definitiva, independientemente de la vía que elijan los clientes en última instancia.

Aprovechar las «oportunidades de inversión natural»:

La infraestructura de calefacción, como los componentes del cerramiento de los edificios, las calderas u hornos, las

tuberías de distribución de gas, las líneas eléctricas, etc., tiene una vida útil muy larga y se reemplaza o actualiza con poca frecuencia. Por lo general, es mucho menos costoso (y, por lo tanto, más rentable) cambiar dicha infraestructura en un momento en que, de lo contrario, la infraestructura existente sería reemplazada (o pronto será reemplazada), reparada o incluso simplemente se accedería en el curso normal de las operaciones. Esto tiene dos implicaciones. En primer lugar, a menudo será mejor programar un cambio en el sistema de calefacción para que coincida con dichas intervenciones, ya que en ese momento implicará menos costos incrementales y menos interrupciones, por ejemplo, al programar la instalación de una bomba de calor con el final de la vida útil de un horno para ahorrar costos. Dado que la vida útil típica de un horno o caldera es de aproximadamente 25 años, un inicio rápido significa que estas oportunidades de inversión natural pueden ocurrir una vez en promedio para cada edificio para 2050.⁸⁴ De manera similar, las modificaciones para mejorar la eficiencia del cerramiento de un edificio son más económicas cuando la estructura se modifica de otro modo, particularmente para algunas de las intervenciones más invasivas y costosas. Estos puntos de intervención solo pueden ocurrir una vez durante los próximos 30 años. Para los clientes con sistemas de calefacción instalados recientemente o viviendas recién construidas, es posible que no ocurra en absoluto. Este principio se aplica en varios niveles: al reemplazo de un horno o caldera en una vivienda residencial individual al final de su vida normal, así como a la infraestructura de distribución de gas y electricidad cuando se reemplazan o mejoran sus componentes. En cualquiera de los casos, será menos costoso transformar el sistema si las actividades de descarbonización se programan para cuando se debe hacer una inversión significativa diferente en el curso normal de los negocios. Aprovechar las oportunidades de inversión natural también implica evitar fijar las soluciones de calefacción que emiten GEI cuando se realizan inversiones más grandes.

⁸³ Incluso con Rhode Island logrando una meta 100 % renovable para 2030, el estado sigue interconectado y depende del sistema regional de generación y transmisión de Nueva Inglaterra. Dado que seguirá viéndose afectada por la electricidad de combustibles fósiles de esta manera, los esfuerzos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el resto de Nueva Inglaterra serán igualmente importantes.

⁸⁴ Esto plantea otro punto, que es que puede resultar bastante difícil transformar el sistema de calefacción de un edificio cuando el sistema de calefacción ha fallado realmente. La urgencia de restablecer el calor probablemente conduzca a un reemplazo de emergencia por un horno o caldera similar (rápido y relativamente simple, ya que no es necesario cambiar otras partes del sistema), lo que no daría tiempo para considerar, planificar e implementar una solución de calefacción diferente. Esto apunta al valor de planificar tales cambios de manera sistemática y con suficiente antelación para que ocurran cuando el sistema de calefacción esté envejeciendo, pero antes de la falla real.

Ampliar el horizonte de planificación y garantizar el futuro:

Debido a que muchas inversiones relacionadas con la calefacción durarán décadas, las inversiones deben realizarse teniendo todo esto en cuenta. Esto puede ser particularmente importante para el sistema de transmisión y distribución eléctrica, donde es probable que las actualizaciones del sistema de distribución sean necesarias en las próximas décadas, para adaptarse a la penetración de vehículos eléctricos y a una producción de energía potencialmente más descentralizada (como la energía fotovoltaica solar en los techos). Dado que las actualizaciones del sistema de distribución probablemente impliquen un elemento significativo de «costos fijos» (implementación de trabajadores y equipos), el costo incremental puede ser modesto para realizar actualizaciones mayores que las que se necesitan inmediatamente, y crearía capacidad adicional para adaptarse a las necesidades a largo plazo, incluidas la posible electrificación de la calefacción, evitando, así, la necesidad de actualizar la capacidad varias veces en incrementos más pequeños.

Implementar mejoras sin arrepentimientos – pero no termina ahí:

Es probable que se puedan hacer algunos cambios que calificarían como acciones «sin arrepentimientos» en el sentido de que serán valiosas, independientemente de los desarrollos futuros en el sector de la calefacción. Dichas políticas deben seguirse hasta donde puedan ser identificadas, pero es probable que las políticas tengan que ir mucho más allá de tales acciones sin arrepentimientos. La magnitud y la velocidad de la transformación necesaria significan que se debe implementar una amplia gama de enfoques para avanzar lo suficiente con la rapidez adecuada. Esto incluirá algunas que no se garantiza que sean «exitosas» en todos los estados futuros del mundo, aunque incluso las políticas que no parecen tener éxito, a menudo, proporcionan información y experiencia de valor, que pueden promover el objetivo final. Por suerte, hay muchas acciones políticas que no requieren grandes gastos de recursos ni compromisos irreversibles, ni tampoco excluyen soluciones alternativas importantes. Muchos de estos implican inversiones relativamente pequeñas para aprender o difundir información sobre el costo y la eficacia de las tecnologías de calor descarbonizado. Los proyectos piloto y de demostración, o las campañas de información dirigidas al público (consumidores), los instaladores de

equipos e incluso los legisladores pueden ser formas relativamente económicas de ampliar el conjunto de información, y permitir una transición más rápida y fluida. La planificación también tiene un costo relativamente bajo y facilita el hecho de considerar múltiples alternativas en lugar de excluir opciones. Esto incluye el desarrollo de planes para acciones que quizás nunca se tomen, donde el acto de planificación extrae información útil e identifica qué acciones serían necesarias para implementar el plan, mucho antes de un punto de decisión real. Las empresas de gas y electricidad pueden estar en una buena posición para desarrollar planes de alto nivel acerca de cómo podrían implementar o facilitar una transformación junto con cualquiera de las vías, y pueden identificar barreras para que puedan abordarse antes de que desaceleren el progreso.

Aprender y compartir información: Dado el estado limitado de la información sobre las vías de descarbonización en el sector de la calefacción, hay un margen sustancial para los esfuerzos para promover el aprendizaje y el intercambio de información. Los esfuerzos podrían adoptar la forma de campañas de información pública, proyectos piloto y de demostración (lo mejor sería si les da buena publicidad), etc. Dichos esfuerzos pueden acelerar y facilitar la descarbonización junto con varias de las posibles vías, en parte ayudando a generar el apoyo público y político necesario. Se puede aprender mucho de proyectos ya realizados o que están en proceso, y de sistemas ya disponibles en otros lugares. Pero los proyectos piloto y de demostración locales también pueden ser útiles para aprender cómo se pueden aplicar las tecnologías y los enfoques en las circunstancias de Rhode Island. A su vez, pueden desempeñar un papel importante en la divulgación y diseminación de información.

Planifique las contingencias: Teniendo en cuenta el alcance y la falta de familiaridad de la transformación necesaria, y las incertidumbres sobre el costo final y el rendimiento de las vías alternativas, es de vital importancia comenzar a planificar la transición desde el principio. Esto no significa (solamente) planificar qué acciones específicas se tomarán, aunque en última instancia es necesario. También significa desarrollar planes de contingencia razonablemente bien especificados, aunque de alto nivel, para una gama de posibles vías y posibles futuros, como una forma de identificar las oportunidades y los obstáculos que

se pueden encontrar, y comenzar a avanzar en abordarlos. Por ejemplo, dado que hay, al menos, una posibilidad de que se dependa en gran medida de las bombas de calor de fuente aérea, será útil explorar cómo se pueden manejar los impactos de los picos de electricidad y las posibles formas de mitigarlos. De manera similar, aunque todavía no está claro que la descarbonización implicaría una gran disminución de los volúmenes de gas suministrado, no obstante, será útil comprender cómo esto afectaría al sistema de gas y desarrollar enfoques para abordarlo. Con el tiempo, a medida que avance la transformación y se aprenda más, los planes de contingencia se podrán actualizar y, en última instancia, es probable que se puedan implementar algunos de ellos.

