

# **La rehabilitación desde la perspectiva de la ecología y la sostenibilidad**

**Mariano Vázquez Espí**

**Santiago de Compostela, 25 de marzo de 2006.**

# Mitos

---

## Mitos autoritarios

«hay lobos amarillos»

- inverificable
- la verdad se decide por las autoridades con poder para ello
- afirmaciones hacia el futuro
- superstición

## Mitos democráticos

«no hay lobos negros»

- refutable
- cualquiera (si tiene ganas) puede participar en buscar una refutación
- afirmaciones sobre el pasado
- ciencia

# Construcción y ecología



Thomas Spiegelhalter: Casa ecológica.

MVRDV Expo 2000 Hannover



## Construcción y ecología

---

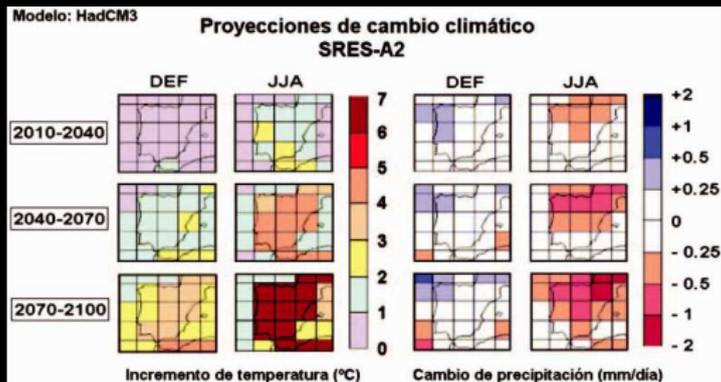
La idea de que los edificios de bajo consumo energético son respetuosos con el medio ambiente y de que, a través de la construcción de más edificios de este tipo, cumpliremos las promesas hechas en la Cumbre de Río [...], **es naturalmente, una estupidez**. Un nuevo edificio nunca ahorra energía, sino que genera nuevas necesidades energéticas, y la calificación de nuevo suelo para urbanizar es fundamentalmente antiecológica. Básicamente, sólo existen tres procesos que pueden conducir razonablemente a reducir las necesidades energéticas o la carga sobre el medio ambiente: **la rehabilitación** de edificios existentes; **la sustitución** de antiguos edificios ecológicamente despilfarradores por nuevas formas de bajo consumo y **el cierre de intersticios** entre edificios.

Gunther Moewes (1997)

(también Frei Otto, Ove Arup, Félix Candela, etc)

- Rio, Kioto: cambio climático...
- crecimiento o estabilización...
- ¿soluciones tecnológicas...?

# El cambio climático



Fuente: José Manuel Moreno *et alii* (MMA:OECC 2005)

## El cambio climático

---

Advertencias sobre el cambio climático y el uso indiscriminado de combustibles

Joseph Fourier	1827	matemático, físico, 1768–1830
Joseph Tyndall	1861	físico, 1820–1893
Rudolf Clausius	1885	físico, 1822–1888
Svante Arrhenius	1896	físico, químico, 1859–1927, PNobel 1903
Frederick Soddy	1922	físico, químico, PNobel 1921
...	...	

A modo de ejemplo, ninguna de sus advertencias figuran en la *Enciclopedia El País*.

Hasta 1979 no se celebra la primera Conferencia Mundial sobre el clima. Y hay que esperar hasta 1985, en la Conferencia de Villach, para que el cambio climático entre por fin en la agenda política y se constituya el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC).

## Consumo energético en España

	Población millones	Energía primaria tep/hab	Emisión de CO <sub>2</sub> Mt
1980	37,4	1,84	—
1990	38,9	2,26	284,5
1995	39,4	2,48	316,4
2000	40,8	3,01	385,2
2003	42,2	3,14	401,3
Incremento anual %	0,53	2,35	2,68

Fuente: El País, 7-9-2005

El límite de emisión de CO<sub>2</sub> fijado para España por el Protocolo de Kioto es de 329,8Mt para 2012.

## ¿Fiebre o enfermedad? ¿Problema o coartada?



# Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

---

Pesimistas

Optimistas

---

Siglo XVII: preocupación por la deforestación.

Evelyn (1664): industria y agricultura *versus* bosques.

Ray (1691): *The Wisdom of God Manifested in the Works of the Creation*; la especie humana como administradora.

Siglo XVIII: relación entre las inundaciones y el desmonte y deforestación en los Alpes (Horace de Saussure, 1779).

Buffon (1799): la influencia humana sobre la Naturaleza; cambio climático por la deforestación; la humanidad como fuerza geológica.

Siglo XIX: gran proyecto de reforestación de los Alpes franceses.

Carl Frass (1847): la deforestación en Persia, Mesopotamia, Palestina, Egipto, etc: **la civilización conduce a la aridez.**

---

# Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

---

## Pesimistas

Alexander von Humboldt (1852): «al talar los árboles, los hombres preparan a la vez dos calamidades: falta de combustible y escasez de agua».

George P. Marsh (1864): *Man and Nature. Physical Geography as Modified by Human Action..* Las actividades humanas como perturbaciones del equilibrio de la Naturaleza; el **deterioro** de la Tierra como planeta habitable; **conservacionismo**.

Élisée Reclus (1875-94): *Géographie universelle*. Entre la fe en el progreso y el pesimismo ante el deterioro del territorio.

## Optimistas

Frederick Schow (1852): «un más profundo conocimiento de las fuerzas naturales proporciona un contrapeso a cualesquiera efectos nocivos que la civilización lleve consigo».

Herbert Spencer (1866-67): la marcha inevitable de la civilización convertirá a todo el planeta en un cultivado jardín.

# Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

---

Pesimistas

Optimistas

Nathaniel S. Saler (1896): importancia de la preservación de la fertilidad de los suelos («valores campesinos»); agotamiento de los minerales; fe en la tecnología y en el uso de la energía solar (cascadas, viento y mareas).

Ernst Friedrich (1904): la “economía explotadora” como característica temporal de la juventud de la colonización: con el tiempo la Tierra se explotará gradualmente de forma racional bajo el liderazgo de Europa.

## Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

«Esta rica y enérgica literatura sobre el cambio ambiental ocasionado por las culturas humanas fue totalmente ignorada por la gran mayoría de los estudiosos del hombre, tanto en el siglo XVIII como en el XIX. ¿Cómo puede explicarse este abandono? [. . .] otras ideas, en especial el determinismo ambiental y la idea de **progreso**, dominaban el pensamiento de los hombres [. . .]»

«A partir de Darwin, los estudios ecológicos se han atenido en gran medida a la idea de la existencia de un equilibrio natural. En la actualidad [1955], esa concepción, fundamental en la filosofía conservacionista, se encuentra envuelta en una de las más importantes controversias de nuestra época: la influencia del **crecimiento** de la **población mundial** y de la **ciencia teórica y aplicada** a la geografía física de la Tierra. Los optimistas tienen fe en el poder consciente y resuelto de la ciencia; los pesimistas contemplan la destrucción de la Tierra como una consecuencia de las perturbaciones fortuitas y descuidadas del equilibrio natural.»

Clarence J. Glacken (1955)

## Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

---

Entre las muchas conferencias sobre la crisis ecológica global habidas en el siglo XX, destaca quizás la organizada en Princeton por la escuela de geógrafos de Berkeley en **1955**, bajo el título:

### *Man's Role in Changing the Face of the Earth*

Aún con la excusa de recordar a George P. Marsh, fue sobre todo la oportunidad de debatir acerca de los cambios físicos bien visibles *en el territorio*, originados por la actividad humana desde una perspectiva global.

Entre los organizadores se encontraban personas de la talla de Clarence J. Glacken, Lewis Mumford o Carl O. Sauer.

Y no por casualidad el congreso arrancaba con un amplia y global mirada: «*Our World from the Air*». Mumford emplea por primera vez el término **sostenibilidad** (en su *Natural History of Urbanization*).

## Las ideas sobre el mundo habitable: tiempos modernos

Conferencias posteriores derivaron hacia temas más 'naturistas' (cambio climático, diversidad, contaminación), dejando de lado lo fundamental: la organización de los propios ecosistemas artificiales, con su incidencia territorial e ingentes movimientos de recursos y residuos.

Con menor tamaño, la Fundación Cesar Manrique organizó un seminario en Lanzarote en 2003 con la intención de retomar el hilo de aquel congreso de Princeton. Fue organizado por José Manuel Naredo y Luis Gutierrez:

La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra  
(1955–2003)

Entre los participantes se encontraba Margalef (rip).

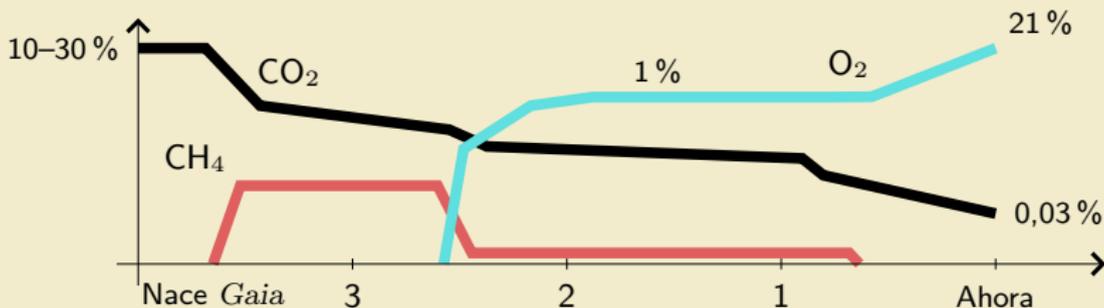
# Las ideas sobre el mundo habitable: ecología

## La vida como agente geológico

La reactiva atmósfera de la Tierra es una rareza **creada y mantenida** por la biosfera. Sin la vida, nuestra atmosfera sería químicamente inerte, como la de los planetas cercanos.

Gas	Venus	Tierra (muerta)	Marte	Tierra (viva)
CO <sub>2</sub>	98 %	98 %	95 %	0,03 %
N <sub>2</sub>	1,9 %	1,9 %	2,7 %	79 %
O <sub>2</sub>	trazas	trazas	0,13 %	21 %
Temperatura (°C)	477	≈290	-53	13

Fuente: Lovelock (1983)



# Las ideas sobre el mundo habitable: ecología

---

## Capacidad de carga / Huella ecológica

- Requisito de suelo útil *per capita* en los países desarrollados: 4,5 hectáreas (cubre las necesidades de alimentos, vestidos, alojamiento, transporte y digestión de residuos).
- La superficie de las tierras emergidas es de unos 15.000 millones de hectáreas, de las que tan sólo 10.000 millones pueden considerarse útiles. Permitirían vivir como 'desarrolladas' a unos 2.200 millones de personas.
- La población actual, si se repartiera equitativamente el suelo disponible, tocaría a unas 1,61 hectáreas por cabeza: y podría vivir con un 'nivel de vida' similar a la población de Nigeria.
- La población futura, si se estabilizará en torno a los 9.000 millones, tocaría *equitativamente* a 1,11 hectáreas por cabeza: corresponde a un 'nivel de vida' algo superior al de la India.
- Pero el reparto actual dista de ser equitativo. . .

