



**Programa de las
Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**

Distr.
GENERAL

UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/47/Add.1
21 de noviembre de 2024

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLÉS

COMITÉ EJECUTIVO DEL FONDO MULTILATERAL
PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO DE MONTREAL
Nonagésima quinta reunión
Montreal, 4 - 8 de diciembre de 2024
Punto 9 d) del orden del día provisional¹

Addendum

PROPUESTAS DE PROYECTO: CHINA

El presente documento se publica para añadir a continuación una propuesta de proyecto adicional para su consideración.

Eficiencia energética

- Proyecto piloto para mejorar la eficiencia energética de las tecnologías de refrigeración en centros de datos mediante la demostración de un sistema de refrigeración por inmersión monofásico en un centro de datos

PNUD

Consideración
individual

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/1

HOJA DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO– PROYECTO NO PPLURIANUAL**China****TÍTULO DEL PROYECTO****ORGANISMO DE EJECUCIÓN/BILATERAL**

• Proyecto piloto para mejorar la eficiencia energética de las tecnologías de refrigeración en centros de datos mediante la demostración de un sistema de refrigeración por inmersión monofásico en un centro de datos

PNUD

PROJECT OBJECTIVE

1. Demostrar el uso de sistemas de refrigeración por inmersión monofásicos en centros de datos utilizando un nuevo refrigerante patentado respetuoso con el medio ambiente «Bing Yi 797» que no tiene PAO y con un PCA cero lo que elimina la necesidad de nuevos equipos de refrigeración a base de HFC en los centros de datos
2. Integrar un sistema de recuperación de calor residual y una fuente de alimentación mixta para conseguir un centro de datos estable y energéticamente eficiente
3. Divulgar los resultados y promover el uso de sistemas de refrigeración por inmersión monofásicos en centros de datos nuevos y existentes que utilicen HFC de alto PCA

ORGANISMO NACIONAL DE COORDINACIÓN

Oficina de Cooperación Económica Exterior (FECO) /
Ministerio de Ecología y Medio Ambiente (MEE)

DATOS MÁS RECIENTES CON ARREGLO AL ARTÍCULO 7 (Anexo F)

Año: 2022

370.903,36 tm

669.563.731 toneladas de CO₂ eq

* Los datos de consumo para 2022 se actualizaron a 666.491.379 toneladas de CO₂ eq y los datos de consumo para 2023 se situaron en 769.361.542 toneladas de CO₂ eq y se publicaron en el sitio web de la Secretaría del Ozono en noviembre de 2024. La Secretaría del Fondo Multilateral no disponía del desglose del consumo en toneladas en el momento de la publicación de este documento.

Detalles	Unidades	HFC-410A
HFC que se evitarán en este proyecto:	tm	4.320
	Toneladas de CO ₂ equiv.	9.020.160
Alternativa que se introducirá gradualmente:	Se trata de un refrigerante líquido patentado, Bing Yi 797, propiedad de la empresa Tianjin Tier, filial de Anhui Tier Liquid Cooling Technology Co., Ltd., que desarrolló la tecnología de refrigeración por inmersión. Se trata de un refrigerante de aceite sintético compuesto principalmente de polidocanol hidrogenado (90-99,8%) y antioxidantes compuestos (0,2-0,9%), sin HC aromáticos	
Duración del proyecto (meses):		24
Suma solicitada inicialmente (US \$):		2.456.900
Costos finales del proyecto (USD):		
Costo de capital:		1.790.800
Gastos imprevistos (10%):		No solicitados
Costo de operación:		No solicitado
Coto total del proyecto:		1.790.800
Propiedad local (%):		100
Componente de exportación (%):		0
Subvención solicitada (USD):		1.790.800
Gastos de apoyo al organismo de ejecución (USD):		125.356
Costo total del proyecto para el Fondo Multilateral (USD):		1.916.156
Ahorro en eficiencia energética (USD/MWh):		3,55
Estado de la financiación de la contraparte (sí/no):		Sí
Hitos de seguimiento del proyecto incluidos (sí/no):		Sí
Normas mínimas de eficiencia energética disponibles para el sector correspondiente (sí/no):		No disponible

RECOMMENDACIÓN DE LA SECRETARÍA

Consideraciónn individual

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Antecedente

1. En nombre del Gobierno de China, el PNUD ha presentado, de conformidad con la decisión 91/65, una solicitud para un proyecto de demostración de un sistema de refrigeración por inmersión monofásico en un centro de datos por un importe de USD 2.456.900, más los gastos de apoyo al organismo de USD 171.983, tal como se presentó originalmente.² La preparación de este proyecto se aprobó en la 94ª reunión.

