



Energía solar térmica en industria



Potencial de Aplicación de la Energía Solar en Procesos Industriales Térmicos en Chile

Alfredo González García

Santiago, 07 de Diciembre de 2018

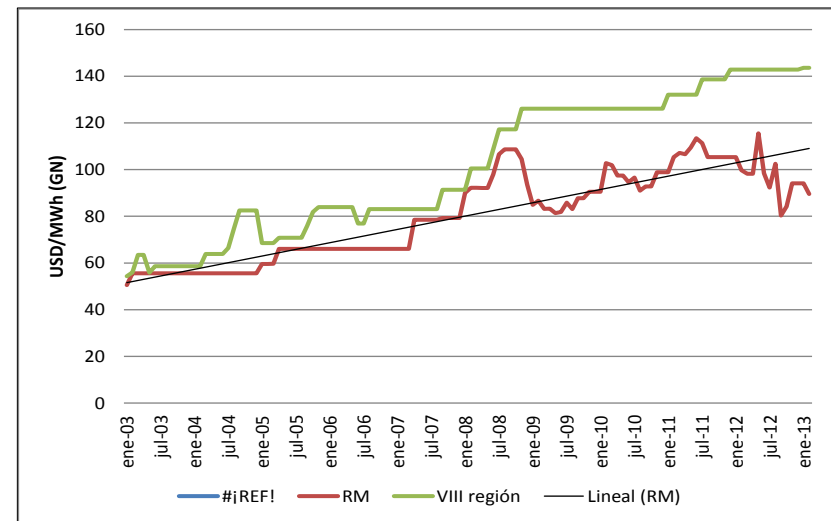
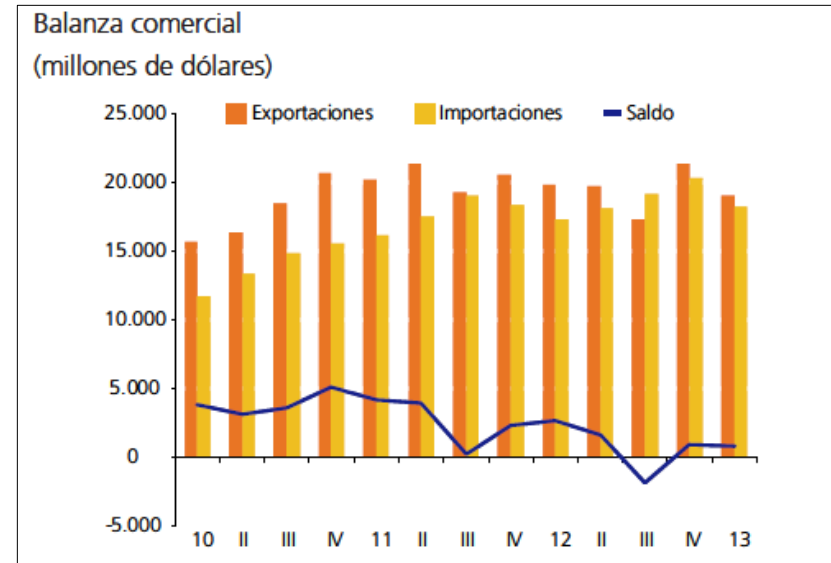
Seminario "Tecnologías Solares para Suministro de Calor en Procesos Industriales"

Proyecto apoyado por

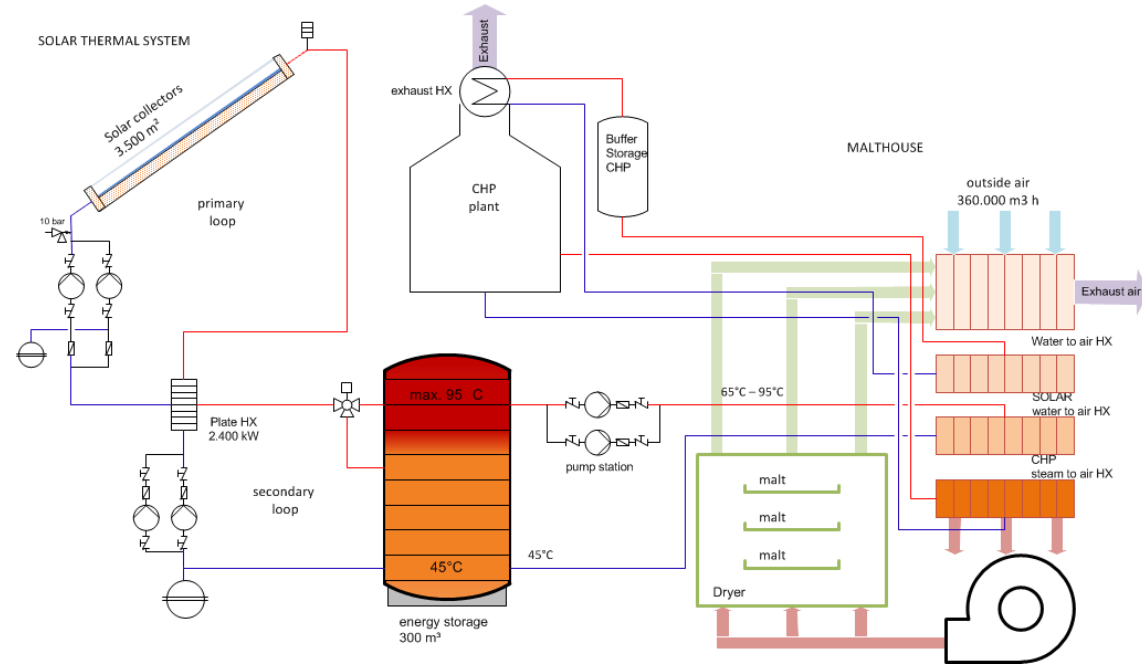


Motivación. La Problemática

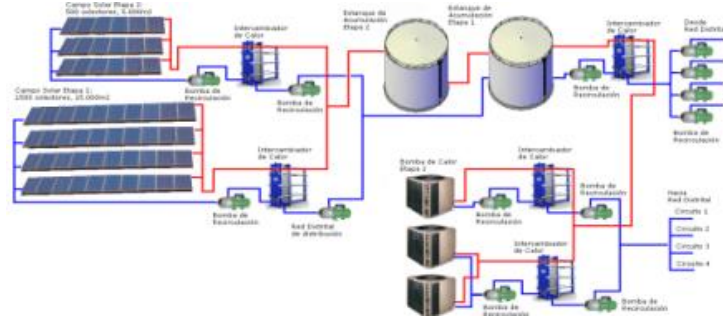
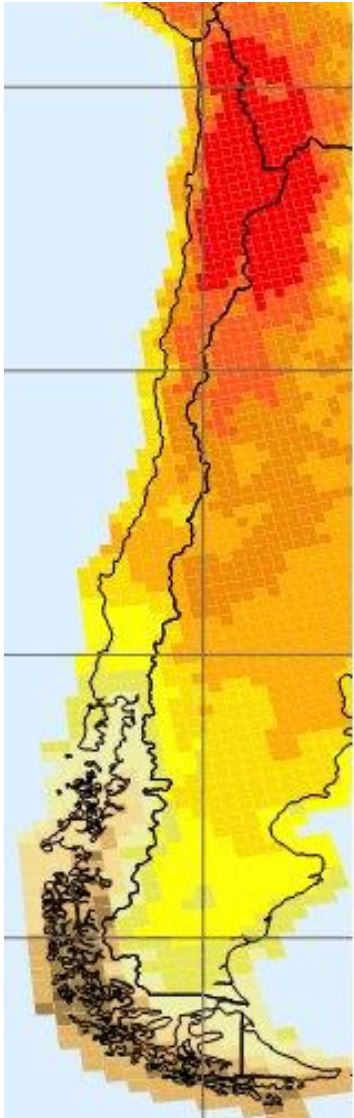
- Industria y Minería consumen un 37% de la Energía Secundaria de Chile
- Un 88% de dicha energía es importada y representa un 15,6% de los bienes importados, 11.704 Millones de US\$
- El costo promedio de la energía térmica ronda los 100US\$/MWh, restando competitividad a la Industria Chilena



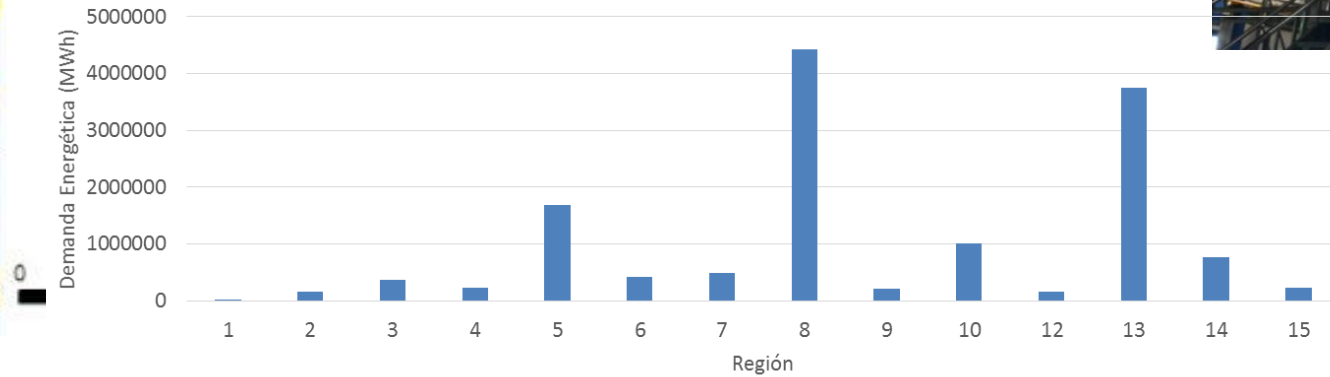
La Oportunidad



La Oportunidad



Demanda Energética Total Industria No-Minera



- Los procesos industriales susceptibles de ser apoyados con **energía solar térmica** representan un **13% del consumo en Industria y Minería** y un **5% del consumo total de Energía Secundaria**
- El **ahorro potencial** identificado en Appsol es de **548 Millones de US\$**, un 0,7% de las importaciones de bienes y un 8,8% de la Balanza Comercial
- La producción local de dicha energía, conlleva la **generación de un nuevo mercado**
- La reducción de costos de la energía **mejora la competitividad de la Industria Chilena**