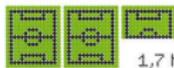
# Las ideas sobre el mundo habitable: ecología

## Capacidad de carga de la Tierra (2003) Earth's carrying capacity (2003)



Planeta  
Planet

6.000.000.000 h  
x 1,7 = 10.200.000.000 ha



1,7 ha

## Huella ecológica personal (2003) Personal footprint (2003)



India  
India

1.000.000.000 h  
x 0,8 = 800.000.000 ha



0,8 ha



Nigeria  
Nigeria

154.000.000 h  
x 1,5 = 231.000.000 ha

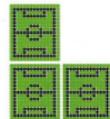


1,5 ha



Colombia  
Colombia

45.000.000 h  
x 2,0 = 90.000.000 ha

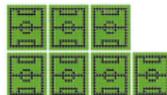


2,0 ha



Unión Europea  
European Union

379.000.000 h  
x 5,0 = 1.895.000.000 ha

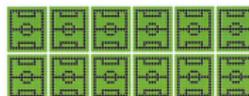


5,0 ha



Estados Unidos  
United States

294.000.000 h  
x 8,7 = 2.557.000.000 ha



8,7 ha

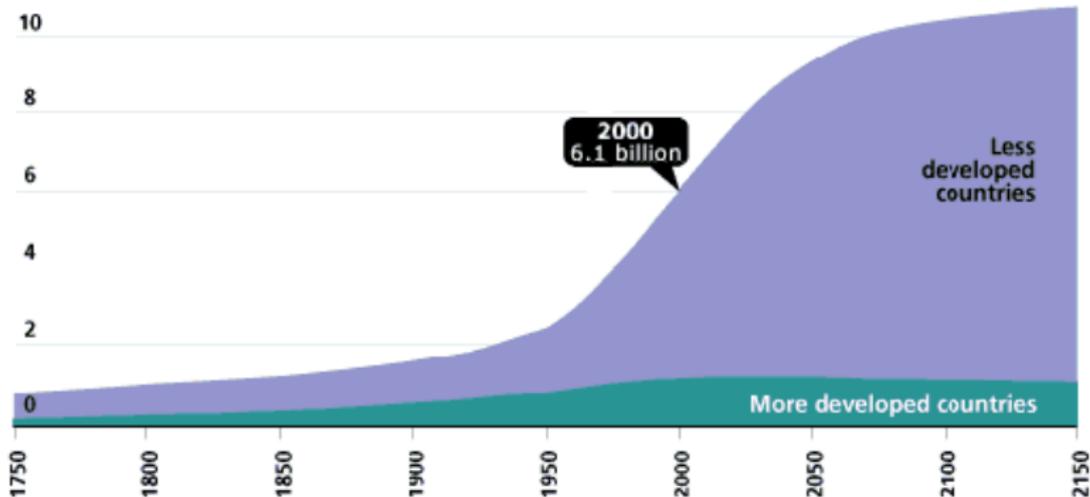
## Desarrollo y climax

- Todas las organizaciones vivientes nacen y se desarrollan hasta alcanzar una **identidad** (que nos permite reconocerlas) y un **acoplamiento estructural** con el entorno (en el que éste también sufre cambios).
- La clave importante es que el desarrollo es **siempre** una fase temprana y temporal que da paso a una **vida estable**, mientras la organización es capaz de mantener su **identidad** y su **acoplamiento**.
- Un **crecimiento continuo** acaba prematuramente con la vida (cáncer, plagas, superpoblación, etc).

# Crecimiento

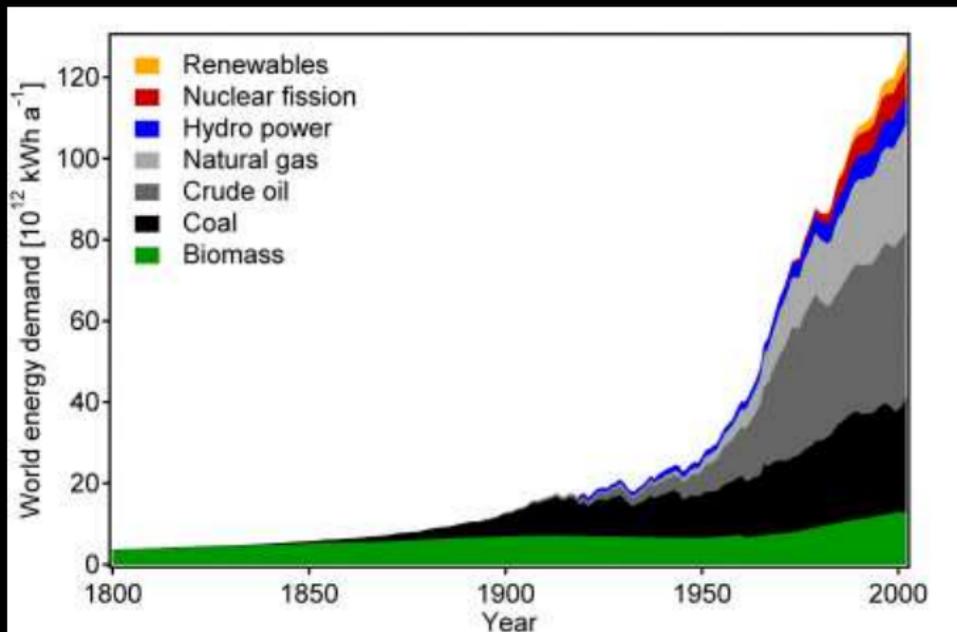
## World Population Growth, 1750–2150

Population (in billions)



Source: United Nations, *World Population Prospects, The 1998 Revision*; and estimates by the Population Reference Bureau.

## Crecimiento: uso de combustibles fósiles



## Crecimiento: uso de combustibles fósiles

---

La máquina de vapor *a carbón* comenzó a utilizarse en la extracción *de carbón*, que ya se usaba profusamente como combustible base en Gran Bretaña.

Al mismo tiempo que Watt, en 1767, Horace de Saussure realiza las primeras pruebas de una 'caja solar', antecedente temprano de los actuales paneles térmicos.

	s. XVI	escasez aguda de madera en Gran Bretaña
	s. XVII	sustitución de madera por carbón
Thomas Savery	1698	primera bomba de vapor
James Watt	1765	primera máquina de vapor
	1862	petróleo de Pensilvania a 95\$US <sub>2004</sub>
Nikolaus Otto	1876	primer motor de cuatro tiempos
	1885	petróleo a 20\$US <sub>2004</sub>
Rudolf Diesel	1896	primer motor diesel

# Crecimiento: la jerarquía urbana

---

Las ciudades globales brillan...



Earth at Night  
More information available at:  
<http://ntrwp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>

Astronomy Picture of the Day  
2000 November 27  
<http://astrowp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

# Crecimiento: la jerarquía urbana

## Áreas de disfrute y consumo

### GRANDES CONGLOMERADOS URBANOS SEGÚN PBU

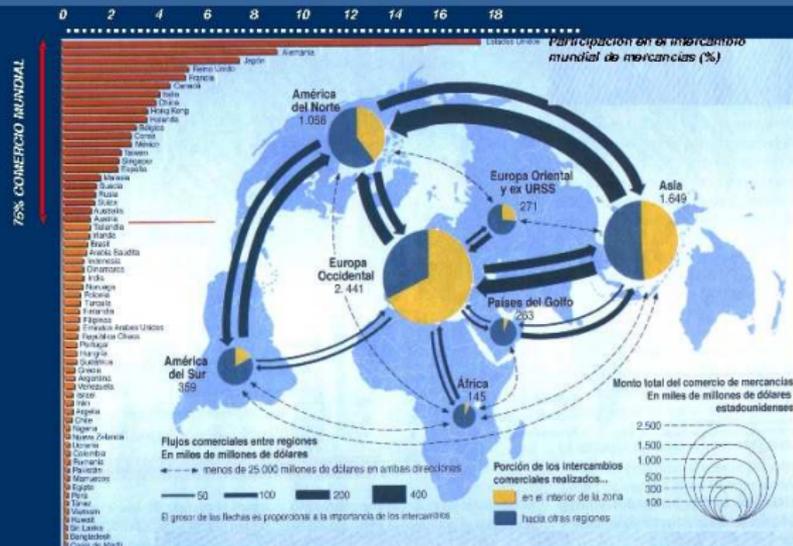


Fuente: Atlas de Le Monde Diplomatique. Datos referidos a 2000

# Crecimiento: la jerarquía urbana

## Comercio global entre las conurbaciones globales

### FLUJOS DEL COMERCIO INTERNACIONAL



# Los tres componentes del crecimiento urbano

1.- Ordenación del territorio en núcleos de atracción de población, capitales y recursos; y áreas extensas de extracción de recursos y vertido de residuos.

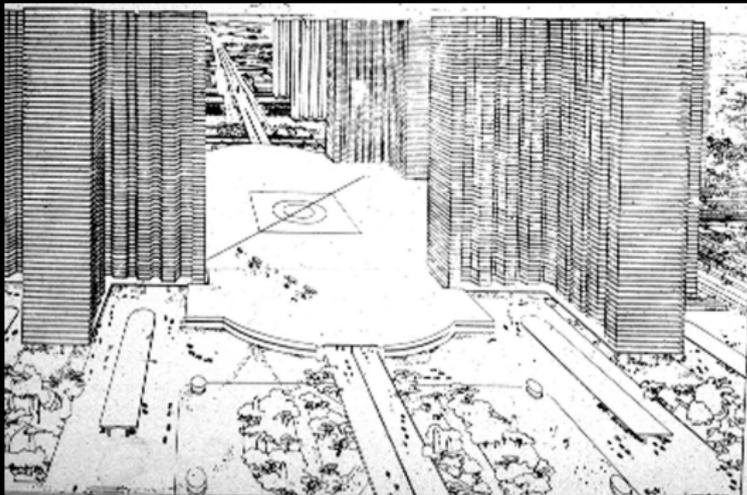
Rank	Renta per cápita	Huella ecológica
1	USA	Etiopía
2	Singapur	Egipto
3	Noruega	Chile
4	Canada	México
5	Francia	Costa Rica
6	Holanda	Argentina
7	Chile	Francia
8	Argentina	Noruega
9	México	Holanda
10	Costa Rica	Singapur
11	Egipto	Canada
12	Etiopía	USA

Fuente: IDH/NU (1998)

# Los tres componentes del crecimiento urbano

---

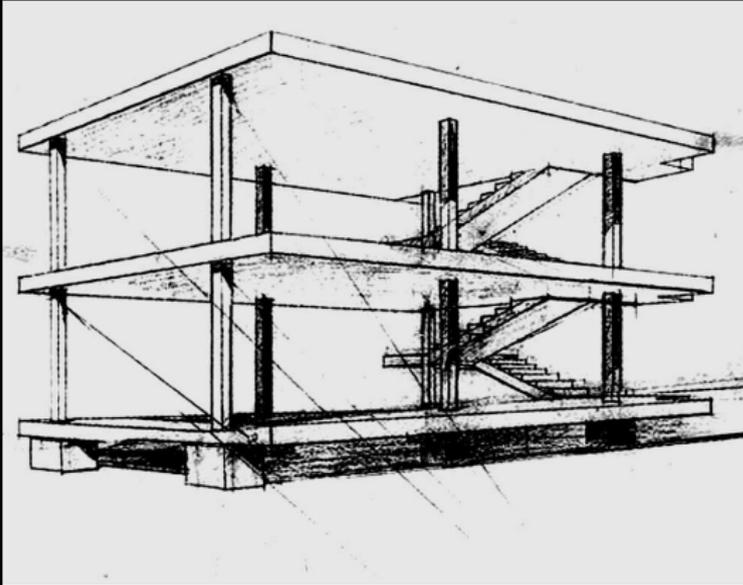
2.- La urbanización difusa (*urban sprawl*), con áreas especializadas y homogéneas conectadas a través de sistemas intensivos de transporte.