Estado de ejecución de las actividades relacionadas con la eficiencia energética financiadas por el Fondo Multilateral

2. En el marco de las etapas aprobadas del plan de gestión de eliminación de HCFC (PGEH) de China, algunos componentes del proyecto han incluido la promoción de equipos energéticamente eficientes. El cuarto tramo de la etapa I del plan de gestión de eliminación de los HCFC para el sector de fabricación de equipos de aire acondicionado de habitación incluía un componente para llevar a cabo un estudio sobre las normas de eficiencia energética de diferentes refrigerantes y una investigación sobre el impacto medioambiental de los aparatos. En el marco de la etapa II del plan de gestión de la eliminación de los HCFC, el proyecto de conversión del sector de fabricación de equipos de aire acondicionado de habitación incluía la difusión de los resultados del proyecto, las ventajas de la tecnología R-290 y el desempeño energético de la tecnología. En la etapa II del plan sectorial de mantenimiento, el componente relativo al desarrollo de normas y códigos para el mantenimiento en los sectores de la refrigeración industrial y comercial y de los acondicionadores de aire incluía el desarrollo de códigos de especificaciones técnicas para promover las buenas prácticas, incluidas las aptitudes y conocimientos relacionados con la seguridad para la nueva generación de refrigerantes, y para mejorar/mantener la eficiencia energética de los equipos. El proyecto de conversión aprobado en la 82ª reunión para pasar de HFC-245fa a HFO en la fabricación de espuma aislante en un fabricante de frigoríficos domésticos (Hisense Kelon) se financió en el entendimiento de que se evaluarían y notificarían los cambios en la eficiencia energética del producto, así como cualquier cambio relacionado en las políticas gubernamentales.

Marco político, reglamentario e institucional

3. El Gobierno de China ratificó la Enmienda de Kigali el 17 de junio de 2021. En respuesta a la ratificación de la Enmienda de Kigali, China revisó el Reglamento sobre gestión de sustancias que agotan la capa de ozono, que fue aprobado en diciembre de 2023. El reglamento revisado, en vigor desde el 1 de marzo de 2024, incluía los HFC en la lista de sustancias controladas y aplicaba cuotas a la producción e importación de HFC para 2024. China presentó en la 94ª reunión una solicitud de financiación preparatoria para la etapa I del plan de aplicación de la Enmienda de Kigali relativo a los HFC. Tras conversaciones bilaterales, el Comité Ejecutivo acordó aplazar el examen de la solicitud hasta la presente reunión.

4. La norma nacional GB40879-2021 *Valores máximos admisibles de eficiencia energética y grados de eficiencia energética para centros de datos* se aplicó el 1 de noviembre de 2022. Esta norma define las normas técnicas para la calificación de la eficiencia energética, la medición del consumo de energía y el cálculo y la evaluación de la eficiencia energética de los centros de datos. La calificación de eficiencia energética creada para los centros de datos se basaba en una medida de la eficacia del uso de la energía (PUE)³ y tenía tres niveles: el nivel I es inferior a 1,20 PUE, el nivel II está entre 1,20-1,30 de PUE, y el

² Según la carta de 6 de septiembre de 2024 dirigida al PNUD por el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente de China.

³ PUE se refiere a la relación entre la cantidad total de energía utilizada por un centro de datos informáticos y la energía suministrada a los equipos informáticos.

nivel III es superior a 1,30 de PUE.⁴ En julio de 2024, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma y el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información publicaron un plan de acción sobre el desarrollo ecológico de los centros de datos, que define los requisitos para los equipos de los centros de datos, tales como una PUE máxima inferior a 1,5 PUE a partir de 2025. La energía renovable también debe representar un porcentaje cada vez mayor del consumo total de energía de los centros de datos y se fija como objetivo un aumento del 10% anual en el uso de energía renovable.⁵

HFC y consumo de energía en los centros de datos de China

5. Los centros de datos son un sector de rápido crecimiento en China que, debido a su elevada demanda de refrigeración, han provocado un crecimiento acelerado del consumo de HFC.⁶ En 2024, se espera que los centros de datos de China representen alrededor del 10% del total mundial. Los centros de datos son importantes impulsores del crecimiento de la demanda de electricidad, con un consumo mundial estimado de 460 teravatios-hora (TWh) en 2022, y se prevé que el consumo de electricidad alcance potencialmente más de 1.000 TWh en 2026, en todo el mundo.⁷ En China, se calcula que en 2023 los centros de datos consumirán unos 267 TWh de electricidad.⁸

6. Los HFC se utilizan ampliamente en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor (RACHP) en China. Históricamente, el método de refrigeración utilizado en los centros de datos de China ha sido el aire acondicionado en salas de ordenadores (CRAC), que consiste en sistemas de refrigeración mecánica que utilizan refrigerantes para enfriar el aire, con lo que el flujo de aire transfiere el calor fuera de los equipos informáticos. Los refrigerantes más utilizados en los sistemas CRAC son el HFC-134a y el R-410A. Por ejemplo, en un centro de datos con una carga de calor de TI de 7.200 kW, el sistema típico de refrigeración mecánica requeriría aproximadamente 4,32 tm (9.020 toneladas de CO₂ equiv.) de R 410A. Además, debido a las limitaciones de las propiedades térmicas del aire, la eficiencia del intercambio de calor de los sistemas CRAC es relativamente baja. En consecuencia, el consumo de energía del sistema de refrigeración suele representar entre el 30% y el 50% del consumo total de energía en un centro de datos tradicional. En general, la tecnología de refrigeración por aire sólo puede soportar un consumo por armario de hasta 30 kW.⁹

7. China importa y exporta R-410A y HFC-134a. Según los datos facilitados con arreglo al Artículo 7, el consumo combinado de R-410A y HFC-134a en 2022 fue negativo debido a que ese año hubo más exportaciones de R-410A que importaciones. En los datos del programa de país para 2022, el uso de R-410A notificado es de 116.711 tm (243.692.067 toneladas de CO₂ equiv.) y representa el 32% del uso notificado de HFC para ese año. En cuanto al HFC-134a, se notificó un uso de 72.500 toneladas métricas (103.674.500 toneladas de CO₂ equivalente), lo que supone aproximadamente el 20% del uso de HFC notificado para ese año. Para ambas sustancias, alrededor del 30% del uso notificado en 2022 se produjo en el sector servicio técnico de equipos de refrigeración y aire acondicionado.

