



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

# Eficiencia Energética en Refrigeración y Aire Acondicionado

Roberto A. Peixoto

# ¿Por qué EE es importante?



Empowered lives.  
Resilient nations.

- Impacto del calentamiento global de RACHP
  - ~ 80-60 % indirecto: uso de electricidad
  - ~ 20-40 % directo: liberación de refrigerantes, (especialmente con equipos viejos con refrigerantes de alto GWP)
- Reducir las emisiones de GHG:
- Oportunidad: transición a refrigerantes de bajo GWP
- Reducir el consumo de energía.
  - Aumentar la eficiencia energética
  - Reducir la carga de refrigeración
  - Mejorar el mantenimiento

Fuente: [https://www.emsd.gov.hk/energyland/en/building/district\\_cooling\\_sys/dcs.html](https://www.emsd.gov.hk/energyland/en/building/district_cooling_sys/dcs.html)

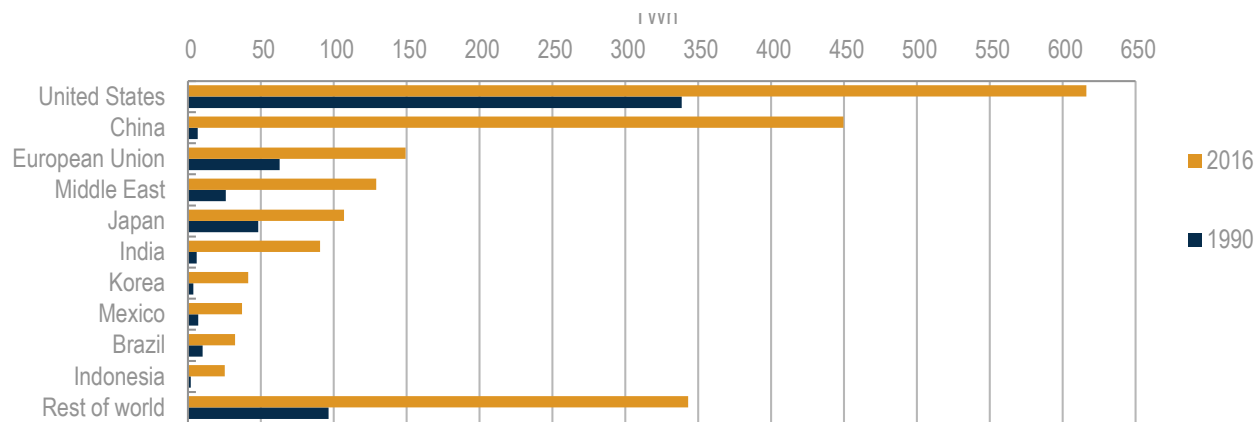
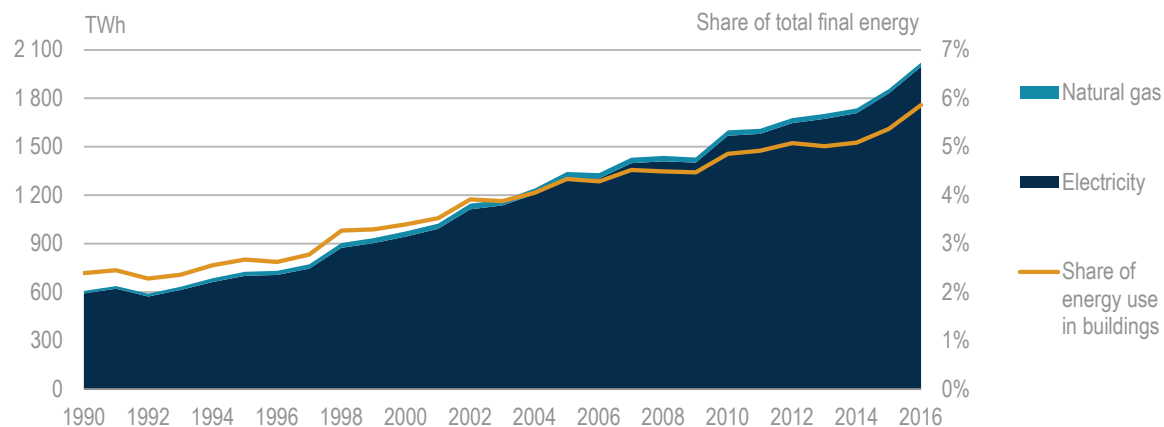
# Contexto actual