# Los tres componentes del crecimiento urbano

---

3.- Una construcción industrial, con materiales intensivos en energía y una 'respiración exacta' a través de instalaciones y maquinaria de todo tipo.



# ¿Soluciones tecnológicas?

---



## ¿Soluciones tecnológicas?

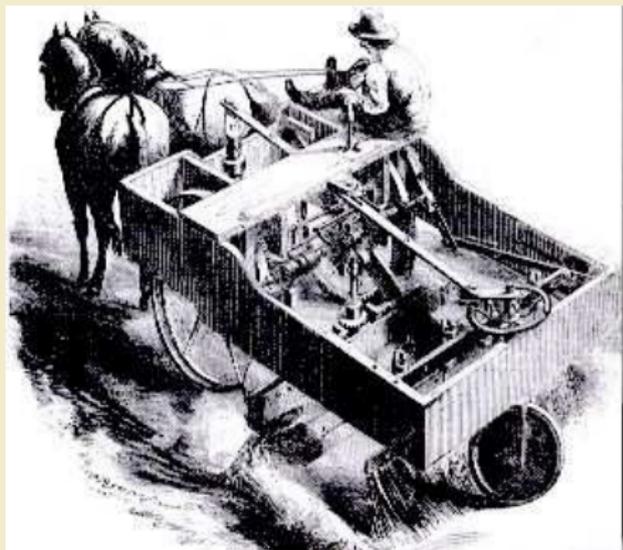
---

- En 1920, un científico describió las ventajas de añadir plomo a la gasolina. Tan sólo ahora hemos conseguido desembarazarnos de ellas y de la contaminación asociada.
- En 1930, la misma persona consiguió encontrar una familia de sustitutos para el amoníaco utilizado en los sistemas de refrigeración y enfriamiento: los CFCs, principales causantes del 'agujero de ozono' en la estratosfera (descubierto hacia 1980).

## ¿Soluciones tecnológicas?

---

*Scientific American* publicó en **1856** un detallado reportaje sobre la máquina barredora de Philadelphia. Tirada por caballos, lo más que conseguía era apilar la basura en forma de gavillas, que había que cargar en “carros volquete”. Y al menos las inevitables heces de los caballos eran recogidas con el resto de la basura.



## ¿Soluciones tecnológicas?

---



Nuestras modernas barredoras probablemente ensucian más de lo que limpian, pero no tratándose de gases malolientes, y pudiendo reducir puestos de trabajo (esto es, aumentar la *productividad del factor de trabajo*), han venido para quedarse.

## ¿Soluciones tecnológicas?

---

### La revolución 'verde'

#### Eficacia de la agricultura en España

	1950-51	1977-78	1993-94
Producción útil (PJ)	127	425	521
Consumo 'exterior' (PJ)	20,8	346	374
Rendimiento	6,10	1,23	1,39

Fuentes: Naredo *et Campos* (1980); Simón (1999).

El esquema contable utilizado en el primero de los trabajos para los dos primeros periodos dejaba fuera los consumos indirectos del transporte de agua, que resultaban poco importantes, sobrestimándose en todo caso la eficacia. En el segundo de los trabajos se siguió con el mismo esquema, pero el periodo analizado (1993-94) se caracteriza precisamente por un intenso crecimiento de la superficie en regadío, por lo que el rendimiento estimado podría ser en realidad significativamente menor, quizás por debajo del periodo anterior.

## ¿Soluciones tecnológicas?

---

En temas agrícolas, el caso del cultivo del maíz en La Mancha mediante regadío es espectacular.

- 1 kg de maíz requiere 1 m<sup>3</sup> de agua.
- Para el abastecimiento humano, ese agua puede llegar a costar 200pta/m<sup>3</sup>.
- Por su parte, el maíz se paga a 25pta/kg.
- Y debido al ingente consumo de agua en tales regadíos, se ha pretendido trasvasar agua para esa misma cuenca desde centenares de kilómetros de distancia.

(La superficie cultivada en La Mancha —67.000 ha— dobla con creces la cultivada en Galicia —26.000 ha.)

# ¿Soluciones tecnológicas?

---

## Otros ejemplos...

- *Water Closet*
- Vitrocerámica eléctrica
- Electrónica *obsolescente*
- Automóvil privado

## Rendimiento y coste

---

**Rendimiento** en el disfrute de un bien (una vivienda, por ejemplo) a la largo del tiempo:

$$\text{rendimiento} = \frac{\text{bien} \times \text{tiempo}}{\text{recursos costosos}} \quad \text{Coste} = \frac{\text{recursos costosos}}{\text{bien} \times \text{tiempo}}$$

**Rendimiento**  $\eta$  y **coste**  $k$  por unidad de producto:

$$\eta = \frac{1 \times t}{F} \quad k = \frac{1}{\eta} = \frac{F}{1 \times t}$$

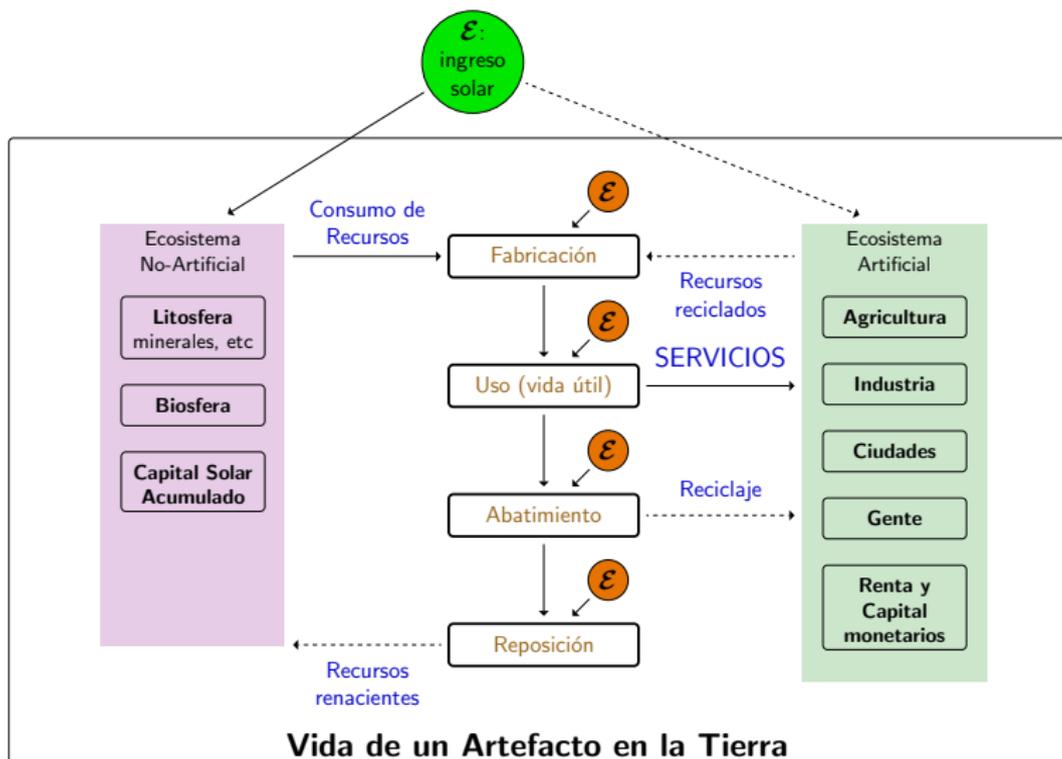
siendo  $\eta$  rendimiento

$k$  coste

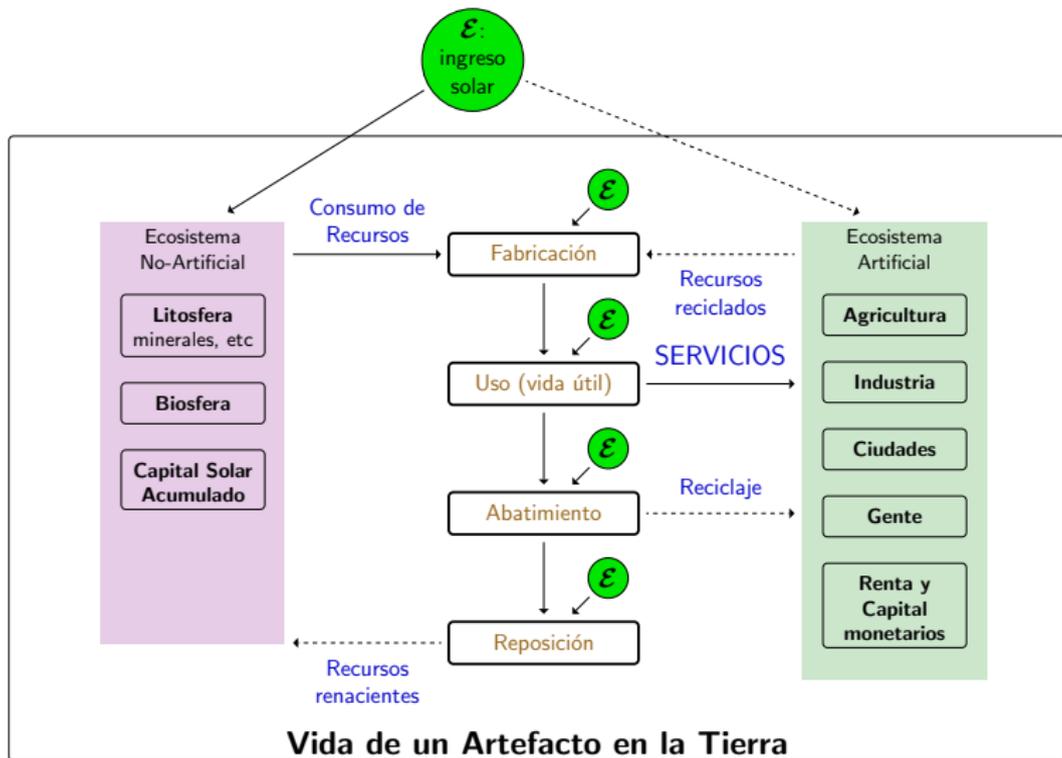
$t$  tiempo

$F$  recursos costosos, "fuels", **por unidad de producto**

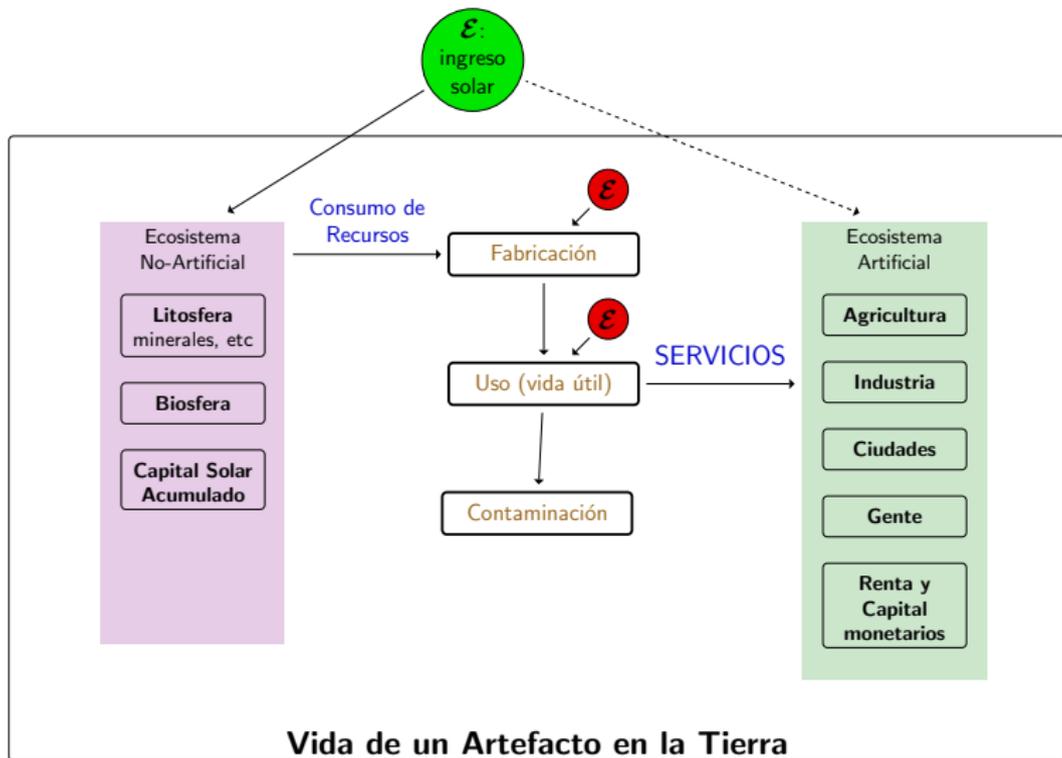
# Rendimiento y coste: un esquema contable