Dejar abiertas todas las opciones: Debido a las grandes incertidumbres sobre el costo (y, en menor medida, el rendimiento) de las diversas vías de descarbonización, no está claro ahora cuál, de haber una, dominará en última instancia. En estas circunstancias, es importante evitar el cierre de vías de descarbonización potencialmente prometedoras, y será igualmente importante abrir vías potenciales mediante el uso de algunos de los principios aquí mencionados, para determinar cómo podrían implementarse, y conocer sus beneficios y costos. Las actividades de planificación de contingencia y de aprendizaje se pueden utilizar para identificar y seleccionar el camino correcto, y también facilitarán la implementación final. Por ejemplo, es casi seguro que sea demasiado pronto para comprometerse a abandonar o a reducir el sistema de suministro de gas, pero será útil planificar cómo optimizarlo para aprovechar el gas renovable donde sea más importante. Esto podría significar la expansión del sistema de gas en zonas industriales con pocas alternativas para la quema de combustible, mientras se restringen, quizá, las nuevas conexiones residenciales donde haya alternativas disponibles.

La planificación de formas de descarbonizar ambas vías (combustibles renovables y bombas de calor eléctricas) puede preservar un conjunto diverso de soluciones alternativas y, al mismo tiempo, clarificar compensaciones. De hecho, debido a la diversidad de edificios, geología, infraestructura, etc. en Rhode Island, es muy poco probable que una sola tecnología de descarbonización domine

en todos los casos por igual. Esto implica que la solución definitiva, probablemente, incluirá, al menos, parte de cada enfoque: eficiencia de edificios, bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas, combustibles renovables. Dado que la cantidad de cada uno que debe implementarse en última instancia será, seguramente, mayor de lo que existe actualmente. Comenzar ahora a seguir todas estas vías simultáneamente puede que sea un paso positivo hacia la descarbonización, y puede ser particularmente útil cuando las acciones están dirigidas a las oportunidades de compartir información y aprendizaje. A medida que se aprende más, si una de las tecnologías comienza a verse relativamente mejor que las otras, los esfuerzos de implementación pueden cambiar hacia ella, dándole un papel más importante en la combinación definitiva, sin lamentar la implementación temprana de otros enfoques.

UNA HOJA DE RUTA DE LA POLÍTICA PARA LOS PRÓXIMOS 10 AÑOS

Transformar el sector de la calefacción de Rhode Island durante las próximas tres décadas es un desafío importante y requiere lograr avances significativos no solo en un futuro lejano, sino también (y quizás de manera crítica) en la próxima década. Si bien puede resultar tentador tratar de identificar la mejor solución o estrategia tecnológica, los análisis realizados para este proyecto y presentados anteriormente sugieren que, al menos en la actualidad, tal enfoque político sería, en el mejor de los casos, prematuro.

Por lo tanto, un plan de trabajo de las políticas para los próximos diez años debe abordar la falta de claridad sobre cuáles enfoques de descarbonización específicos son más rentables y, por lo tanto, merecen apoyo. A su vez, la realidad de que tanto el costo como la implementación, probablemente, serán específicos de la aplicación y del cliente; y que hacer progresos reales y establecer las bases para acelerar la descarbonización del sector de la calefacción en los próximos diez años es una tarea urgente para la próxima década. Esto se produce en un contexto en el que el calor descarbonizado, en muchos casos, no es económico en comparación con el uso continuo de los combustibles fósiles, en particular el gas natural, aunque puede ser a la larga, según el análisis realizado. En lo positivo, es poco probable que las

Garantizar	Aumentar la eficiencia y reducir el contenido de carbono a cero de todos los combustibles con el paso del tiempo – se asegura el progreso independientemente de las tecnologías que se utilicen
Aprender	Recopilación de datos, I+D, proyectos piloto para entender las tecnologías, la infraestructura y los clientes
Informar	Educar a las partes – clientes, instaladores, legisladores – sobre los pros y los contras de las opciones, las interacciones del sistema, etc.
Habilitar	Facilitar la implementación con incentivos; apuntar a las oportunidades de inversión natural; alinear las regulaciones, reglas y códigos; expandir la fuerza laboral
Planificar	Ampliar el horizonte de planificación; desarrollar ahora planes de contingencia a largo plazo y de alto nivel (sin comprometerse aún) y utilizarlos para guiar la política a corto plazo

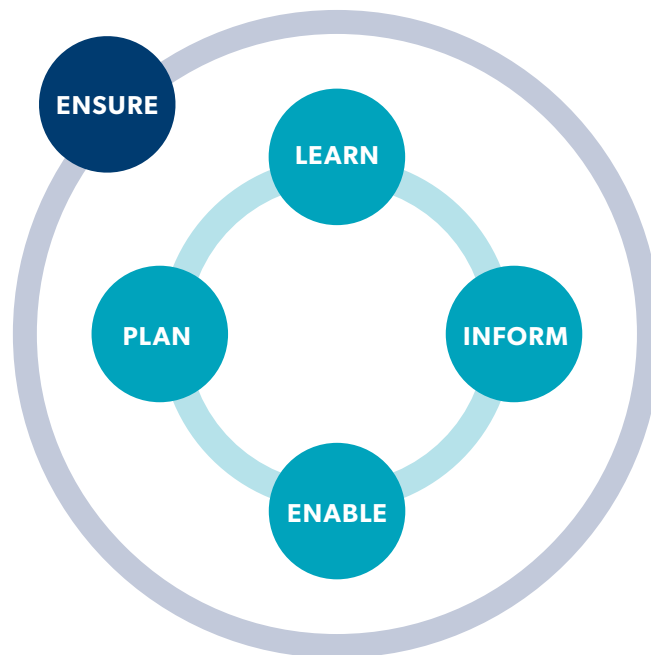


GRÁFICO 29: TEMAS PARA GUIAR LAS RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS TEMPRANAS

medidas políticas que ayudan a avanzar en cualquiera de los enfoques identificados generen arrepentimientos en retrospectiva. Con el aprendizaje y la disponibilidad de más información con el correr del tiempo, será valioso reevaluar periódicamente el atractivo relativo de las diversas soluciones y, posiblemente, revisar las políticas correspondientemente.

1. Temas de la política para el corto plazo

En este contexto, varios temas deberían guiar acciones concretas de las políticas durante la próxima década. Se resumen en **el gráfico 29** y se describen más adelante, junto con algunas sugerencias de políticas específicas. Estos temas se superponen hasta cierto punto; no son categorías mutuamente exclusivas, sino que sirven como una forma útil de organizar las ideas de la política que siguen a continuación, en función de sus objetivos y efectos.

a. Garantizar

Las medidas políticas que garantizan el progreso temprano hacia la calefacción sin carbono, independientemente de qué tecnología de calefacción pueda ser favorecida en última

instancia, representan la columna vertebral de políticas más específicas diseñadas para aprender, informar, habilitar y planificar. Por ejemplo, en la medida en que el contenido de carbono de todos los «combustibles» de calefacción disponibles disminuya con el tiempo hasta (casi) cero, se puede garantizar una descarbonización exitosa. Hay muchos enfoques de la política para garantizar el progreso. Estos incluyen políticas de reducción de GEI neutras en cuanto al combustible y la tecnología, el mantenimiento o la ampliación del apoyo a las actividades en curso que contribuyen a la descarbonización de la calefacción, etc. Si se estructuran adecuadamente, las políticas que garantizan la reducción temprana de GEI también pueden ofrecer beneficios a largo plazo, como el aprendizaje, la información o la expansión. capacidades de entrega, lo que puede aumentar su impacto. Rhode Island puede implementar algunas de estas políticas relativamente fácil, mientras que otras probablemente se beneficiarían significativamente de la coordinación regional o incluso nacional. Algunos ejemplos de dichas políticas incluyen lo siguiente:

- **Desarrollar políticas que garanticen la descarbonización gradual de todos los «combustibles» de calefacción**, de manera que

incluso si se siguen quemando combustibles, las emisiones de GEI disminuirán.⁸⁵ Las políticas de esta categoría incluyen, pero no se limitan a las normas de «combustibles» renovables o mandatos de descarbonización específicos de combustibles, programas de límites máximos y comercio, o una construcción de impuestos al carbono. Dado el tamaño y la conexión de Rhode Island con Nueva Inglaterra, es probable que cualquier política de este tipo se beneficie significativamente de la coordinación regional. Algunas políticas existentes podrían ampliarse o utilizarse como modelo para desarrollar enfoques relacionados con la calefacción. Por ejemplo, la Iniciativa Regional sobre los Gases de Efecto Invernadero (RGGI, por sus siglas en inglés) es un programa de límites máximos y comercio, que cubre las emisiones de la mayoría de las plantas de energía del sector eléctrico. Podría ampliarse para incluir más plantas o sectores, como el programa de límites máximos y comercio en vigor en California que se amplió con el tiempo para incluir fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero distintas de las del sector eléctrico. Del mismo modo, las normas de energía renovable (RES, por sus siglas en inglés) pueden ampliarse al sector de la calefacción, lo que exige una disminución del contenido de carbono (o una mayor proporción de «combustible» renovable o limpio) en todos los «combustibles» de calefacción o para cada uno por separado. Ejemplos Los principios incluyen el estándar de combustibles bajos en carbono (LCFS, por sus siglas en inglés) de California, que es un programa que requiere la descarbonización en todos los combustibles de transporte, o los requisitos de mezcla específicos de combustible, como el requisito de mezcla de biodiésel al 5 % para el combustible de calefacción que se usa, actualmente, en Rhode Island. Por último, los programas estándar de cartera renovable (RPS, por sus siglas en inglés) térmicos renovables están comenzando a introducirse en varios estados, incluidos demás lugares en Nueva Inglaterra. Los RPS térmicos renovables

pueden adoptar muchas formas, pero generalmente dan lugar a la creación de «certificados de energía renovable» (REC, por sus siglas en inglés) que se cuentan para un objetivo cada vez mayor. En algunos estados, los requisitos térmicos renovables se combinan con los requisitos de electricidad renovable, mientras que en otros los objetivos térmicos y eléctricos se desarrollan por separado.⁸⁶