⁴ Informe de la Agencia Internacional de Energía: *Policy development on energy efficiency of data centres*, Página 44 <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2024/02/Policy-development-on-energy-efficiency-of-data-centres-draft-final-report-v1.05.pdf>

⁵ English.gov.cn, la plataforma oficial de comunicación en inglés del Consejo de Estado de la República Popular China https://english.www.gov.cn/news/202407/24/content_WS66a0b167c6d0868f4e8e96ba.html

⁶ The climate cost of China's digital infrastructure rush, dialogue Earth <https://dialogue.earth/en/energy/11960-the-climate-cost-of-china-s-digital-infrastructure-rush/>

⁷ Agencia Internacional de Energía (IEA) <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary>

⁸ Según un informe de Greenpeace East Asia and the North China Electric Power University <https://www.techerati.com/news-hub/data-centres-china-renewables-energy/>

⁹ Centro de Copenhague sobre Eficiencia Energética, Tecnologías innovadoras de refrigeración de centros de datos en China – Liquid Cooling Solution, https://c2e2.unepccc.org/kms_object/innovative-data-centre-cooling-technologies-in-china-liquid-cooling-solution/

Cuadro 1. Datos presentados con arreglo al Artículo 7 de programa de país para HFC-134a y R-410A en China (2020-2022)

Sustancia	PCA	Artículo 7 (2020)	Artículo 7 (2021)	Artículo 7 (2022)	Programa de país (2020)	Programa de país (2021)	Programa de país (2022)
Metric tonnes							
HFC-134a	1.430	89.165	100.729	82.030	n/d	85.625	72.500
R-410A	2.088	-68.464	-74.522	-106.255	n/d	102.538	116.711
Total	n/d	20.700	26.206	-24.225	n/d	188.163	189.210
Total Sector servicio técnico para HFC-134a	1.430	n/d	n/d	n/d	n/d	34.943	23.920
Total servicio técnico para R-410A	2.088	n/d	n/d	n/d	n/d	24.828	35.780
Toneladas de CO₂ equivalente							
HFC-134a	1.430	127.505.365	144.041.928	117.302.710	n/d	122.443.664	103.674.500
R-410A	2.088	-142.918.864	-155.565.505	-221.807.965	n/d	214.099.553	243.692.067
Total		- 15.413.499	-11.523.577	-104.505.255	n/d	336.543.217	347.366.566
Total Sector servicio técnico para HFC-134a	1.430	n/d	n/d	n/d	n/d	49.967.832	34.205.786
Total Sector servicio técnico para R-410A	2.088	n/d	n/d	n/d	n/d	51.839.820	74.709.183

8. Los requisitos de potencia de las CPU (unidades centrales de procesamiento) generales han ido aumentando de 100 W a unos 400 W, y la potencia de una GPU (unidad gráfica de procesamiento) utilizada para la IA (inteligencia artificial) puede llegar a los 2,6 kW.¹⁰ Los sistemas tradicionales de climatización con tecnología de refrigeración por aire han sido incapaces de satisfacer las necesidades de refrigeración de los centros de datos de alta densidad.¹¹ En respuesta a las crecientes necesidades, la refrigeración líquida se introdujo en China en los centros de datos en 2015, incluyendo la refrigeración líquida de placa fría, la refrigeración líquida por inmersión y la refrigeración líquida por pulverización. Hay dos categorías principales de tecnologías de refrigeración líquida basadas en cómo el medio de refrigeración interactúa con la fuente de calor: refrigeración líquida sin contacto y refrigeración líquida de contacto.

Refrigeración líquida sin contacto

9. La refrigeración líquida sin contacto en los centros de datos incluye la refrigeración por placas frías y la refrigeración por tubos de calor:

- La refrigeración por placas frías utiliza placas de refrigeración líquidas con un fluido refrigerante (normalmente agua) para conducir y enfriar componentes de alta temperatura. Suelen ser de metal y tener numerosos canales pequeños por los que el líquido refrigerante puede fluir y absorber el calor, que luego es arrastrado por un sistema de circulación.
- Los tubos de calor están formados por tubos de cobre, aletas de aluminio y un fluido de trabajo que cambia de fase pasivamente para mover el calor. Cuando el aire pasa por el lado caliente (pasillo de aire caliente procedente del aire de retorno del centro de datos) del tubo de calor, el refrigerante se vaporiza, absorbiendo energía, y luego viaja al lado frío (aire exterior) donde se condensa, liberando energía y volviendo a fluir hacia el lado caliente. Estos sistemas son dispositivos eficientes de transferencia de calor; sin embargo, siguen dependiendo de refrigerantes a base de fluorocarburos.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

10. La refrigeración líquida sin contacto es muy adecuada para componentes de alto flujo térmico, como CPU y GPU, donde la disipación eficiente del calor es fundamental. Sin embargo, se utiliza junto con otros sistemas de refrigeración, como los sistemas CRAC, para gestionar zonas de menor temperatura en todo el centro de datos.