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- El consumo de energía para el sector RACHP está aumentando significativamente, especialmente en los países en desarrollo.
- Las razones incluyen
  - crecimiento de la población,
  - rápida urbanización / electrificación,
  - mayor uso de aire acondicionado doméstico, comercial y automotriz.
  - desarrollo de sistemas de refrigeración para cadenas de suministro de alimentos, productos farmacéuticos y vacunas a temperatura controlada.
- Reporte IEA “ The future of Cooling”

**Figure 1.8 • World energy consumption for space cooling in buildings**



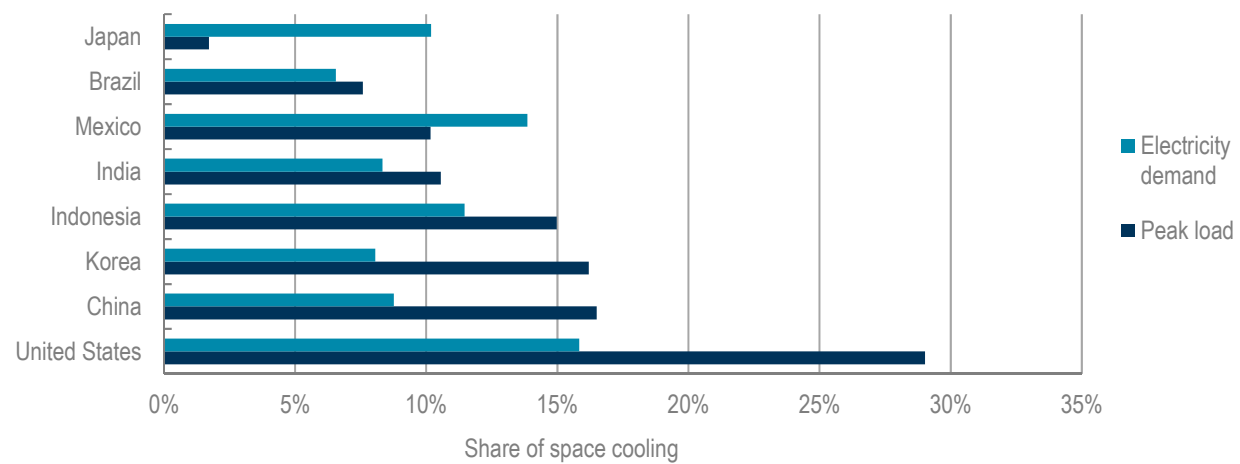
Empowered lives.  
Resilient nations.





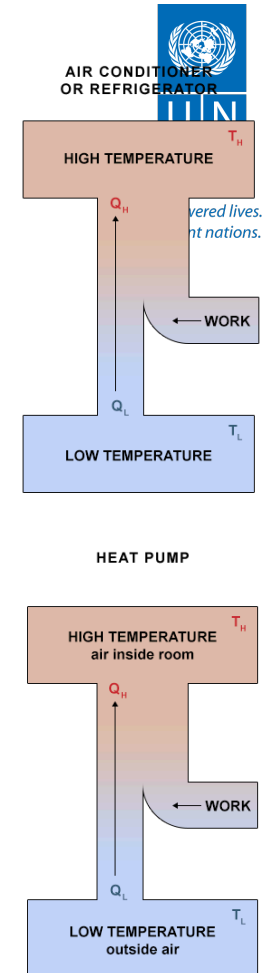
Empowered lives.  
Resilient nations.