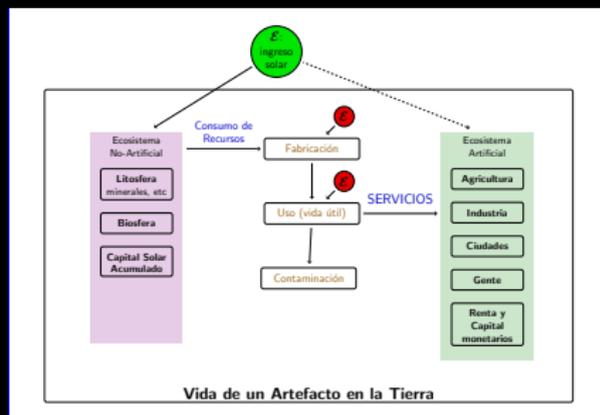
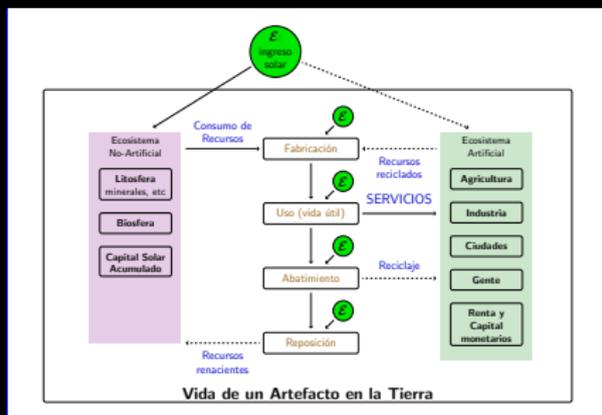
# Rendimiento y coste: 'todo ecológico'



# Rendimiento y coste: 'todo económico'



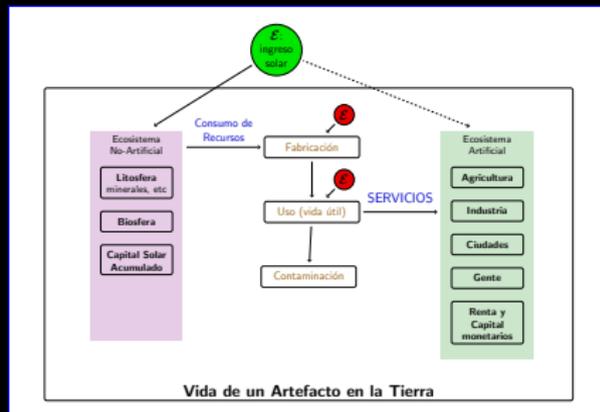
# Rendimiento y coste: ecología/economía



Tras constatar “el contraste entre el enorme progreso en el dominio del hombre sobre la naturaleza y su escasa contribución a la perfección de la vida humana”, Frederick Soddy se preguntó cual era la **la regla del juego económico**.

El planeta dispone de un **ingreso solar** (como una renta anual) y también de un **capital solar** acumulado en forma de *stocks* de materiales (combustibles) y organización ecológica.

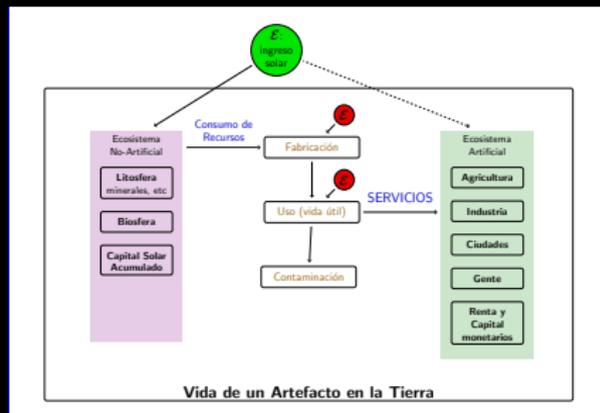
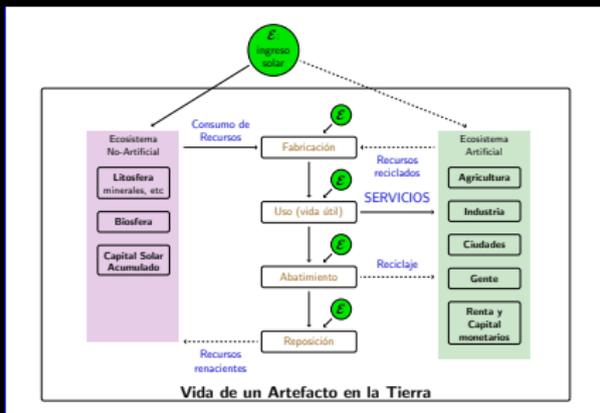
# Rendimiento y coste: ecología/economía



Para Soddy existen dos alternativas extremas:

- Vivir del ingreso (renta), y si es posible acrecentarlo (e incluso ahorrar incrementando el capital solar). (Norias, molinos, agricultura, . . . )
- Vivir del capital solar, destruyéndolo. (Para ello, consumimos capital para construir máquinas, que seguirán destruyéndolo al emplearlas. . . )

# Rendimiento y coste: ecología/economía



Para Soddy, el desarrollo económico de la Revolución Industrial estuvo basado en el deterioro del capital solar que, considerando todas sus formas y efectos secundarios, se describe como 'deterioro ecológico'.

En su opinión, tal consumo de capital solar propició también el crecimiento demográfico.

Las reglas del juego monetario identificaron la pérdida del capital solar con la producción de riqueza monetaria: **dime cuanto consumes, destruyes y contaminas y te diré cuanto ganas.**

## Rendimiento y coste

---

### Coste de fabricación:

$$\mathcal{F} = \frac{\text{energía incorporada} \times \text{masa}}{\text{tiempo}} = \frac{\mathbf{E}_i \times M}{t}$$

Los costes de fabricación  $\mathcal{F}$ , abatimiento  $\mathcal{A}$  y de reposición  $\mathcal{R}$  tienen una estructura similar: una intensidad energética (MJ/kg) que multiplicada por la masa empleada por **unidad de 'bien'** y dividida por la vida útil suministra la potencia empleada (energía por unidad de tiempo) para disfrutar del 'bien'.

El coste de reposición puede ser negativo: se gana energía cuando es posible reutilizar o recuperar. Entonces lo que se repone no es la materia bruta original, sino materiales a medio elaborar. Tal ganancia puede incluirse en el coste de fabricación al principio del ciclo (que queda disminuido).

## Rendimiento y coste

---

**Coste de mantenimiento:** potencia consumida  $W$

$$W = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}} \quad \left( \approx W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}} \right)$$

siendo  $W, W_{\text{ref}}$ : potencia y un valor de referencia

$M, M_{\text{ref}}$ : masa *útil* y un valor de referencia

$\mathcal{G}, \mathcal{G}_{\text{ref}}$ : propiedad geométrica deseable y su valor de referencia

$\mathcal{G}$ ?: captación solar por unidad de superficie según la orientación, etc.

Ejemplo: el aislamiento térmico en muros convencionales:

- $\Delta M$  con  $\mathcal{G}$  constante: poner doble espesor de aislante.
- $\Delta \mathcal{G}$  con  $M$  constante: dada la cantidad total de aislante a disponer, la potencia necesaria de mantenimiento disminuye si, en proporción, disponemos más aislante en las orientaciones frías y menos en las soleadas.

# Rendimiento y coste

---

**Coste de mantenimiento:** potencia consumida  $W$

$$W = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}} \quad \left( \approx W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}} \right)$$

siendo  $W, W_{\text{ref}}$ : potencia y un valor de referencia

$M, M_{\text{ref}}$ : masa *útil* y un valor de referencia

$\mathcal{G}, \mathcal{G}_{\text{ref}}$ : propiedad geométrica deseable y su valor de referencia

Ejemplo,  $\Delta\mathcal{G}$  con  $M$  constante: consumo según el tipo de edificio.

## Consumo anual de calefacción. Gran Bretaña, 1999

Tipo	aislada	pareada	ático	adosada	piso
kWh/m <sup>2</sup>	175	150	130	100	60

Fuente: Edwards (1999).

## Rendimiento y coste

---

**coste total** (sin abatimiento ni reposición):  $\mathcal{F} + W$

$$k = \frac{\mathbf{E}_i \times M}{t} + W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}}$$

## Rendimiento y coste

---

coste total (sin abatimiento ni reposición):  $\mathcal{F} + W$

$$k = \frac{E_i \times M}{t} + W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}}$$

Aumento de la **durabilidad**:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -\frac{i \times M}{t^2}$$

**siempre ventajosa.**

Ejemplo, el aislamiento térmico en muros convencionales:

$\Delta t$ : un edificio que dura el doble en buenas condiciones, multiplica por dos la vida útil del aislante: si es que el aislante es capaz de ser útil tanto tiempo como el edificio.

## Rendimiento y coste

---

coste total (sin abatimiento ni reposición):  $\mathcal{F} + W$

$$k = \frac{\mathbf{E}_i \times M}{t} + W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}}$$

Aumento de la **cantidad de material útil**:

$$\frac{\partial k}{\partial M} = \frac{\mathbf{E}_i}{t} - W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M^2} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}}$$

puede ser ventajosa, inconveniente o indiferente.

Ejemplo, el aislamiento térmico en muros convencionales:

$\Delta M$  con  $\mathcal{G}$  constante: poner doble espesor de aislante, no dobla (en general) la resistencia térmica ni tampoco dobla el coste de fabricación: que sea o no ventajoso depende del diseño concreto que se está modificando: el “superaislamiento” puede ser una desventaja en climas templados: aumento del gasto de refrigeración en España en los últimos años.

## Rendimiento y coste

---

coste total (sin abatimiento ni reposición):  $\mathcal{F} + W$

$$k = \frac{\mathbf{E}_i \times M}{t} + W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}}$$

Mejora de las **propiedades geométricas**:

$$\frac{\partial k}{\partial \mathcal{G}} = -W_{\text{ref}} \frac{M_{\text{ref}}}{M} \frac{\mathcal{G}_{\text{ref}}}{\mathcal{G}^2}$$

**siempre ventajosa.**

Ejemplo, el aislamiento térmico en muros convencionales:

$\Delta \mathcal{G}$  con  $M$  constante: dada la cantidad total de aislante a disponer, la potencia necesaria de mantenimiento disminuye si, en proporción, disponemos más aislante en las orientaciones frías y menos en las soleadas: el gasto de fabricación es el mismo, pero disminuye el gasto de mantenimiento.