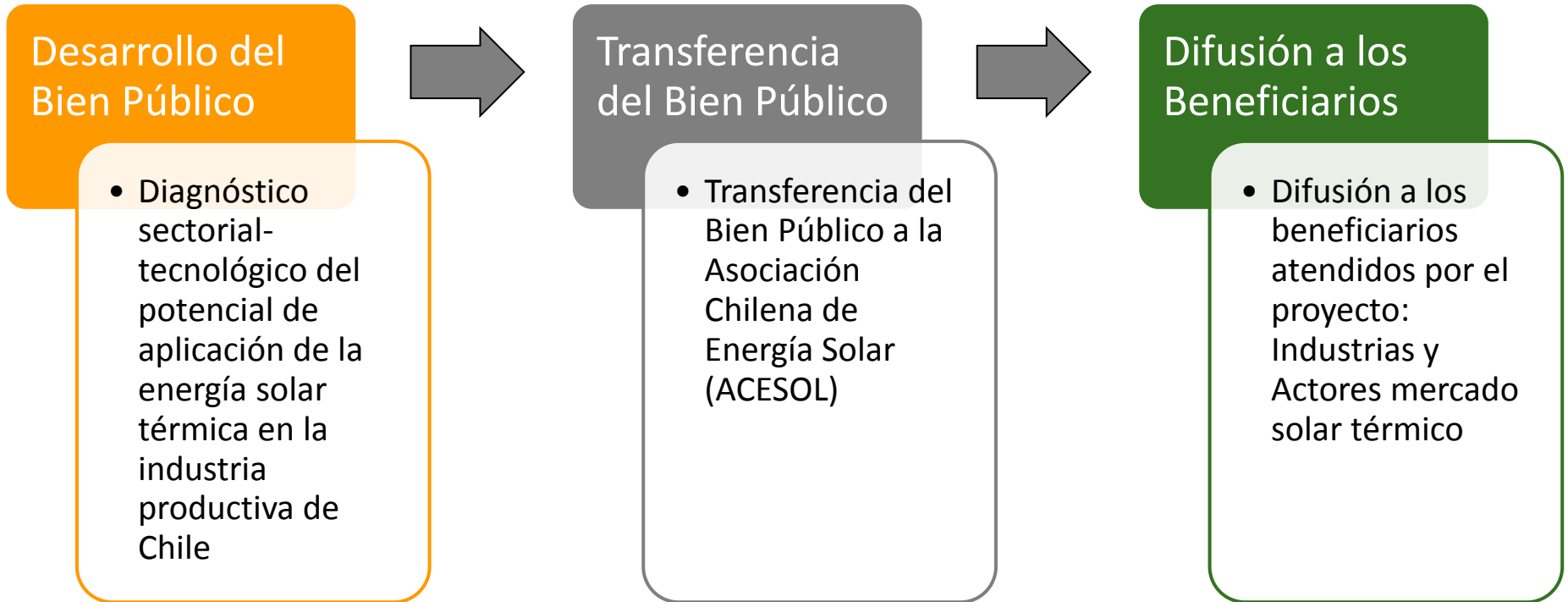
The screenshot shows the Appsol website homepage. At the top, the Appsol logo is displayed with the tagline "Energía solar térmica en industria". Navigation links include HOME, APPSOL, PARTNERS, CASOS DE ÉXITO, EVENTOS, NOTICIAS, ACTORES, ENLACES, RESULTADOS, HERRAMIENTA, and DOCUMENTOS. A main banner features a large image of a solar collector and the text "Jornada Técnica: 'Energía Solar para calor y frío en procesos Industriales'". Below this, there is a section for "Noticias" with a sub-header "Presentación de AppSol en Exposolar" and a "Casos de éxito" section titled "Contank. Limpieza de camiones". The footer includes logos for CORFO, Ministerio de Energía, and ACESOL.

This screenshot shows a different page on the Appsol website. It features a large background image of a solar collector installation on a building roof. The text "Appsol-Therm - Energía Solar Térmica en la industria" is overlaid on the image. The navigation bar at the top includes Home, Programas, Industrias, Casos de Éxito, Formación, Biblioteca, and Eventos. There are also social media icons for LinkedIn and Facebook.



Propiciar un **mayor conocimiento** en el mercado nacional de las diferentes **aplicaciones tecnológicas de SST**, a las condiciones particulares de una parte importante de la **industria productiva nacional**, con el fin de estimar el **potencial técnico-económico** de la implementación de estas tecnologías de energías renovables en sus respectivos **procesos industriales de calor y frío**.

Etapas del proyecto



1. **APLICACIÓN Y POTENCIAL**
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