Refrigeración líquida por contacto

11. La refrigeración líquida por contacto en centros de datos incluye la refrigeración por inmersión bifásica y la refrigeración por inmersión monofásica:

- a) Los sistemas de refrigeración por inmersión bifásica utilizan un fluorocarburo, que hierve a unos 50°C. El calor generado por los servidores hace hervir este líquido dieléctrico, convirtiéndolo en vapor que se encarga pasivamente de la transferencia. A continuación, el vapor vuelve a condensarse en forma líquida a través de una bobina de condensación, tras lo cual el líquido refrigerado se reintegra al ciclo. Este sencillo ciclo elimina la necesidad de equipos de refrigeración como ventiladores.
- b) La refrigeración por inmersión monofásica es un método en el que el medio refrigerante no experimenta un cambio de fase durante el intercambio de calor. En esta tecnología, los servidores se sumergen en un líquido refrigerante no conductor, y el calor generado por los servidores se elimina mediante el flujo forzado de este líquido. A continuación, el calor se transfiere al entorno exterior a través de un intercambiador de calor de placas.

12. La refrigeración por inmersión bifásica presenta un mayor rendimiento en lo que respecta al intercambio de calor; sin embargo, durante su funcionamiento, el centro de datos funciona esencialmente como un recipiente a presión. Por tanto, el mantenimiento de un servidor concreto exige apagar todo el sistema, razón principal por la que esta tecnología no se ha generalizado. En la refrigeración por inmersión monofásica se necesita un refrigerante, pero el uso de un intercambiador de calor de placas reduce la cantidad de refrigerante necesario y puede funcionar con varios refrigerantes, como amoníaco, dióxido de carbono e hidrocarburos.¹² Debido a las propiedades físicas del medio refrigerante en comparación con el aire, esta tecnología permite alcanzar temperaturas más elevadas sin necesidad de equipos mecánicos de refrigeración adicionales en todo el sistema de refrigeración del centro de datos.

13. En la actualidad, existen dos tipos principales de líquidos refrigerantes utilizados en los sistemas de refrigeración por inmersión monofásicos: los líquidos fluorados y los aceites sintéticos. El cuadro 2 presenta las propiedades de los refrigerantes utilizados actualmente, destacando las diferencias en su impacto medioambiental, conductividad térmica y otras características clave.

- a) Los líquidos fluorados están compuestos por fluorocarburos, como el perfluorocarbono (PFC) y el poliéter perfluorado (PFPE). Estos refrigerantes son eficaces, pero plantean problemas medioambientales debido a sus elevados valores en cuanto al potencial de calentamiento atmosférico (PCA).
- b) Los aceites sintéticos se componen principalmente de hidrocarburos, incluidos los poliolésteres (POE) y las polialfaolefinas (PAO). A diferencia de los líquidos fluorados, los aceites sintéticos no contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que los convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente. El cuadro 2 presenta las propiedades de los refrigerantes utilizados actualmente, destacando las diferencias en su impacto medioambiental, conductividad térmica y otras características clave.

¹² <https://www.hvacinformed.com/news/dfc-explains-advantages-plate-heat-exchangers-in-refrigeration-technology-co-1711435756-ga.1711435878.html>; <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/10.-systems/asdf8/>; <https://www.alfalaval.us/industries/refrigeration/industrial-refrigeration/>

- c) Bing Yi 797, un refrigerante de aceite sintético innovado y registrado por Tianjin Tier, se compone principalmente de 90-99,8% de polidocanol hidrogenado y 0,2%-0,9% de antioxidantes compuestos, sin hidrocarburos aromáticos. Esta composición está diseñada para maximizar el rendimiento de refrigeración y el respeto al medio ambiente. El proyecto de demostración validaría la eficacia del sistema monofásico de refrigeración por inmersión en centros de datos utilizando Bing Yi 797.

Cuadro 2. Refrigerantes utilizados en la refrigeración por inmersión monofásica

Refrigerante		Funcionamiento térmico				Impacto medio ambiental		Funcionamiento en términos de seguridad	
		Conductiv. térmica W/(m·°C)	Capacidad de calentam. kJ/(kg·°C)	Densidad kg/m ³	Viscosidad dinámica mm ² /s	PAO	PCA	Punto de inflamab. °C	Punto de ignición °C
Líquido fluorado	FC-40	0,065	1,1	1.855	2,2	0	>5.000	/	/
	Novec7500	0,065	1,128	1.614	0,77	0	100	/	/
	SF-10	0,077	1	1.580	0,71	0	2,5	/	/
	HT-135	0,065	0,963	1.720	1	0	>5.000	/	/
Aceite sintético	Bing Yi 797	0,342	1,987	797	13	0	0	175	164
	VP-3	0,117	1,630	930	2,79	0	0	113	104
	EC-110	0,1376	2,155	820	16,94	0	0	>350	203

Información sobre la empresa

14. La empresa Anhui Tier Liquid Cooling Technology Co., Ltd., (Anhui Tier), es una empresa tecnológica especializada en soluciones avanzadas de refrigeración para centros de datos. La tecnología de refrigeración que se utilizará fue desarrollada por su filial, Tianjin Tier Technology Co., Ltd, fundada en 2019. Anhui Tier dirigiría el proyecto piloto de diseño, fabricación, instalación, ingeniería y mantenimiento.

