

ESTIMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA DEMANDA TÉRMICA DE MÉXICO: MAPA DE CALOR

EL MAPA DE CALOR DE MÉXICO ES UNA HERRAMIENTA QUE TIENE POR OBJETIVO PRINCIPAL FACILITAR EL ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ABASTECIMIENTO TÉRMICO DE INDUSTRIAS Y GRANDES CONSUMIDORES TERCIARIOS MEDIANTE SOLUCIONES EFICIENTES BASADAS EN COGENERACIÓN, CALOR RESIDUAL Y ENERGÍAS RENOVABLES (BIOMASA, BIOGÁS, SOLAR TÉRMICA Y GEOTÉRMICA). SE HA REALIZADO COMO PARTE DE LAS ACTIVIDADES DE LA COOPERACIÓN BILATERAL ENTRE MÉXICO Y ALEMANIA Y ESTÁ ENMARCADA EN EL PROGRAMA DE ENERGÍA SOSTENIBLE DE LA GIZ. LA COMPILACIÓN, CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS DEL POTENCIAL Y GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS QUE UTILIZA EL MAPA DEL CALOR HA SIDO REALIZADA POR AESA.

Según los datos del Sistema de Información Energética de México, en 2014, el consumo anual de combustibles fósiles ascendió a 1.550 TWh(PCI)/año destinándose un 41% al sector transporte, un 29% a la producción de electricidad, un 18% al sector industrial y un 12% al sector terciario.

En el sector industrial y terciario prácticamente la totalidad del combustible está destinado a la producción de calor. Además, una parte del consumo eléctrico tiene como finalidad la producción de frío o climatización. Esto hace que caracterizar las demandas y estudiar alternativas más eficientes para la producción de calor y frío, sea una vía prometedora para conseguir una reducción considerable del consumo de combustibles y de las emisiones de CO₂, generando beneficios económicos para las empresas y, en consecuencia, una mayor competitividad en el mercado.

A partir del registro de empresas obtenido del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) y del consumo de combustibles por región obtenido del Balance Nacional de Combustibles (SENER), ha sido posible correlacionar, para cada sector, el consumo de combustible en función del número de trabajadores de cada centro productivo. Estos datos se han complementado con el registro censal de PYMES, obteniendo un mayor detalle de las ratios en diferentes subsectores industriales y terciarios en pequeñas y medianas empresas.

Para ajustar la relación combustible/trabajador en las empresas de más de 250 trabajadores se han consultado dos fuentes: los consu-

CALCULATION AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF THERMAL DEMAND IN MEXICO: THE HEAT MAP

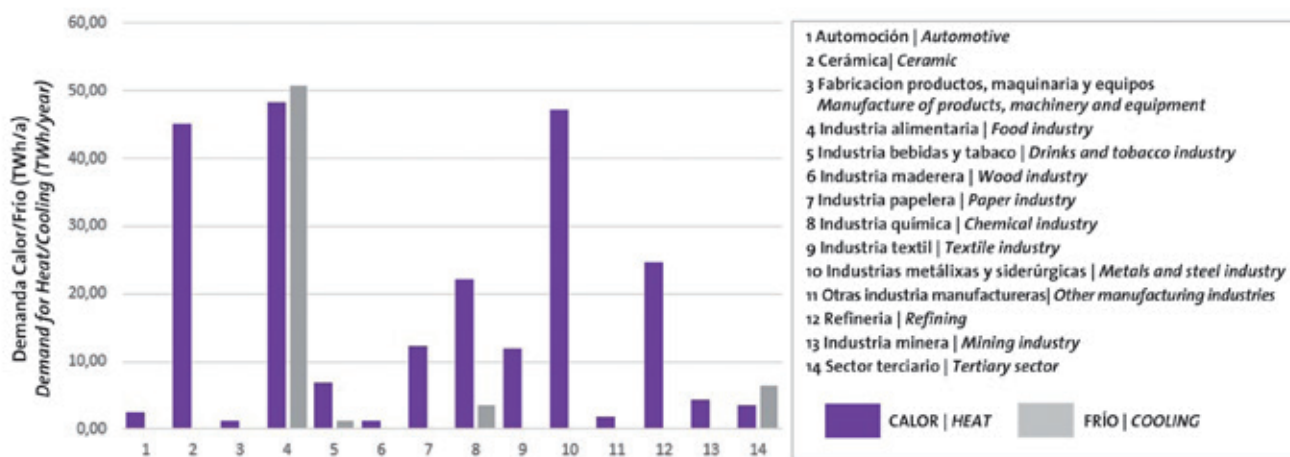
THE MEXICO HEAT MAP IS A TOOL WHOSE MAIN AIM IS TO FACILITATE THE ANALYSIS OF THE THERMAL SUPPLY POTENTIAL OF INDUSTRIES AND LARGE TERTIARY CONSUMERS THROUGH EFFICIENT SOLUTIONS BASED ON COGENERATION, RESIDUAL HEAT AND RENEWABLE ENERGIES (BIOMASS, BIOGAS, SOLAR THERMAL AND GEOTHERMAL). THE HEAT MAP FORMS PART OF THE BILATERAL COOPERATION ACTIVITIES BETWEEN MEXICO AND GERMANY UNDER THE GIZ SUSTAINABLE ENERGY PROGRAMME. THE COMPILATION, CHARACTERISATION, POTENTIAL ANALYSIS AND GENERATION OF THE DATABASE USED BY THE HEAT MAP HAS BEEN CARRIED OUT BY AESA.