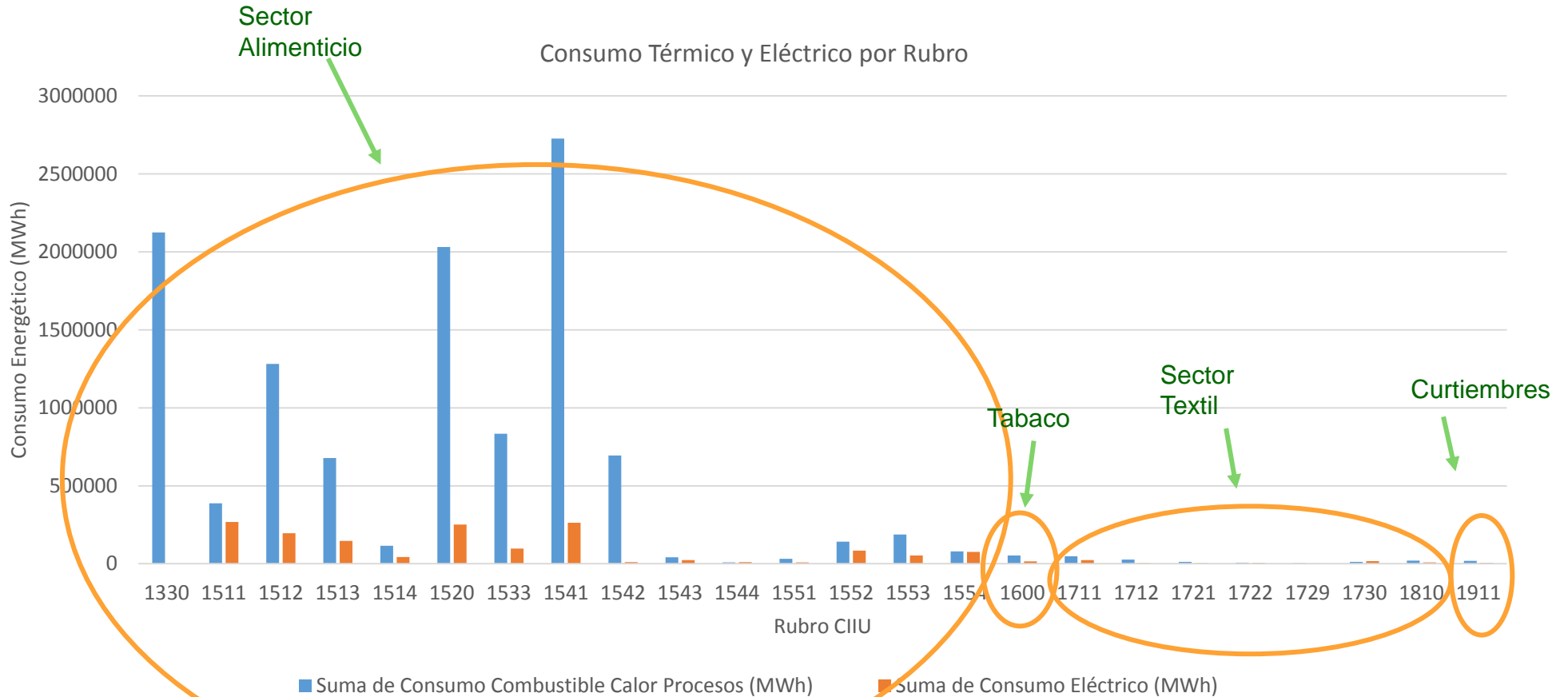


Caracterización Industria Nacional - Fuentes de Información



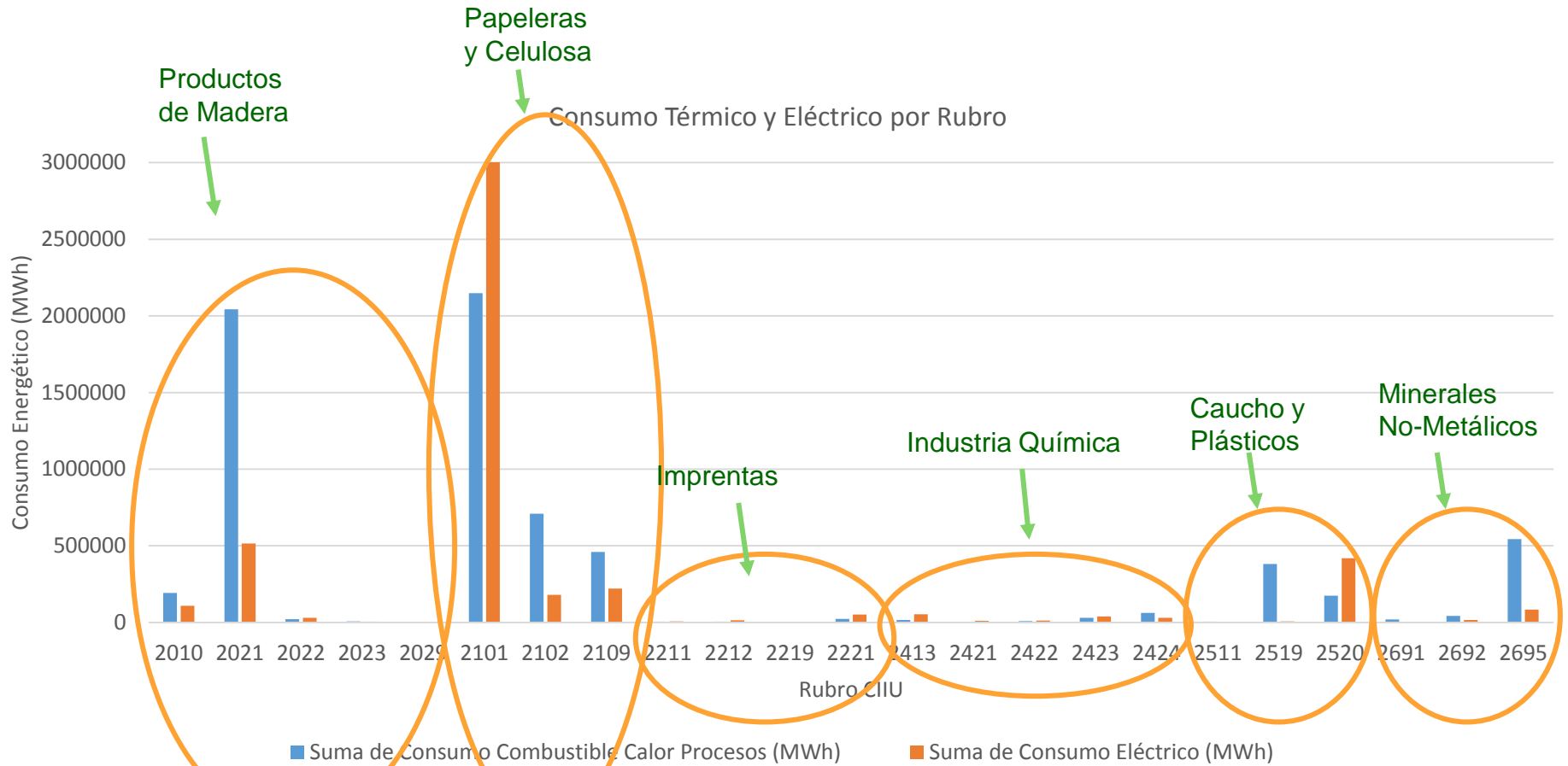
Caracterización Industria No-Minera

Consumos Totales de Combustibles y Eléctricos por Rubro Seleccionados

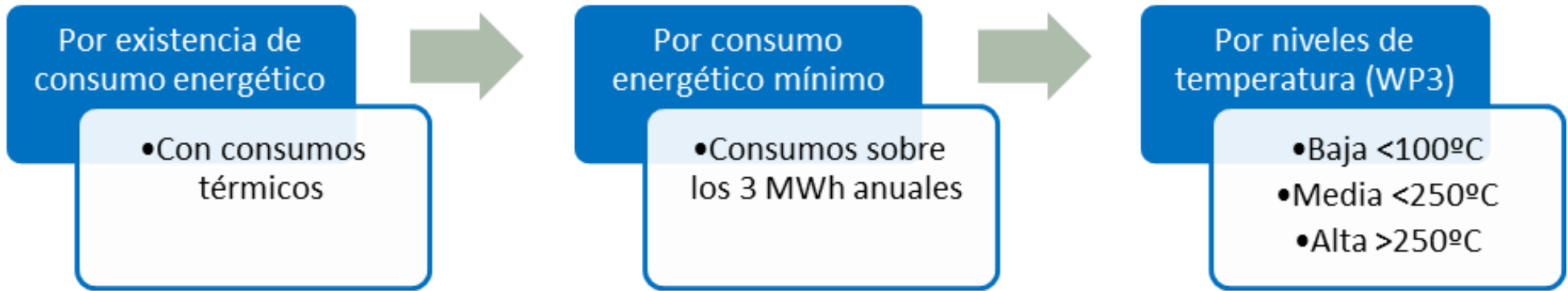


Caracterización Industria No-Minera

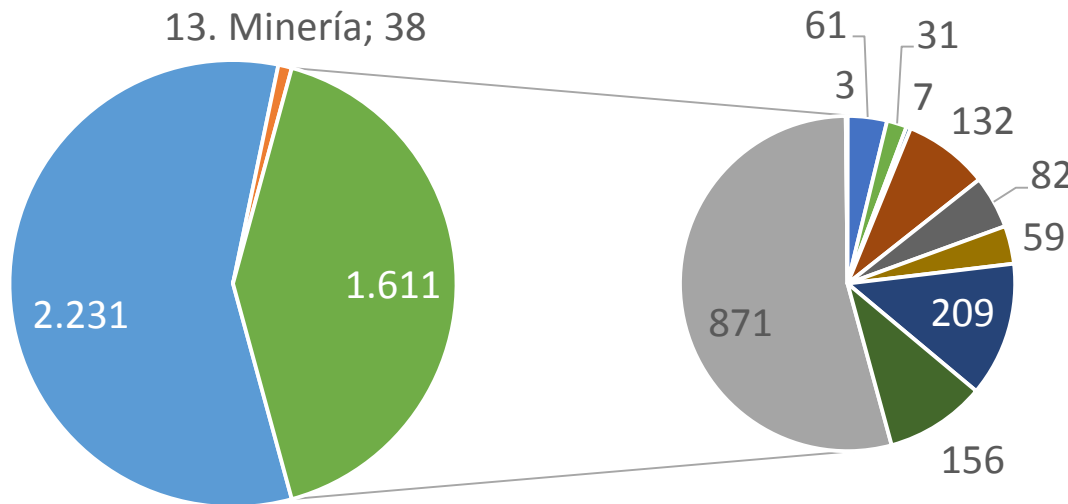
Consumos Totales de Combustibles y Eléctricos por Rubros Seleccionados



Caracterización Industria y Minería

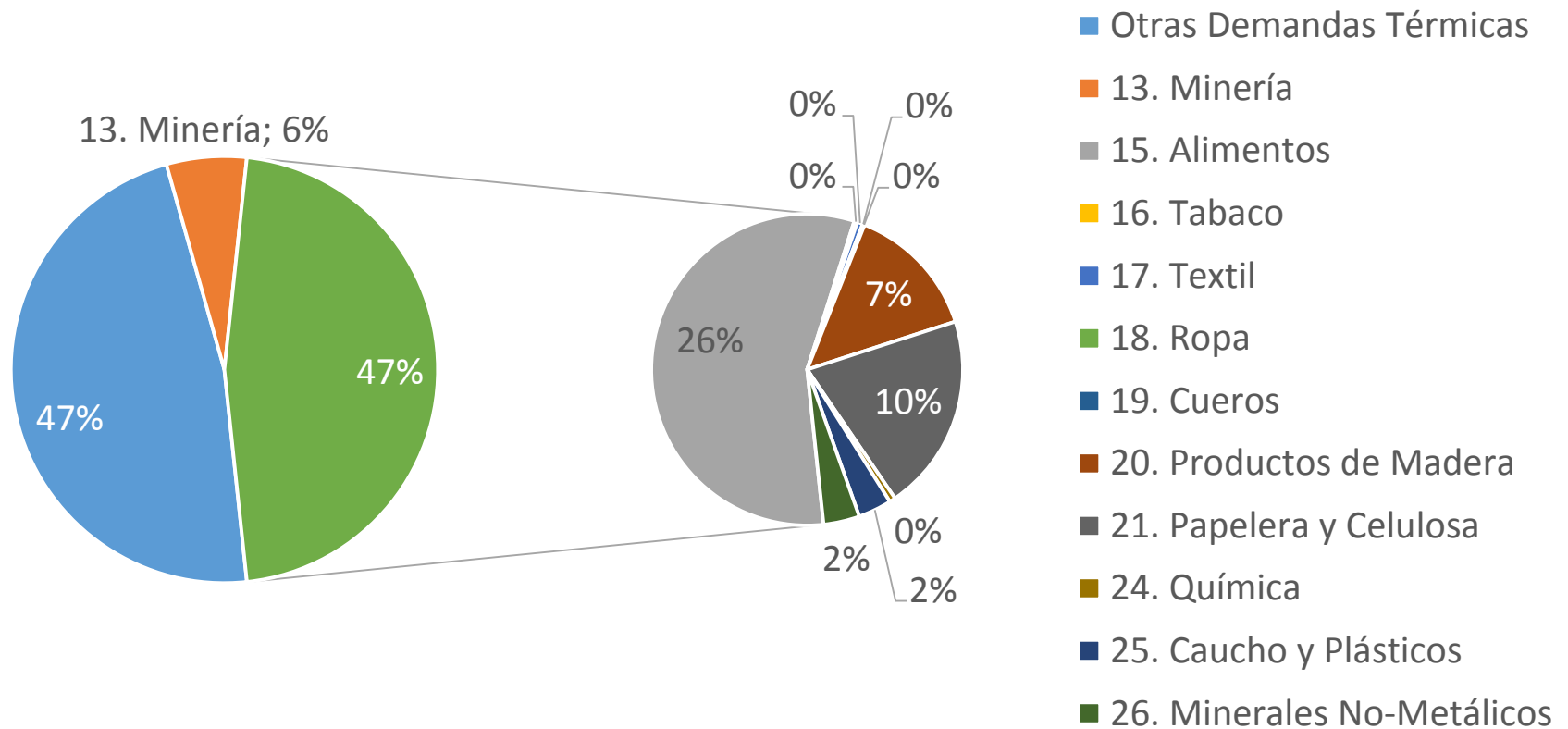


Distribución Nº de Industrias y Minería Chilena

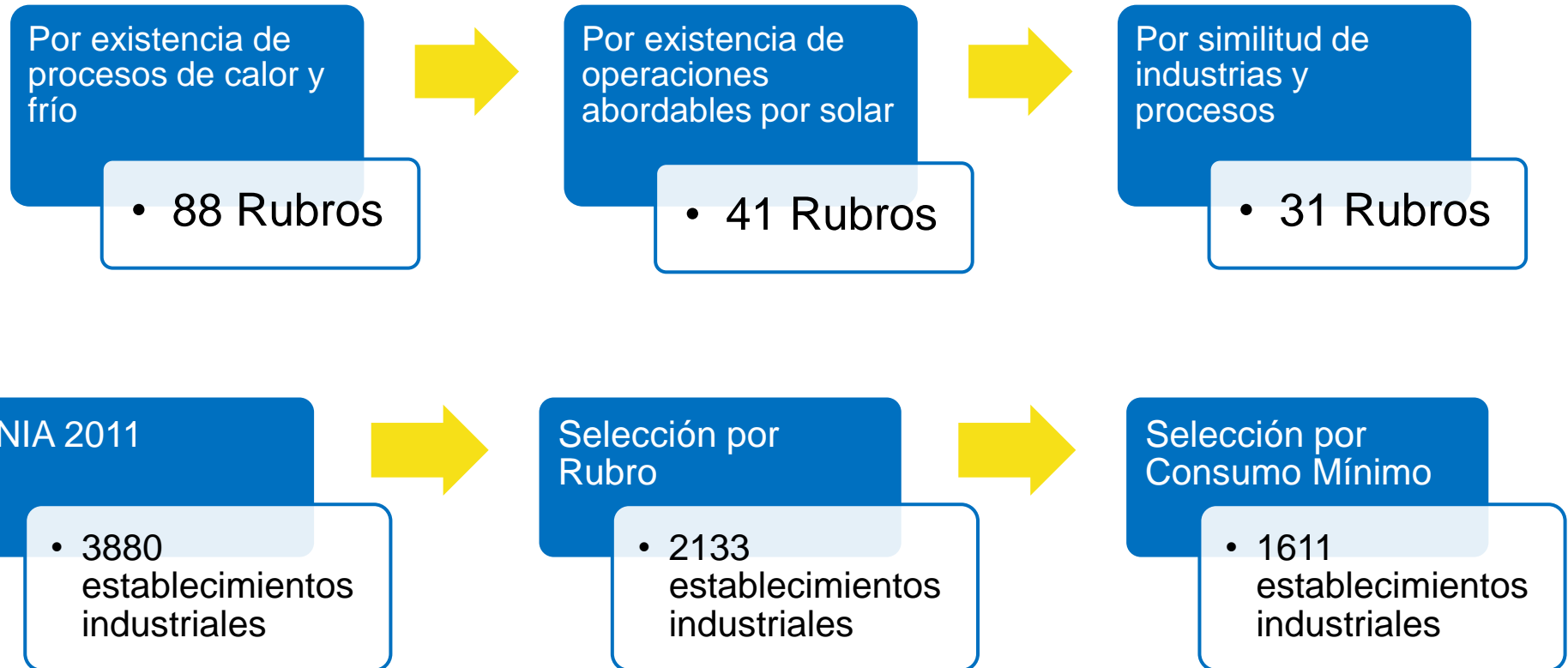


- Otros Rubros
- 13. Minería
- 15. Alimentos
- 16. Tabaco
- 17. Textil
- 18. Ropa
- 19. Cueros
- 20. Productos de Madera
- 21. Papelera y Celulosa
- 24. Química
- 25. Caucho y Plásticos
- 26. Minerales No-Metálicos

Distribución Demanda Térmica en la Industria y Minería Chilena

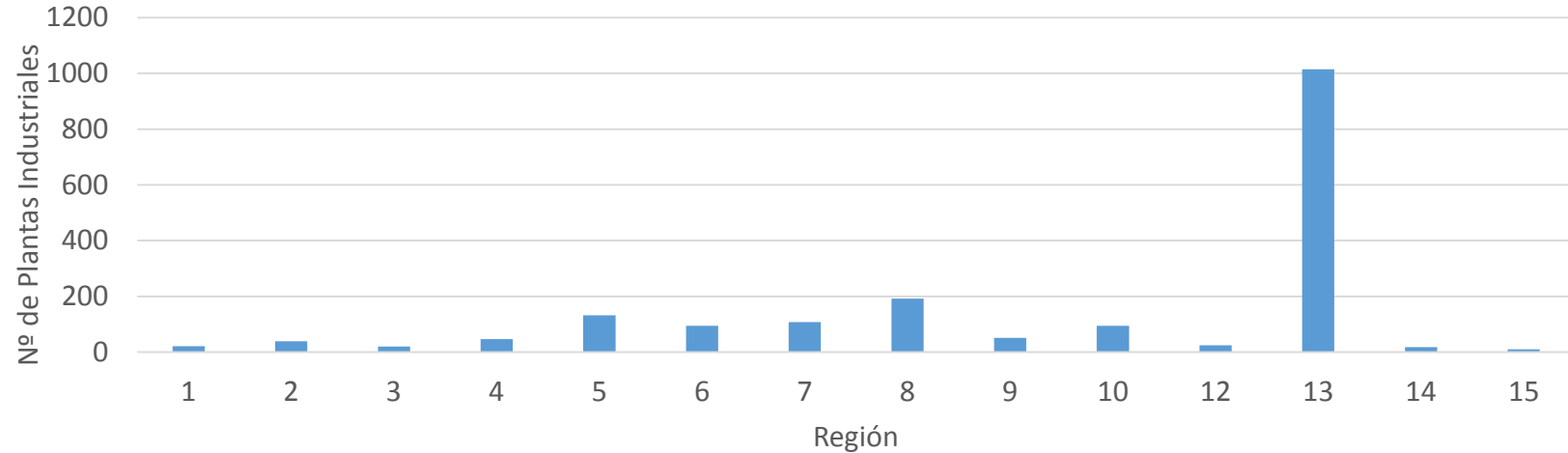


Caracterización de los Rubros y Establecimientos Industriales

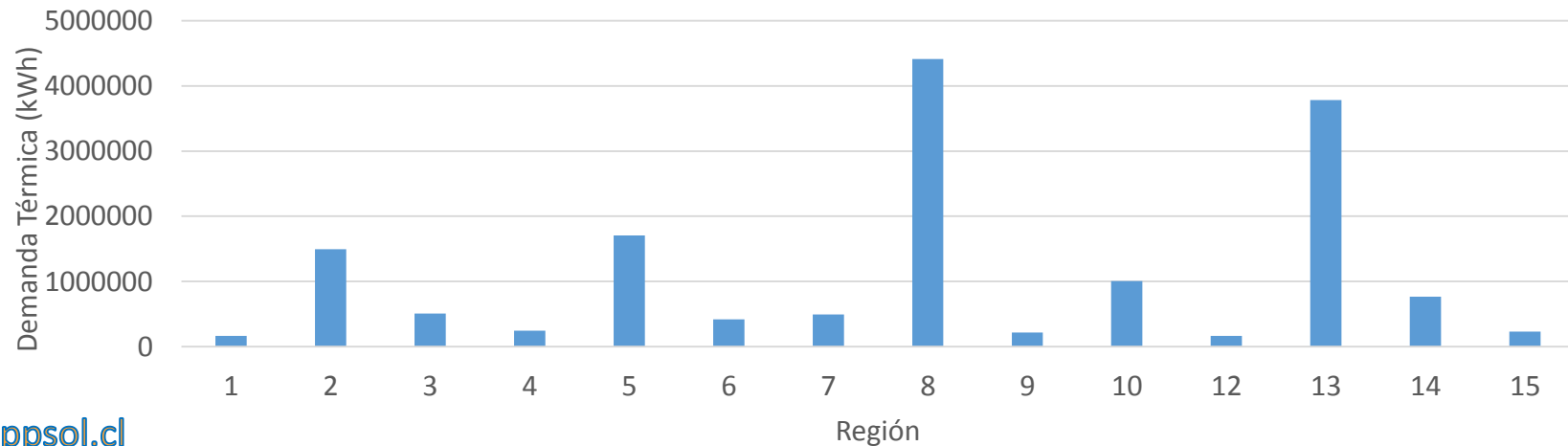


Distribución Regional Sector Industrial

Nº de Establecimientos del Sector Industrial por región



Demanda Energética Total Sector Industrial



Potencial de Mercado de Sistemas Solares Térmicos en IM

Estimación preliminar de Superficie Potencial de SST

Región	Demanda Térmica (MWh)	Radiación (kWh/m ² .a)	Potencial estimado SST (m ²)
15	229.860	2343	65.403
1	165.491	2070	53.298
2	1.495.332	2362	422.053
3	505.575	2178	154.752
4	243.743	1817	89.431
5	1.703.923	1620	701.203
6	418.180	1605	173.699
7	491.668	1512	216.785
8	4.415.575	1537	1.915.235
9	214.810	1411	101.493
14	764.971	1344	379.450
10	1.003.449	1216	550.136
12	164.538	874	125.506
13	3.782.380	1847	1.365.234
Total	15.599.495	-	6.313.678



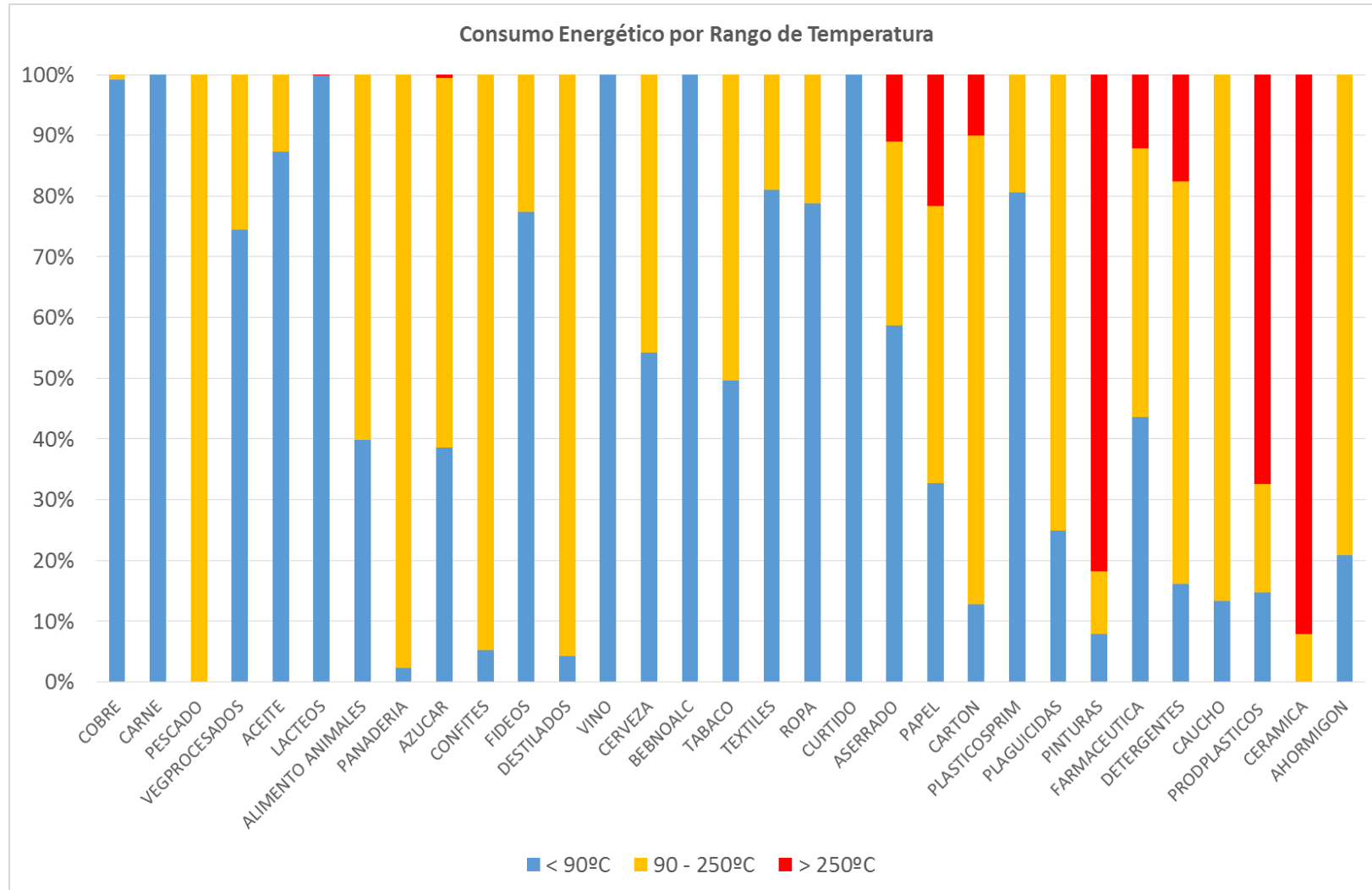
1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
- 2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES**
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES



Caracterización de las demandas térmicas, de calor y frío, de los rubros presentes en Chile.

- Identificación de procesos y operaciones.
- Determinación de rangos de temperatura (0 – 250 °C).
- Caracterización del caudal, temperatura, presión e intensidad energética de todas las operaciones y su porcentaje por industria.
- Caracterización de perfiles horarios y estacionales del consumo.

Rangos de Temperatura por Rubro Industrial



Ejemplo - Fichas de industrias tipo (1)



1.1. INDUSTRIA DEL COBRE

1.1.1. DESCRIPCIÓN:

La industria del cobre corresponde a aquella dedicada al refinamiento en forma de cátodos del cobre extraído.

La industria tipo que representa al rubro de la industria del cobre se compone en su mayoría de las operaciones necesarias para la producción de cátodos de cobre.

El "Anuario 2012" de Cochilco, muestra que en Chile un 69,9% de los cátodos de cobre se elabora a partir del proceso de extracción por solvente y electroobtención, y un 30,1% a partir de electrorefinación.

El principal consumo de calor está asociado al calentamiento de electrolito para la electroobtención y el calentamiento del agua para lavado de cátodos.

1.1.2. REPRESENTATIVIDAD

La industria tipo que se describe a continuación busca representar un sector que puede incluir industrias correspondientes a distintos rubros. Estos rubros se recogen a continuación:

Tabla 1. Rubros representados por industria del cobre

CIU	Nombre
1330	Refinación de cobre

WPS.D01

1 de 4



1.1.3. OPERACIONES CONSUMIDORAS DE CALOR Y FRÍO

A continuación se presentan las operaciones consumidoras de calor y frío en estas industrias tipo.

Tabla 2. Operaciones consumidoras de calor en la industria del cobre.

Operación	Producto Producido	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Temperatura entrada producto a operación [°C]	Temperatura salida producto de operación [°C]	Consumo energético por cantidad de producto [kWh]
Electrorefinación EN	COBRE	60	62	60	62	0,50%
Pre calentamiento electrolito EW	COBRE	38	46	38	46	79,20%
Calentamiento agua lavado	COBRE	18	53	18	53	20,30%

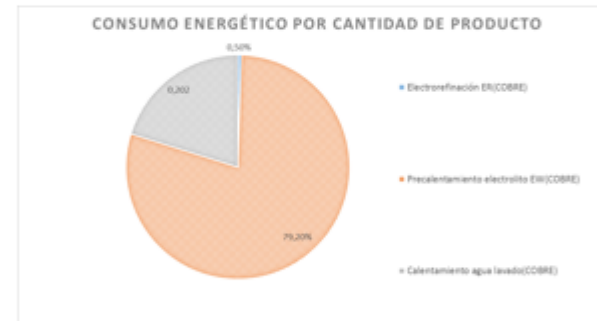


Ilustración 1.

WPS.D01

2 de 4



Ejemplo - Fichas de industrias tipo (2)



1.1.4. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE TEMPERATURA

A continuación se presenta la distribución de niveles térmicos según su peso relativo dentro de la industria, tanto por temperatura de operación, requerida, cómo de retorno, que llega al sistema solar.

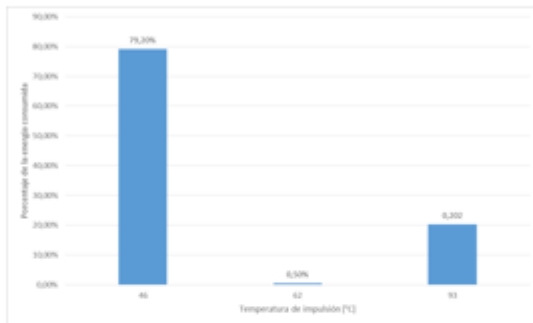


Ilustración 4. Consumo por rango de temperatura de impulsión

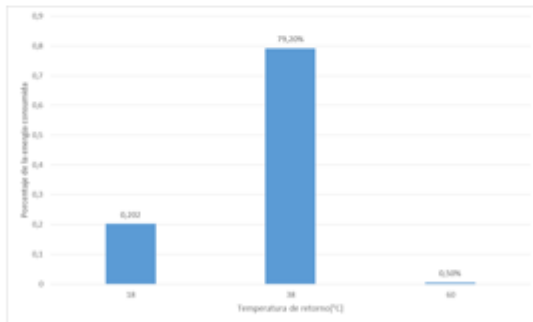


Ilustración 5. Consumo por rango de temperatura de retorno

WPI_D01

2 de 4



1.1.5. INDUSTRIA SIMULADA

Para simular la industria se integraron algunas operaciones con temperaturas de retorno similares, para obtener 4 operaciones. Éstas se presentan en la siguiente tabla

Tabla 3. Operaciones a simular de la Industria del cobre.

Operación	Producto	Calor [t] o frío [t]	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Porcentaje de consumo de energía por unidad de producto [%]
Calentamiento electrolítico	COBRE	Q	60	62	1,99%
Calentamiento electrolítico	COBRE	Q	38	40	79,00%
Lavado	COBRE	Q	18	19	20,00%

En la tabla de operaciones a simular, la operación agregada corresponde a:

Tabla 4. Operaciones correspondientes a la operación agregada continúa de la Industria del cobre.

Operación	Producto	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Porcentaje de consumo de energía por unidad de producto [%]
-----------	----------	-----------------------------	-------------------------------	---


1.1.6. FUENTES:


WPI_D01

4 de 4



Ejemplo - Fichas de operaciones (1)





1.1. SECADO

1.1.1. DESCRIPCIÓN:

El secado consiste en la remoción de una cantidad de agua u otros líquidos de un material sólido para reducir su humedad residual hasta un valor determinado.

Generalmente el secado es el último paso de una serie de operaciones, y usualmente el producto procesado por la etapa de secado ya se encuentra lista para su empaque.

El secado industrial es una operación de uso intensivo de la energía y se extiende a varias industrias, como por ejemplo: "Química, Cerámica, Alimentos, Minería, Papel, Textiles y varios otros".

Los sólidos a secar pueden encontrarse en varias formas: granular, polvo, hojuelas, escamas, estibones u hojas continuas. El líquido a remover puede estar en la superficie como en el caso de los minerales; puede estar completamente dentro del sólido, como en el caso de remoción de solvente de una capa de polímero; o puede ser una mezcla de ambos casos.

"La forma en la que la temperatura varía en los secaderos depende de la naturaleza y contenido de líquido del material, de la temperatura del medio de calefacción, del tiempo de secado y de la temperatura final que toleran los sólidos secos." (1)


Existen varias maneras de clasificar los equipos de secado; algunos operan de forma continua y otros de forma discontinua (como operación **batch**); algunos secan los sólidos y **otros** no; puede utilizarse vacío para reducir la temperatura de evaporación; algunos soportan casi cualquier tipo de material a secar y otros tienen una lista bastante limitada.


En el caso que se utilice vapor proveniente desde una caldera es relevante recalcar que si **bien** el ciclo es usualmente cerrado, hay un porcentaje del caudal de agua que se renueva constantemente (conocido como **make-up**). En este tipo de operaciones dicho valor puede alcanzar hasta un 40% del flujo total y la temperatura de ese fluido es normalmente **ambiente**, lo que acarrea un gasto de combustible mayor para el generador de vapor.

1.1.2. HIPÓTESIS:

- Se calcula el caudal de aire necesario para remover la cantidad de agua establecida para cada industria tipo a partir de la humedad del producto a la entrada y salida de la operación de secado mediante un balance de masas.
- Se considera que la temperatura de ingreso del aire es de 35°C y con una humedad relativa de 80%.
- El contenido de agua por unidad de aire seco se obtiene de diagramas **psicrométricos** considerando la humedad relativa del aire y su temperatura.

WFS_D01.v1.1 Informe de Avance
1 de 4





- Se considera que el intercambiador de calor aire-aire tiene una eficacia (ϵ) de 0,80

1.1.3. PRESENCIA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA CHILENA:

La operación se encuentra presente en las siguientes industrias (según código CIU):

Tabla 1. Presencia de Secado en la Industria

Rubro	Clase
1532	Fabricación y conservación de pescado y productos de pescado
1534	Fabricación y conservación de frutas, legumbres y hortalizas
1542	Fabricación de aceites de remolacha o caña
1544	Fabricación de cascos y cáscaras y de productos de conchifera
1546	Fabricación de mariscos, lácteos, alcornoques y productos farmacéuticos similares
1554	Fabricación de bebidas azucaradas, cervezas y malta
1600	Fabricación de productos del tabaco
1601	Curado y adobo de carnes
2101	Fabricación de pasta de madera, papel y cartón
2424	Fabricación de plásticos en formas primarias y caucho sintético
2425	Fabricación de plásticos y otros productos químicos de uso agropecuario
2426	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos
2428	Fabricaciones de jabones y detergentes, preparadas para limpiar y pulir, perfumes y preparadas de tocador
2622	Fabricación de productos de cerámica refractaria
1714	Preparación de hilados de fibras textiles; tejeduría de productos textiles
1724	Acabado de productos textil
1726	Fabricación de artículos confeccionados de materias textiles, excepto prendas de vestir
1728	Fabricación de tapices y alfombras
1734	Fabricación de otros productos textiles químicos
1736	Fabricación de tejidos de punto
1738	Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel
2024	Acabado y ensamblado de maderas
2026	Fabricación de bloques de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tablero laminado, tableros de gabinetes y otros tableros y gabinetes
2028	Fabricación de partes y piezas de carpintería para molinos y construcciones
2034	Fabricación de recipientes de madera
2036	Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de carnos, paja y materiales texturizados
2038	Fabricación de muebles
2124	Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón
2126	Fabricación de otros artículos de papel y cartón

WFS_D01.v1.1 Informe de Avance
2 de 4



Ejemplo - Fichas de operaciones (2)



1.1.4. PARÁMETROS DE OPERACIÓN:

Las industrias tipo en que se encuentran las operaciones y los parámetros de operación son los siguientes:

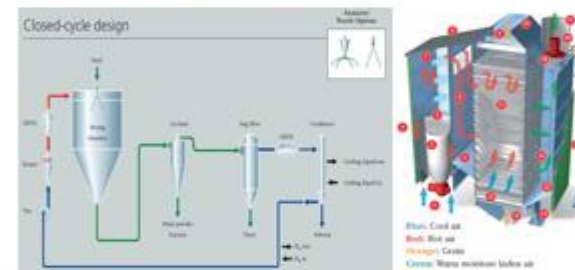
Tabla 2 Parámetros de operación para Secado

Código de industria tipo	Industria tipo	Fluido tratado	Temperatura de operación [°C]	Horas anuales de operación [horas]	Consumo de energía por cantidad de producto [kWh/tq]	Porcentaje de consumo energético en la industria tipo [%]
1512	Industria pesquera	vapor	55	3768	0,0969	75,83%
1513	Industria de frutas y hortalizas procesadas	agua aire	74	2616	0,0006	0,12%
1542	Industria del queso	Agua-aire	95	6260	0,1	32,82%
1543	Industria de productos de chocolate y confites	vapor	55	2504	1,8723	90,23%
1544	Industria de fideos	Agua	0	6260	0,1821	60,90%
1553	Industria de las cervezas	Agua	80	6260	0,3577	60,62%
1600	Industria del tabaco	Agua-aire	90	3654	0,0852	53,60%
1600	Industria del tabaco	Agua-aire	80	3654	0,0376	23,67%
1911	Industria del cuero	Agua-aire	50	3654	0,4021	72,21%
2101	Industria de pastas de madera, papel y cartón	Agua-aire	0	8592	0,0012	47,53%
2413	Industria de plásticos primarios	aire	0	3654	0,0096	32,00%
2413	Industria de plásticos primarios	aire	0	3654	0,0001	1,01%
2421	Industria de los plaguicidas	agua	82-93	2088	0,4556	90,35%
2423	Industria farmacéutica	agua	80	3654	0	12,40%
2424	Industria de los jabones y detergentes	vapor-aire	70	3654	0,0245	17,61%
2692	Industria cerámica	vapor	225	5220	0,0996	7,96%



2692	Industria cerámica	Agua-aire	300	5220	0,0964	8,37%
171X	Industria textil	Agua-aire	115	3654	0,7514	33,90%
172X	Industria de prendas textiles	Agua	115	3654	0,7514	66,67%
202X	Industria de la madera	Agua	70	3654	0,3206	23,10%
202X	Industria de la madera	agua	440	3654	0,1522	10,96%
210X	Industria del papel y cartón	Agua-aire	120	6260	0,0012	18,56%

1.1.5. ESQUEMA EQUIPO O DIAGRAMA:



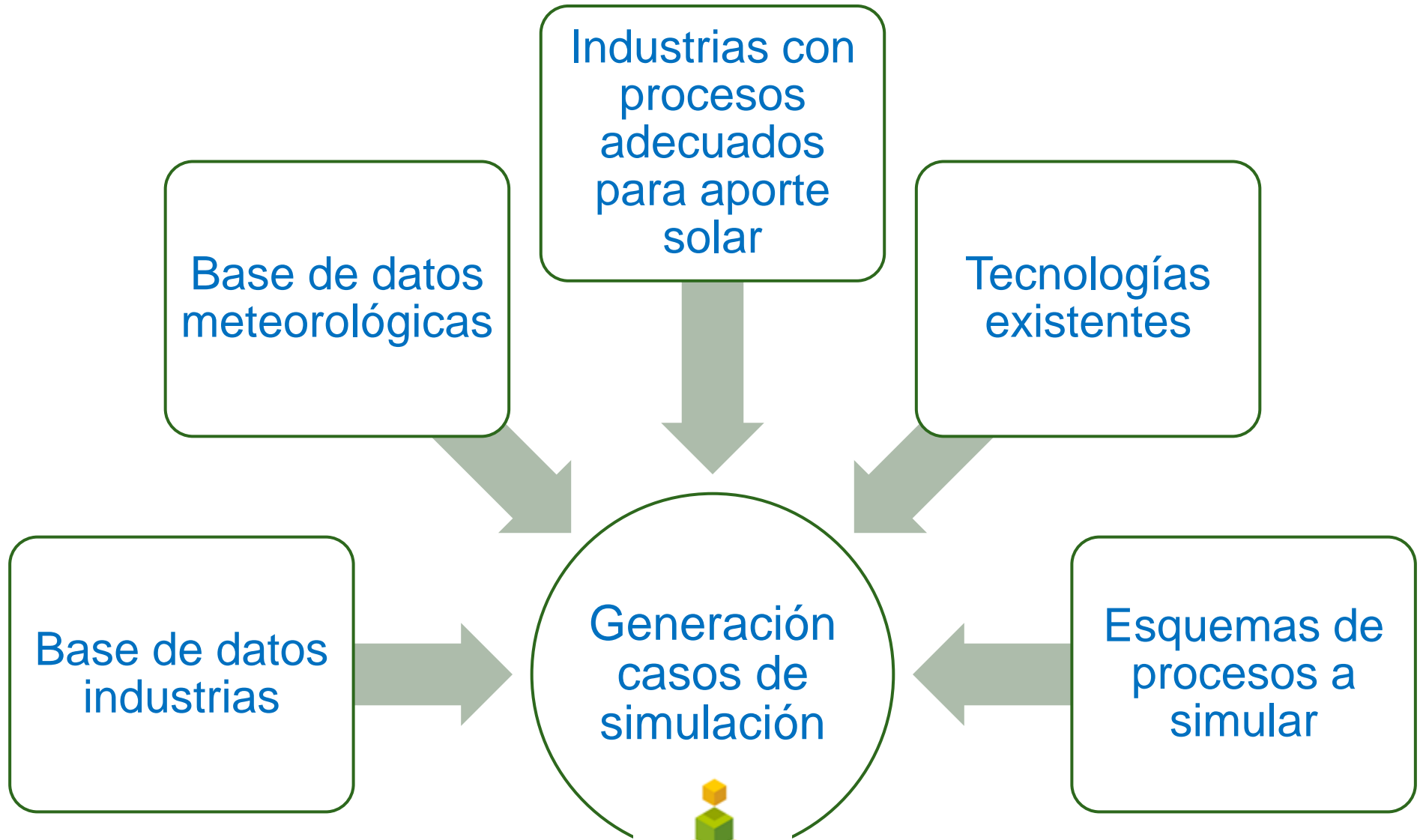
1.1.6. FUENTES:

- imagen 1: <http://www.cim.com/>
- imagen 2: <http://www.grandallgroup.co.uk/>
- (1) Warren S. Mc Cabe - **UNIVERSIDAD** Peter **UNIVERSIDAD** Operaciones unitarias en Ingeniería Química, **UNIVERSIDAD**, 4ta edición

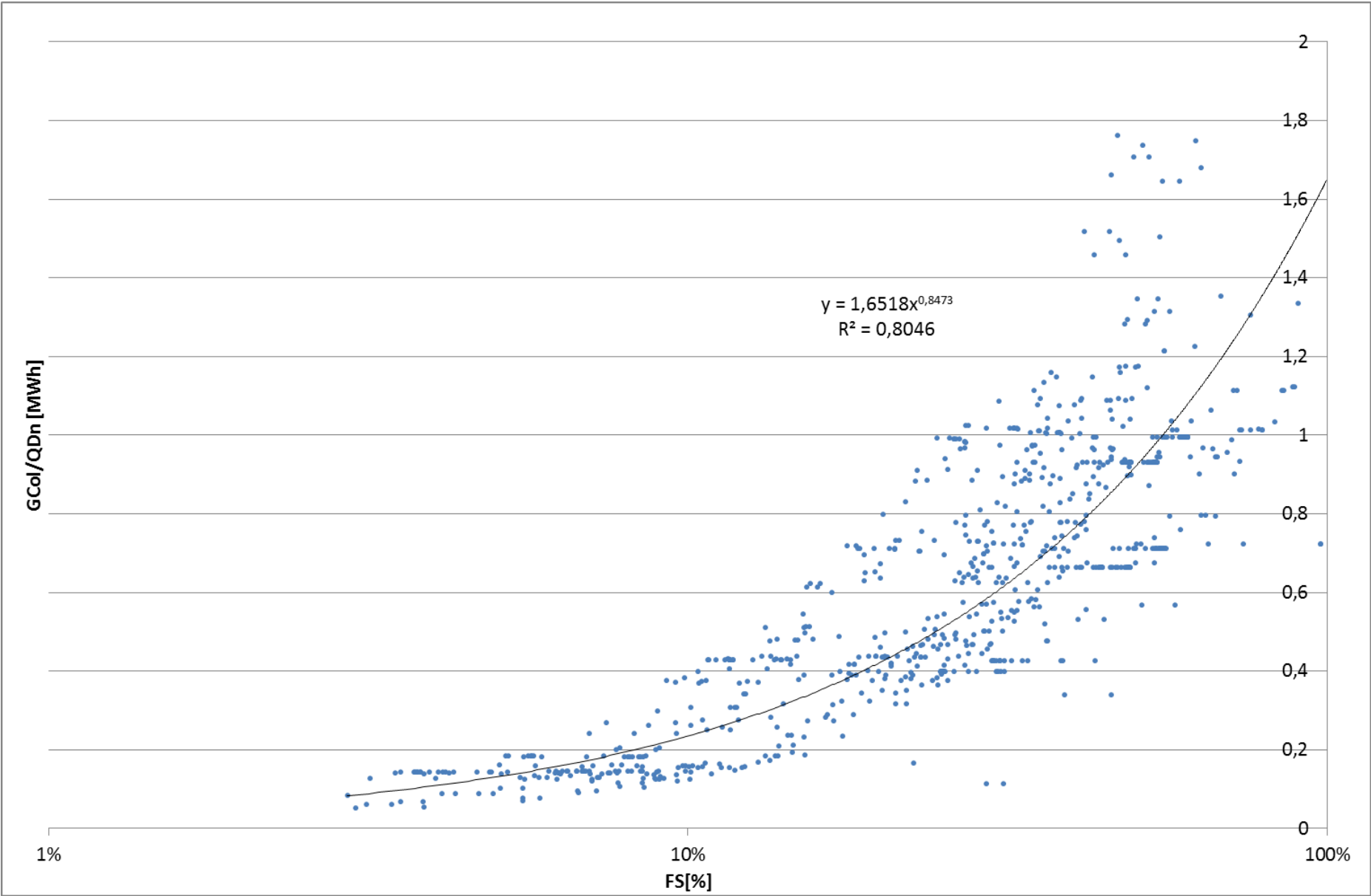


1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
- 3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

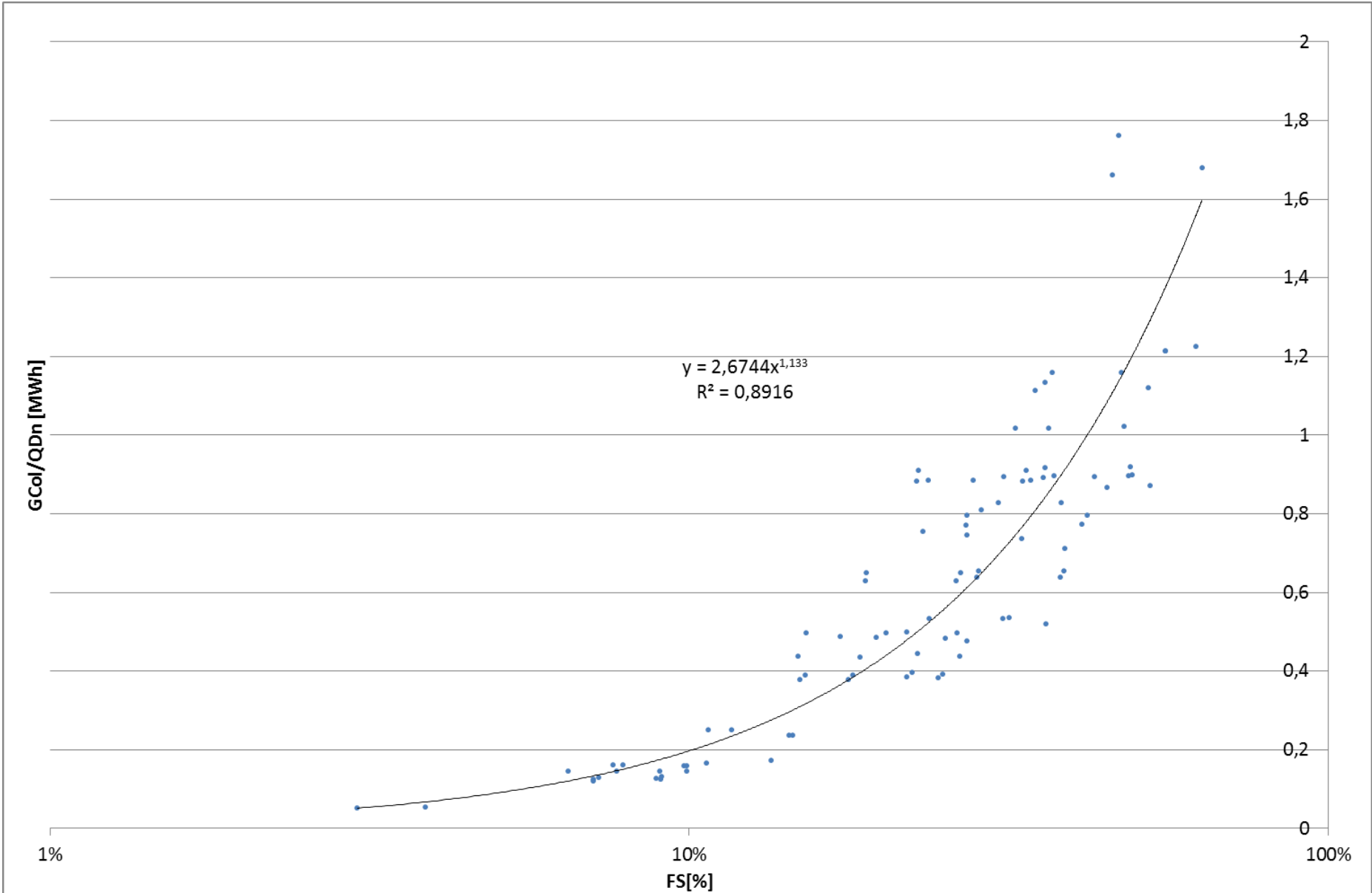
Simulaciones y Casos Estudiados



Simulaciones y Casos Estudiados



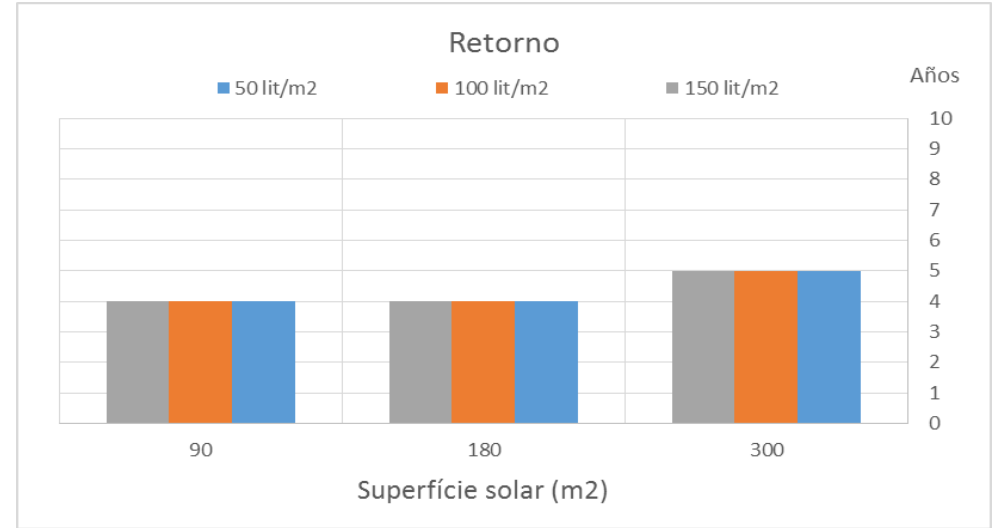
Ejemplo Rubro 1520: Industria Láctea



1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 4. CASOS DE ESTUDIO**
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

- Auditoría de 9 casos de estudio:
 - Industria de harina de pescado
 - Industria de conservas de pescado
 - Industria láctea
 - Industria cervecera
 - Industria de cerdos
 - Industria fruta
 - Industria alimentos procesados
 - Minera electroobtención
 - Minera biolixiviación

Caso de estudio Ejemplo Industria Cervecera



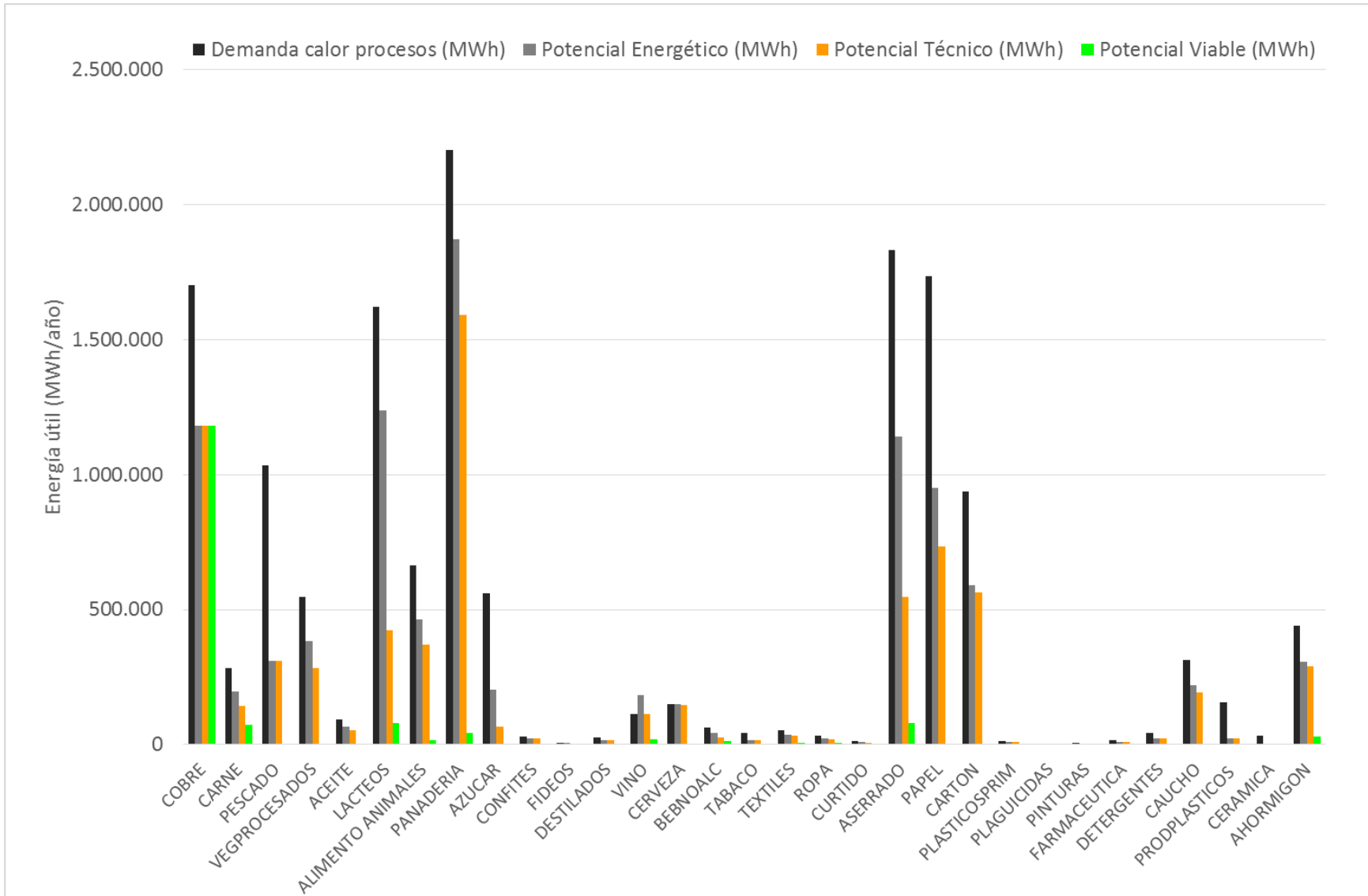
		Autoexplotación	ESCO
Área Captación	m2	300	300
Espacio ocupado	m2	500	500
Ubicación		CUBIERTA	CUBIERTA
Volumen	m3	45	30
Producción	kWh/m2,año	931	904
Aporte Solar	%	52.1%	50.6%
Costo Instalación	USD	208,948	-
Subvención FIA	%	40%	-
Costo Inversión	USD	125,369	-
TIR	%	22.2%	-
Costo Energía	USD/MWh	105	67
Ahorro primer año	USD	29,422	10,328
Ahorro total cliente	USD/10 años	224,116	135,878
Retorno	años	5	-



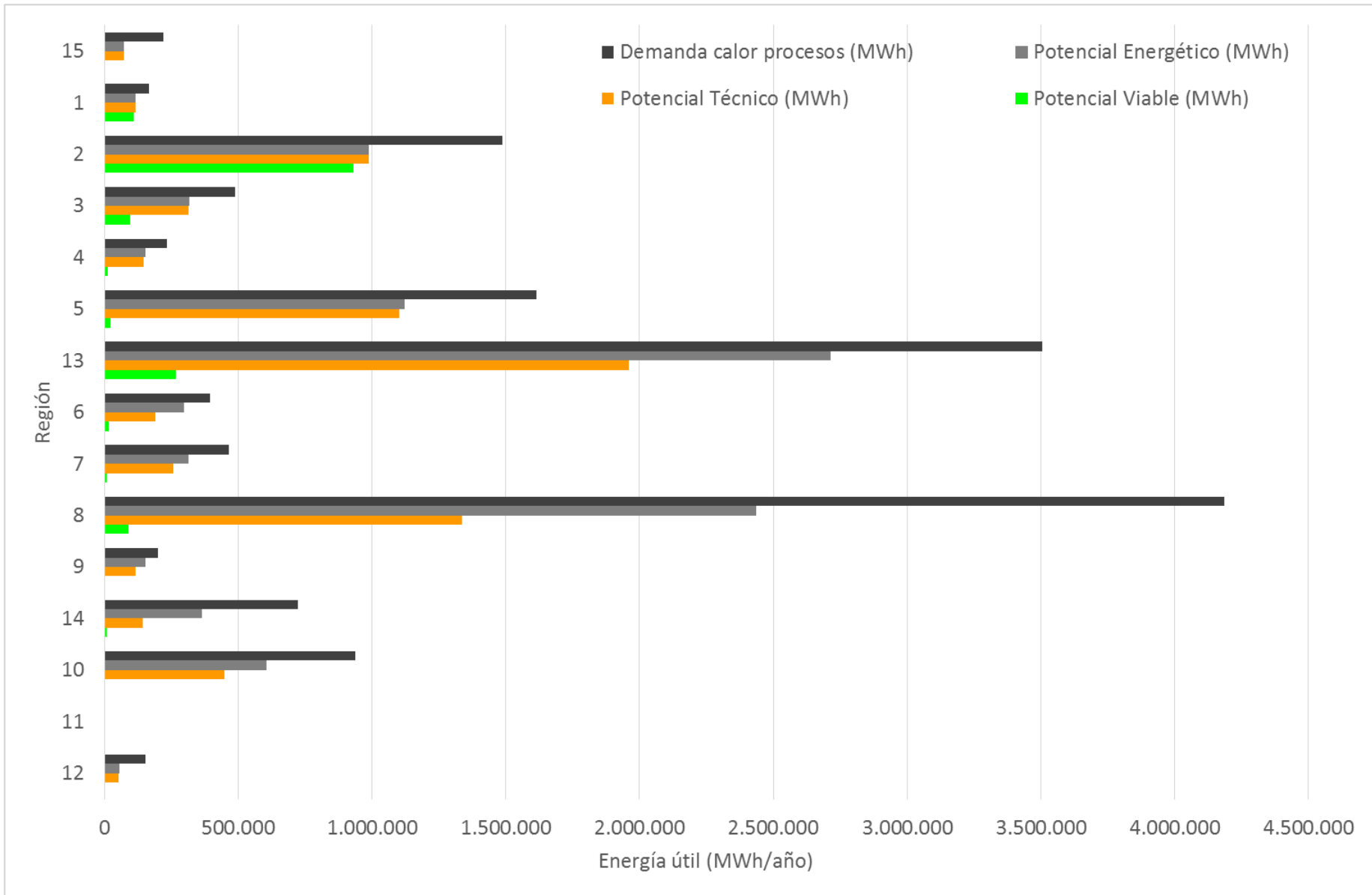
1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL**
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES



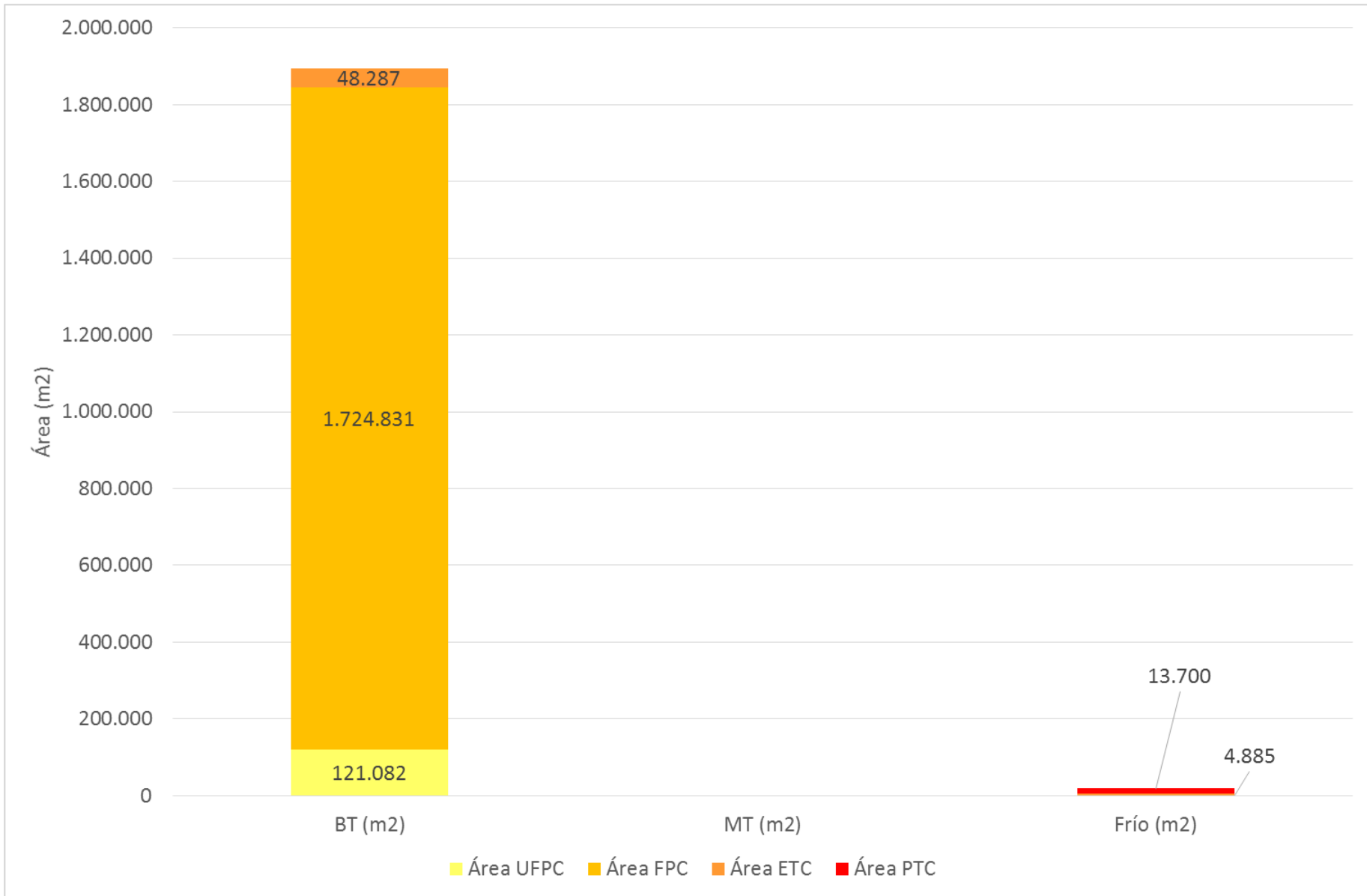
Potencial viable por Rubro



Potencial viable por Región



Potencial por tecnologías



Potencial por regiones y rubros

● CARNE
 ● ACEITE
 ● AZUCAR
 ● LACTEOS
 ● ALIMENTO ANIMALES
 ● PANADERIA
 ● VINO
 ● CERVEZA
 ● BEBNOALC
 ● TEXTILES
 ● ROPA
 ● CURTIDO
 ● ASERRADO
 ● AHORMIGON

Región	COBRE	CARNE	ACEITE	LACTEOS	MENTO ANIMA	PANADERIA	AZUCAR	VINO	CERVEZA	BEBNOALC	TEXTILES	ROPA	CURTIDO	ASERRADO	AHORMIGON	TOTAL
15						83										83
1	136.176											902			208	137.286
2	1.179.604								377						1.462	1.181.443
3	124.860															124.860
4	15.398	340						455							163	16.356
5	15.514	11.952						3.539							227	31.233
13	35.773	60.852	3.344	53.752	5.544	11.796		14.880	5.510	13.996	7.181	6.619	2.521	874	46.743	269.383
6	884	17.327						2.052								20.264
7		3.825						6.281								10.858
8		776			294	11.221								752	99.253	111.965
9					351										421	351
14				1.051			5.107									6.157
10					2.547											2.547
11																0
12																0
	1.508.209	95.072	3.344	55.447	19.312	11.879	5.107	27.207	5.886	14.898	7.181	6.619	2.521	100.878	49.224	1.912.785

1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

Herramienta de Evaluación de SST en Procesos Industriales

Ayuda en la decisión de alternativas solares de generación

- Evaluación directa de potencial solar en **distintos escenarios de aporte solar** (Área de captación, tecnología, ubicación, etc.)
- Cálculo de **producción solar de energía y fracción de cobertura** de la demanda.
- Cálculo de **factores económicos de decisión** y costos (CAPEX, OPEX, TIR, ahorro, etc.)


Rubro al que pertenece la industria a evaluar.

Evaluar aporte a generación de frío en la Industria?:

Área disponible: [m²]

Tipo de tecnología a evaluar:

Seleccione la localización en el mapa:

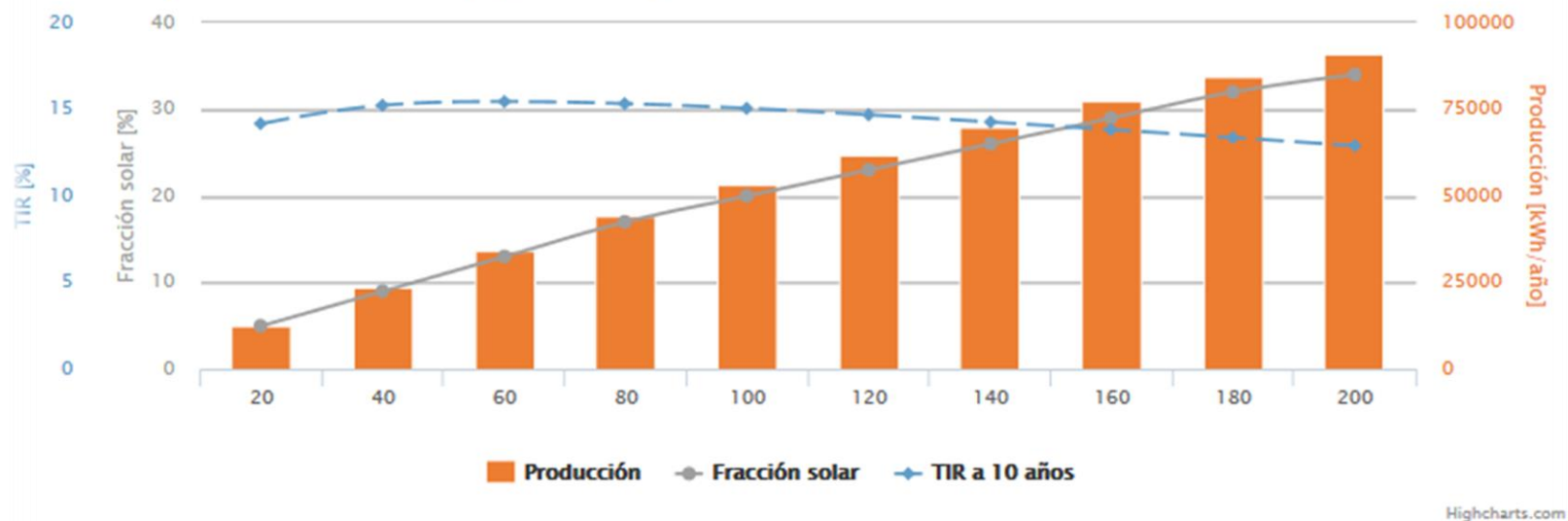


Mapa Satélite

Herramienta de Evaluación de SST en Procesos Industriales

- Forma de uso
 - Registro en página de proyecto (www.appsol.cl)
 - Resultados entregados en pantalla e imprimible.

Resultados respecto de la inversión de la propia industria y rentabilidad de la misma.



Modo ESCO (Energy Service Company)

Resultados si la inversión realizada en el sistema solar es asumida por una empresa tipo ESCO con una TIR del 10%.

40000 40 100000



Appsol

Manual de diseño de Sistemas Solares Térmicos para la Industria Chilena

1

Bien Público desarrollado dentro del marco del Proyecto APPSOL



n dolor sit amet, consectetur adipiscing ultrinar justo in quam iaculis, in pretium elit ne volutpat dignissim dolor, vitae blandit urna quis. Duis eu finibus dolor, in feugiat turpis, e vel ex molestie rutrum. Proin dapibus lapius dapibus. Fusce ornare arcu at elit erra. Mauris eu mauris finibus, commodo odio, pulvinar purus. Sed posuere, lorem ehenatis, nisi nulla sollicitudin justo, at n dul nec morus. Nulla mollis venenatis nisi, unc blandit vel. Morbi eu accumsan nulla, r velutpat.

ollis erat justo, at faucibus mauris tristique leo ac velit venenatis vestibulum. Aenean urnsan varius. Integer hendrerit erat nibus, eu malesuada eros blandit. Cras ducibus urna, a faucibus est dapibus eget. hentum ac quam et accumsan. Proin portitor a, sed pretium sapien oloifend et. Nulla ibus eleifend. Mauris placerat erat leo, pectorur diam fermentum quis. Mauris erat jat ac erat vel, faucibus gravida odio. In hac stea dictumst.



Energía solar térmica en industria

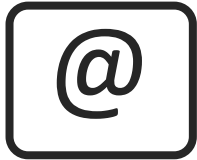
Appsol

Energía Solar Térmica para la Industria Chilena

2

Bien Público desarrollado dentro del marco del Proyecto APPSOL

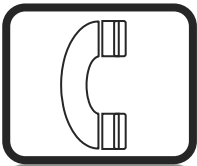




contacto@appsol.cl
alfredo.gonzalez@aiguasol.cl



Magnere 1540, Oficina 702, Providencia,
Santiago, Chile



(T) +56 2 22342484



appsol.cl
aiguasol.cl



Proyecto apoyado por