15. El proyecto se llevará a cabo en un nuevo centro de datos; por tanto, actualmente no se utilizan HFC ni se consume energía, pero el proyecto evitaría el uso de HFC y reduciría la demanda energética típica de un centro de datos. El lugar donde se llevará a cabo este proyecto de demostración está confirmado y comprende más de 20.000 m², así como una fuente de alimentación doble de 5.000 kVA, suministro de agua y red de banda ancha para las necesidades operativas en la ciudad de Wuhu.

Reseña del proyecto y solicitud de financiación

16. El proyecto piloto se presenta de conformidad con la decisión 91/65 c).

Objetivo del proyecto

17. El proyecto propone comenzar con el diseño, la construcción y el funcionamiento del centro de datos, incluida la mejora de los servidores y el diseño de seis armarios de refrigeración líquida con una capacidad total de 7.200 kW que integren 10 tarjetas informáticas GRP en un único servidor, seguido del diseño, la construcción y el funcionamiento de un sistema de recuperación de calor residual mediante una bomba de calor R-290 y un sistema híbrido de suministro eléctrico, y aspira a un 50% de energía renovable. El proyecto incluiría una evaluación exhaustiva y un análisis comparativo con otros centros de datos refrigerados por aire y la medición de la eficiencia energética, así como una revisión de las normas de eficiencia energética para centros de datos utilizando los datos operativos del proyecto de demostración y la promoción de los resultados del proyecto a través de diferentes actividades de concienciación y divulgación.

Actividades propuestas

18. El proyecto consta de seis elementos principales, cada uno de los cuales se describe a continuación:
- a) *Centro de datos*: Las actividades incluirían la optimización de los servidores para mejorar el campo de flujo interno y potenciar el intercambio de calor entre los chips y el refrigerante; el diseño, montaje y funcionamiento del sistema, el análisis de los efectos de los parámetros estructurales, las propiedades físicas y los parámetros operativos de los servidores refrigerados por líquido; el diseño del armario de refrigeración líquida y el análisis de parámetros operativos como el caudal y la temperatura del refrigerante; el diseño de la lógica operativa de los equipos de refrigeración externa;
 - b) *Recuperación de aguas residuales*: El centro de datos utilizará las aguas residuales para proporcionar calor al parque de centros de datos, aprovechando su alta temperatura (más de 50 °C) para una recuperación eficiente de la energía; esto incluirá el diseño de un sistema de recuperación de aguas residuales, que abarcará dispositivos de bomba de calor y diseños de tuberías; el desarrollo de una lógica operativa utilizando métodos de IA para optimizar el desempeño del sistema, garantizando que el centro de datos se enfríe de manera eficiente mientras suministra calor al parque; y el procesamiento, montaje y operación de prueba;
 - c) *Sistema híbrido de suministro eléctrico*: Introducir dos fuentes de suministro eléctrico municipales, cada una capaz de soportar el 50% de la carga en condiciones normales y el 100% si falla una de las fuentes; evaluar las necesidades de calefacción suplementaria; utilizar los datos recopilados durante el funcionamiento de prueba sobre la disipación de calor del sistema y las necesidades de suministro de calefacción; determinar las necesidades de calefacción del parque del centro de datos para determinar si el sistema de recuperación de calor residual puede satisfacer estas demandas de manera eficiente; desarrollar estrategias operativas basadas en los datos recopilados; procesamiento y montaje para el suministro eléctrico mixto; y funcionamiento de prueba para el suministro eléctrico mixto;
 - d) *Estudio comparativo*: Realización de un análisis en profundidad de los centros de datos con refrigeración monofásica por inmersión centrado en la comparación del desempeño, la eficiencia energética, el impacto medioambiental y las ventajas económicas de la refrigeración monofásica por inmersión con los centros de datos tradicionales refrigerados por aire; realización del impacto medioambiental del ciclo de vida del refrigerante y de las emisiones de carbono del sistema a lo largo de su ciclo de vida; eficiencia energética y aspectos económicos, parámetros como las medidas PUE, la eficacia del uso del agua, los costes de inversión y los costes de funcionamiento del sistema analizado; informe de investigación exhaustivo;
 - e) *Mejora de la normativa*: Evaluación del mercado de la demanda de sistemas monofásicos de refrigeración por inmersión en instalaciones nuevas y existentes que actualmente dependen de sistemas de refrigeración basados en HFC, incluido un análisis de las tendencias del sector, los posibles índices de adopción y el panorama normativo; revisión de la norma nacional sobre valores máximos admisibles de eficiencia energética y grados de eficiencia energética para centros de datos, incluidas reuniones de consulta con expertos del sector y el comité nacional de normalización; elaboración de un informe con recomendaciones para mejorar la normativa; y
 - f) *Concienciación y divulgación de la tecnología*: Incluyendo un seminario técnico y la participación en una exposición de la industria; y formación para diseñadores, técnicos, directores de producción, técnico de instalación y personal de mantenimiento de equipos.
19. El proyecto se ejecutará entre diciembre de 2024 y diciembre de 2026.