El sector eléctrico de Rhode Island ya tiene objetivos de descarbonización a nivel regional y estatal, como los incluidos en la iniciativa regional de gases de efecto invernadero (RGGI, por sus siglas en inglés),⁸⁷ el estándar de energía renovable de Rhode Island existente,⁸⁸ así como la orden ejecutiva recientemente emitida para alcanzar el suministro de electricidad 100 % renovable para 2030.⁸⁹ Por lo tanto, un enfoque sería desarrollar políticas de descarbonización similares para los otros combustibles de calefacción, ya sea en el marco de un programa o sobre una base específica de combustible, con enfoques específicos de combustible que probablemente se implementen más fácilmente que las políticas que cubren múltiples combustibles. El requisito de mezcla de biodiésel, actualmente en funcionamiento, podría utilizarse como base para exigir la descarbonización de los combustibles suministrados a lo largo del tiempo. Dependiendo del ritmo de descarbonización deseado, el requisito de mezcla de biodiésel aumentaría con el tiempo, como se ilustra en **el gráfico 30**.

Para lograr la descarbonización total para 2050, el contenido renovable de los combustibles para calefacción tendría que aumentar casi un 3,5 % cada año, lo que daría lugar a un requisito de mezcla de biodiésel de alrededor del 36,5 % para 2030.

Actualmente no está claro cómo un mandato de este tipo (o una norma de combustible de calefacción limpia más amplia) afectaría el precio del combustible entregado

⁸⁵ «Combustibles» se refiere a todas las fuentes de energía de calefacción, incluyendo electricidad, gas natural, aceite, propano y madera.

⁸⁶ Para obtener una descripción de los enfoques recientes de RPS térmicos renovables, consulte Clean Energy States Alliance, Renewable Thermal in State Renewable Portfolio Standards, julio de 2018

⁸⁷ Para obtener más información sobre RGGI, consulte <https://www.rggi.org/program-overview-and-design/elements>

⁸⁸ Para obtener más información sobre la RES de Rhode Island, consulte <http://www.ripuc.ri.gov/utilityinfo/res.html>

⁸⁹ http://www.governor.ri.gov/documents/orders/ExecOrder_17-06_06112017.pdf

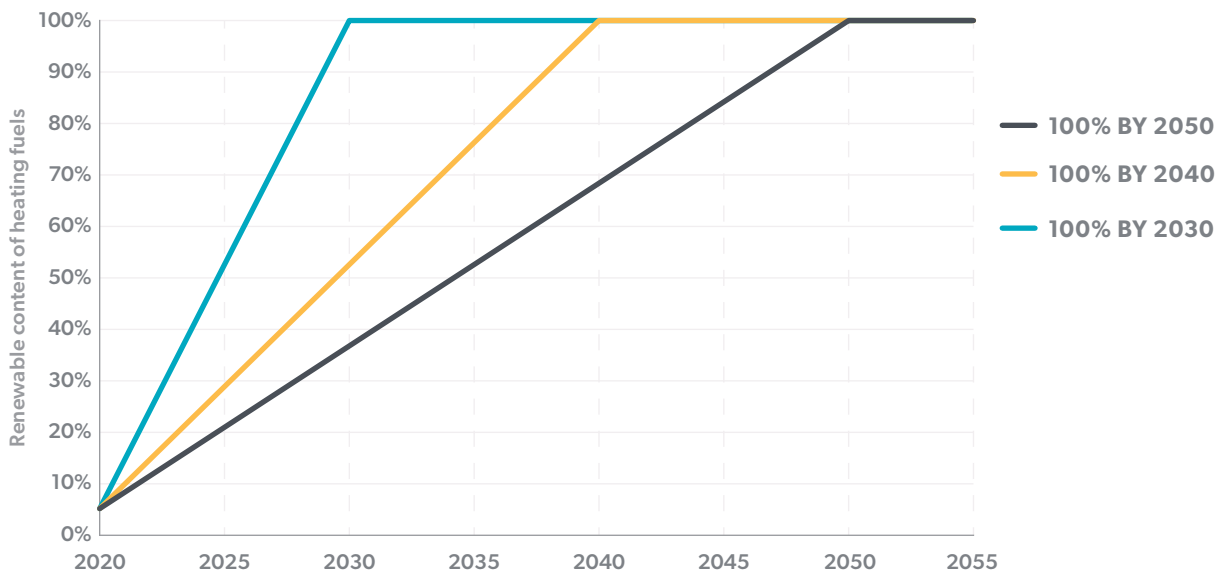


GRÁFICO 30: MANDATOS ILUSTRATIVOS DE MEZCLAS DE BIODIÉSEL QUE DAN COMO RESULTADO LA DESCARBONIZACIÓN TOTAL DEL COMBUSTIBLE ENTREGADO PARA 2030, 2040 O 2050.

a lo largo del tiempo, ni cómo el aumento potencial de los precios del combustible afectaría la demanda de cada combustible para calefacción. Sin embargo, dada la incertidumbre sobre cómo evolucionan los costos y el suministro de varias soluciones de calefacción descarbonizadas con el tiempo, exigir la descarbonización gradual de todos los combustibles para calefacción proporciona, precisamente, la capacidad necesaria para permitir que las fuerzas del mercado, el progreso tecnológico y las preferencias del consumidor determinen cómo la calefacción sector en Rhode Island se descarboniza con el tiempo.

- **Reconocer los impactos en los costos de la descarbonización de combustibles y abordarlos de manera proactiva.** La descarbonización de los combustibles a través de uno de los enfoques descritos generará impactos en los costos para los clientes de todas las clases. Considerar las políticas que tengan en cuenta estos impactos y puedan mitigarlos. Esto puede ser particularmente importante para los clientes de ingresos bajos y moderados, así como para los clientes industriales que compiten en mercados globalizados. Es crucial que los legisladores del estado, las agencias

y los reguladores colaboren activamente con las organizaciones de servicios públicos y defensa de los consumidores para estructurar cuidadosamente las estrategias de inversión en calefacción y abrir oportunidades creativas para la eficiencia de costos. Estas estrategias deben desarrollarse en el contexto de otras inversiones cruciales relacionadas con el cambio climático, como la aceleración de la generación renovable y la transformación de la red eléctrica para permitir una mayor penetración de los recursos de energía limpia.

- **Ampliar las mejoras rentables de eficiencia energética** para reducir las necesidades generales de calor y apoyar la entrega de soluciones de calefacción sin carbono o bajas en carbono. Rhode Island ha demostrado liderazgo e innovación a nivel nacional en cuanto a eficiencia energética y medidas de adquisición de menor costo. Debería mantener y ampliar estos esfuerzos para desarrollar aún más la fuerza laboral, la cadena de suministro y los mercados necesarios para ofrecer medidas de eficiencia de construcción rentables adicionales, por ejemplo, renovando y fortaleciendo el estatuto de adquisiciones de menor costo.⁹⁰ Esto

⁹⁰ <http://www.energy.ri.gov/policies-programs/ri-energy-laws/least-cost-procurement-2006.php>

debe incluir la búsqueda de oportunidades adicionales de intervención, particularmente en los «momentos de inversión» en los que la eficiencia se puede mejorar con un bajo costo incremental en relación con las mejoras de los edificios o el mantenimiento que se está llevando a cabo por otras razones. Además, los programas de eficiencia de los edificios deben ser neutros en cuanto al combustible, independientes del combustible de calefacción utilizado, y coordinar la entrega de soluciones de calefacción alternativas a través de programas de eficiencia energética puede facilitar su entrega. La experiencia reciente demuestra que National Grid está esencialmente a punto de realizar auditorías de eficiencia de todos los edificios de Rhode Island en las próximas décadas, aunque solo alrededor de un tercio de las auditorías conducen a proyectos de climatización.⁹¹ En línea con el tema de la política de aprovechar las oportunidades de inversión natural, esto sugiere que el aumento de las tasas de conversión de las auditorías en climatización debería ser una de las áreas focales durante la próxima década. Las medidas de eficiencia rentables adicionales reducen los costos generales para los habitantes de Rhode Island, lo que es particularmente importante en el contexto de la descarbonización del sector de la calefacción.