## Una regla cualitativa

1. Mejorar las propiedades geométricas y la durabilidad de la construcción es **siempre ventajoso** pues no requiere mayores costes de fabricación, solo *ingenio* durante el proyecto.
2. Invertir en coste de fabricación (materiales más intensivos en energía) sólo tiene sentido si ese sobrecoste puede amortizarse por una baja del coste de mantenimiento y/o un aumento de la durabilidad.

**¡Ojo!**: Ni doblar la durabilidad, ni doblar la calidad geométrica reducen a la mitad el coste: y cuanto menor es el coste de partida más cuesta reducirlo a la mitad.

Con costes muy pequeños, el coste de “cálculo” de reducir el coste debe empezar a ser tenido en cuenta como “coste de proyecto”.

# Rendimiento y coste: organización de procesos

---

**Procesos en serie:** especialización “en cadena”, subprocesos.

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_n \approx \bar{\eta}^n$$

siendo  $\eta_i$  rendimiento del subproceso  $i$

$\bar{\eta}$  rendimiento medio de los subprocesos,  $\exp(\overline{\log \eta_i})$

$n$  número de subprocesos

Valores de  $\eta$

	$n =$	2	4	8	16
$\bar{\eta} =$	0,5	0,25	0,06	0,00	0,00
	0,71	0,50	0,25	0,06	0,00
	0,84	0,71	0,50	0,25	0,06

## Rendimiento y coste: organización de procesos

---

### El coste de la generación de electricidad

coste exergético del carbón para centrales térmicas	1,10	1,25
coste exergético de producción en centrales térmicas	2,5	3
coste de abatimiento de emisiones sulfurosas		1,1
coste de transporte de la energía		1,1
coste de transformación a bajo voltaje		1.05
<hr/>		
coste total de la energía que llega al contador de la vivienda	3,49	4,76
con rendimientos	21 %	29 %

---

Y faltarían los costes de abatimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para enjuiciar el coste de *usar la electricidad* faltarían los costes de transformación en los electrodomésticos y máquinas de las viviendas.

Por ejemplo, Lovins (2005) mostraba en *Scientific American* que, en el bombeo típico de agua, solo 9 de cada 100 unidades de energía resultaban útiles, perdiéndose el resto por el camino.

## Rendimiento y coste

---

**Procesos en paralelo:** soluciones “caso a caso”.

$$\eta = \bar{\eta} = \frac{\sum \eta_i F_i}{\sum F_i} \quad \eta \geq \text{mín } \eta_i$$

siendo  $\eta_i$  rendimiento del proceso  $i$

$F_i$  recursos del proceso  $i$

$\bar{\eta}$  rendimiento ponderado

En España (frente al ‘todo eléctrico’):

- calefacción: radiación solar + leña de poda (renuevos)
- refrigeración: masa térmica
- motores: electricidad (¡por supuesto!)
- iluminación: bombillas de bajo consumo y/o velas

Construcción heterogénea contemporánea: un material para cada función...

## Rendimiento y coste

---

**Soluciones simultáneas:** “multiproceso”, “polifuncional”, *sinergias*.

$$\eta = \eta_i = \eta_j = \dots$$

siendo  $\eta_i$  rendimiento del producto  $i$   
 $\eta_j$  rendimiento del producto  $j$

Generación simultánea de electricidad y calor en centrales de cogeneración.

Ecología industrial: polígonos industriales de “ayuda mutua”.

Construcción homogénea tradicional: un muro de un único material aporta a la vez resistencia estructural, aislamiento térmico y acústico, e inercia térmica.

Panel *Plouifasol*: suministra simultáneamente el forjado de cubierta y la captación de energía solar térmica.

## Energía incorporada en materiales de construcción

---

Material	kWh/kg	MJ/kg	Material	kWh/kg	MJ/kg
Acero	9–11	32–40	Madera	0,08–0,86	0,3–3
Acero reciclado	2,5–4	9–14,4	Madera (aserrada)	1,58	5,7
Aluminio	53–64	191–230	Madera (tableros)	1,3–6,7	4,7–24
Aluminio reciclado	12–29	43–104	Plástico genérico	20–40	72–144
Arcilla cocida (cerámica)	0,7–5,4	2,5–19	Poliestireno	28–52,5	100–189
BTC (tierra)	0,13–0,4	0,47–1,44	Poliuretano	21–33	74–119
Cemento	2	7	Porcelana	7,5	27
Cobre	20–40	70–140	PVC	19–22	70–80
Hormigón	0,3–0,7	1,1–2,5	Vidrio	4,4–7,3	15,8–26,3
Ladrillo silicocalcáreo	0,5	1,8	Vidrio (en fibra)	8,4	30
			Yeso	0,92–1,25	3,3–4,5

Los valores para materiales *reciclados* corresponden a procesos en los que se recicla *toda la cantidad de material técnicamente posible* con los procedimientos actuales.

# Energía incorporada en materiales de construcción

## Reglas cualitativas:

Materiales que en su fabricación requieren

- un alto grado de pureza,
- o una alta temperatura

tendrán gran energía incorporada.

Productos que, finalmente, son el resultado de mezclas intensas de todo tipo de materiales tendrán costes muy altos de abatimiento o reciclaje.

## El coste energético de la resistencia

- Servicio estructural: trasladar  $Q$  a una distancia  $L$ , es decir,  $Q \times L$  (mkN)
- Material estructural:
  - tensión segura  $f$  (N/mm<sup>2</sup>)
  - peso específico  $\rho$  (kN/m<sup>3</sup>)
- área necesaria:  $A = Q \div f$
- masa necesaria de material:  $M = \rho AL \div g$  ( $g$  es la aceleración de la gravedad)
- coste energético de fabricación:

$$E_i \times M = E_i \frac{\rho}{g} AL = E_i \frac{\rho}{g} \frac{Q}{f} L = \frac{\rho E_i}{fg} QL$$

- coste energético de fabricación por unidad de servicio según cada material:

$$\frac{\rho E_i}{fg} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{mkN}} \right)$$



## El coste energético de la resistencia

---

Material	Energía incorporada MJ/kg	Tensión segura N/mm <sup>2</sup>	Peso específico kN/m <sup>3</sup>	Coste de la resistencia MJ/mkN
acero	32–40	180	78,5	1,40–1,74
aluminio	191–230	162	27	3,18–3,83
madera	3–6	7	7	0,30–0,60
hormigón	1,1–2,5	8,8	23	0,29–0,65
BTC	0,47–1,44	1,2	18	0,71–2,16

## El coste energético de la estructura

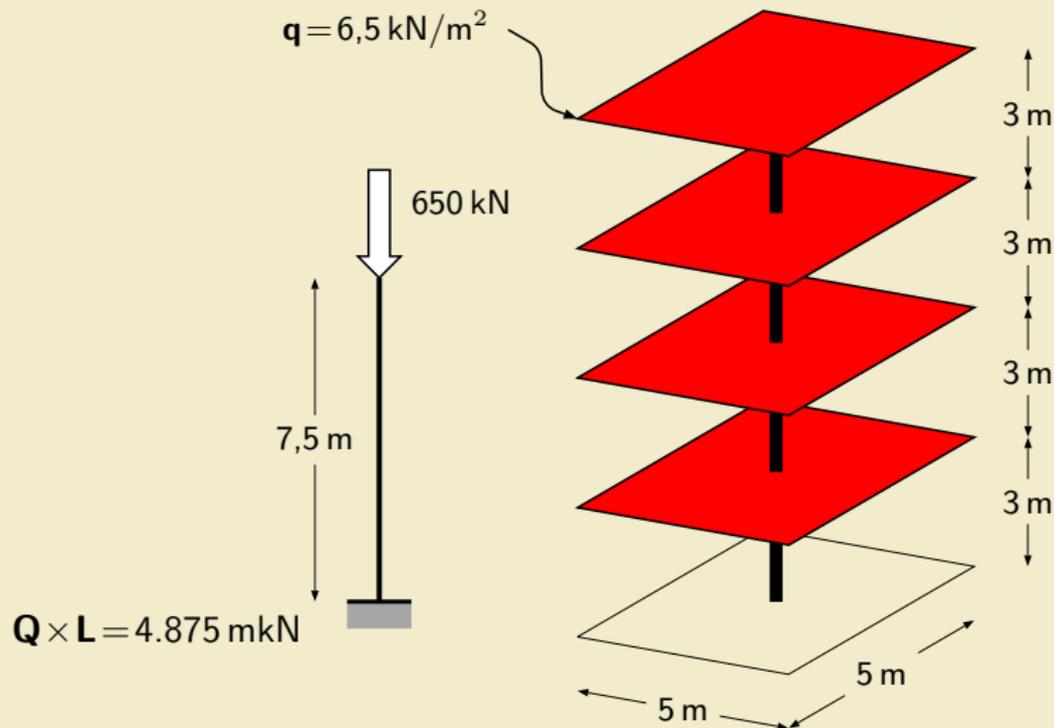
---

El coste energético de la resistencia es teórico: sólo puede alcanzarse en aquellos pocos casos en que puede disponerse estrictamente la cantidad de material necesario.

En las estructuras reales, varios factores incrementan significativamente el coste energético de la estructura:

- tamaños mínimos comerciales y constructivos
- sobredimensionado por pandeo en compresión
- sobredimensionado por flecha en flexión
- sobrecoste de uniones
- costes adicionales: encofrados, cimbras, protección frente al fuego, etc

# El coste de elementos comprimidos: un ejemplo realista



## El coste de elementos comprimidos: un ejemplo realista

	<b>Acero en tubos</b> (sin protección frente al fuego)	<b>Hormigón armado</b> (sin encofrado)		<b>BTC</b>
Tensión segura (N/mm <sup>2</sup> )	180	7,08	277	1,2
Peso (kN/m <sup>3</sup> )	78,5	24	78,5	18
Energía incorporada (kWh/kg)	11	0,7	11	0,27
Coste energético (teórico) (kWh/kg)	0,48	0,24	0,39	0,41

### Coste energético por plantas y total (kWh)

4 <sup>a</sup>	364	480	249
3 <sup>a</sup>	599	480	440
2 <sup>a</sup>	833	480	693
1 <sup>a</sup>	1.069	619	884
<b>Total</b>	<b>2.865</b>	<b>2.059</b>	<b>2.266</b>
Coste energético (real) (kWh/mkN)	0,59	0,42	0,46

## Coste energético del confort térmico

---

La situación es ahora compleja (siempre ocurre cuando se pasa de la mecánica a la termodinámica).

Hay que evaluar el coste de fabricar y de hacer funcionar un sistema que asegure el confort térmico a lo largo de las estaciones. El sistema está compuesto por elementos pasivos (aislamiento, inercia térmica, captación solar, ventilación) y, lo más frecuente, por máquinas y motores activos (calderas, compresores, bombas, etc).

Podemos evaluar el coste de cada elemento (por ejemplo de un cierto grado de aislamiento), pero si no es posible asegurar que se alcanzará el grado de confort requerido, tal coste no es del todo significativo. Y en general tal ocurre, debido a la interacción de unas propiedades con otras (por ejemplo, entre el aislamiento y la inercia térmica).