Figure 1.12 • Share of cooling in peak load and total electricity demand by country/region, 2016



## Consumo de Energía RAC

- El consumo de energía de los equipos RACHP para una diferencia de temperatura dada, está directamente relacionado con la carga de refrigeración o calefacción que se debe proporcionar, y con la EE del proceso de conversión realizado por los equipos y sistemas RACHP.
- Las cargas de enfriamiento / calefacción dependen de varios factores; Por ejemplo, en sistemas de aire acondicionado, características de construcción, comportamiento humano y temperatura ambiente.
- Las únicas dos formas de reducir el consumo de energía son reducir la carga de refrigeración (o calefacción) y / o mejorar la EE del equipo.
- Ha habido un esfuerzo creciente en R&D para mejorar la EE de los equipos RACHP mediante la mejora de los componentes (intercambiadores de calor, compresores, dispositivos de expansión) y sistemas de control)



## Reducción del consumo de energía.

Medidas destinadas a reducir el consumo de energía:

- Mejora de la eficiencia energética
- Reducción de la carga de refrigeración / calefacción gracias a un mejor aislamiento.
- Mejor diseño de edificio.
- Adopción de mejores procedimientos técnicos de instalación y mantenimiento para reducir las fugas y mejorar el rendimiento.



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

# Oportunidades



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- Oportunidades en el sector de refrigeración y aire acondicionado (RAC) relacionadas con la transición a alternativas amigables con el clima
  - Oportunidades tecnológicas
  - Oportunidades políticas, regulatorias y de información.
  - Incentivos financieros y relacionados



## Países A5 y no A5



Empowered lives.  
Resilient nations.

- En los países desarrollados donde el sector RAC es más maduro, la implementación de políticas y regulaciones, como las regulaciones de la UE sobre el gas F, está impulsando el cambio a nuevos equipos de bajo GWP, que serán cada vez más eficientes energéticamente a través de la innovación técnica.
- En los países en desarrollo, con la creciente demanda de nuevos equipos de RAC, el aumento del consumo de energía se puede mitigar al maximizar la oportunidad de instalar equipos de consumo eficiente de energía que contienen refrigerantes de bajo PCA a medida que los mercados se desarrollan rápidamente.



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Rendimiento del equipo

- El mejor equipo RACHP actual está operando a alrededor del 50-60% del máximo teórico EE.
- En las próximas décadas, se puede esperar que la innovación tecnológica mejore el rendimiento a aproximadamente el 70-80% del límite teórico.
- Actualmente, ir más allá del 70-80% ha demostrado ser prohibitivamente costoso y muy difícil de lograr en equipos comerciales.

$T_{OUT}$ [°C]	$T_{COND}$ [°C]	$T_{EVAP}$ [°C]	Theoretical $COP_{Carnot}$	"Best" current COP	Best "Anticipated" COP
30	35	10	11.3	≈6	≈8
35	40	10	9.4	≈5	≈7
40	45	10	8.0	≈4.5	≈6
45	50	10	7.1	≈4	≈5

# Papel del Refrigerante



Empowered lives.  
Resilient nations.

- Con los equipos de compresión de vapor, la elección futura probablemente se limitará a los refrigerantes de bajo GWP disponibles actualmente y sus mezclas
- Cuando el equipo RAC se puede convertir para el uso de refrigerantes de bajo GWP, sin cambiar significativamente el diseño, la tecnología o los componentes ("reemplazo directo o casi inmediato"), la elección del refrigerante desempeña un papel en la EE de ese equipo
- En este caso, es posible proporcionar una mejora modesta en la EE (del orden del 10%) dependiendo de las propiedades termofísicas del refrigerante de bajo GWP elegido.
- Los métodos para mejorar la eficiencia energética de los equipos para refrigerantes con alto GWP también están disponibles para refrigerantes con bajo GWP en la mayoría de los casos. (Obs .: existe el caso particular de CO<sub>2</sub> transcrito con eyector que es específico para este refrigerante)

# Nuevos equipos



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- Es probable que la mayor parte de la mejora potencial en EE provendrá de la instalación de nuevos equipos EE RACHP, y dependerá del diseño general del equipo, en lugar del refrigerante utilizado.
- Estas mejoras importantes en EE vienen con la instalación de equipos con componentes avanzados y sistemas de control que ya están maduros y disponibles comercialmente.