- **Tarifas verdes voluntarias** que permiten a los clientes obtener una mayor parte de su energía de fuentes renovables (quizás para gas y electricidad) podrían atraer la confianza de los clientes para acelerar el ritmo de la descarbonización.

Una vez que se implementen las políticas para garantizar el progreso hacia la descarbonización del sector de la calefacción, independientemente del combustible o la tecnología de calefacción que se utilice, los esfuerzos durante la próxima década deben centrarse en el aprendizaje, la información, la capacitación y la planificación.

b. Aprender

Una respuesta obvia a la incertidumbre es aprender más sobre los costos, el rendimiento y la viabilidad

práctica de las alternativas de sistemas de calefacción descarbonizados. El aprendizaje puede estar respaldado por políticas a través de la investigación teórica y aplicada, así como proyectos piloto y de demostración. En particular, la investigación aplicada requiere datos, y la recopilación de datos relevantes —no solo sobre las tecnologías descarbonizadas, sino también sobre los edificios y la infraestructura de servicios públicos de electricidad y gas de Rhode Island— representa una condición previa importante para el aprendizaje. La instalación de sistemas de calor descarbonizados que generen ahorros de GEI a corto plazo a menudo también creará oportunidades para aprender más sobre cómo (o cómo no) implementar estas tecnologías y los programas que las ofrecen; de manera similar, la experiencia temprana puede guiar una mejor comprensión de las reacciones y preferencias de los consumidores y necesidades de información. Algunas ideas específicas sobre políticas que podrían fomentar el aprendizaje incluyen:

- **Reunir información.** Sería muy útil disponer de información adicional en una serie de ámbitos para desarrollar políticas e incentivos más específicos y para evaluar los progresos. La información que debe recopilarse se divide en varias categorías, a saber: información más detallada sobre el «estado» del sector de calefacción actual, como el tipo y la vida útil restante de los equipos ubicados en el sitio del cliente; información sobre costos y rendimiento sobre las nuevas tecnologías implementadas, como ASHP y GSHP, y problemas que afectan el uso de estas en edificios individuales (necesidad de conductos, actualizaciones, bucle de tierra, etc.) Esta recopilación de información podría implementarse ampliando el trabajo de EM & V del programa de eficiencia existente para incluir también la recopilación de dichos datos. Reconociendo que es probable que no se pueda exigir a los clientes que proporcionen información, la política podría vincular incentivos (u otros «incentivos») a proporcionar voluntariamente información relevante, lo que puede ayudar a orientar o perfeccionar la política.

⁹¹ En su actualización más reciente, National Grid informa que de los más de 10 000 clientes que recibieron auditorías de energía en el marco del programa EnergyWise, 3700 procedieron con medidas de climatización. The Narragansett Electric Company d/b/a National Grid, 2018 Energy Efficiency Year-End Report, 15 de mayo de 2019, p. 8

Por ejemplo, la información sobre la vida útil restante de los sistemas de calefacción actuales puede ayudar a orientar los incentivos a los sistemas de calefacción cuando es necesario reemplazarlos, en lugar de reemplazar los sistemas solo en caso de falla.

- **Investigar.** Dadas las incertidumbres sobre las diversas soluciones de descarbonización de la calefacción y el hecho de que Rhode Island no es el único que intenta descarbonizar la calefacción, la política para la próxima década debería tener un enfoque de investigación significativo. La investigación y los estudios para proporcionar más información sobre el desempeño, los costos, las barreras y las soluciones políticas fuera de Rhode Island pueden ayudar a enfocar y mejorar las medidas políticas en el estado. Dado que Rhode Island es un estado pequeño y es probable que los mercados de combustibles renovables tengan un alcance nacional o internacional, puede ser más eficaz para que el estado se asocie con otras jurisdicciones en proyectos de investigación (y demostración). Algunos ejemplos de actividades de investigación incluyen:

- ▶ Los estudios de todas las vías para identificar la experiencia adquirida en otros lugares comprenden cómo esto puede aplicarse a Rhode Island.
- ▶ Estudios para identificar vacíos informativos, que luego pueden ser susceptibles de estudios, pilotos o proyectos de demostración en el estado, o en asociación con otros estados.
- ▶ Estudios para comprender mejor las posibles fuentes locales, regionales y nacionales de combustibles renovables, así como las barreras para su desarrollo, incluidas las condiciones para interconectar los posibles suministros de gas renovable a la infraestructura de entrega de gas existente.
- ▶ Estudios para comprender los posibles obstáculos geológicos para el despliegue de las GSHP o, al menos, para comprender mejor cómo los costos de los bucles de tierra pueden diferir según el área, según las condiciones del subsuelo y otros factores.

- **Comprender cómo responde el sistema de distribución de gas a la pérdida de volumen.** Desarrollar una comprensión mucho mejor de cómo es

probable que las operaciones y los costos del sistema de distribución de gas respondan a la transformación del sector de la calefacción, lo que puede provocar un aumento del costo de los productos básicos (ya que una proporción cada vez mayor del gas renovable más costoso se mezcla con el gas fósil) y una disminución del gas entregado volúmenes (a medida que los clientes desplazan parte o la totalidad de sus necesidades de calefacción a gas con fuentes de calor alternativas, como bombas de calor). Identificar oportunidades para reducir costos concentrando la pérdida de volumen en subpartes particulares del sistema de distribución y reduciendo selectivamente esas subpartes, en lugar de experimentar reducciones más o menos proporcionales en el volumen en todo el sistema, lo que requeriría que todo el sistema continuar operando con pocas oportunidades de ahorrar costos.

- **Comprenda las oportunidades y limitaciones de las GSHP, particularmente en lo que respecta al bucle de tierra y los GeoMicroDistricts.** Estos pueden enfrentar limitaciones debido a la geología y también pueden verse afectados por la densidad de los edificios y otras infraestructuras, quizás de manera diferente para los bucles de tierra individuales que para los GeoMicroDistricts. Por ejemplo, ¿se pueden usar GeomicroDistricts en áreas más densas donde los bucles de tierra individuales pueden ser difíciles, quizás aprovechando los derechos de paso públicos?
 - ▶ Comprender la viabilidad y el costo de los GeoMicroDistricts, identificando qué tipos de áreas son adecuadas para ellos en términos de geología, presencia de otra infraestructura (lo que podría complicar la instalación) y densidad de edificios y requisitos de calefacción. Comprender qué grado y niveles de participación son necesarios para que un GeoMicroDistrict sea viable, por ejemplo, para modernizar un vecindario existente con la GSHP.
- **Utilizar proyectos piloto y de demostración para explorar las opciones.**
 - ▶ Por ejemplo, utilizar proyectos piloto para caracterizar las implicaciones máximas de las bombas de calor aerotérmicas en el pico del sistema eléctrico en el clima más frío, y las opciones para mitigarlas,

cambiarlas o abordarlas de otro modo. Las posibles soluciones podrían incluir sistemas de almacenamiento térmico in situ que desplazan el uso de electricidad de las horas pico a las horas cercanas, baterías de respaldo para almacenar energía o un sistema de calefacción de respaldo (no eléctrico). Los proyectos de demostración y piloto podrían ayudar a estimar el costo de estas medidas y barreras que puede haber para implementarlas.

- ▶ Del mismo modo, utilice programas piloto o demostraciones para comprender los problemas técnicos relacionados con la mezcla de combustibles renovables en las corrientes de combustibles fósiles existentes durante un período de transición. Identificar los problemas operativos que surgen con la modernización de los equipos para manejar mezclas muy altas de biodiésel, hasta B100.