According to data from the Energy Information System of Mexico, in 2014, the annual consumption of fossil fuels amounted to 1,550 TWh(PCI)/year distributed as follows: 41% for the transport sector, 29% for electricity production, 18% for the industrial sector and 12% for the tertiary sector.

In the industrial and tertiary sector, almost all the fuel is destined for heat production. Moreover, a portion of the electricity consumed is allocated to the production of cooling or temperature control. This means that characterising the demands and studying more efficient alternatives to produce heat and cooling, is a promising way to achieve a considerable reduction in the consumption of fuels and CO₂ emissions, generating economic benefits for companies and, consequently, greater competitiveness in the market.

Based on a registry of companies obtained from the National Statistical Directory of Economic Units (DENUE) and the consumption of fuels by region obtained from the National Fuels Balance (SENER), it has been possible to correlate the consumption of fuel for each sector, depending on the number of workers in each productive centre. This data has been complemented by the national register of SMEs, obtaining greater detail of the ratios in different industrial and tertiary sub-sectors in small and medium enterprises.

To adjust the fuel/worker relationship in companies with more than 250 workers, two sources were consulted: the gas



Demanda de calor (azul) y calor para producir frío (gris) del territorio mexicano agrupada por sector económico. | Demand for heat (blue) and heat for cold production (grey) for the Mexican territory, grouped by economic sector.

mos de gas de grandes empresas partiendo de datos estadísticos proporcionados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) así como información disponible en AESA a través de los estudios realizados a lo largo de su trayectoria.

Como resultado de este análisis se ha obtenido una base de datos con 118.000 centros demandantes de calor geolocalizados. Finalmente, a cada centro demandante se le ha asignado una curva de demanda de calor, frío y electricidad en función de su actividad económica.

La demanda de calor para procesos 100% térmicos se ha calculado en 232 TWh/a y el calor necesario para producir el frío (asumiendo sistemas de absorción) se ha calculado en 62 TWh/a. Así, el total de demanda de calor más el total de calor para producir frío es de 294 TWh/a, equivalente a 350 TWh(PCI)/a de combustibles, que representa el 23% de la demanda de combustibles del país. Esta información puede desglosarse por actividad económica o por región geográfica (ver gráfica en la página anterior).

Alternativas tecnológicas

Las tecnologías que se han considerado suficientemente maduras y viables para la producción de calor y frío son las siguientes.

Cogeneración: producción simultánea de electricidad y calor para procesos. Permite recuperar parte del calor sobrante de la producción eléctrica para procesos industriales. También se puede utilizar para producir frío mediante un sistema de absorción.

Calor residual: aprovechamiento del calor sobrante de industrias de procesos de alta temperatura. Se realiza mediante un sistema de recuperación térmica y una canalización hasta un consumidor cercano que requiera calor de baja temperatura. También se considera como calor residual la extracción de calor en forma de vapor a baja presión de centrales térmicas productoras de electricidad a costa de reducir parte de la generación eléctrica.