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC

- Oportunidades técnicas para nuevos equipos de EE compatibles con la introducción de refrigerantes de bajo GWP

### Refrigeración domestica

- Optimizar componentes: compresor (velocidad variable), intercambiador de calor.
- Reducir las necesidades generales de refrigeración (aumentar el aislamiento)

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Refrigeracion comercial

### *Supermercados*

- Tecnología multi-eyector para un sistema de compresión paralelo de CO2 bien diseñado
- Optimizar el diseño de componentes.
- Recuperar la energía térmica y de refrigeración,
- Integrar el sistema HVAC con plantas de refrigeración de temperatura media y baja.
- Reducir las cargas térmicas en cajas refrigeradas.
- Persianas aislantes para armario frigorífico de noche etc.

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

## *Unidades compactas (self contained)*

- Optimizar componentes: compresor (velocidad variable), intercambiador de calor.
- Reducir las necesidades generales de refrigeración (aumentar el estándar de aislamiento)

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Acondicionadores de aire

- Optimizar componentes: compresor (velocidad variable), intercambiador de calor.
- Reducir las necesidades generales de refrigeración en el diseño de nuevos edificios (por ejemplo, ventanas tintadas)
- Adoptar un mejor control y monitoreo de los sistemas.
- Sensores de movimiento para la detección de ocupación
- Optimización de la temperatura

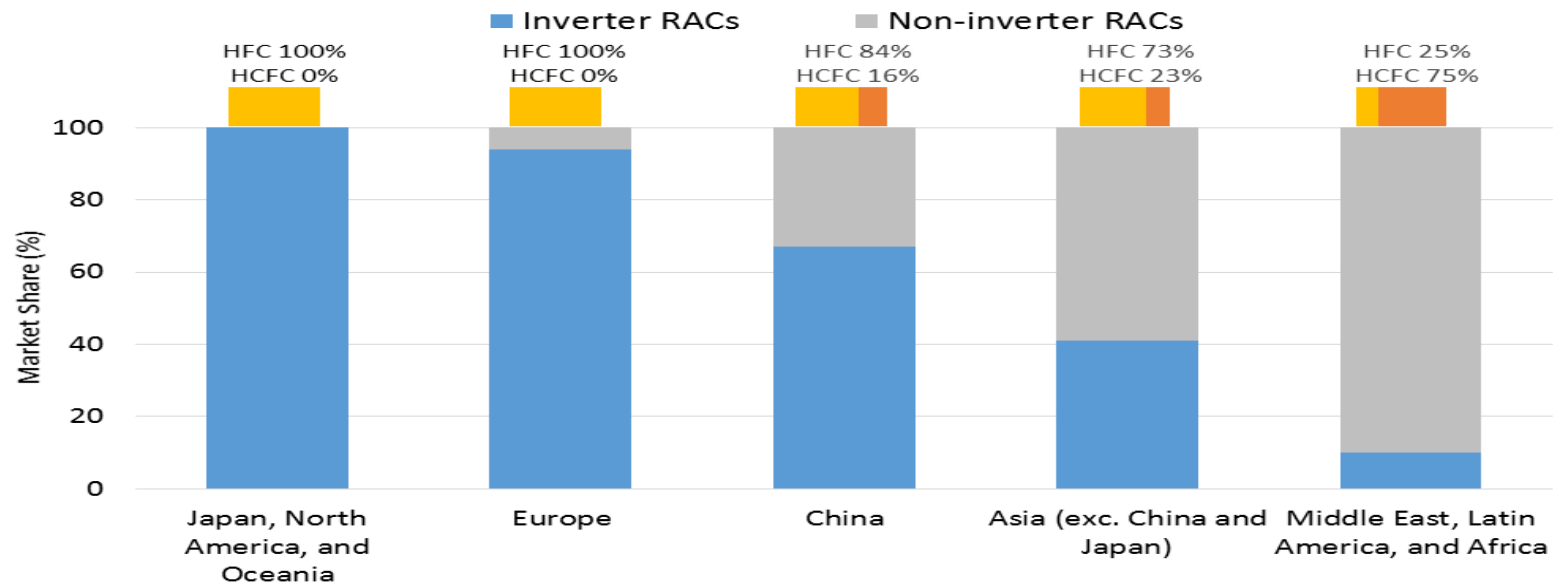




Empowered lives.  
Resilient nations.