Costo total del Proyecto piloto

20. El costo total del proyecto piloto presentado se resume en el cuadro 3.

Cuadro 3. Costos estimados del proyecto piloto de eficiencia energética en un centro de datos, tal como se han presentado (USD)

Costos desglosados		Costos totales del proyecto	Cofinanciado por China	Fondos del MLF
Infraestructura física	Delimitación de los terrenos	1.540.000	1.540.000	0
	Construcción civil de la obra	400.000	400.000	0
Subtotal		1,940,000	1,940.000	0
Diseño	Desarrollo de un componente de paquete de refrigeración líquida por inmersión	65.000	32.500	32.500
	Desarrollo de la placa base de refrigeración líquida por inmersión	120.000	60.000	60.000
	Desarrollo del algoritmo de control de líquido por inmersión	195.000	97.500	97.500
	Desarrollo del disipador de calor y la estructura del servidor	150.000	75.000	75.000
	Diseño del depósito de refrigeración líquida	55.000	27.500	27.500
	Diseño de la circulación del refrigerante	20.000	10.000	10.000
	Diseño de la recuperación del calor residual	70.000	35.000	35.000
	Desarrollo de software de plataforma de gestión de infraestructuras	88.500	44.250	44.250
	Desarrollo de algoritmos de IA	100.000	50.000	50.000
	Ingeniero de software CFD	80.000	40.000	40.000
	Diseño del sistema general del centro de datos	55.000	38.500	16.500
Subtotal		998,500	510.250	488.250
Procesamiento y montaje	Vidrio para centros de datos	59.040	59.040	0
	Producción y montaje de contenedores	520.000	520.000	0
	Armario de refrigeración líquida	1.285.000	642.500	642.500
	Placa base de refrigeración líquida	1.714.000	1.199.800	514.200
	Carcasa de refrigeración líquida de servidores	342.800	171.400	171.400
	Componentes de paquetes especiales de refrigeración líquida	342.000	171.000	171.000
	Módulo de chip	24.000.000	24.000.000	0
	Memoria, CPU, tarjeta de red	1.650.000	1.650.000	0
	Refrigerante	857.000	728.500	128.500
	Despliegue y puesta en marcha de la plataforma de gestión de infraestructuras de centros de cálculo inteligentes	142.500	99.750	42.750
	Plataforma de autoajuste de IA	66.000	46.200	19.800
	Módulo hidrodinámico	250.000	250.000	0
	Refrigerador seco	500.850	500.850	0
	Sistema de alimentación híbrido ininterrumpido (sistema de alimentación mixto)	1.141.800	1.141.800	0
	Bomba de calor (sistema de recuperación de aguas residuales)	120.000	120.000	0
Subtotal		32.990.990	31.300.840	1.690.150
	Gastos de instalación y puesta en marcha	30.000	15.000	15.000

Costos desglosados		Costos totales del proyecto	Cofinanciado por China	Fondos del MLF
Funcionamiento de prueba ¹³	Gasto administrativo	12.000	6.000	6.000
	Subtotal	42.000	21.000	21.000
Funcionamiento del sistema ¹⁴	Costo de mantenimiento	45.000	22.500	22.500
	Costo de la energía	852.700	852.700	0
	Subtotal	897.700	875.200	22.500
Investigación comparativa	Procesamiento y análisis de datos	15.000	7.500	7.500
	Evaluación exhaustiva: impacto medioambiental	10.000	5.000	5.000
	Evaluación exhaustiva: eficiencia energética y análisis económico	10.000	5.000	5.000
	Investigación comparativa del centro de datos refrigerado por aire	15.000	7.500	7.500
	Investigación comparativa: comparación de rendimiento entre la refrigeración por aire y el proyecto	10.000	5.000	5.000
	Informe de investigación	10.000	5.000	5.000
	Subtotal	70.000	35.000	35.000
Mejora de la normativa	Evaluación del mercado	50.000	25.000	25.000
	Mejora de las normas	50.000	25.000	25.000
	Subtotal	100.000	50.000	50.000
Sensibilización y divulgación	Divulgación de la tecnología-Seminario técnico	50.000	25.000	25.000
	Divulgación de la tecnología - Intercambio de casos	50.000	25.000	25.000
	Divulgación de la tecnología-Participación en ferias del sector	50.000	25.000	25.000
	Formación de diseñadores y técnicos a fines	50.000	25.000	25.000
	Formación de personal de gestión de la producción y de fabricación	50.000	25.000	25.000
	Formación del personal de mantenimiento de equipos	50.000	25.000	25.000
	Subtotal	300.000	150.000	150.000
	Total	37.339.190	34.882.290	2.456.900

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES DE LA SECRETARÍA

COMENTARIOS

21. La Secretaría ha revisado la propuesta de proyecto a la luz de la decisión 91/65 y de la preparación del proyecto que se facilitó para este proyecto en la 94ª reunión.

Cuestiones técnicas y relacionadas con el costo

Validación de la tecnología

22. La Secretaría tomó nota de la presentación de que Bing Yi 797, un refrigerante de aceite sintético innovado y registrado por Tianjin Tier, se compone principalmente de 90-99,8 por ciento de polidocanol

¹³ Esto se refiere al funcionamiento del centro de datos con carácter de prueba con vistas a recopilar datos para optimizar el desempeño del sistema en relación con la temperatura, los aspectos de transferencia de calor que afectan a las fluctuaciones de temperatura y el impacto en el consumo de energía.

¹⁴ Se refiere a los costos por concepto de personal técnico y de mantenimiento para el funcionamiento in situ de los equipos.

hidrogenado y 0,2 0,9 por ciento de antioxidantes compuestos, sin hidrocarburos aromáticos. En cuanto a las pruebas de seguridad y rendimiento de este producto, el PNUD explicó que han sido verificadas por laboratorios independientes.