Comportamiento térmico

Bomba de calor

## Coste energético del aislamiento y la capacidad térmicas

	BTC	Ladrillo		Poliestireno
		macizo	hueco	
Energía incorporada (kWh/kg)	0,27	1,25	1,25	1.125 kWh/m <sup>3</sup>
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1.800	1.800	1.200	20
Conductividad (W/mK)	0,8	0,87	0,49	0,034
Coste del aislamiento térmico (kWh/m <sup>2</sup> )/(m <sup>2</sup> K/W)	389	1.958	735	<b>38</b>
Calor específico (MJ/kgK)	0,65	0,84	0,84	1,6
Coste de la capacidad térmica (kWh)/(MJ/K)	<b>0,42</b>	1,49	1,49	35

Fuente: Vázquez (2001).

## Coste de la edificación: un estudio de casos

“Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización.”

Lo que sigue resume y, en cierto grado, revisa los resultados de un trabajo de Mikel Cepeda y Iker Mardaras, sobre 14 casos reales de edificios residenciales en Navarra, posteriores a 1997, y 18 modelos de desarrollo urbano. El interés del trabajo estriba en su intención abarcadora, desde el detalle constructivo hasta la forma urbana, y en basarse en casos reales.

## Coste de la edificación: un estudio de casos

---

### Costes energéticos según el tipo de la vivienda

Se reflejan los resultados medios obtenidos para los 14 casos estudiados.

Tipo	Costes energéticos			Superficie m <sup>2</sup>
	fabricación MJ/m <sup>2</sup>	mantenimiento MJ/m <sup>2</sup> /año	total a 50 años MJ/m <sup>2</sup>	
'mínimo'	2.180			
Colectivas	2.944	246	15.244	153
Adosada	5.311	260	18.311	246
Unifamiliar	5.873	300	20.873	247
'máximo'	7.780			

Superficie construida total, incluyendo zonas comunes.

Fuentes: Mardaras *et Cepeda* (2004); IDAE (2000); Vazquez (2001); y elaboración propia.

# Coste de la edificación: un estudio de casos

---

## Coste global del desarrollo urbano

Resumen de los 18 desarrollos estudiados

tipo	densidad viv/ha	coste de fabricación MJ/viv
Tipo 1 (aislada)	11,49	2.511.371
Tipo 4 (aislada)	12,32	2.227.328
Tipo 5 (adosada)	24,14	1.694.578
Tipo 10 (adosada)	27,29	1.508.601
Tipo 11 (colectiva)	57,01	540.313
Tipo 18 (colectiva)	142,52	455.286

**Costes de urbanización:** zona ajardinada, 30,27 MJ/m<sup>2</sup>; pavimentación de plazas y aceras, 824,71 MJ/m<sup>2</sup>; pavimentación de calzadas, 1054,52 MJ/m<sup>2</sup>.

**Superficies:** aislada de 300 m<sup>2</sup>; adosada de 250 m<sup>2</sup>; colectiva de 140 m<sup>2</sup>.

«El consumo energético total es cinco veces mayor entre el tipo 18 (colectiva 2S+X) y el tipo 1 (unifamiliar adosada altura I). Es decir, con la energía empleada en construir y urbanizar una vivienda en el tipo 1 se construyen y urbanizan 4 viviendas del tipo 11 (colectiva s+III) y 5 viviendas en el tipo 18 (2S+X).»

Mardaras *et Cepeda* (2004)

## Coste de la edificación: un estudio de casos

---

### Desglose de costes

	Edificación	Urbanización
Tipo 1 (aislada)	70,62 %	29,28 %
Tipo 4 (aislada)	79,63 %	20,17 %
Tipo 5 (adosada)	78,94 %	21,06 %
Tipo 10 (adosada)	86,29 %	13,71 %
Tipo 11 (colectiva)	78,36 %	21,64 %
Tipo 18 (colectiva)	90,20 %	9,80 %

«El mayor gasto energético se da en la ocupación del territorio (entre un 10 % en la ciudad difusa y un 3.5 % en la ciudad compacta, del porcentaje total de gasto energético) lo cual implica que el menor gasto energético en la urbanización estará relacionado directamente con la menor ocupación de territorio por la misma.»

Mardaras *et* Cepeda (2004)

### Algunos puntos para el debate

«Merece especial atención la comparativa realizada entre diferentes tecnologías constructivas aplicadas a soluciones de fachada. Las tecnologías constructivas analizadas han sido cuatro y en su diseño se ha intentado que el K resultante sea similar. De esta manera las diferencias básicamente radican en el espesor del cerramiento, en su carácter más o menos pesado y más o menos industrializado y en el gasto energético necesario para la construcción de un m<sup>2</sup> de fachada. *(En este aspecto destacamos las dos últimas soluciones, fachada ligera con revestimiento de madera y fachada de panel prefabricado de hormigón. El gasto energético de las mismas es entre la mitad y un tercio de las dos primeras de carácter más tradicional y pesado).*»

Mardaras et Cepeda (2004)

«Del mismo modo resulta destacable la comparación del gasto energético relativo a la resolución de huecos frente al gasto energético relativo a las fachadas. En este caso se podría afirmar que una ventana con carpintería de aluminio ( $2440 \text{ MJ/m}^2$ ) es más costosa energéticamente que cualquiera de las fachadas estudiadas. En el caso de la ventana con carpintería de acero ( $1244 \text{ MJ/m}^2$ ) el gasto energético de su construcción es similar a la fachada más costosa ( $1112 \text{ MJ/m}^2$ ) mientras que la ventana de carpintería de madera ( $344 \text{ MJ/m}^2$ ) tiene un coste energético similar a la fachada con menor coste energético estudiada ( $340 \text{ MJ/m}^2$ ).»

Mardaras *et* Cepeda (2004)

«Así mismo el excesivo acristalamiento de los edificios significa un mayor gasto energético en un doble sentido, por un lado empeora el Kg del edificio con lo que el gasto de energía en mantenimiento del confort térmico aumenta y por otro lado, como se ha indicado anteriormente, el gasto energético en la construcción de huecos es entre dos y cinco veces mayor que el de una fachada opaca. La excepción la encontramos en las carpinterías de madera, en cuya fabricación y acristalamiento se emplea menos energía ( $344 \text{ MJ/m}^2$ ) que en la construcción de cualquiera de las fachadas estudiadas (entre  $505 \text{ MJ/m}^2$  y  $1250 \text{ MJ/m}^2$ ).»

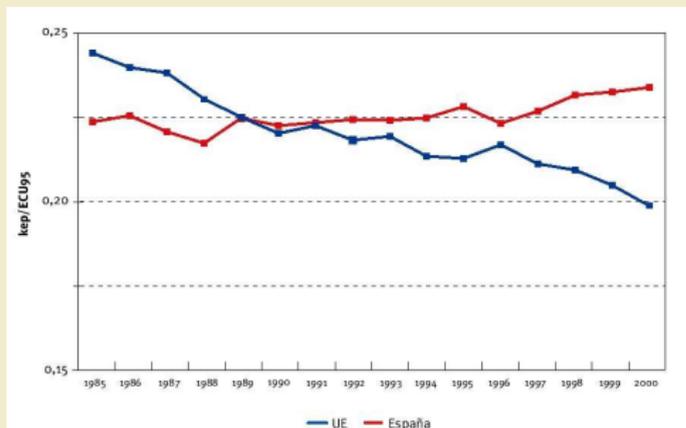
Mardaras *et* Cepeda (2004)

«Por otro lado el planteamiento de ciertas viviendas bioclimáticas construidas con materiales cuya manufacturación suponga un elevado consumo de energía (como el aluminio) deberán ser objeto de revisión. De esta manera no solo se tendrá en cuenta el funcionamiento de la vivienda como condición de eficiencia energética sino también la energía utilizada en su construcción.»

Mardaras *et* Cepeda (2004)

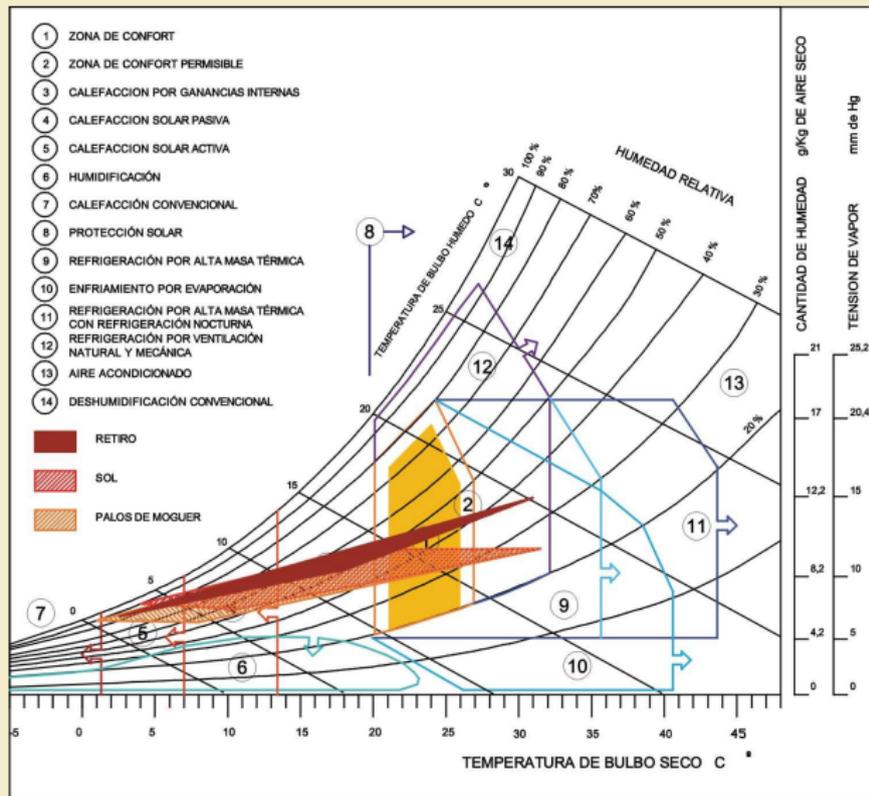
# Coste de la edificación: incidencia global

## Intensidad energética en la España



De las cinco razones que explican según el IDAE el comportamiento anómalo de la intensidad energética primaria, tres tienen que ver directamente con la edificación (aumento de equipamiento y confort; mercado inmobiliario en expansión; popularización de la electricidad como fuente). Y la cuarta tiene que ver siquiera indirectamente con la expansión urbana: el incremento del transporte, en general, y del uso del automóvil en particular.

# Rehabilitación: caracterización del clima



## Rehabilitación: evaluación energética

---

¿Es la edificación un sector difuso?

Prácticamente toda la información necesaria para realizar una auditoría energética está en la facturación de las empresas suministradoras de energía y combustibles. (Excepción: butano, leña, carbón, . . .)

Con esa información sería posible localizar los edificios y barrios más despilfarradores y priorizar las operaciones de rehabilitación energética.

Sin embargo, parece merecer más predicamento métodos *high-tec*: termografías, monitorización, . . .

Además, ¿quien mejor que quien allí vive para calificar el confort de la vivienda?

# Rehabilitación: fachadas

---

- Mejora del aislamiento con arropamiento de suficiente capacidad térmica (si es posible)
- Mejora de carpinterías
- ¿captación solar pasiva?