- **Comprender el sector industrial y sus necesidades de calor para identificar las industrias que consumen mucha energía y que pueden ser vulnerables al mayor costo del calor descarbonizado** (por ejemplo, la sustitución de combustibles renovables de mayor costo por combustibles fósiles), especialmente aquellos con competidores en otras jurisdicciones que tal vez no necesiten descarbonizar.

c. Informar

El nivel actual de conocimiento sobre las soluciones de calefacción con bajas y cero emisiones de carbono sigue siendo bajo, como se planteó varias veces en entrevistas con las partes interesadas y talleres públicos. La transformación del sector de la calefacción requerirá una mejora en la información por parte de muchas partes interesadas en el sistema de calefacción. Los propietarios individuales de la mayoría o de todos los edificios existentes deben adoptar nuevos enfoques de calefacción, y estarán mejor equipados para tomar las medidas necesarias si comprenden mejor las tecnologías y confían en sus ventajas (y desventajas) en términos de costo, comodidad e interrupción y la calidad y la fiabilidad de la instalación. No solo los clientes de uso final se beneficiarían de una mejor información sobre las alternativas de calefacción descarbonizada disponibles. Incluso los instaladores y

los responsables de la formulación de políticas a menudo no tienen buena información, ni comparten bases de conocimientos. Algunas posibles opciones políticas para crear mejor información para todas las partes interesadas incluyen:

- **Utilizar campañas de información pública**, como facturas de servicios públicos, cartelera publicitarias, anuncios en línea o en televisión y radio, para familiarizarse con las tecnologías y enfoques alternativos y comunicar sus ventajas y desventajas.
- **Utilice proyectos de demostración para informar.** Los proyectos bien publicitados, como edificios públicos calentados con ASHP, GSHP o combustibles renovables, pueden informar a los clientes y hacer que las soluciones de calefacción descarbonizadas sean más familiares y aceptables. Dichos proyectos pueden incluir no solo edificios de propiedad pública (ayuntamiento, biblioteca, etc.) sino también edificios privados que frecuentan las personas (tiendas minoristas, restaurantes, cines, hoteles). Proporcionar a los consumidores la capacidad de experimentar el calentamiento descarbonizado en acción puede desempeñar un papel importante en la superación de las barreras de adopción. Esto también se aplica a otras aplicaciones de calefacción que los consumidores consideran esenciales, como cocinar. Destacar los restaurantes que cocinan con cocinas de inducción podría ser una oportunidad para empezar a abordar los conceptos erróneos sobre esta y otras tecnologías similares.
- **Formalizar los programas de capacitación y certificación** para que los instaladores profesionales mejoren su comprensión y estén más dispuestos a realizar instalaciones, y para recomendarlas a los clientes cuando estén garantizados. Un beneficio adicional es que esto puede evitar instalaciones de bajo rendimiento que podrían dar a la tecnología una reputación de boca a boca negativa y poco realista.
- **Proporcionar información sobre los instaladores calificados.** A menudo, a los consumidores les preocupa si cierto instalador está capacitado y calificado. Las agencias públicas podrían proporcionar información sobre los instaladores que han recibido la capacitación y certificación adecuadas y quizás información adicional,

como el número de instalaciones realizadas y los posibles comentarios de los consumidores (suponiendo que las fuentes de información del sector privado no proporcionen suficiente información sobre experiencias de los consumidores).

d. Habilitar

La descarbonización del calentamiento a lo largo de cualquiera de las vías identificadas probablemente requerirá una intensificación significativa de una serie de actividades. Los próximos diez años deben sentar las bases para el despliegue de soluciones de calefacción descarbonizadas a gran escala, permitiendo la transformación en muchos niveles. Esto incluye eliminar barreras y abordar los desafíos para habilitar las tecnologías en sí mismas, la fuerza laboral necesaria para instalarlas e implementarlas, la voluntad de los clientes para adoptarlas y los programas de servicios públicos, las estructuras regulatorias, etc. Todavía hay incertidumbre sobre el costo y el rendimiento a largo plazo de muchos de las posibles tecnologías de descarbonización, y aún no está claro cuál (si es una y no múltiple) puede ser en última instancia la mejor solución a largo plazo. Pero eso no es motivo para esperar; de hecho, es motivo para seguir adelante, ya que la experiencia, y no solo el paso del tiempo, acelera la resolución de esta incertidumbre.

- **Proporcionar incentivos al comprador para «todos».** Dependiendo del enfoque político adoptado para garantizar la descarbonización de todos los «combustibles» de calefacción, es posible que todas las soluciones de calefacción descarbonizadas sigan siendo más caras que la calefacción actual basada en combustibles fósiles. Además, como se muestra más arriba, los períodos de amortización para algunas soluciones pueden demorar más que los cortos que demandan los consumidores, incluso si tienen un costo más bajo a largo plazo. Este es particularmente el caso de las soluciones con un costo inicial más alto, como las bombas de calor y especialmente las bombas de calor geotérmicas. Por último, aprender sobre el rendimiento y la trayectoria de costos potenciales de varias soluciones

requiere un aumento de la experiencia en todas las soluciones de descarbonización. Por estas razones, los incentivos que fomentan la adopción (temprana) de cada una de las tecnologías prometedoras (es decir, todos los identificados aquí) probablemente sean necesarios para poner en marcha el mercado de soluciones de calefacción descarbonizadas. Estos incentivos pueden adoptar muchas formas, desde incentivos dirigidos a instaladores o fabricantes, hasta descuentos en el precio de compra de equipos, financiamiento en la factura o instalaciones financiadas por el contribuyente completo (a través de la propiedad de servicios públicos) dirigidas a los consumidores. Podrían contar con el apoyo de «bonos verdes». La financiación del contribuyente y/o la propiedad de la empresa de servicios públicos probablemente sean las más adecuadas para soluciones que son similares a las que proporcionan tradicionalmente las empresas de servicios públicos, como las GeoMicroGrids discutidas anteriormente (donde la propiedad de los servicios públicos de los bucles de tierra reflejaría los cables de distribución eléctrica o las tuberías de distribución de gas natural, con equipos de usuario final, como bombas de calor de propiedad privada). El diseño específico de los programas de incentivos para varias partes interesadas está más allá del alcance de este estudio, pero cualquier empresa de este tipo debe planificarse e implementarse cuidadosamente, entendiendo los impactos de los costos en varios grupos de consumidores y las interacciones con otras iniciativas.⁹²

- **Mejorar las estructuras regulatorias.** La actual ley de disociación de ingresos por distribución de gas en Rhode Island tiene el efecto de fomentar el crecimiento del gas y desalentar la electrificación como medio alternativo de calefacción. Específicamente, cuando la empresa de gas aumenta el número de clientes de distribución de gas en su sistema, la empresa recibe más ingresos por cliente entre los casos de tarifas. Por el contrario, cuando el número de clientes de distribución de gas disminuye, la empresa de gas pierde ingresos. Este principio de tarificación se conoce en la industria como un mecanismo de disociación de «ingresos por

⁹² Es importante tener cautela en el corto plazo, dado el impacto impredecible de la crisis económica resultante de la pandemia de COVID-19.

cliente». El mecanismo se puso en marcha antes de que se apreciaran plenamente los impactos de las emisiones de carbono, y los responsables políticos entendieron que la adición de clientes de gas reduciría el costo unitario de la distribución de gas en beneficio de todos los contribuyentes de la distribución de gas. El marco regulatorio debe cambiarse para dotar a la Comisión de Servicios Públicos de la autoridad para desarrollar un marco que elimine el énfasis en el crecimiento del gas y aliente las soluciones de descarbonización de una manera neutral en cuanto al combustible. Sin embargo, en Rhode Island, el mecanismo de «ingresos por cliente» para el negocio del gas está incorporado en la ley y, por lo tanto, evita que la comisión cambie este mecanismo de tarificación. Se requeriría una modificación de la ley para modificarla.

- **Permitir un proceso de planificación regulatoria.**

Se podría crear un proceso de planificación integral y objetivo mediante un mecanismo de financiamiento en las tarifas de distribución de gas y electricidad que facilite un estudio y un proceso de planificación estatal coordinado y guiado por las agencias estatales de energía y reguladoras en colaboración con la empresa de servicios públicos y otras partes interesadas.