Biogás y biomasa: adaptación/sustitución de las calderas convencionales de los centros demandantes para el uso de combustibles ecológicos como biogás o biomasa. Transporte del biogás o de la biomasa desde sus puntos de generación a los centros demandantes mediante canalización o transporte rodado.

Solar térmica: instalación de paneles solares térmicos para generar agua a temperaturas alrededor de 60 °C y acumulación en depósitos para suplir parte de la demanda de agua caliente de un centro demandante. En este caso solo se considera su aplicación en el sector terciario.

Geotérmica de media y alta temperatura: perforación de pozos hasta profundidades donde la temperatura del subsuelo alcance los 90 °C para generar agua caliente a 60 °C a través de un intercambiador. Únicamente se considera su aplicación en el sector terciario y en los centros cercanos a los pozos geotérmicos identificados en el Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

El calor residual, la biomasa y el biogás son ofertas finitas. La oferta de calor residual de procesos se ha estimado en 3,4 TWh/a en industrias y aproximadamente 100 TWh/a en centrales eléctricas. Para estimar la oferta de biogás y de biomasa se han recopilado los centros ofertantes de alta calidad publicados por el INERE. Según estos datos la oferta total asciende a 10,5 TWh/a para biogás y 3,8 TWh/a para biomasa.

Potencial técnico y económico

El potencial técnico se ha calculado a partir de los consumos de combustibles y electricidad que tendrían los centros demandantes

consumption of large companies based on statistical data provided by the Energy Regulatory Commission (CRE) as well as information available at AESA through the studies it has undertaken over the years.

This analysis has resulted in a database with 118,000 geolocalised heat consumption centres. Finally, each consumption centre was assigned a demand curve for heating, cooling and electricity depending on their economic activity.

The demand for heat for 100% thermal processes was calculated at 232 TWh/year and the heat necessary to produce cooling (based on absorption systems) was calculated at 62 TWh/year. Thus the total heat demand plus the total heat to produce cooling amounts to 294 TWh/year, equivalent to 350 TWh(PCI)/year of fuel, representing 23% of the country's fuel demand. This information can be broken down by economic activity and by geographical region (see the above graph).

Technological alternatives

The following technologies were considered as sufficiently mature and viable to produce heat and cooling:

CHP: simultaneous production of electricity and heat for processes. Part of the surplus heat from electricity production can be recovered for industrial processes. It can also be used to produce cooling by means of an absorption system.

Residual heat: making use of residual heat from high temperature process industries. This takes place by means of a heat recovery system, channelling the heat to a nearby consumer who requires low temperature heat. Residual heat from the extraction of heat in the form of steam at low pressure from electricity-producing power plants in exchange for reducing part of the electricity generation was also taken into account.

Biogas and biomass: adaptation/replacement of conventional boilers in the consumption centres for the use of ecological fuels such as biogas or biomass. Transportation of the biogas or biomass from its points of generation to the consumption centres via conduits or by road.

Solar thermal: installation of solar panels to generate water at temperatures of around 60°C and its accumulation in buffer tanks to cover part of the demand for hot water at a consumption centre. In this case, only its application in the tertiary sector was considered.

Medium and high temperature geothermal energy: drilling wells to depths where the subsoil temperature reaches 90°C to generate hot water at 60°C by means of a heat exchanger. Its application was only considered for the tertiary sector and in centres close to the geothermal wells as identified in the National Renewable Energy Inventory (INERE).

Residual heat, biomass and biogas are finite offers. The offer of residual heat from processes has been estimated at 3.4 TWh/year in industries and approximately 100 TWh/year in electricity power stations. To calculate the offer of biogas and biomass, data was gathered from high quality supplier centres published by the INERE. According to this data, the total offers amounts to 10.5 TWh/year for biogas and 3.8 TWh/year for biomass.