Estado de la adopción del refrigerante Bing Yi 797

23. La Secretaría solicitó información adicional sobre el estado de la adopción de la tecnología propuesta. El PNUD explicó que esta tecnología ha sido validada en entornos de laboratorio y adoptada en centros de datos a pequeña escala en China. Inicialmente, se implantó en un centro de datos universitario con un solo armario, y más tarde se amplió a un centro de datos comercial con seis armarios. Estas aplicaciones manejan cargas térmicas relativamente bajas y se utilizan principalmente para servicios informáticos básicos. Además, los comentarios de los clientes han sido positivos, y los usuarios aprecian la limpieza de la tecnología, su diseño compacto, la reducción de los niveles de ruido y unos costos energéticos manejables. El PNUD también explicó que, en comparación con los sistemas tradicionales, esta solución ha sido bien recibida por su eficiencia y ventajas operativas en centros de datos de menor escala. El PNUD también aclaró que la refrigeración monofásica por inmersión podría utilizarse en otras aplicaciones, como los sistemas de gestión térmica de baterías tanto para vehículos eléctricos como para sistemas de almacenamiento de energía en baterías y pilas de carga para vehículos eléctricos. Dicha tecnología aborda principalmente la disipación de calor para escenarios de alto flujo de calor, evitando el uso de sistemas de aire acondicionado.

Proceso de recuperación térmica

24. La Secretaría pidió aclaraciones sobre el proceso de recuperación térmica, señalando que no forma parte directamente del sistema utilizado para refrigerar el centro. El PNUD explicó que, para garantizar una alta eficiencia de la refrigeración y una recuperación eficaz del calor residual en los centros de datos, es crucial que los parámetros de ambos sistemas -como la temperatura, el caudal y las capacidades de transferencia de calor- estén alineados con precisión; los desajustes provocan una pérdida de eficiencia y afectarían al rendimiento del sistema en su conjunto. Además, también mencionaron que un desequilibrio en la adecuación de los flujos de calor provocaría un desequilibrio térmico que afectaría al rendimiento del refrigerante, un consumo excesivo de energía en las diferentes operaciones de la unidad, un mayor desgaste de los componentes, una inestabilidad del sistema que contribuiría a los riesgos de inactividad y unos niveles más bajos de recuperación del calor, lo que indirectamente se traduciría en ineficacia. Sobre la base de las consultas, el PNUD acordó eliminar de la propuesta los costos relativos a este componente.

Necesidades de refrigeración suplementaria

25. En cuanto a las necesidades de refrigeración suplementaria, el PNUD explicó que, según los datos de las pruebas de laboratorio, estos sistemas no necesitan refrigeración suplementaria. El servidor podría funcionar normalmente incluso si la temperatura de entrada¹⁵ del refrigerante es de hasta 50°C. En consecuencia, la temperatura de salida¹⁶ del refrigerante podría ser de unos 60°C; por lo tanto, esta tecnología podría aplicarse tanto en climas cálidos como fríos de todo el mundo.

Intercambio de información al término del proyecto

26. La Secretaría solicitó información sobre lo que se compartiría con los clientes tras la demostración satisfactoria de la tecnología. El PNUD explicó que se pondría a disposición del Fondo Multilateral y de otras partes interesadas la información general del sistema, que incluye detalles sobre la configuración del sistema (como la configuración de los servidores y armarios); los parámetros de funcionamiento (que incluyen datos operativos clave como las variaciones de temperatura del servidor y las GPU y CPU); las

¹⁵ La temperatura del refrigerante en el punto donde entra en un sistema

¹⁶ La temperatura del refrigerante en el punto donde sale de un sistema

mediciones de la temperatura y el caudal del sistema en puntos críticos; y el análisis de los datos operativos, incluido un estudio comparativo con sistemas que utilizan HFC, métricas de consumo de energía y un análisis económico. Algunos aspectos de la tecnología seguirán siendo propiedad de Tier, incluido el proceso de diseño del sistema, que se mantendrá como información de propiedad exclusiva, y la información relacionada con el refrigerante, ya que se trata de un producto químico de propiedad exclusiva que Tier proporcionará directamente a los clientes. Además, Tier garantiza la funcionalidad del refrigerante hasta 10 años (lo que supera la vida media de los centros de datos, que es de unos 8 años) y se encargará del reciclado del refrigerante al final de la vida útil del centro de datos.

Elaboración de normas para centros de datos basadas en los resultados

27. En cuanto a la elaboración de normas, la Secretaría debatió sobre el tiempo necesario para aplicarlas, y señaló que la elaboración de normas puede ser un resultado importante para mejorar la eficiencia energética de los centros de datos. El PNUD explicó que la revisión de las normas mínimas de eficiencia energética (NMEE) es un aspecto crucial para los proyectos en el marco de la ventana de financiación de la eficiencia energética. Esto no sólo facilita la difusión de la tecnología verde, sino que también establece un punto de referencia para la eficiencia energética y las prácticas conexas¹⁷ en los centros de datos que daría lugar a «centros de datos verdes». Teniendo en cuenta el tiempo necesario para la aplicación de las normas, se acordó eliminar este componente del proyecto, señalando que los resultados del proyecto relacionados con la eficiencia energética contribuirían al desarrollo de normas para los centros de datos sólo después de la finalización del proyecto.