- **Mejorar el diseño de tarifas**, tanto las tasas existentes como los posibles cambios, en los que la estructura tarifaria existente puede ofrecer incentivos que no son consistentes con la descarbonización, o los cambios pueden crear oportunidades para fomentar la transición. Por ejemplo, el desacoplamiento de las tasas para que reflejen mejor la causalidad de los costos fijos y variables (quizás ajustados para reflejar mejor los costos de GEI que realmente no aparecen en las tarifas, en ausencia del precio del carbono) puede mejorar los incentivos. Incluir el costo de interconexión de gas inicial en la base de tarifas puede no ser consistente con la posibilidad de escalar el sistema en un futuro relativamente cercano. De manera similar, si la transición puede hacer que los activos del sistema de gas tengan una vida útil que difiera de las suposiciones tradicionales, considere ajustar la vida útil de los activos, tanto para evaluar las inversiones propuestas como para recuperar los costos de los activos existentes. Los problemas de diseño de tarifas pueden ser una forma útil de abordar el impacto máximo

de las bombas de calor, por ejemplo, con el precio de la capacidad o el precio por tiempo de uso o en tiempo real. Y, por supuesto, los problemas relacionados con la capacidad de los consumidores de bajos ingresos para tener acceso a fuentes de calor bajas en carbono pueden abordarse mediante estructuras tarifarias y la creación de tarifas.

- **Explorar una empresa de energía combinada.**

Considere un marco de cálculo de tarifas y un diseño de tarifas conjuntos para permitir una base de tarifas única combinada para la empresa de distribución de electricidad y gas. Dado que la principal empresa de distribución de electricidad y gas en Rhode Island proporciona ambos servicios, los clientes de servicios públicos podrían ser tratados como clientes de «distribución de energía» con el propósito de asignar los costos de descarbonización, en lugar de segregar a los clientes de «distribución de gas» y «distribución eléctrica». Esto abordará los costos de la descarbonización como una única iniciativa interrelacionada, que puede facilitar una distribución más equitativa de los costos y proteger a los clientes (incluidos los clientes de bajos ingresos y los inquilinos) que de otro modo podrían verse obligados a asumir altos costos de transición como resultado de su sistema energético histórico.

- **Aprovechar las «oportunidades de inversión naturales».**

Como se discutió anteriormente, cada vez que el cerramiento del edificio o la infraestructura de calefacción se reemplace, repare, etc., se crea una oportunidad escasa para reducir los requisitos de calefacción o cambiar el sistema de calefacción. Ayudará a encontrar formas de identificar tales situaciones de manera prospectiva para que se puedan considerar plenamente las mejoras de eficiencia y las alternativas de descarbonización de la calefacción, y a tomar medidas para alentar las intervenciones en estos puntos, por ejemplo, a través de programas de eficiencia de menor costo (LCP, por sus siglas en inglés). Además, la adición o el reemplazo de un sistema de aire acondicionado central en un edificio existente (que puede volverse más frecuente con los veranos cálidos) crea una oportunidad similar y podría convertirse en un importante impulsor de la adopción

de la bomba de calor.⁹³ Dichos puntos de intervención se pueden utilizar para actualizar los sistemas eléctricos para adaptarse a las futuras demandas de electrificación de la calefacción y el transporte. Un desafío será reunir y sistematizar datos que permitan la identificación de estos puntos de inversión naturales.

- **Reforzar sustancialmente los estándares de eficiencia de edificios. Los edificios nuevos, y también las intervenciones de edificios importantes, como los centros de rehabilitación, deben cumplir con estándares de eficiencia muy altos, tal vez un uso neto de energía cero.** Considere también exigir el uso de sistemas de calefacción descarbonizados, quizás bombas de calor eléctricas, en edificios nuevos o renovados, ya que es poco probable que vuelva a surgir pronto una oportunidad perdida.
- **Identificar y eliminar las barreras.** La habilitación implicará la identificación y eliminación de barreras importantes para el despliegue de la tecnología (como normas, códigos de construcción y requisitos de permisos para el despliegue de bombas de calor terrestres y aéreas, el desarrollo de reglas más claras para los biocombustibles, etc.), esfuerzos para aumentar el número y el nivel de habilidad de la fuerza laboral que serán necesarios para desplegar tecnologías de calefacción que avanzan rápidamente, superar la falta de voluntad para renunciar al gas para cocinar, etc. En parte, impulsar la implementación temprana de estas tecnologías ayudará a identificar estas barreras.
- **Aumentar la capacidad de suministro.** Dado que la instalación de bombas de calor no es actualmente un mercado completamente desarrollado, es probable que Rhode Island necesite muchos más instaladores de sistemas de bombas de calor. Para lograrlo, puede ser necesario desestigmatizar los oficios de la construcción y ofrecer incentivos para atraer suficiente talento. Los instaladores también necesitarán capacitación de alta calidad para diseñar e instalar correctamente sistemas de bombas de calor para el clima de Rhode Island.

- **Crear incentivos separados para las bombas de calor y para las mejoras en la envolvente del edificio.** Cada una ayuda a reducir las emisiones de GEI, independientemente de la otra, y exigir que ambas estén vinculadas puede inhibir la adopción.
- **Reservar recursos limitados para usos de alto valor.** Es probable que los combustibles renovables tengan una curva de oferta creciente, con cantidades modestas disponibles a costos que no son demasiado altos, pero una alta demanda que hace que los precios sean muy altos.. Considerar la posibilidad de descarbonizar de manera que se reserven los combustibles renovables para usos de alto valor, como algunos usos industriales especializados, que no tienen un sustituto listo, y utilizar otros enfoques de descarbonización cuando estén disponibles.
- **Comprender y considerar estrategias para mitigar los efectos adversos.** Como indican los análisis anteriores, la descarbonización de la calefacción en Rhode Island puede aumentar el costo de la calefacción para algunos consumidores, particularmente, aquellos que actualmente usan gas natural, y también puede aumentar los gastos totales de la billetera de energía para algunos consumidores. La diversidad entre los clientes significa que los impactos en los costos probablemente difieran entre los grupos de clientes y los clientes individuales. Algunos clientes, como los clientes económicamente desfavorecidos y las industrias expuestas a la competencia, pueden estar particularmente expuestos a estos impactos en los costos. En este contexto, será importante a corto plazo identificar políticas que promuevan soluciones que reduzcan los costos generales del sistema a largo plazo. Esto colocará al estado en una mejor posición para considerar alternativas de políticas adicionales para mitigar los impactos restantes en los clientes vulnerables.

e. Planificar

Por último, la política podría apoyar un cambio en

⁹³ En la evaluación más reciente de los programas de eficiencia energética de Maine, incluidos los incentivos para las bombas de calor, el 64 % de los encuestados mencionaron «Agregar aire acondicionado» como el motivo de instalación, la tercera respuesta más frecuente después de mejorar la eficiencia energética y ahorrar en costos de calefacción. Consulte West Hill Energy and Computing, Efficiency Maine Trust Home Energy Savings Program Impact Evaluation, Program Years 2014-2016, 23 de agosto de 2019, Apéndice G, p.4

los enfoques de la planificación por parte de varias entidades, incluidas las agencias estatales y las entidades reguladas, en particular National Grid. Las actividades de planificación de hoy en día a menudo tienen un horizonte temporal relativamente limitado de diez años o menos, y suponen que los sistemas de servicios públicos seguirán funcionando de manera similar a como lo han hecho en el pasado. La atención se centra en planificar los «resultados esperados», pronosticar y planificar los desarrollos futuros más probables, quizás teniendo en cuenta algunas sensibilidades. Transformar el sector de calefacción de Rhode Island durante las próximas tres décadas en presencia de las incertidumbres fundamentales discutidas, a lo largo de este informe, probablemente, requiera un enfoque mejorado de la planificación. Esto debería incluir el desarrollo de un conjunto más amplio de planes de contingencia de alto nivel con horizontes temporales más largos, probablemente con una visión, al menos, hacia 2050, además de los horizontes de planificación actuales, y la planificación de resultados y acciones que tal vez nunca se materialicen, para estar preparados en caso de que lo hagan. El desarrollo de tales planes no implica la intención de implementarlos todos; de hecho, algunos de los planes desarrollados pueden ser inconsistentes con otros. Sin embargo, el desarrollo de estos planes servirá, ahora, para varios propósitos. En primer lugar, pueden guiar las acciones a corto plazo para garantizar que sean coherentes con los objetivos a largo plazo. En segundo lugar, el proceso de desarrollo de estos planes promoverá una mejor comprensión de lo que probablemente estará involucrado en cada una de las vías, incluida la identificación de las principales barreras, lo que permitirá que las soluciones se desarrollen pronto y eviten demoras más adelante. Finalmente, estos planes ayudan a proporcionar respuestas «listas para usar» cuando algunas de las contingencias estudiadas surjan efectivamente. Algunos ejemplos concretos de este tipo mejorado de planificación incluyen lo siguiente:

- **Utilizar la planificación a largo plazo para la red de distribución eléctrica.** La planificación actual de la red de distribución, incluidos los planes de modernización de la red, tiende a centrarse en horizontes temporales más cortos, diez años, aproximadamente, y se basa en la demanda esperada y en su evolución potencial. Comprender las implicaciones de la electrificación del

transporte y la calefacción para las demandas del sistema de transmisión y distribución eléctrica a largo plazo, es decir, hasta 2050, permitiría mejorar las decisiones de inversión. Por ejemplo, el costo de construir el sistema de distribución a medida que el sistema de calefacción se descarboniza puede reducirse mediante una mejor comprensión del costo adicional de la preparación para el futuro. En lugar de ampliar la capacidad del sistema para adaptarse a los cambios de demanda esperados solo durante la próxima década, el proceso de planificación también debe considerar aumentos de capacidad potencialmente mayores que podrían adaptarse a un mayor crecimiento de la demanda a largo plazo, debido a la alta penetración de las bombas de calor y el transporte eléctrico. Dicha planificación también puede permitir apuntar primero a aquellas áreas que probablemente se electrifiquen antes, por ejemplo, zonas sin gas donde la economía del calor electrificado es mejor.