Technical and economic potential

The technical potential has been calculated based on the consumption of fuels and electricity that the consumption

	Cogeneración CHP	Biogás Biogas	Biomasa Biomass	Solar Solar	Geotermia Geothermal	Residual Waste-to-energy
Potencial Técnico (TWh/a) <i>Technical Potential (TWh/year)</i>	108,6	7,95	2,99	1,91	0,26	13,2
AEP (TWh/a) <i>PES (TWh/year)</i>	65,9	8,47	3,18	2,13	0,29	12,6
Potencial Económico (TWh/a) <i>Economic Potential (TWh/year)</i>	94,5	3,17	1,84	1,91	0,19	6,27
Inversión (MUSD) <i>Investment (US\$m)</i>	16267	202	125	318	32	396
Ahorro (MUSD) <i>Saving (US\$m)</i>	3534	43	23	50	6	80
Payback Time (años years)	4,6	4,7	5,4	6,4	6,4	5,0

Potencial técnico y económico de abastecimiento de la demanda térmica de industrias y principales consumidores del sector terciario del conjunto del territorio mexicano.
Technical and economic potential to cover the demand for heat of industries and main consumers in the tertiary sector throughout Mexico.

tras la aplicación de las distintas tecnologías dimensionadas según su demanda de calor. Se han considerado técnicamente aceptables situaciones donde el ahorro de energía primaria sea superior a un 10%. El potencial económico se ha calculado a partir de la inversión y del ahorro obtenido en cada tecnología, considerando viables aquellos proyectos con un retorno inferior a 6 años en el sector industrial y de 10 en el sector terciario.

Se han usado los precios de los combustibles más utilizados en el sector industrial y en el sector terciario, incluyendo los costes de distribución: gas natural (13 \$/MWh) y electricidad en alta tensión (75 \$/MWh). Estos precios pueden modificarse fácilmente para hacer estudios de sensibilidad económica.

La cogeneración es la tecnología con mayor potencial técnico y ahorro de energía primaria. A parte de suministrar 108,6 TWh/a de calor, puede producir 101 TWh/a eléctricos, aportando beneficios a través del ahorro o venta de electricidad a la red y generando 32 millones de CELS cada año.

El potencial solar térmico (aplicado solo en el sector terciario) asciende a 1,91 TWh/a de calor, aportando un ahorro en energía primaria de 2,13 TWh(PCI)/a. Es de esperar que a medida que la tecnología permita una mayor temperatura de generación y un menor coste pueda implementarse en el sector industrial en aquellas zonas donde los combustibles sean más caros, elevando su potencial considerablemente.

El calor residual, biogás y biomasa podrían aportar un ahorro de energía primaria total de 25 TWh(PCI)/a con una inversión más baja que la cogeneración, pero con un retorno económico menor al no tener demasiado impacto sobre el consumo eléctrico. Cabe mencionar que la biomasa y el biogás son las dos únicas tecnologías que permiten reducir las emisiones de CO₂ en procesos industriales que requieren de altas temperaturas.

La aplicación del conjunto de estas tecnologías aportaría una generación térmica total de 134 TWh/a. Sin embargo, muchas de estas tecnologías son recíprocamente excluyentes mientras que otras se pueden combinar, es por ello, que este dato se debe tomar como una estimación máxima.

El ahorro total de energía primaria asciende a

centres would have following the application of the different technologies dimensioned in accordance with their demand for heat. A primary energy saving of more than 10% is considered to be a technically acceptable situation. The economic potential has been calculated based on the investment and the saving obtained in each technology, considering as viable those projects with a return of less than 6 years in the industrial sector and 10 years in the tertiary sector.

The analysis has taken the most used fuel prices in the industrial and tertiary sectors, including distribution costs: natural gas (13 \$/MWh) and high-voltage electricity (75 \$/MWh). These prices can be easily modified to undertake economic awareness studies.

CHP is the technology offering the greatest technical potential and primary energy saving. Apart from supplying 108.6 TWh/year of heat, it could produce 101 TWh/year of electricity, bringing benefits through the saving or sale of power to the grid and generating 32 million CELs (clean energy certificates) each year.