## Availability of AC Components

- Higher efficiency/variable speed drive (VSD) compressors are widely available
- China production of VSD has doubled in 5 years to 70 million/yr, driven by MEPS in many markets.
- China produces 60% of compressors worldwide (200 million/yr)
- Heat exchangers: improved EE can be achieved with smaller tube diameters or micro-channel exchangers.
  - reduce the refrigerant charge ( $\cong 40\%$ )
  - higher EE ( $\cong 5\%$ ) at lower cost ( $\cong 5\%$ )
  - enable medium/low GWP flammable refrigerant ACs to comply with safety standards or have higher capacity.



- A survey of almost 3000 room AC compressor models did not identify any variable speed drive HCFC-22 compressors.

*Source: The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA) and LBNL estimates for Middle East Latin America and Africa*

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Potential improvement	Incremental cost for RAC unit
Variable speed driven	✓	✓	✓	20% to 30%	20%
Two stage compression	✓	✓	L	10%	10% – 20%
EC fan motors		✓	✓	7% to 15%	15% to 25%
Electronic expansion valves	✓	✓	L	15% to 20%	15%
Microchannel condenser coil	✓	✓	✓	15%	negative
Smaller diameter condenser	✓	✓	✓	10% to 40%,	negative
Smaller diameter evaporator		✓	✓	10% to 40%	negative
Adiabatic condensers		✓	L	25% to 30%	20% to 35%
Reducing head pressure	✓	✓	✓	2 – 3% per 1 K	various

*L = limited; ✓ = applicable. LAT, MAT, HAT: Low, Medium, and High ambient temperatures*



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Availability and Cost of EE Components for Low GWP CR

Component	Impact ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to	Max potential improvement	Incremental cost for CR unit	LAT	MAT	HAT
<b>Energy efficient fan/motors</b>									
- EC fan motors		Y	Y	All types	10%	+15%	X	X	X
- variable speed		Y	Y	All types	10%	+15%	X	X	X
<b>Cabinet doors</b>									
- doors on cabinets		Y	Y	All types	45%	\$300 per m	X	X	X
- door gaskets		Y	Y	Standard for freezer	15%	\$30	X	X	X
<b>Heat exchanger design</b>									
- optimised configuration	X	Y	Y	All types	0 to 40%, fn baseline	Neg	X	X	X
- optimised air fins		Y	Y	All types	10%	Neg	X	X	X
Liquid pressure amplification	X	Y	N	Larger systems	25%	30% of compressor cost	X	X	X
Nanoparticles in refrigerant	X	Y	N	All types	20%	\$20 – 100	X	X	X

*N = no; Y = yes; L = limited; X = applicable. LAT, MAT, HAT: Low, Medium, and High ambient temperatures*

# Availability and Cost of EE Components for Low GWP RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Potential improvement	Incremental cost for RAC unit
Variable speed driven	✓	✓	✓	20% to 30%	20%
Two stage compression	✓	✓	L	10%	10% – 20%
EC fan motors		✓	✓	7% to 15%	15% to 25%
Electronic expansion valves	✓	✓	L	15% to 20%	15%
Microchannel condenser coil	✓	✓	✓	15%	negative
Smaller diameter condenser	✓	✓	✓	10% to 40%,	negative
Smaller diameter evaporator		✓	✓	10% to 40%	negative
Adiabatic condensers		✓	L	25% to 30%	20% to 35%
Reducing head pressure	✓	✓	✓	2 – 3% per 1 K	various

*L = limited; ✓ = applicable. LAT, MAT, HAT: Low, Medium, and High ambient temperatures*



Empowered lives.  
Resilient nations.

- Significant benefits of proper maintenance can be achieved
- The improvement in energy efficiency due the better maintenance and servicing practices can go up to 50% of the rated performance.