- **Desarrollar un plan de transición del sistema de gas.** Existe mucha incertidumbre sobre cómo evolucionará el uso del sistema de gas natural a medida que este suministre una proporción cada vez mayor de gas con menos carbono a un costo potencialmente más alto, mientras que el costo y la disponibilidad de otras soluciones de calefacción descarbonizadas mejoran. En este sentido, la cuestión del papel a largo plazo de la infraestructura de distribución de gas es una de las cuestiones más complejas e importantes. Como muestra el análisis de este informe, es demasiado pronto para sacar conclusiones sobre este papel final, pero el desarrollo de planes para varios roles eventuales del sistema de gas ayudará al estado a prepararse para trayectorias alternativas, así como a identificar mecanismos para reducir el impacto y el costo de una transición hacia fuera del gas, en caso de que sea necesario reconfigurarlo, reducir su alcance o incluso desmantelarlo en última instancia. Dicha planificación debe considerar posibilidades como reducir algunas sucursales mientras se retienen o tal vez incluso se amplían otras, por ejemplo, si algunos clientes industriales no tienen alternativas al gas o para quienes el gas renovable es sustancialmente más atractivo que el uso de combustibles líquidos descarbonizados.

- **Desarrollar un plan para implementar la transformación de la calefacción.** Si bien este informe y el informe Meister proporcionan una importante orientación política, ninguno de los dos es suficiente para impulsar la elección y la aplicación de propuestas políticas concretas. Pero estos estudios podrían proporcionar un punto de partida para que las agencias estatales desarrollen un plan de implementación con un conjunto, coherente de propuestas políticas concretas, que podrían implementarse directamente. Dado que es probable que en la próxima década nueva información ayude a comprender mejor el atractivo y las barreras de los diversos enfoques de descarbonización de la calefacción analizados aquí, tanto la estrategia de transformación de la calefacción (este documento) como el plan de implementación de la transformación de la calefacción resultante deberían ser revisados, periódicamente. Las revisiones del plan de implementación estarán justificadas si las métricas clave, como las desarrolladas en este informe, cambian significativamente. Por ejemplo, si bien este informe sugiere que las políticas para ampliar todas y cada una de las prometedoras opciones de calefacción descarbonizada son beneficiosas, desde la perspectiva actual, las revisiones futuras pueden concluir que ciertos enfoques se prefieren claramente y deberían ser el centro de nuevas medidas políticas, y otros no.
- **Planificar un esfuerzo de conversión de bomba de calor centralizada.** Aunque es demasiado pronto para comprometerse con la conversión masiva a bombas de calor, será instructivo comenzar a desarrollar un plan sobre cómo el estado y sus servicios públicos organizarían e implementarían un programa generalizado de electrificación descarbonizada para

la calefacción (por ejemplo, la instalación de ASHP y/o GSHP, y quizás la comunidad de los GeomicroDistricts) para muchos edificios en todo el estado. El plan debe estar basado en programas más pequeños centrados en apoyar a los primeros usuarios y a las conversiones actualmente rentables. El plan, a su vez, podría identificar proactivamente los sistemas de calefacción existentes cerca del final de su vida útil para facilitar la economía, y hacer que el programa se excluya en lugar de hacerlo aumentaría la participación. La planificación debe considerar qué costos deben recuperarse y de qué manera, y si los mecanismos de recuperación de costos podrían adaptarse para abordar las cuestiones de equidad.

- **Ampliar los horizontes de planificación.** La planificación de agencias estatales y servicios públicos puede requerir horizontes más largos de los que se han utilizado históricamente. Por ejemplo, si bien podría ser apropiado planificar reemplazos y actualizaciones de componentes con solo 5 a 10 años de anticipación en un sistema «perenne» que se espera dure más que los componentes que se reemplazan, esto no es cierto cuando el sistema debe cambiar fundamentalmente en un horizonte más corto. Ante la necesidad de descarbonizar en las próximas décadas, la planificación del sistema debe tener en cuenta no solo la vida útil de los componentes que se reemplazarán, sino también la vida potencial del sistema del que forman parte. Por lo tanto, la política podría alentar o exigir que se mejorara cualquier proceso de planificación añadiendo una perspectiva descarbonizada para 2050 a todos los ya horizontes temporales de planificación existentes.



Conclusiones y próximos pasos para Rhode Island

Los análisis cuantitativos y cualitativos presentados aquí para las soluciones de descarbonización del sector de la calefacción llevan a la conclusión de que, al día de hoy, ninguna solución dominante del sector de la calefacción se adapta a todas las situaciones y es seguro que minimizará el costo para los consumidores y las empresas. El análisis sugiere que, en general, es probable que el costo de descarbonizar el sector de la calefacción a lo largo de varias vías posibles sea relativamente modesto en promedio. El aumento de los costos de calefacción para algunos clientes puede verse compensado, al menos parcialmente, por los ahorros en otros sectores de la energía. Sin embargo, el costo de descarbonizar el calor sigue siendo incierto, tanto en promedio como especialmente en lo que respecta a cualquier edificio, negocio o cliente en particular.

Por estas razones, la estrategia de transformación de la calefacción de Rhode Island debe garantizar que se avance rápidamente hacia la descarbonización, independientemente de la solución o soluciones que se adopten en última instancia. Por ejemplo, mediante una mayor aplicación de medidas de eficiencia energética rentables y haciendo uso de todas las fuentes de energía utilizadas para la calefacción en una vía hacia la descarbonización. Comenzando con los conocimientos aquí presentados, Rhode Island puede promover esta transformación a través de una variedad de opciones de las políticas que se centran en el aprendizaje y en la

información, para ayudar a abordar las incertidumbres inherentes y tomar medidas para permitir y planificar la transformación. Estos pasos incluirán no solamente la creación de incentivos para que los clientes se descarguen, al tiempo que se asegura que las poblaciones vulnerables estén protegidas y que las políticas no tengan consecuencias no deseadas.

Los legisladores deben utilizar la próxima década para sentar las bases y construir la infraestructura para aumentar la escala y la velocidad de la descarbonización del sector de la calefacción, al menos, inicialmente, buscando múltiples soluciones diferentes. A medida que pasa el tiempo y aumenta el aprendizaje, puede quedar claro que algunas soluciones son mejores que otras, al menos para algunos segmentos de clientes, pero eso no invalidará el progreso inicial realizado con otras soluciones. De hecho, ese progreso temprano y las lecciones aprendidas de él sentarán las bases para el progreso posterior por cualquier camino que sea, en última instancia, más ventajoso.

Aunque tres décadas pueden parecer mucho tiempo, la escala de la transformación necesaria en más de 400 000 residencias existentes, los números correspondientes de edificios comerciales e instalaciones industriales pequeños y grandes, y toda una infraestructura de suministro de energía es un desafío difícil que requerirá atención cuidadosa, empezando urgentemente hoy.