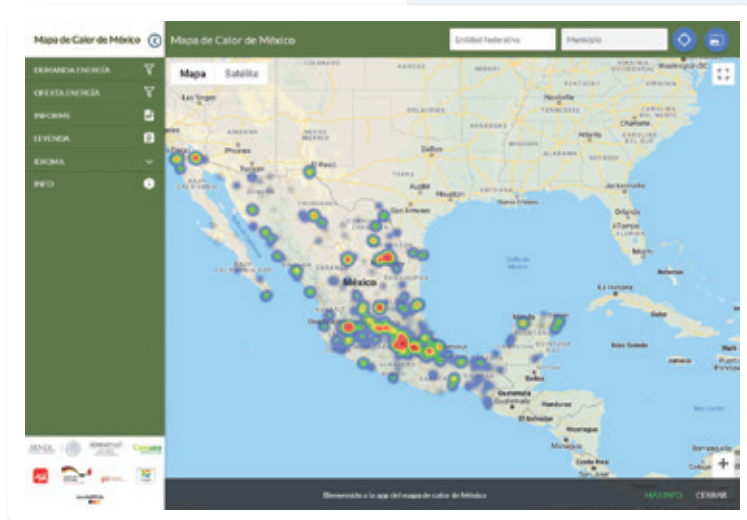
The solar thermal potential (applied to the tertiary sector alone) amounts to 1.91 TWh/year of heat, generating a primary energy saving of 2.13 TWh(PCI)/year. It is hoped that as the technology allows for a greater generation temperature at a lower cost, it can be implemented in the industrial sector in those areas where fossil fuels are more expensive, considerably enhancing its potential.

Residual heat, biogas and biomass could contribute to a total primary energy saving of 25 TWh(PCI)/year with a lower investment than CHP, but with a lower economic return as it does not have much impact on electricity consumption. It is worth mentioning that biomass and biogas are the only

two technologies that are able to reduce CO₂ emissions in industrial processes that require high temperatures.

Applying a combination of these technologies would provide a total heat generation of 134 TWh/year. However, many of these technologies are mutually exclusive while others can be combined, which is why this figure must be taken as a maximum estimate.

The total saving in primary energy amounts



Detalle de la aplicación web que permite consultar los resultados del Mapa de Calor de México
Detail of the web application enabling consultation of the Mexico Heat Map results

92 TWh(PCI)/a, equivalente a una reducción de 20 millones de toneladas de CO₂. El ahorro económico que representa esta cantidad de combustible asciende a 1.200 M\$, que se podría incrementar hasta 3.700 M\$ si se tiene en cuenta la generación eléctrica de la cogeneración.

Mapa de calor

Los datos de la demanda de calor, la oferta térmica y los resultados del potencial pueden consultarse mediante una aplicación web, desarrollada en colaboración con SIGE, donde se superponen los datos calculados en un mapa interactivo de México. Esta aplicación permite visualizar y estudiar detalladamente la densidad de demanda de calor, identificar los principales puntos de ofertas de biocombustible y calor, así como los potenciales técnicos de cada tecnología. Una herramienta útil que permite, tanto al planificador como al inversor, optimizar el reparto y uso de biocombustibles e identificar proyectos de eficiencia energética en México con el objetivo de mejorar su competitividad económica y su contribución al desarrollo de las tecnologías limpias.

to 92 TWh(PCI)/year, equivalent to a reduction of 20 million tonnes of CO₂. The economic saving represented by this quantity of fuel amounts to US\$1.2bn, a figure that could rise to US\$3.7bn when taking into account electricity generation from CHP.

Heat map

The data on heat demand, the thermal offer and the results of the potential can be viewed via a web application developed in collaboration with SIGE, which superimposes the calculated data onto an interactive map of Mexico. This application can visualise and study in detail the density of the demand for heat, identify the main points for the offers of biofuel and heat, as well as the technical potentials of each technology. A useful tool that enables both the planner and the investor to optimise the distribution and use of biofuels and to identify energy efficiency projects in Mexico with the aim of improving its economic competitiveness and its contribution to the development of clean technologies.



Jaume Roqueta López

Licenciado en Físicas del Departamento de Desarrollo de Sistemas de AESA
Bachelor of Physics, Systems Development Department at AESA

María Silvia Yuste Colomera

Ingeniera Energética del Área de Consultoría de AESA | *Energy Engineer, AESA Consultancy Department*