Programas de concienciación y divulgación

28. En cuanto a los programas de concienciación y divulgación sobre los resultados del proyecto, el PNUD explicó que Tier llevaría a cabo una serie de actividades de concienciación y divulgación relacionadas con el desempeño de los productos y los resultados del proyecto, y se dirigiría a públicos como representantes de la industria, diseñadores y técnicos de aplicaciones similares, personal de mantenimiento y otras partes interesadas. También compartirían los resultados de este proyecto y otros desarrollos de tecnología verde en equipos con sistemas de RACHP, que podrían presentarse en reuniones internacionales como las relacionadas con el Protocolo de Montreal.

Costos convenidos del proyecto piloto

29. La Secretaría mantuvo conversaciones sobre los costos de los diferentes componentes relacionados con este proyecto, señalando que algunos de los costos se basan en estimaciones realizadas por la empresa con aportaciones de sus expertos técnicos. La Secretaría mantuvo consultas detalladas sobre los diferentes componentes de los costos del proyecto teniendo en cuenta que había algunos elementos de los costos que no estaban directamente relacionados con la refrigeración y observando que algunos de los costos correspondían a los diseños técnicos (por ejemplo, costos relacionados con el proceso y el montaje) que son específicos del proyecto propuesto. Basándose en las consultas, los costos relacionados con el diseño se ajustaron al 74% respecto de la solicitud original; los costos de proceso y montaje relacionados con el armario de refrigeración líquida, la placa base de refrigeración líquida, la carcasa de refrigeración líquida de los servidores y los componentes del paquete especial de refrigeración líquida se ajustaron al 77% respecto de la solicitud original; los costos de los ensayos, el funcionamiento de los sistemas y la investigación comparativa se ajustaron al 60% respecto de la solicitud original; los costos asociados a la mejora de las normas se eliminaron de la solicitud; y los costos por concepto de sensibilización y difusión de la información se ajustaron al 50% respecto de la solicitud original. El cuadro 4 presenta la propuesta tal como se presentó y los costos convenidos.

¹⁷ Otros parámetros de eficiencia serían la eficacia del uso del agua (WUE), el factor de energía renovable (REF) y la eficacia parcial del uso de la energía (PPUE); estos indicadores también se calcularían para evaluar el impacto del proyecto.

Cuadro 4. Costos convenidos para la demostración piloto de la refrigeración monofásica por inmersión en un centro de datos

Detalles	Como presentado (USD)	Costos acordados (USD)
Diseño	488.250	362.500
Proceso y montaje	1.690.150	1.306.200
Funcionamiento de prueba	21.000	12.600
Funcionamiento del sistema	22.500	13.500
Investigación comparativa	35.000	21.000
Mejora de la normativa	50.000	-
Concienciación y divulgación de la información	150.000	75.000
Total	2.456.00	1.790.800

Reducción de emisiones

30. En comparación con los sistemas de aire acondicionado que funcionan con R-410A para una carga térmica de 7.200 kW y teniendo en cuenta un nivel de recuperación del calor residual del 40% y un nivel de emisión indirecta de gases de efecto invernadero de la electricidad de 0,997 kg CO₂/kWh, el ahorro de emisiones directas e indirectas a lo largo de la vida útil del centro de datos (es decir, 20 años) es de 9.020 toneladas de CO₂ equivalente y 1,17 millones de toneladas de CO₂ equivalente, respectivamente.

Sostenibilidad posibilidad de reproducir el proyecto piloto y evaluación de los riesgos

31. Se espera que el proyecto demuestre los resultados del uso de sistemas monofásicos de refrigeración por inmersión en centros de datos utilizando un nuevo refrigerante patentado respetuoso con el medio ambiente. «Bing Yi 797». También proporcionaría información sobre el desempeño de la tecnología en términos de impacto en la reducción potencial del consumo de HFC que se evitaría y los niveles generales de consumo de energía en comparación con un sistema de refrigeración tradicional a base de HFC para un centro de datos similar. También se espera que el proyecto proporcione resultados relativos a cómo puede maximizarse el impacto climático mediante la recuperación del calor residual y el posible uso de fuentes de energía renovables con la energía tradicional para crear un suministro eléctrico estable, fiable y energéticamente eficiente para el centro de datos. El proyecto también contaría con una importante inversión en 9 diferentes componentes por parte del beneficiario (Anhui Tier), demostrando su compromiso con la ejecución del proyecto. El Gobierno cumplirá las condiciones especificadas en el párrafo b iv) de la decisión 91/65. Este proyecto también proporcionará información sobre el desempeño de esta tecnología, que puede ayudar en el futuro desarrollo y fortalecimiento de las normas de eficiencia energética y los parámetros de desempeño para los centros de datos.

RECOMENDACIÓN

32. El Comité Ejecutivo podría estimar oportuno aprobar el proyecto piloto para mejorar la eficiencia energética de las tecnologías de refrigeración en los centros de datos mediante la demostración de un sistema de refrigeración por inmersión monofásico en un centro de datos, por un importe de USD 1.790.800. más unos gastos de apoyo al organismo de USD 125.356 para el PNUD. tomando nota de:

- a) La reducción de emisiones directas prevista de 9.020 toneladas de CO₂ equivalente durante la vida útil estimada de 20 años; y
- b) Que el proyecto se completaría a más tardar el 31 de diciembre de 2026 y que se presentaría un informe detallado del proyecto al Comité Ejecutivo en un plazo de seis meses a partir de la fecha de terminación del proyecto.