Glosario

Calefacción urbana	Una solución de calefacción que proporciona calor a varios edificios a través de un sistema común, en lugar de que cada edificio proporcione su propio calor. Los sistemas de calefacción urbana utilizan, tradicionalmente, una caldera centralizada y distribuyen el calor a través de una serie de tuberías, pero el concepto se ha ampliado para incluir un bucle de tierra común para apoyar los sistemas de GSHP en varios edificios
GeoMicroGrid	Un sistema de calefacción urbana que consiste en un bucle de tierra común que admite sistemas de GSHP en varios edificios
GEI	Gas de efecto invernadero
GSHP	Bomba de calor geotérmica (GSHP, por sus siglas en inglés)
PCG	Potencial de calentamiento global, el potencial que tiene un gas para atrapar el calor, en relación con el CO ₂
MMBtu	Millones de Btu, una unidad de energía térmica (aproximadamente igual a 10 termias)
MW	Megavatios, una unidad de capacidad eléctrica (tasa de suministro de energía eléctrica), igual a mil kW
MWh	Megavatios-hora, unidad de energía eléctrica, igual a un megavatio por una hora, igual a mil kWh
Conversión de electricidad en combustible (P2Fuel)	Conversión de electricidad en gas o conversión de electricidad en líquidos
Conversión de electricidad en gas (P2G)	Conversión de electricidad renovable en gas renovable mediante electrólisis y metanización
Gas renovable	Metano producido a partir de fuentes renovables, por ejemplo, gas de vertedero, digestores anaerobios, biomasa gasificada, conversión de electricidad en gas
Aceite renovable	Aceite hecho de fuentes renovables, por ejemplo, aceite de cocina usado, cultivos oleaginosos, conversión de electricidad en líquido (Power2Liquids)
TWh	Una unidad de energía eléctrica, igual a un millón de MWh o mil millones de kWh



Participantes del estudio y proceso de las partes interesadas

Este estudio implicó un amplio esfuerzo de divulgación de las partes interesadas e interacciones con una serie de interesados clave para ayudar a informar el trabajo. La participación de las partes interesadas fue una parte integral de este estudio y una fuente inestimable de información y de perspectivas. El personal de la Oficina de recursos energéticos de Rhode Island y la división de servicios públicos y transportistas, las agencias estatales responsables de dirigir este estudio, fueron miembros integrales del equipo del estudio. Este equipo se benefició de numerosas reuniones, llamadas y comunicaciones con National Grid, la empresa de electricidad y gas de Rhode Island, durante todo el proceso. El esfuerzo también incluyó entrevistas y reuniones con más de 20 organizaciones

de partes interesadas individuales, así como tres talleres públicos (los dos primeros se celebraron en Providence, el tercero se realizó virtualmente como un seminario en línea, debido a las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19). Estos talleres se realizaron para compartir información, presentar resultados intermedios y recopilar comentarios de las partes interesadas. A lo largo del proceso, las partes interesadas proporcionaron orientación y comentarios sobre las cuestiones clave que deberían abordarse, sus propias perspectivas y posiciones sobre las cuestiones, qué información tenían y cuál faltaba. Las partes interesadas también proporcionaron validación y datos de entrada significativos, así como información para respaldar los análisis.

Acadia Center

Aquidneck Planning Council

Brown University

Cadmus Carbon Pricing Team

Center for Justice

Conservation Law Foundation

Daikin

Efficiency Maine Trust

GEM Plumbing

Green Energy Consumers Alliance

HEET

National Grid

Oil Heat Institute of Rhode Island

Providence Housing Authority

Rhode Island Association of Realtors

Rhode Island Builders Association

Rhode Island Housing

RIMA

Stash Energy

Summit Utilities

Tec-RI

Maine Office of Energy Efficiency



Referencias

American Gas Foundation, Renewable Sources of Natural Gas: Supply and Emissions Reductions Assessment, diciembre 2019.

American Gas Foundation, Renewable Sources of Natural Gas: Estudio sobre la evaluación de la reducción de suministros y emisiones, resumen de 2 páginas

Baig, Altamash Ahmad and Alan S Fung, Impact of Carbon Pricing on Energy Cost Savings Resulting from Installation of Gas-Fired Absorption Heat Pump at A Library Building in Ontario, MDPI Proceedings, 16 de agosto de 2019

Black & Veatch, The Role of Natural Gas in the Transition to a Lower-Carbon Economy, mayo de 2019

The Brattle Group, Achieving 80% GHG Reduction in New England by 2050, septiembre de 2019

Buro Happold, GeoMicroDistrict Feasibility Study, noviembre de 2019

California Public Utilities Commission, Order Instituting Rulemaking to Establish Policies, Processes, and Rules to Ensure Safe and Reliable Gas Systems in California and perform Long-Term Gas System Planning, Registro R2001007, publicado el 27 de enero de 2020

Clean Energy States Alliance, Renewable Thermal in State Renewable Portfolio Standards, julio de 2018

DNV-GL, The Potential role of Power-to-Gas in the e-Highway, estudio para 2050, 2017

E3. Borrador de resultados: Future of Natural Gas Distribution in California, 6 de junio de 2019

E3, The Challenge of Retail Gas in California's Low-Carbon Future, Final Project Report, California Energy Commission, CEC-500-2019-055-F, diciembre de 2019

E3, Deep Decarbonization in a High Renewables Future, California Energy Commission, CEC-500-2018-012, junio de 2018

ENERGY STAR® Residential Water Heaters: Análisis de criterios finales, 1 de abril de 2018

Reglas generales de la EPA — Eficiencia energética en edificios, disponible en https://19january2017snapshot.epa.gov/statelocalclimate/rules-thumb_.html (ya no está disponible en el sitio web oficial de la EPA)

Fasihi, Mahdi, Dmitri Bogdanov and Christian Breyer, Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants, Energy Procedia 99 (2016) 243 – 268

IPCC, Fifth Assessment Report, Capítulo 8: Forzamiento radiactivo natural y antropogénico

KPMG, Escenarios energéticos para 2050, julio de 2016

Life Cycle Associates, Ciclo de vida de las emisiones de GEI for Fulcrum Sierra Biofuels LLC's MSW to Fischer Tropsch Fuel Production Process, LCA.6060.120.2015, diciembre de 2015

Mahdi Fasihi, Dmitri Bogdanov, Christian Breyer, Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants, Energy Procedia 99 (2016) 243 – 268

Mahlmann, Justin and Albert Escobedo, Geothermal Heat Pump Systems for Strategic Planning on the Community Scale, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2012

Meister Consultants Group, Rhode Island Renewable Thermal Market Development Strategy, prepared for the Rhode Island Office of Energy Resources, enero de 2017

M. W. Melaina, O. Antonia, and M. Penev, Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues, NREL, marzo de 2013.

The Narragansett Electric Company d/b/a National Grid, 2018 Energy Efficiency Year-End Report, entregado a Rhode Island Public Utilities Commission in Docket 4755, 15 de mayo de 2019

Navigant, Gas for Climate, marzo de 2019

Navigant and Cadeo, Home Energy Services Impact Evaluation (Res 34), prepared for the Electric and Gas Program Administrators of Massachusetts, agosto de 2018

NEEP, Guide To Sizing & Selecting Air-Source Heat Pumps in Cold Climates, revisada el 12/7/18

Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica), Climate at a Glance: Serie cronológica estatal, publicada en enero de 2020

NYSERDA, Estudio sobre bombas de calor: Nueva eficiencia: New York Analysis of Residential Heat Pump Potential and Economics, Final Report, informe número 18-44, enero de 2019

Resources for the Future, Social Cost of Carbon 101, 1 de agosto de 2019

RIEC4, Rhode Island Greenhouse Gas Reduction Plan, diciembre de 2016

(S&T)2 Consultants, BIODIESEL GHG EMISSIONS, PAST, PRESENT, AND FUTURE, A report to IEA Bioenergy Task 39, enero de 2011

State of Rhode Island, Division of Public Utilities and Carriers, Summary Investigation into the Aquidneck Island Gas Service Interruption of January 21, 2019, Investigation Report, 30 de octubre de 2019

Synapse Energy Economics, "Avoided Energy Supply Components in New England: 2018 Report", prepared for AESC 2018 Study Group, publicado originalmente el 30 de marzo de 2018 (modificado el 24 de octubre de 2018)

Stockholm Environment Institute, et al., Deeper Decarbonization in the Ocean State: The 2019 Rhode Island Greenhouse Gas Reduction Study, septiembre de 2019

Comité de Cambio Climático del Reino Unido, «Hydrogen in a low-carbon economy», noviembre de 2018

Gobierno de los Estados Unidos, Grupo de trabajo interinstitucional sobre el costo social de los gases de efecto invernadero, Documento de apoyo técnico: Actualización técnica del costo social del carbono para el análisis del impacto regulatorio en virtud del decreto 12866; agosto de 2016

U.S. Department of Energy, Clean Cities Alternative Fuel Price Report, enero de 2020

Administración de Información Energética de los Estados Unidos, panorama energético anual 2019

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Reglas generales - eficiencia energética en edificios

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Comprensión de los potenciales del calentamiento global, disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

Oficina de Administración y Presupuesto de los Estados Unidos, Circular A-4, 17 de septiembre de 2003

West Hill Energy and Computing, Evaluación del impacto del programa Home Energy Savings del Efficiency Maine Trust, 2014-2016, 23 de agosto de 2019