Improvement	Measures to be taken	Effect on Rated Energy Efficiency	Maintenance Cost Level
Correct levels of refrigerant and oil	Check levels periodically and refill	Up to 50%	Less than USD 300 Considered very low
Air recirculation into condenser	Reduce recirculation by cleaning filters and removing obstacles	Up to 25%	Less than USD 300 Considered very low
Thermal expansion valve (TEV) settings	Check and make set point adjustments	Up to 10%	Up to USD 600 considered low
Condenser pressure control	Check and make set point adjustment	Up to 10%	Up to USD 600 considered low

Source: Juergen Usinger Heat GmbH of Germany, 2016

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Chillers

- Optimizar el intercambiador de calor
- Compresor inversor, sin aceite, rodamientos magnéticos.
- Controles de carga parcial
- Reducir las fugas
- Reduzca las necesidades generales de refrigeración en el nuevo diseño del edificio (por ejemplo, ventanas tintadas, menos ventanas en el aspecto del edificio orientado al sol)
- Chillers de absorción

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC



Empowered lives.  
Resilient nations.

## Aire Acondicionado Móvil

- Eyector, regulador de alta presión lateral.
- Compresor de dos etapas
- Reducir las fugas

## Refrigeración de transporte

- Optimizar componentes (compresor, intercambiador de calor).
- Utilice la tecnología de inversor junto con un alternador para mejorar la eficiencia de carga parcial
- Reducir las fugas
- Reducir las necesidades de refrigeración (mejor aislamiento)



# Tecnologías “Not-In-Kind” (NIK)



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- Son tecnologías alternativas a la tecnología de ciclo de compresión de vapor.
- Las tecnologías NIK maduras solo ocupan pequeños nichos del mercado (por ejemplo, tecnologías de sorción, refrigeración termoeléctrica, ciclo del aire)
- Las tecnologías NIK con una aplicación más amplia permanecen en la etapa de R&D, y aún están lejos de estar ampliamente disponibles en el mercado
- La refrigeración magnética para el sector doméstico es prometedora, pero el impacto en EE es incierto
- Distrito Térmico (que puede considerarse como NIK si los enfriadores se basan en el ciclo de absorción, o utilizan agua del océano) tiene un costo de capital importante que le ha impedido hacer una contribución global importante en este punto.

# Oportunidades tecnológicas para el aumento de EE en RAC

## Sumario



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- Refrigerantes
  - Pequeñas mejoras en EE sin cambios en el diseño.
  - Limitado a las clases actuales de químicos / nuevas mezclas.
- Componentes y sistemas de control.
  - Grandes mejoras en EE en equipos nuevos, con mejores sistemas de control y componentes mejorados.
  - Muchos ya disponibles - requieren aplicación
- Fugas reducidas.
- Oportunidad
  - Mejora de EE en nuevos diseños de equipos concurrentes con la transición a refrigerantes de bajo GWP

# MEPS



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- Los programas de normas y etiquetas de eficiencia energética que establecen los requisitos de etiquetado y MEP no son costosos de implementar y pueden aumentar el uso de las nuevas tecnologías de EE
- Se ha demostrado que la regulación sobre MEPS es una política efectiva de EE. MEPS es una especificación que contiene los requisitos de rendimiento energético que limitan la cantidad máxima de energía que puede consumir un equipo o producto.
- Las MEPS pueden ser clave para la eliminación de equipos ineficientes del mercado.

## Observaciones finales



Empowered lives.  
Resilient nations.

- La R&D relacionada con el bajo GWP está en la parte superior de la agenda de investigación de RAC
- Importancia en equipos con eficiencia energética mejorada y más alta usando refrigerantes de bajo PCA
- Se está investigando la expansión del uso de hidrocarburos, dióxido de carbono y amoníaco en diversas aplicaciones de CA
- Las tecnologías de reducción de carga son muy importantes.
- Es probable que en el futuro pueda y haya una cantidad muy limitada de mezclas de HFC-HFO.
- No se puede suponer que el sector de servicio haga frente al gran número de mezclas de HFC / HFO.
- Refrigerantes “naturales” versus sintéticos

# Fuentes de Información



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

- UNEP, Decision XXIX/10 Task Force Report on Issues Related to Energy Efficiency while Phasing Down Hydrofluorocarbons
- UNEP, Decision XXX/5 Task Force Report on Cost and Availability Of Low-GWP Technologies/Equipment that Maintain/Enhance Energy Efficiency

# Gracias por la atención

robertopeixoto@maua.br



*Empowered lives.  
Resilient nations.*



(RTOC)

**UNEP Technical Options Committee Refrigeration, AC and Heat Pumps**



**INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT**