

IMPORTANCIA DE LAS AISLACIONES TERMICAS EN LA CRISIS ENERGETICA*

Gabriel RODRIGUEZ J.**

RESUMEN

Se analiza globalmente la situación energética de Chile especialmente en el sector edificios, concluyendo que una adecuada aislación térmica de ellos produciría un substancial ahorro de energía a nivel nacional. Se propone la implementación y creación de disposiciones técnicas adecuadas para conseguir tal objetivo.

INTRODUCCION

En la década que termina, el mundo se ha visto enfrentado —por primera vez— a una realidad que le desequilibra peligrosamente: el principal producto energético, base del inmenso desarrollo tecnológico del siglo XX, está en vías de agotarse. ¿Por qué tal situación, que era previsible, parece tomar al mundo por sorpresa? La verdad es que no hay tal sorpresa. Desde hace tiempo se sabía, con relativa certeza, que el agotamiento del petróleo ocurriría a finales del presente siglo¹. Lo que sí ha causado sorpresa, adelantándose en unos diez años al inicio de la crisis real, es la crisis político-económica generada por los países productores, la que, pese a su negatividad, está apurando las soluciones que el mundo deberá tomar cuando los hidrocarburos desaparezcan definitivamente.

En efecto, el mundo posee un sinnúmero de otros energéticos, renovables o no, cuyo uso no se ha masificado como el del petróleo, sea por el alto costo de su obtención o por las desventajosas características que poseen respecto a su uso. No obstante, en ellos descansa el futuro energético de la humanidad.

Entre los recursos agotables está en primer lugar el carbón, que puede durar unos 200 o 300 años más, y el uranio y otros elementos radioactivos que se agotarían a muy largo plazo. Todos ellos, empero, son contaminantes.

Entre los recursos renovables, la energía solar ocupa un destacado lugar, especialmente para el sector habitacional y el industrial de mediana y baja

* En este artículo se vierten sumariamente las principales ideas expuestas en el curso *El edificio frente a la crisis energética*, dictado por el autor en el Colegio de Arquitectos de Chile, desde el 15 al 26 de octubre de 1979.

** Investigador de IDIEM.

temperatura.

Una visión global de la situación potencial energética mundial puede apreciarse resumidamente en la Tabla I.

TABLA I
RECURSOS ENERGETICOS MUNDIALES,
expresados en kcal y barriles de petróleo*

	kcal	barriles
Fósiles: Carbón de piedra	22×10^{18}	15×10^{12}
Petróleo líquido	1.5×10^{18}	1.0×10^{12}
Hidrocarburos de esquistos	1.5×10^{18}	1.0×10^{12}
Arenas bituminosas	1.5×10^{18}	1.0×10^{12}
Total	26.5×10^{18}	18.0×10^{12}
Fisión nuclear: Uranio	2.6×10^{21}	1.8×10^{15}
Otros radioactivos	250×10^{21}	170×10^{15}
Fusión nuclear	250×10^{24}	170×10^{18}
Solar, flujo total anual (nivel del mar)	650×10^{18}	440×10^{12}
Hidroeléctrica anual	25×10^{15}	17×10^9
Mareas anual (estimada)	25×10^{12}	17×10^6
Vientos anual (estimado)	25×10^{12}	17×10^6
Geotérmica: Artificial	2.5×10^{18}	1.7×10^{12}
Natural (no conocida; pequeña)	—	—
Promedio gasto anual mundial	47.5×10^{15}	32.3×10^9
Promedio gasto anual chileno³	88×10^{12}	60×10^6

* Valores extraídos de referencia 2, los que vienen expresados en $Q = 10^{18}$ BTU.

SITUACION CHILENA

Nuestro país es potencialmente un paraíso energético. Su litoral continental, que se extiende por más de 4.200 km de latitud, presenta mareas, olas y vientos que por sí solos podrían proporcionar energía holgadamente a todo Chile. Agreguemos una larga Cordillera de los Andes cuya actividad geotérmica natural está de manifiesto en varios lugares conocidos, sin contar con la que se puede inducir artificialmente. Esta última, según estimaciones no demasiado optimistas, podría incrementar aquélla en varias decenas de veces más*. Por otra parte, la insolación que el país recibe desde la Zona Central hacia el norte, especialmente en el Norte Grande, es una de las más altas del mundo. Al respecto vale citar lo que ha dicho F. Daniels⁵, autoridad mundial en la materia: *El desierto del norte de Chile es uno de los lugares más apropiados del mundo*

* Chile posee numerosas fuentes geotérmicas naturales. Las más conocidas son El Tatio y Puchuldiza en la zona norte, ambas en vías de explotación. Cabe recordar que el Ing. A. Filipponi, investigador del IDIEM, fue uno de los pioneros en esta materia, quien a mediados de la década del 50 hizo exploraciones y las primeras mediciones de la presión de las fumarolas de El Tatio recomendando su explotación⁴.

para aplicar la energía solar. Teóricamente este desierto podría abastecer todas las necesidades energéticas del mundo. Sus 72.000 km² reciben 1.3×10^{17} kcal anualmente que es superior a todo el calor producido en el mundo en un año, quemando carbón, petróleo, gas y madera.

La hidroelectricidad se explota apenas en un 5% y puesto que su participación es del 6.5% significa que su potencialidad, por sí sola, sería capaz de satisfacer la totalidad de las necesidades energéticas del país. Y queda aun la leña y residuos de la explotación de la madera y vegetales que podrían brindar más de una quinta parte de la energía primaria*.

En el campo de los no renovables, el panorama no es menos halagüeño: recursos carboníferos superiores a 5.400 millones de toneladas que, aunque en su mayoría de bajo poder calorífico, serían suficientes para alimentar al país por más de 250 años al ritmo actual. Y no nos hemos referido al gas natural, que puede reemplazar al petróleo en el mediano plazo, mientras el país se ajusta a las nuevas tecnologías, ni al uranio y otros radioactivos aun en prospección, pero que se vislumbran en cantidades interesantes. Así pues, nuestra crisis es sólo del petróleo y no energética. Y es crisis porque el país cometió el error, como casi todo el mundo, de basar su crecimiento casi exclusivamente en él, sin reparar en la irregularidad con que la naturaleza lo distribuyó sobre la Tierra. Chile en 1978 produjo en cifras redondas 6×10^6 barriles de petróleo, siendo el gasto total de 33×10^6 barriles. Esta cifra representa un 55% de la energía total que el país consumió⁶. Una visión global cuantitativa de los últimos años se aprecia en la Tabla II y Fig. 1, basados en datos de la Comisión Nacional de Energía³.

TABLA II
PARTICIPACION PORCENTUAL DE FUENTES ENERGETICAS EN CHILE

	1960	1970	1978
Petróleo nacional	12.1	18.6	9.3
Petróleo importado	18.3	31.6	45.7
Gas natural	3.2	10.0	12.0
Carbón	27.4	17.0	11.5
Hidroelectricidad	5.1	4.8	6.5
Leña y otros	33.9	18.0	15.0

Interesante visión da el diagrama de flujos que se muestra en Fig. 1, para 1977. Los tres sectores responsables del gasto son: 1) transporte, 2) industrial (y minero), y 3) edificios (públicos, comerciales y residenciales).

Los valores del gráfico se complementan con las siguientes cifras:

Suma energía primaria	$115\ 251 \times 10^9$	kcal
Exportaciones	$5\ 026 \times 10^9$	kcal
Saldo disponible	$110\ 215 \times 10^9$	kcal
Gastos de transformación y pérdidas	$42\ 405 \times 10^9$	kcal
Energía disponible al usuario	$67\ 810 \times 10^9$	kcal

* Sólo la leña proporciona actualmente un 15%³.

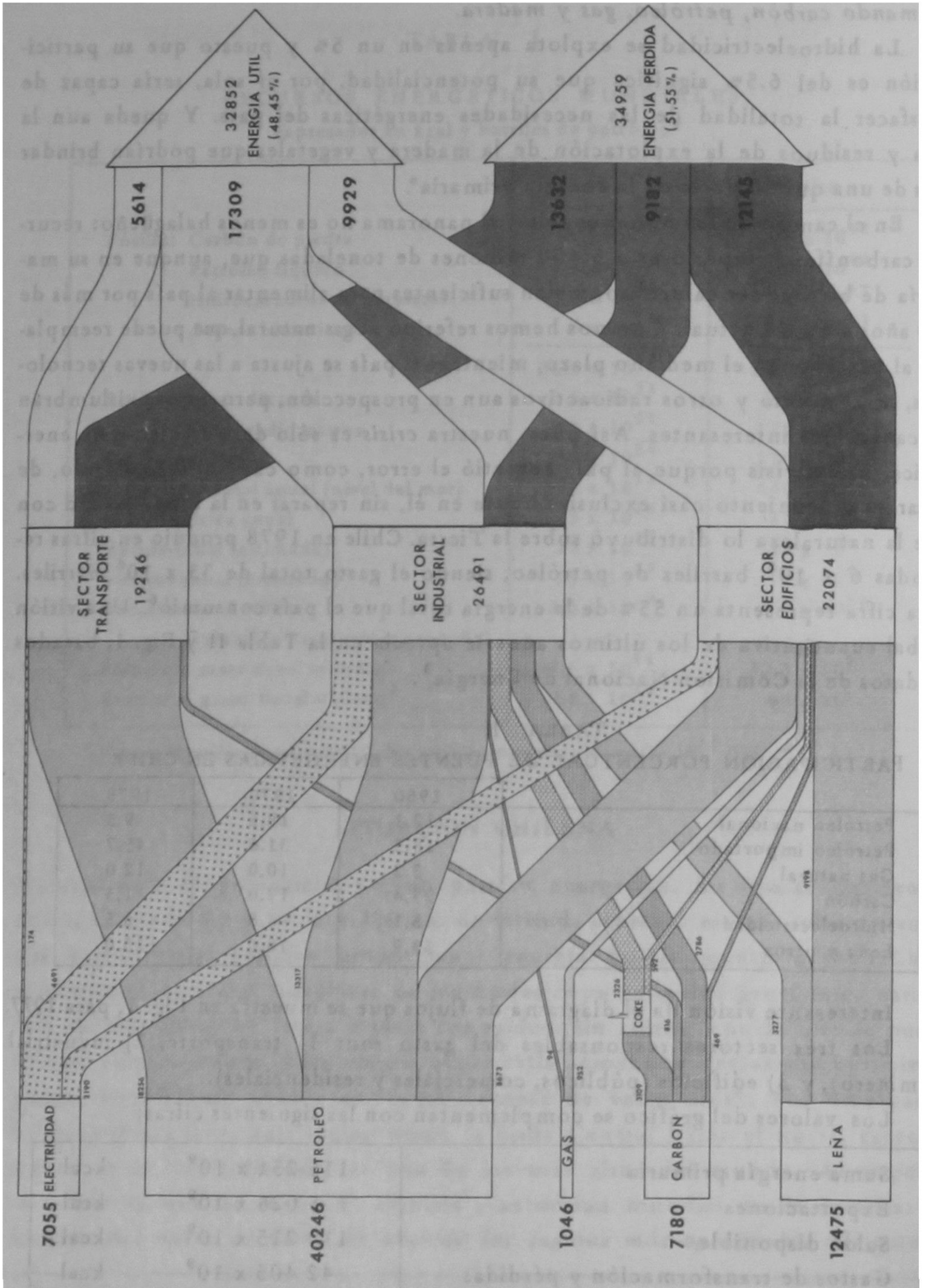


Fig. 1. Gráfico de flujos energéticos para Chile, 1977. Valores 10⁹ kcal.

Vale decir que de la energía que el país dispone, sólo un 61.5% llega a los usuarios. Del gráfico de flujos puede extraerse la Tabla III de aprovechamiento de los diversos sectores y compararlo, por ejemplo, con EE.UU.

TABLA III

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA POR SECTORES (en 10^9 kcal)

Chile 1977 ³				EE.UU. 1970 ²
Sector	Gastada	Aprovechada	Aprovechamiento %	Aprovechamiento %
Transporte	19.246	5.614	29.2	25.2
Industria	26.491	17.309	65.3	75.2
Edificios	22.073	9.929	45.0	74.8
Global	67.810	32.852	48.5	59.8

Se observa que en el sector transporte el aprovechamiento es muy pequeño. Ello se debe al bajo rendimiento del motor a combustión interna que no va más allá del 35%. El hecho que en Chile haya un ligero mejor aprovechamiento se debe, a nuestro juicio, al intensivo uso de automóviles grandes en los EE.UU. que, en la ciudad, tienen bajo rendimiento. En el sector industrial, en cambio, los EE.UU. presentan un 10% de mejor aprovechamiento debido al cuidado de una industria muy instrumentalizada y moderna, que aprovecha al máximo los recursos con un mínimo de derroche.

En cuanto al sector edificios vale la pena detenerse, ya que la distancia es notable: un 45% para Chile y 75% para los EE.UU. ¿Cuál es la causa si ellos tienen extensas zonas de climas rigurosos con un gasto importante de calefacción en invierno y refrigeración en verano?

¿Cuál sería nuestro gasto y rendimiento si usásemos el mismo confort ambiental de los EE.UU., que de hecho no tenemos?

La respuesta no es sencilla. Empero, podemos conjeturar con cierta base, lo siguiente: en Chile hay un fuerte gasto de leña y sus derivados (15% de la energía primaria) que se usa con muy bajo rendimiento (20% en chimeneas⁷).

No obstante, tal argumento no explica por sí solo el bajo aprovechamiento en este sector. En efecto, suponiendo que la leña se quemase con sólo un 15% de rendimiento, el resto de los combustibles deberían hacerlo con un 59.5%, lo que es demasiado bajo respecto a los EE.UU., (ver Fig. 2).

Pensamos que la causa es más bien el exceso de pérdidas térmicas de nuestros edificios, debidas a una generalizada mala aislación, que les hace ser, en el decir común, *un horno en verano y un témpano en invierno*.⁸

Esta deficiente aislación térmica no sólo es un mal del sector edificios sino también de parte del sector industrial, en donde tampoco hay adecuada conciencia de su importancia.

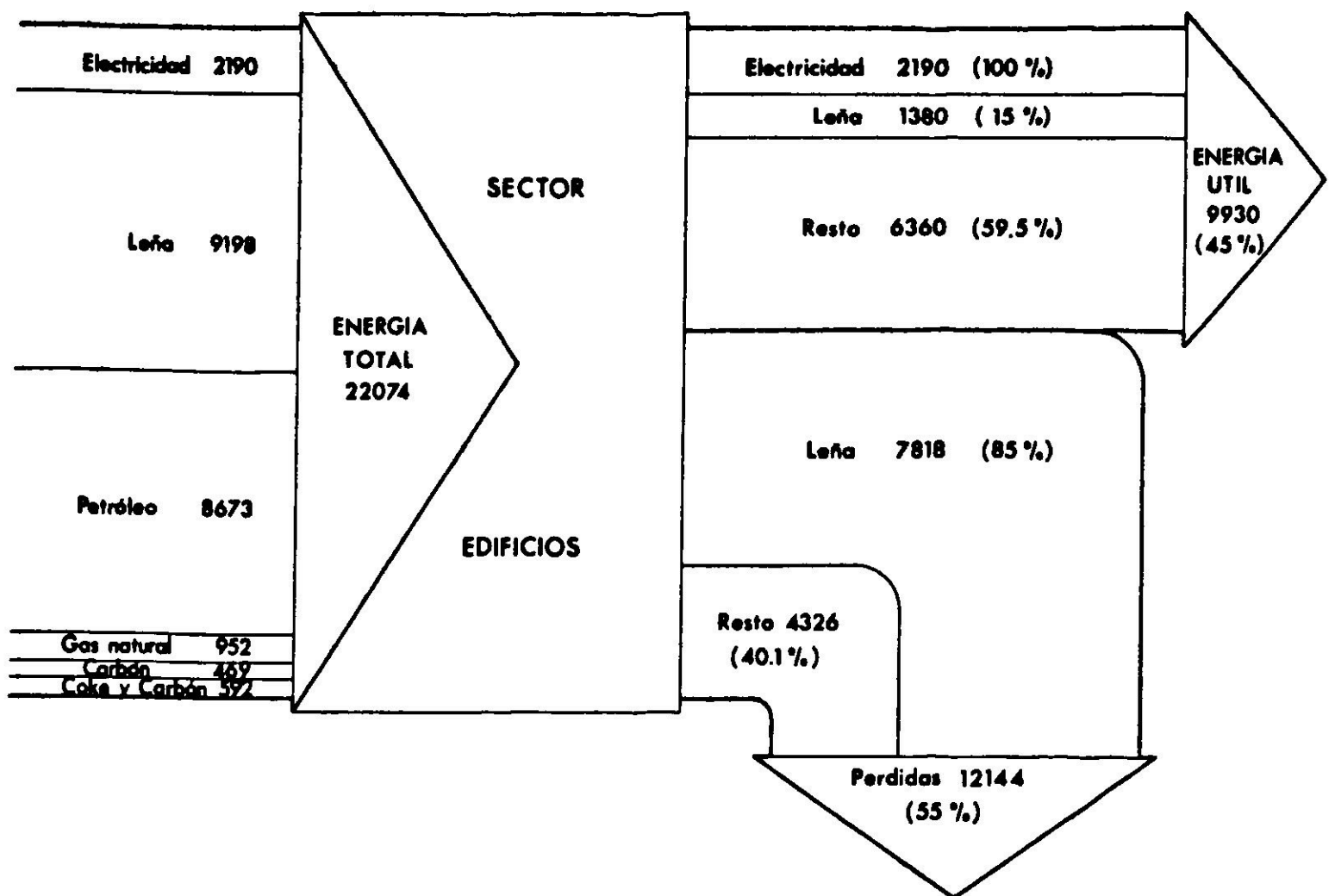


Fig. 2. El bajo aprovechamiento en el sector edificios no se explica satisfactoriamente ni aun considerando que la leña se quema con un 15% de rendimiento.

IMPORTANCIA DE LAS AISLACIONES TERMICAS

La solución al problema de la crisis es obviamente abrirle paso a los sustitutos del petróleo, pero es casi imposible reemplazarle con la necesaria rapidez. En el sector que nos preocupa los caminos alternativos son:

1. Evitar pérdidas inútiles especialmente en edificios ya existentes. (Lo que la Oficina de Recursos de Emergencia de los EE.UU. llama *tapar fugas o escapes*⁹).
2. Aumentar el rendimiento especialmente de edificios nuevos, en construcción o por construirse.
3. Sacrificar gastos no esenciales (*apretarse el cinturón*⁹).

Los aspectos 1) y 2) que definimos como *ahorros sin pérdidas de resultados*¹⁰ pueden obtenerse con una adecuada política técnica aplicada sin tregua por el tiempo que sea necesario.

Gran parte de la energía se gasta en forma de calor, especialmente en el sector edificios y en parte importante del sector industrial. Aquí el papel que juegan los materiales aislantes térmicos es de primera importancia al actuar como un freno a los traspasos de calor (o frío) resultando un eficaz medio, totalmente pasivo, para disminuir o evitar pérdidas inútiles de energía.

Balance energético de un edificio

Si se desea mantener una temperatura de confort en un edificio, digamos 18°C,

es necesario que las ganancias térmicas equiparen a las pérdidas, de modo de mantener dicha temperatura estable. Podemos escribir:

$$\Sigma \text{ ganancias} - \Sigma \text{ pérdidas} = 0 \quad (t \cong 18^{\circ}\text{C})$$

Pero las pérdidas suben durante el invierno y bajan en verano (ciclo anual de temperaturas), vale decir:

$$\Sigma \text{ ganancias} - \Sigma \text{ pérdidas} < 0 \quad (\text{invierno})$$

$$\Sigma \text{ ganancias} - \Sigma \text{ pérdidas} > 0 \quad (\text{verano})$$

Las fluctuaciones diarias (ciclo diario de temperaturas) pueden contrarrestarse en todo o en parte por medio del fenómeno de inercia térmica^{12,13}, pero en el caso del ciclo anual, hay que suplir el déficit de invierno con calefacción⁷. En la Tabla IV se muestran los factores causantes de ganancias y pérdidas en un edificio.

TABLA IV

PRINCIPALES CAUSAS DE GANANCIAS O PERDIDAS TERMICAS

GANANCIAS	PERDIDAS
- Soleamiento en techos y muros E, N y W mal aislados.	- Muros, techos, suelos, ventanas, puertas, etc. no soleados y mal aislados.
- Soleamiento de ventanas E, N y W.	- Ventilación (intercambio de aire) y sobreventilación (infiltraciones por viento).
- Aparatos eléctricos (refrigeradores, radio, TV, etc.)	- Evaporación de agua.
- Iluminación artificial	- Refrigeración (aire acondicionado).
- Otros artefactos (califont, cocina, etc).	
- Calor desprendido por persona.	
- Calefacción.	

Un edificio inteligentemente proyectado y construido, desde el diseño a la elección y aplicación de materiales, puede equilibrar de tal modo las pérdidas y ganancias que la energía a suplir por diferencia (calefacción o refrigeración) sea nula o mínima según sea la zona de enclave del edificio¹⁰.

La aislación térmica de la envolvente

La bondad de una aislación viene dada por la disminución del flujo térmico que es capaz de proporcionar entre la fuente caliente y la fría que ella separa. Como generalmente dichas fuentes son el interior del edificio y el exterior respectivamente, ocurre que sólo los elementos envolventes (techo, muros, puertas y ventanas al exterior) son de importancia en la aislación térmica.

El flujo de calor (mejor dicho la densidad de flujo) que atraviesa un elemento de la envolvente, viene dado, de acuerdo a la ecuación de Fourier, por:

$$\gamma = C \cdot \Delta t$$

donde:

C = conductancia térmica = λ/e (expresada en kcal/m² °C h)

λ = coeficiente de conductividad térmica del material (kcal/m °C h)

e = espesor del elemento (muro, puerta, etc)

Δt = diferencia de temperatura entre la cara caliente (t_2) y la fría (t_1) del elemento = $(t_2 - t_1)$, (°C)

γ = densidad de flujo térmico: cantidad de calor que conduce el elemento por unidad de superficie y tiempo (kcal/m² h)

La fórmula anterior se puede escribir entonces:

$$\gamma = \lambda(t_2 - t_1)/e$$

es decir, el calor transmitido por un elemento, por unidad de superficie y tiempo es proporcional a la diferencia de temperatura que le impulsa (a mayor diferencia mayor cantidad de calor) e inversamente proporcional al espesor del elemento (a mayor espesor menor cantidad de calor). También es directamente proporcional a una característica propia del material llamada *coeficiente de conductividad térmica* (λ). Esta constante presenta, en general, los siguientes valores:

TABLA V
CONDUCTIVIDADES TERMICAS* (λ)

Calidad aislante del material	Valor λ kcal/m °C h	Ejemplos
Muy buen aislante	0.02 - 0.05	Plásticos expandidos. Fibras vítreas. Corcho.
Buenos aislantes	0.05 - 0.1	Virutas de madera. Maderas livianas.
Medianos aislantes	0.1 - 0.5	Maderas pesadas. Hormigones y ladrillos livianos
Malos aislantes	0.5 - 5	Ladrillos y hormigones normales y pesados Hormigón armado. Cerámicos.
Conductores	5 - 350	Metales y aleaciones.

* Para valores específicos ver 13, 14 o 15.

Puede observarse que el rango de valores de λ varía en unas 10.000 veces desde el mejor aislante al mejor conductor. Cuando parte de la envolvente está constituida por elementos muy dispares, aquellos de menor aislación —elementos metálicos por ejemplo— constituyen los llamados *puentes térmicos* que deben evitarse a toda costa¹⁴. Una buena envolvente tiene una aislación térmica relativamente pareja en toda su extensión.

Pero el cálculo del flujo térmico por la fórmula antes enunciada $\gamma = C\Delta t$ no es exacto en la mayoría de los casos debido a que el calor pasa hacia el elemento desde el aire interior y sale de él hacia el aire exterior (caso de invierno). El responsable del flujo es pues, el *sandwich* aire-muro-aire y entonces es importante la capacidad que tiene la capa de aire adherida al muro para transmitir el calor. Esta capacidad viene dada por la transmitancia de las capas de aire adheridas, tanto interior como exteriormente. En tal caso la fórmula del flujo se convierte en:

$$\gamma = U\Delta't$$

donde:

$\Delta't$ = diferencia de temperatura entre el ambiente (aire) interior t_i y el ambiente (aire) exterior t_e . Vale decir, $t_i - t_e$, ($^{\circ}\text{C}$).

U = transmitancia térmica del muro ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C h}$).

Dicha transmitancia total es función de las transmitancias parciales de las capas de aire adheridas a las superficies del muro:

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_e) + (e/\lambda)}$$

donde:

h_i = transmitancia térmica de la capa de aire adherida interiormente.

h_e = transmitancia térmica de la capa de aire adherida exteriormente.

En rigor la eficiencia de la envolvente como aislante viene dada por el recíproco de la transmitancia, U , del elemento perimetral; por lo tanto a menor valor de U mejor aislación.

En resumen, la bondad aislante de un elemento depende de:

- La naturaleza del material: cuanto menor λ , mejor aislante y en consecuencia menores pérdidas energéticas.
- Del espesor del elemento: cuanto más grueso menores pérdidas de calor.
- De la diferencia de temperaturas entre los ambientes interior y exterior (depende del clima del lugar y de la estación del año). A mayor diferencia mayores pérdidas térmicas.
- Del color y textura superficial del elemento, como también del viento que remueve el aire en contacto con sus caras. Estos factores hacen variar los valores h_i y h_e .

AISLACIONES MINIMAS

Muchos países avanzados habían fijado valores mínimos de aislación de 1-

envolvente de los edificios con anterioridad a la primera crisis petrolera de 1973. Posteriormente ellos han modificado tales reglamentaciones haciéndolas aun más severas. En Chile tuvimos la oportunidad de proponer una disposición de este tipo, en una primera etapa en 1972^{11,12}, la que fue presentada al Instituto Nacional de Normalización, que la estudió y aprobó como norma oficial en 1977¹⁷ con el número NCh 1079, bajo el título de *Zonificación climático-habitacional para Chile y recomendaciones constructivas*. Con el fin de ayudar a su difusión, el autor ha preparado un artículo donde se comenta extensamente dicha norma¹⁸. En ella se describen nueve zonas climático-habitacional claramente diferenciadas, para las cuales se recomienda entre otras materias, una mínima aislación (máxima transmitancia U de muros y techumbre) valores que se recopilan en Tabla VI.

TABLA VI

AISLACION TERMICA MINIMA PARA LAS DIFERENTES ZONAS DE CHILE
 EXPRESADAS COMO TRASMITANCIAS MAXIMAS (NCh 1079)

Zona climático habitacional*	Trasmitancia máxima (kcal/m ² °C h)**	
	Muros***	Techumbre
1 Norte Litoral	2.24	0.69
2 Norte Desértica	1.81	0.69
3 Norte Valle Transversal	1.81	0.69
4 Central Litoral	1.72	0.77
5 Central Interior	1.63	0.77
6 Sur Litoral	1.55	0.86
7 Sur Interior	1.46	0.77
8 Sur Extrema	1.38	0.60
9 Andina	1.40	0.60

* En la norma estos valores aparecen expresados en W/m² °C; esta es la unidad internacional y la equivalencia es: 1W/m² °C = 0.860 kcal/m² °C. h.^{19,20}

** El mapa con la delimitación de estas zonas aparece en la Norma NCh 1079 y en bibliografía¹¹.

*** Se supone que el edificio tiene superficies vidriadas normales, sólo suficientes para una adecuada iluminación natural.

Hoy, frente al recrudecimiento de la crisis petrolera, creemos que los valores de la NCh 1079 estudiados antes de 1973, necesitan una revisión y más aun una complementación adecuada con otras normas* y disposiciones que puedan integrarse a la Ordenanza General de Construcciones.

Legislaciones de este tipo, que a primera vista y para cada construcción parecieran más una molestia que una ventaja, a nivel nacional representarían un ahorro energético significativo para el país. Calculamos que en Chile este ahorro podría alcanzar el equivalente del 10% del gasto de petróleo que el

* El autor está a cargo, desde enero de 1979, del Comité Térmico Ambiental del Instituto Nacional de Normalización, teniendo en carpeta la revisión íntegra del paquete de normas sobre esta materia.

país usa, lo que significa unos 10.000 barriles diarios *sin sacrificar resultados*, vale decir, manteniendo un aceptable estándar de confort ambiental.

En Europa una de las primeras medidas que se tomaron en 1973 fue de este tipo, estimándose un ahorro de un 8% sobre las pérdidas térmicas que, ya por entonces, eran bajas por disposiciones técnicas a la sazón en vigencia.

La mala aislación de la edificación en Chile^{2 1}

Las nuevas casas y edificios que se vienen construyendo en nuestro país desde hace un par de décadas, sea por economía, sea porque los proyectistas las hacen muy esbeltas y con grandes superficies transparentes (a veces muros completos vidriados), resultan, en consecuencia, muy mal aisladas, tanto térmica como acústicamente.

Hace ya una década hicimos un análisis exhaustivo de estas causas, que hoy, diez años después, no han variado substancialmente. Estos factores pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Creciente uso de envolventes vidriadas.
- Reemplazo de madera por metales, que forman puentes térmicos.
- Economía y esbeltez de materiales, sólo mirando su aspecto estructural.
- Falta de legislación que exija aislaciones adecuadas.
- Falta de control de las obras.
- Desconocimiento o negligencia acerca de la importancia de las aislaciones en la construcción.

Es conveniente que se abra conciencia en el sentido de introducir en la nueva Ordenanza General de Construcciones un cuerpo de disposiciones que dé cuenta de todos los *aspectos no estructurales* de la edificación, tanto térmicos como de humedad, ventilación, iluminación, acústicos, de seguridad contra siniestros, etc. y que en otros países tienen primera importancia, llegándose a agrupar bajo el título genérico de *física de la construcción*.

Aislación y gastos de energía

Se ha visto que el gasto anual de energía en el sector edificios es del orden de 22073×10^9 kcal (equivalente a 15 millones de barriles de petróleo). Pero esto no es todo. Bajo el rubro de *sector industrial* hay un buen porcentaje que se malgasta en edificios industriales por las mismas causas que estamos analizando. No disponemos de estadísticas al respecto.

Es difícil poder cuantificar, en general, los derroches de energía en edificios, pero las causas como hemos visto son claras

- a) Excesivos gastos de calefacción que se deben a:
 - Muros delgados de materiales inadecuados, poco aislantes.
 - Techos con deficiente aislación o sin ella.
 - Excesiva superficie de ventanas.
 - Puentes térmicos
 - Sobreventilación por mal ajuste de puertas, ventanas

- Inadecuado o deficiente sistema de calefacción
- Inadecuado uso y aprovechamiento del edificio.
- b) Excesivos gastos de refrigeración, que se pueden deber a:
 - Muros soleados y mal aislados.
 - Techumbre sin suficiente aislación
 - Exceso de ventanas soleadas.
 - Puentes térmicos
 - Pinturas y terminaciones exteriores mal elegidas.
 - Inadecuado, deficiente o mal usado sistema de refrigeración.
 - Sobreventilación.
 - Inadecuado uso y aprovechamiento del edificio.

No se puede negar que en muchas casas y edificios, especialmente de construcción reciente, varias de estas causales derrochadoras de energía, están presentes.

El diseño, los materiales, la distribución, la orientación, el uso mismo, tienen mucha importancia en el balance energético de un edificio. Por ejemplo una planta cuadrada, simple, sin pronunciadas salientes o entrantes, ofrece mínimas pérdidas por tener mínimo perímetro. Mientras mayor es la superficie de envolvente para un volumen dado, mayor será el gasto de energía por calefacción o aire acondicionado. Pero también depende del tipo de edificio, sea éste una casa unifamiliar en línea, pareada o *aislada*^{*}, edificio de departamentos, torre, edificio industrial o de uso público como hospitales, escuelas, etc. Por estas causas no es posible cuantificar bien el aprovechamiento energético de la edificación si no es para cada caso en particular. Por ejemplo, en una casa de un piso, tipo bungalow, las pérdidas potenciales por el techo pueden superar el 50% de las pérdidas totales. En cambio en un edificio tipo torre de unos 20 pisos, las pérdidas por el techo fluctuarían alrededor del 5% de las totales.

Sin embargo, para no dejar las ideas sólo en un plano cualitativo, daremos un ejemplo de cálculo, que ayudará a tener idea del ahorro que es posible obtener en una edificación aislada térmicamente, respecto a la misma sin aislación.

Tomaremos una casa unifamiliar tipo bungalow de construcción común. Sus características serían las siguientes¹⁰:

- Superficie construída: 96 m².
- Planta de 12 x 8 m. Perímetro: 42 m. 3 dormitorios, living-comedor, cocina y baño y medio.
- Muros de albañilería, ladrillo a la vista, pilares y cadenas de hormigón armado, techo de dos aguas, cubierta de planchas de asbesto-cemento, cielo de volcánita, entretecho ventilado, ventanas con marcos de acero, piso de plástico sobre radier.

* El término *casa aislada* en Chile se usa en el sentido de no tener construcciones colindantes unidas a ella. No tiene relación alguna con las aislaciones físico-ambientales, materia del presente artículo.

- Muros: Superficie 78 m² espesor: 0.2 m.
- Ventanas: superficie 23.5 m²
- Cielo: Volcanita de 15 mm sin aislación, superficie 90 m².
- Condiciones de invierno en Santiago ^{11,16}: temperatura exterior 5°C; ventilación natural media de 1 renovación por hora y velocidad del viento < 7 km/h; cocina y baño 4 renovaciones.

Para esta vivienda, los valores de energía térmica perdida por hora son los que se muestran en Tabla VII.

TABLA VII

PERDIDAS DE CALOR POR HORA (kcal/h) a $t_e = 5^\circ\text{C}$ VIVIENDA ORIGINAL *

Item	Elemento	Superficie m ²	U kcal/m ² °Ch	Energía perdida kcal/h	% del total
1	Techo	90	4.7	6345	50.0
2	Ventanas	23.5	5.0	1763	13.9
3	Puertas exteriores	3.4	4.0	204	1.6
4	Ventilación baño - cocina n= 4			540	4.3
5	Ventilación living - comedor y dormitorio n= 1			855	6.7
	Total puertas y ventanas (it. 2) 3) 4) y 5)			3362	26.5
6	Muros	77.5	1.7	1976	15.6
7	Pisos	48 m de perímetro		1008	7.9
			Total	12691	100.0

* Valores calculados de acuerdo a norma NCh 853¹⁵.

En esta Tabla puede verse la importancia que revisten las pérdidas por el techo, 50%, por transmisión a través de ventanas un 14%, por ventilación un 11% y en total por puertas exteriores y ventanas 26.5%. Por los muros casi un 16% y por los pisos un 8%.

¿Qué mejoras podrían proponerse para bajar las altas pérdidas energéticas de esta edificación, sin que graven apreciablemente su costo?

Repitamos el cálculo considerando las siguientes posibles modificaciones:

- Techo: Colocar aislación en el entretecho.
- Ventanas: Disminuir en 20% su superficie, lo que no tendrá ninguna alteración sobre la necesaria iluminación natural ni sobre el soleamiento invernal. Usar marcos de madera en vez de metal con la consiguiente disminución de renovaciones de aire por mejor ajuste y eliminación de puentes térmicos.
- Muros: Estucar muros.
- Pisos: Colocar madera o alfombra en vez de plástico.
- Puertas exteriores: Usar puertas aisladas.
- Ventilación: Automatizar con extractor en cocina y baño.

Los nuevos valores calculados se muestran en Tabla VIII.

TABLA VIII

PERDIDAS DE CALOR POR HORA (kcal/h) a $t_e = 5^\circ\text{C}$ VIVIENDA MEJORADA*

Item	Elemento	Superficie m^2	U $\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/h}$	Energía perdida kcal/h	% respecto a Tabla VII
1	Techo	90	0.6	810	6.4
2	Ventanas, vidrios	17	5.0	1275	10.0
3	Puertas exteriores	3.4	1.5	77	0.6
4	Ventilación baño - cocina $n = 2$			270	2.1
5	Ventilación living-comedor y dormitorio $n = 0.5$			428	3.4
	Total puertas y ventanas etc. 2) a 5)			2050	16.2
6	a) Muros	77.5	1.5	1744	13.7
	b) Muros nuevos	4.7	1.5	106	0.8
	Total muros			1850	4.6
7	Pisos	48 m perímetro aislado		792	6.2
	Total			5502	43.4

* Cálculos de acuerdo a NCh 853¹⁵.

Comparando estos valores con los de la Tabla VII se obtiene el ahorro de cada ítem, los que suman casi 57%, como se muestra en Tabla IX.

TABLA IX

AHORRO DE VIVIENDA MEJORADA*

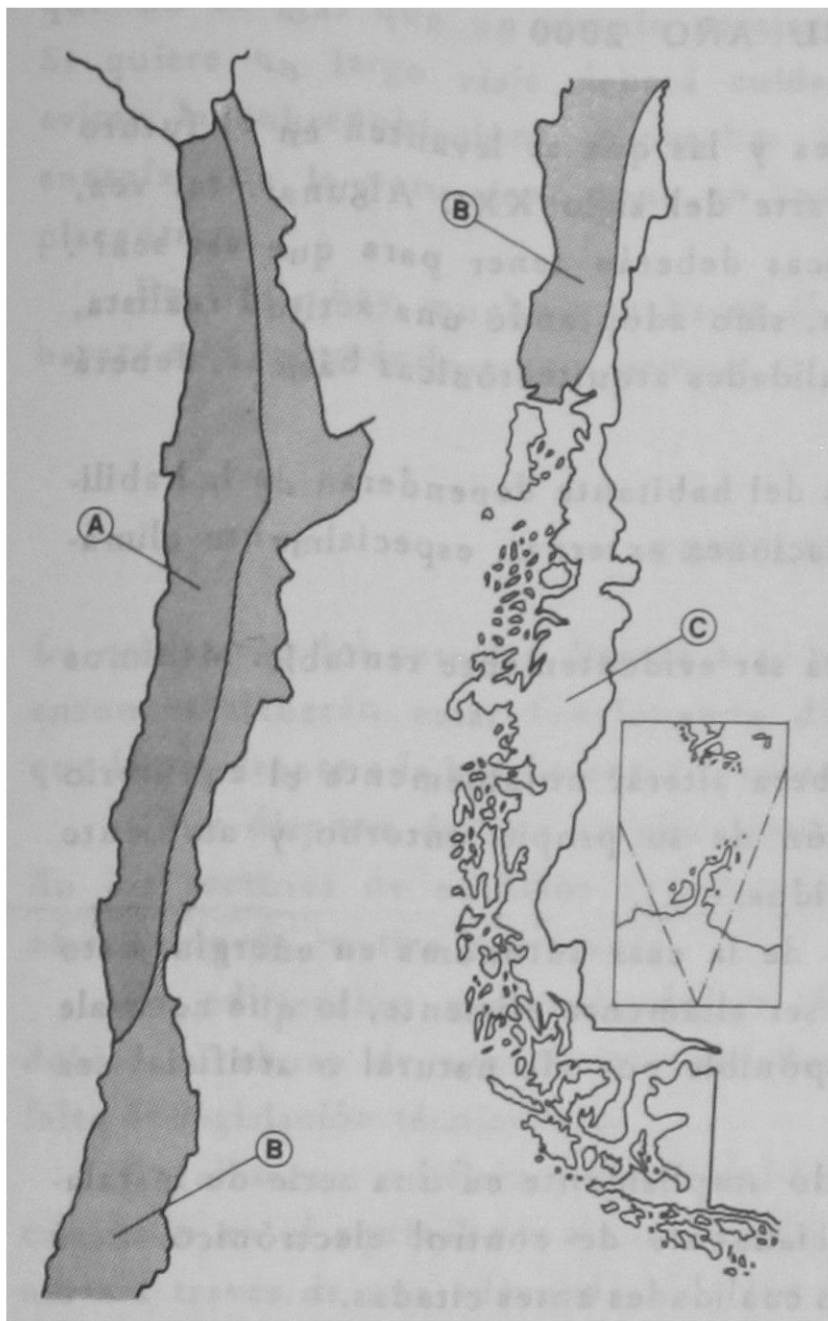
Item	Elemento	Energía calórica		
		% original	% mejorado	% ahorro
1	Techo	50	6.4	43.6
2-5	Ventanas y puertas	26.5	16.2	10.3
6	Muros	15.6	14.5*	1.1*
7	Pisos	7.9	6.2	1.7
		100.0	43.3	56.7

* El ahorro aparece inferior debido al aumento de superficie de muros por disminución de ventanas.

Este ejemplo sirve para comprobar cómo modificaciones en el diseño y en los materiales, que no encarecen significativamente la obra, pueden producir ahorro energético importante. Si se hiciesen cambios de aislación más elaborados, el ahorro fácilmente podría elevarse al 75%.

El cálculo efectuado para condición de invierno puede repetirse para condición de verano y comprobar beneficios similares respecto al impacto térmico solar. Mejoras adicionales podrían hacerse también en este sentido.

No deseamos cansar al lector con nuevos ejemplos, pero más de alguien, a esta altura, se preguntará cuál es el balance en un departamento de un edificio alto, en el cual no se tiene el problema del 50% de pérdidas por el techo,



A. Zona de bajo consumo. Zona norte de climas desérticos calurosos con temperaturas medias de 18 a 21°C, donde en parte del año puede ser conveniente la refrigeración de los edificios. Poca densidad de población y bajo consumo de energía per cápita.

B. Zona de consumo sólo en invierno. Zona central y norte alta. Beningna con temperaturas medias de 12 a 18°C. Se necesita calefacción a lo menos durante los meses más fríos del invierno. Alta densidad poblacional con medio consumo de energía per cápita.

C. Zona de alto consumo (todo el año). Zona sur y central alta. Fría con temperaturas medias de 4 a 12°C. Se necesita calefacción prácticamente durante todo el año. Baja densidad de población con alto consumo energético per cápita.

Nota: Excluimos el Territorio Antártico por no poseer centros urbanos.

Fig. 3. Gastos de energía en el sector edificios.

puesto que sobre él hay otros departamentos similares. En este caso la distribución de pérdidas puede ser, suponiendo similar superficie construida y unos cuatro departamentos por piso, del orden de 65% por ventanas, 25% por ventilación y 10% por muros. El gasto total puede ser la mitad del gasto del bungalow analizado. El efecto de invernadero²¹, según orientación y superficie vidriada, puede bajar algo la carga en días soleados de invierno, pero en verano convertirán al departamento en un *horno*. En bibliografía^{21,14} se muestra un ejemplo real en donde las temperaturas de verano en un departamento son *en todo momento superiores a los registros de la temperatura metereológica*. El mayor problema en estos edificios ocurre pues en verano.

Demás está decir que la distribución de la energía gastada es muy distinta para cada tipo de edificios, pero en general, podemos afirmar que se palpa una generalizada falta de atención en la aislación térmica de la edificación chilena.

¿En qué zonas de Chile el gasto de energía es mayor? En bibliografía^{11,16,18} se hace un análisis del impacto del clima en la edificación. Aunque Chile, en general, es un país de climas benignos, su enorme extensión de norte a sur (18° a 56° más la Antártida) y sus diferentes altitudes desde el nivel del mar a la Cordillera de los Andes, le hace tener desde climas calurosos, donde la refrigeración es conveniente, hasta climas fríos, donde la calefacción es imperiosa. Ba-

sado en ello es posible visualizar claramente por lo menos tres *zonas energéticas*, que se muestran en el mapa esquemático de la Fig. 3¹⁰.

EL EDIFICIO DEL AÑO 2000

La mayoría de las construcciones actuales y las que se levanten en el futuro inmediato deberán servir durante gran parte del siglo XXI. Algunas, tal vez, traspasen el año 2100. ¿Qué características deberán tener para que así sea? Sin entrar al terreno de la ciencia ficción, sino adoptando una actitud realista, el edificio del año 2000, aparte de sus cualidades arquitectónicas básicas, deberá ser primordialmente:

Confortable: Las necesidades ambientales del habitante dependerán de la habilidad del edificio para adecuarse a las variaciones externas, especialmente climáticas.

Durable: La inversión en edificios deberá ser evidentemente rentable. Mínimos gastos de mantención y larga vida.

Ecológico: El edificio del futuro no deberá alterar notablemente el equilibrio ecológico regional. Mínima contaminación de su propio entorno y ambiente (humo, aguas, residuos, pureza aire, sol, ruidos, etc.).

Económico en energía: Se habla mucho de la casa autónoma en energía. Esto es utópico para la ciudad, pero sí deberá ser altamente eficiente, lo que equivale a decir que cada unidad de energía disponible por vía natural o artificial sea aprovechada al máximo.

Automático: La cibernética está entrando ampliamente en una serie de instalaciones y dispositivos del edificio, especialmente de control electrónico. Será un medio excelente de optimización de las cualidades antes citadas.

Pues bien, las aislaciones térmicas del edificio, en su más amplia acepción, juegan un papel importantísimo en los cuatro puntos primeros recién señalados. Ayudan al confort porque producen ambientes de temperatura regular; ayudan a la durabilidad al evitar deterioros prematuros por condensaciones de agua, contracciones y dilataciones; ayudan al equilibrio ecológico al reducir combustiones para calefacción y ahorran energía térmica haciéndolo eficiente.

La casa solar, tan prometedora frente a la crisis de energía que nos agobia, debe ser, antes que nada, fuertemente aislada si se desea que el sistema de captación solar (o cualquier otra energía más cara que el petróleo) sea factible y práctica.

El edificio de cristal, tan en boga hoy, es una *joya por fuera* pero es *insufrible por dentro*. Se le hace *confortable a fuerza de energía*. Son edificios lamentablemente sin futuro, altamente ineficientes energéticamente.

La crisis por el agotamiento de elementos no renovables, que el mundo empieza a afrontar, será un verdugo sin misericordia. Hoy es el petróleo, mañana serán los metales, los plásticos y otros. No se trata de ser pesimista; se trata de ser previsor. El hombre tiene por delante un enorme desafío. Surgirán las soluciones, no hay duda, pero no sin antes producir profundos cambios en su modo de vida.

Un ecólogo dijo que el hombre debía entender, de una vez para siempre,

que no es más que un simple pasajero en una nave espacial llamada Tierra. Si quiere un largo viaje deberá cuidar la despensa, el equilibrio ecológico, evitar la sobrepoblación, aprovechar al máximo cada gránulo de materia y energía que la naturaleza pone en sus manos. Sólo así el viaje será largo y placentero.

En Chile hay mucho que hacer al respecto. La edad de oro de la energía barata está esfumándose para siempre.

CONCLUSIONES

La crisis real del petróleo llegará a su apogeo a fines de la década del 80. Para entonces deberán estar funcionando diversas políticas de ahorro y sustitutos que hagan frente a la brecha entre la oferta y la demanda.

Chile dispone de una amplia gama de recursos energéticos en abundancia. En los sectores de edificios e industrial de baja temperatura, la energía solar ofrece una alternativa interesante.

La edificación nacional adolece de una evidente mala aislación térmica debida al abuso de superficies vidriadas, mal entendido ahorro de materiales, falta de legislación técnica, etc.

En el sector edificio y parte del industrial un substancial ahorro energético, calculado en el equivalente a unos 10 000 barriles diarios de petróleo, puede obtenerse a través de una adecuada aislación de los edificios habitacionales (privados, públicos, comerciales e industriales).

Se obtendría además, como ventajas adicionales:

- a) Mayor confort ambiental, que repercute en mejores tasas de salud y rendimiento en el trabajo,
- b) mayor durabilidad de los edificios, disminuyendo la tasa de construcciones por reposición y mantención,
- c) menor contaminación especialmente de los ambientes urbanos.

Todo ello sería factible en buena medida si la Nueva Ordenanza General de Construcciones considerara estos aspectos *no estructurales* en su articulado. Necesariamente se impone, además, un conjunto armónico y complementario de normas chilenas que en forma específica aborde todos los aspectos que tienen que ver con estos problemas. Ciertas franquicias tributarias podrían fomentar efectivamente esta política de ahorro energético.

BIBLIOGRAFIA

1. FLOWER, A. La producción mundial de petróleo *Investigación y Ciencia (Scientific American)* n° 20, mayo 1978.
2. TUCK, J.L. World energy resources and consumption. *Solar Energy*. Editado por Messee & Butler, Pergamon Press, 1975.

3. Comisión Nacional Energía. *Informe Económico n° 50, El Mercurio, Santiago, octubre 1979.*
4. FILIPPONI, A. Electrificación del norte de Chile con la energía geotérmica de El Tatio. *Boletín de la Universidad de Chile n° 29, 1962.*
5. DANIELS, F. *Direct use of the sun's energy.* Editorial Yale University Press, London, 1964.
6. PHILIPPI, B. *Secretaría Comisión Nacional de Energía (declaraciones) 1979.*
7. RODRIGUEZ, J.,G. Sistemas pequeños de calefacción. *Cartilla Técnica SODIMAC, N° 1705/29, Santiago, 1974.*
8. RODRIGUEZ, J., G. Hornos en verano, témpanos en invierno. *REVISTA DE LA CONSTRUCCION, año VI, n° 66-67, Santiago, 1967.*
9. STEADMAN, P. *Energía, medio ambiente y edificación.* Editorial Blume, Madrid, 1978.
10. RODRIGUEZ, J.,G. Aislación térmica y crisis energética. *REVISTA COLEGIO ARQUITECTOS, n° 24, Santiago, 1979.*
11. RODRIGUEZ, J.,G. Zonificación climático-habitacional para Chile. *Revista del IDIEM, vol. 12, n° 3, Santiago, 1973.*
12. GUZMAN, E. *Materiales de edificación Fascículo I, Universidad de Chile, 1978.*
13. LAORDEN, J. *Calor. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid,*
14. RODRIGUEZ, J.,G. Sobre la aislación térmica en la construcción nacional, *Revista del IDIEM, vol. 6, n° 1, Santiago 1967.*
15. Instituto Nacional de Normalización. *NCh 853, Muros y complejos de techumbre. Cálculo de resistencia y trasmitancias térmicas, Santiago, 1972.*
16. RODRIGUEZ, J.,G. El clima chileno y su relación con la construcción habitacional, *Revista del IDIEM, vol. 11, n° 3, Santiago 1972.*
17. Instituto Nacional de Normalización. *NCh 1079. Zonificación climático-habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico, Santiago 1977.*
18. RODRIGUEZ, J.,G. La norma NCh 1079 sobre especificaciones zonales para la construcción habitacional, *REVISTA COLEGIO CONSTRUCTORES CIVILES.* (En publicación).
19. Instituto Nacional de Normalización. *NCh 849. Transmisión de calor. Terminología, unidades y métodos de medición, Santiago 1971.*
20. RODRIGUEZ, J.,G. El sistema métrico decimal se hace internacional. *Revista del IDIEM, vol. 12, n° 1, mayo 1973.*
21. RODRIGUEZ, J.,G. La aislación térmica en la construcción nacional, *Informe N° 20, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, Santiago, 1968.*

SIGNIFICANCE OF THERMAL INSULATION IN THE ENERGY CRISIS

SUMMARY

The energy consumption in Chile is analyzed mainly in regard with buildings. It is concluded that improving their thermal insulation would result in a substantial energy saving at a national scale. Some measures are suggested to achieve that goal.