## Rehabilitación: captación solar activa

---

### Captación anual de energía solar

	Rendimiento global	Energía útil (kWh/m <sup>2</sup> )	Capacidad de la cubierta horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	'inclinada' (kWh/m <sup>2</sup> )
Energía fotovoltaica servida a la red general	0,08	135	35	140
Energía térmica en agua a baja temperatura	0,4	600	230	780

Fuentes: Hernández González (1993); EU (2002); y elaboración propia.

Se han considerado rendimientos globales medios de instalaciones en uso. En proyectos futuros que utilicen la 'mejor técnica disponible' cabe esperar rendimientos mayores.

La energía útil superficial se estima para orientaciones sensiblemente cercanas a la óptima para el clima de Madrid. Por 'cubierta inclinada' se entiende aquella cubierta *compatible* con la disposición de los paneles en planos inclinados sin sombra entre ellos.

## Rehabilitación: captación solar activa

---

En el caso del casco histórico de Madrid, se ha estimado la cobertura que puede alcanzarse:

- para la electricidad fotovoltaica, cabe esperar coberturas del 20 % del consumo del edificio
- para la energía térmica a baja temperatura se estima que puede alcanzarse entre un 70 y un 200 % del consumo en ACS (es decir, cubriría incluso cubrir parte de las necesidades de calefacción)

## Rehabilitación: captación solar activa

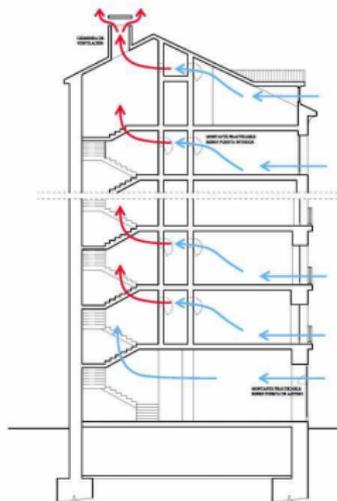
---

¿Hay que esconder los artefactos solares?

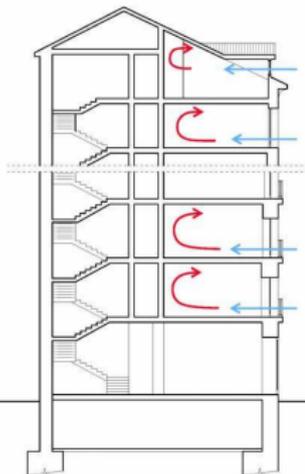


# Rehabilitación: ventilación, enfriamiento pasivo

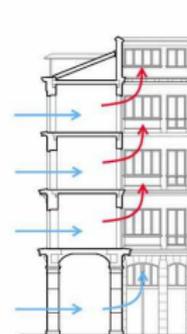
VENTILACIÓN CRUZADA A TRAVÉS DE LA CAJA DE ESCALERA



VENTILACIÓN. SITUACIÓN ACTUAL



VENTILACIÓN CRUZADA A TRAVÉS DE PATIO



Plan de DISEÑO DE VENTILACIÓN  
EDIFICIO IPD  
CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA  
REHABILITACIÓN PRIVADA DE VIVIENDAS EN  
MADRID  
M. de León, M. Vázquez, R. Tordes, M. Gómez, E. Rando y M. Barón  
Equipo Municipal de la Vivienda de Madrid  
Punto 1.18  
Diciembre de 2014

## Rehabilitación: otras actuaciones

---

- Agua: cisternas, grifería de bajo consumo, agua pluvial, agua gris.
- Instalaciones convencionales: revisión, sustitución o mejora.

«Por último se observa que los gastos energéticos derivados de la ocupación del territorio y el capítulo de la estructura en la edificación de nueva planta supone con respecto al total del gasto energético en construcción y urbanización entre un 46 % y un 53 % del total. Por ello se recomienda la rehabilitación y reutilización de edificios y estructuras preexistentes. Se estima que de este modo se podría ahorrar hasta un 50 % del gasto actual en el proceso de edificación y urbanización de la ciudad.»

Mardaras *et* Cepeda (2004)

# Rehabilitación y mercado inmobiliario

## Características del parque de viviendas en España

Producción de viviendas en 2000			Estado del parque en 1991)		
	Construcción	Stock	Estado	Stock	Viv. ociosa
	viv/1.000hab	viv/1.000hab			
España	10,4	486	ruinoso	53.666	26.230
			malo	355.709	136.140
Irlanda	13,2	331	deficiente	1.380.211	295.232
UE9	5,87	459	bueno	14.645.237	1.750.726
			no consta	1.371.540	267.311
			<b>totales</b>	<b>17.206.363</b>	<b>2.475.639</b>

- La vivienda *ociosa*, entre 1991 y 2000, puede suponer entre un 13 y un 17 % del *stock* (proporción que sin duda ha aumentado en los últimos años).
- La tasa de producción de vivienda nueva era del 2,14 % en 2000, y ha aumentado posteriormente. Muy por encima de la tasa anual de crecimiento de la población (0,53 %).

## Algunos hechos

Las viviendas *ociosas* en mal estado pueden cifrarse en un 4 % del *stock*; **equivale a la producción actual de un año o, a lo sumo, dos.**

Las viviendas en mal estado (vacías u ocupadas) pueden estimarse alrededor del 18 % del parque actual (equivalente a la producción de los últimos 5 ó 6 años).

No hay datos fehacientes acerca del número de viviendas ‘despilfarradoras’, aunque probablemente superen los porcentajes anteriores (cerca del 40 % del parque tendrá ahora más de 30 años de edad).

## Conjeturas para el debate

La producción de viviendas sustenta actualmente un **mercado financiero** que no responde (ni satisface) la demanda de *vivienda para vivir*. Los problemas de todo tipo que esta producción ocasiona no se resuelven (ni siquiera se enfrentan) mediante la rehabilitación de viviendas *ociosas* en mal estado. Es más, al igual que ocurre con la producción de vivienda social, puede apuntalar aún más ese mercado financiero.

Si lo que se pretende es reducir el derroche energético del parque inmobiliario, la rehabilitación energética (y en sentido más amplio ecológica) de buena parte del parque sería imprescindible, pero sin conexión alguna con la producción de nuevas viviendas. Y para empezar habría que averiguar que fracción del parque debería rehabilitarse.

# La rehabilitación desde la perspectiva de la ecología y la sostenibilidad

Mariano Vázquez Espí

<http://habitat.aq.upm.es>

Grupo de Investigación en Arquitectura y Urbanismo Más Sostenible de la UPM

Edición del 25 de marzo de 2006

Compuesto con *free software*:  
GNULinux/L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X/dvips/ps2pdf

Copyright ©Vázquez Espí, 2006

## Comportamiento térmico: conducción

---

La popular fórmula de la conducción térmica es, para el caso de muros o paredes homogéneos:

$$\mathbf{q} = \frac{\lambda}{e} \Delta T$$

siendo  $\mathbf{q}$ , flujo superficial de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\lambda$ , conductividad térmica del material ( $\text{W}/\text{m}/\text{K}$ )

$e$ , espesor de la pared (m)

$\Delta T$ , diferencia de temperaturas entre las caras (K)

La idea igualmente popular a que ha dado lugar consiste en:

1. Frente a una diferencia de temperaturas **constante**  $\Delta T$  —ante la que nada podemos hacer—,
2. para disminuir las pérdidas **invernales** ( $\mathbf{q}$ ),
3. lo único a nuestro alcance es aislar el muro **aumentando su resistencia térmica** ( $e/\lambda$ ).

El flujo de calor se considera **constante** a lo largo del espesor de la pared, y sobre ese supuesto se basa todos los cálculos de coeficientes de transmisión (*'kasubge'* en la jerga popular).

## Comportamiento térmico: conducción

---

La fórmula popular es una **simplificación radical** de la fórmula original debida a Fourier:

$$w = -k \frac{\partial T}{\partial x} \Rightarrow w = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow \mathbf{q} = \frac{\lambda}{e} \Delta T \quad \{\lambda \equiv k\}$$

En la fórmula original hay **otras** ideas:

- La temperatura es **variable**, en absoluto constante.
- Una auténtica **barrera térmica** consiste en que la variación de la temperatura en algún punto de la pared sea nula ( $\partial T / \partial x = 0$ , temperaturas máximas o mínimas, por ejemplo).
- El flujo de calor es siempre desde lo caliente a lo frío: **el calor tanto puede entrar como salir**, es decir, puede representar una pérdida o una ganancia.

## Comportamiento térmico: acumulación

---

La fórmula original de Fourier se generaliza para tener en cuenta la **variación a lo largo del tiempo**, y en el caso de muros y paredes:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \delta c \frac{\partial T}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

siendo  $\delta$ , densidad del material ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$ , calor específico del material ( $\text{J/kg/K}$ )

$\alpha$ , difusividad térmica,  $\alpha = k \div \delta c$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Lo esencial es que el flujo de calor **puede variar** a lo largo de la pared pues la propia pared puede calentarse o enfriarse, actuando como acumulador térmico.

La **difusividad térmica** expresa el compromiso (en cada material) entre acumulación y conducción.

Ahora difícilmente puede hablarse de **coeficientes de transmisión** de muros o elementos.

## Calórico *versus* calor

---

<b>Calórico</b>	<b>Calor</b>
El calórico fluye como en un río.	El calor discurre por la superficie de un campo térmico.
El perfil del río es constante: con cascadas y embalses en lugares fijos.	El flujo de calor altera el campo térmico, tanto en el espacio como en el tiempo; el campo a su vez altera el curso del flujo y transforma los embalses en cascadas y viceversa.
Modelos simples.	Modelos complejos.

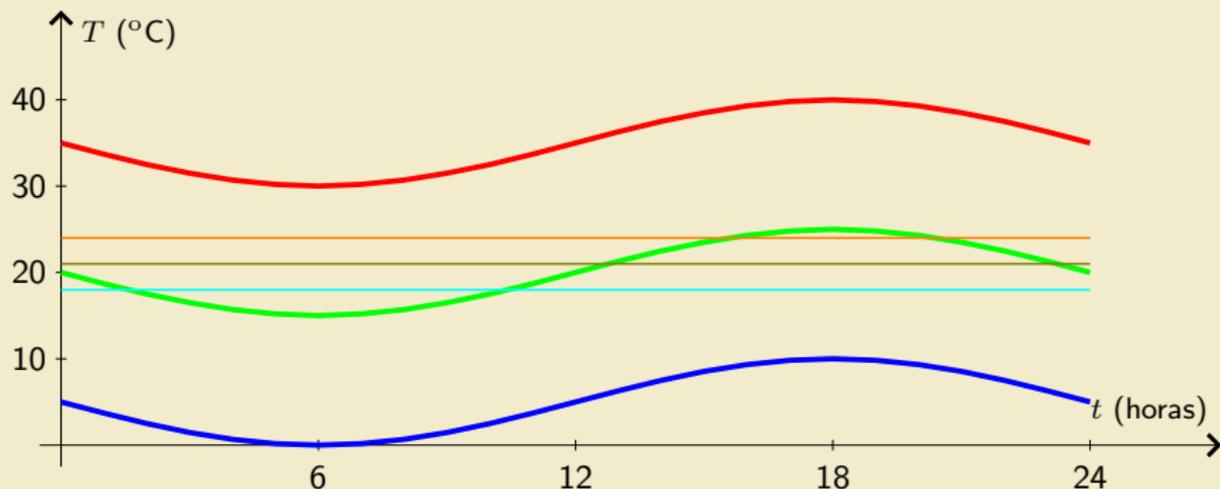
La idea de Le Corbusier de un “muro con respiración exacta” se inspiró en este debate aunque, desafortunadamente, se inclinó por considerar que la única fuente de calor interesante era el aparato climatizador.

## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo.

Muro	Descripción (de fuera a dentro).	$U_{CT79}$ (W/m <sup>2</sup> /K)
<b>A</b>	0,488 m de fábrica de ladrillo macizo. “Muro tradicional”	<b>1,371</b>
<b>B</b>	0,12 m de fábrica de ladrillo hueco; 0,018 m de poliestireno expandido tipo I. “Muro moderno”	<b>1,371</b>
<b>C</b>	0,018 m de poliestireno expandido tipo I; 0,12 m de fábrica de ladrillo hueco. “Última tendencia”	<b>1,371</b>

Material	$\delta$ kg/m <sup>3</sup>	$c$ J/kg/K	$k$ W/m/K	$\alpha$ m <sup>2</sup> /s
Fábrica de ladrillo macizo	1.800	840	0,87	$5,75 \times 10^{-7}$
Fábrica de ladrillo hueco	1.200	840	0,49	$4,86 \times 10^{-7}$
Poliestireno expandido tipo I	10	1.450	0,057	$3,93 \times 10^{-6}$

## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo.



Días teóricos de **invierno**, **primavera u otoño**, y **verano**. Las temperaturas de confort consideradas en el interior son  $18^{\circ}\text{C}$ ,  $21^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$ , respectivamente (líneas horizontales).

Como flujos sólo se consideran las pérdidas por conducción y los aportes del sistema de climatización. Específicamente, en el mundo del ejemplo, no hay soleamiento ni convección.

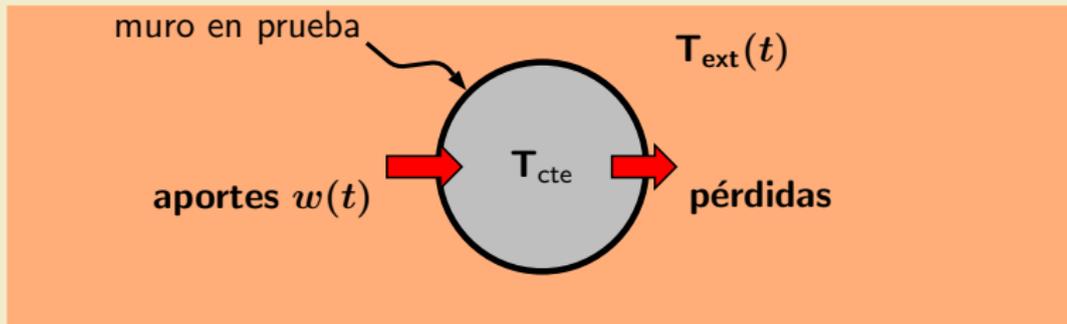
## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: utopía domótica

Se modela un sistema domótico de acondicionamiento **sin inercia propia**, capaz de aportar en cada instante el flujo de calor necesario para mantener la temperatura interior constante e igual a la temperatura de confort fijada para cada estación (18, 21 y 24 °C).

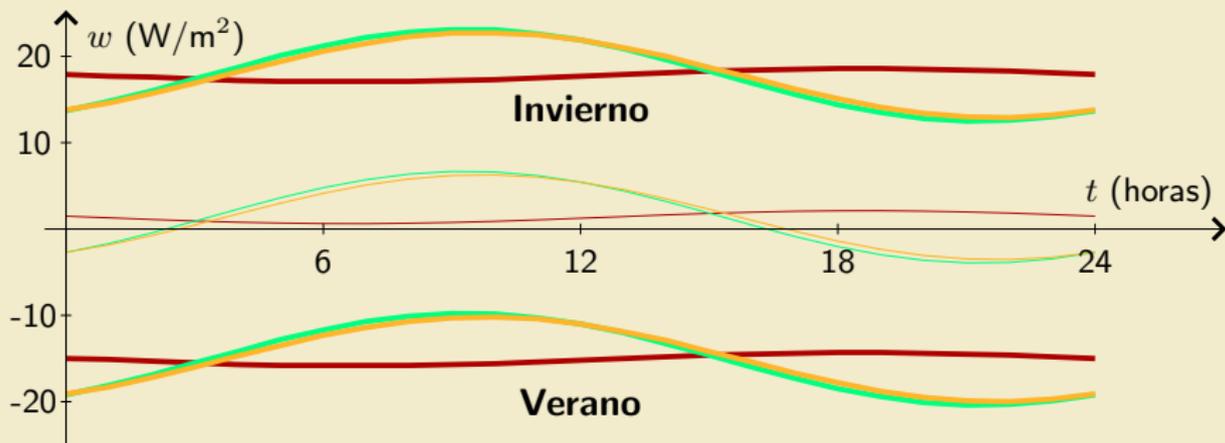
El flujo de calor será positivo (aporte) típicamente en invierno, mientras que será negativo típicamente en verano.

El resultado del modelo consiste, precisamente, en calcular la variación con el tiempo del flujo de calor que aporta (o retira) el sistema de acondicionamiento.

“Sin inercia propia” significa que el sistema responde sin el más mínimo retardo a las señales del termostato.



## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: utopía domótica

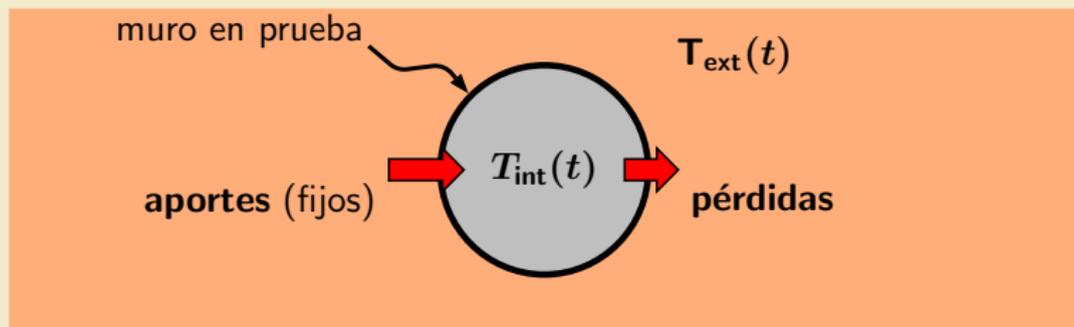


- Los flujos netos de calor a lo largo de cada día son exactamente los mismos para los tres muros:  $17,8 \text{ W/m}^2$  (invierno) y  $-15,1 \text{ W/m}^2$  (verano).
- El muro macizo sin aislamiento requiere en ambas estaciones equipos de menor potencia punta.
- En primavera, los muros con aislamiento pueden requerir que el sistema funcione a casi un cuarto de potencia, tanto para calefactar como para refrigerar. Estas necesidades (y los consumos) **no se compensan: se suman**.

## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: calefacción central.

En invierno y en verano, el calor que se aportaba en el caso anterior, justo cuando hacía falta, se aporta ahora entre las 12 y las 20 horas, a ritmo constante (la cantidad total diaria es exactamente la misma que en la utopía domótica). En primavera y otoño no se aporta ningún calor.

Se trata ahora de determinar la variación en el tiempo de la temperatura interior  $T_{\text{int}}(t)$ .



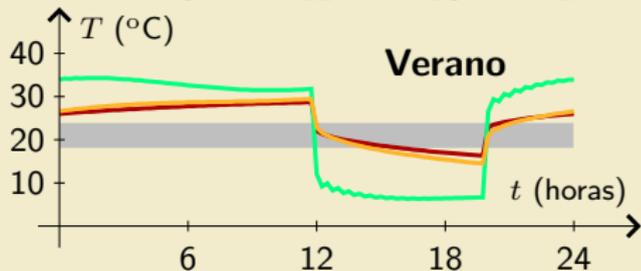
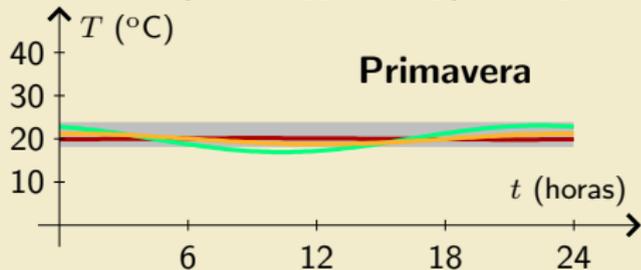
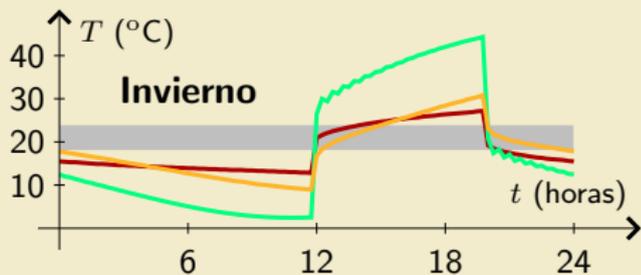
## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: calefacción central.

Aunque en los tres casos el consumo en climatización es el mismo, el confort obtenido es significativamente diferente (la franja gris representa la zona de confort).

En todos los casos, en la mayor parte del tiempo **no hay confort**.

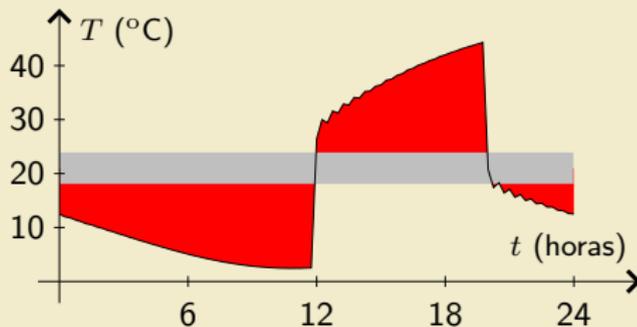
Con el muro **B**, **aislado al interior**, se sufren los peores sobrecalentamientos y subenfriamientos, tanto en verano como en invierno.

El muro **A**, **muro grueso sin aislar**, es ligeramente mejor que el **C**, **aislado por el exterior**, durante el invierno.



## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: calefacción central.

Para medir el **discomfort** puede emplearse el área encerrada por la curva de temperaturas, fuera de la zona de confort, área **roja** de la figura. Es una magnitud análoga a los 'grados-día' de la norma NBE-CT79, pero aquí se mide a lo largo del día (sin medias), por encima o por debajo de la zona de confort convencional.



Aunque el consumo energético es parejo, la solución sin inercia, la **B**, apenas reduce el **discomfort** respecto al del ambiente exterior. Aunque las diferencias entre **A** y **C** no son acusadas, todas caen a favor del muro homogéneo, una solución tradicional de una única variable: el espesor del muro.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	exterior
<b>Invierno</b>				
Discomfort ( $^{\circ}\text{C}\text{día}$ )	2,49	10,3	3,01	13
<b>Verano</b>				
Discomfort ( $^{\circ}\text{C}\text{día}$ )	2,00	8,97	2,68	11

## ¿Aislamiento o inercia? Un ejemplo: conclusión.

Tanto la **utopía domótica** como la **calefacción central** son ejemplos teóricos que exageran fenómenos empíricos conocidos. Aún así, puede extraerse una conclusión clara:

El grado de aislamiento por sí sólo no permite ni explicar ni predecir el comportamiento térmico de un edificio. Mucho menos su capacidad para ofrecernos cobijo térmico.

¿Por qué en los edificios reales no se da un discomfort tan acusado?

- Siempre hay inercia térmica interior: tabiques, suelos, etc.
- Las ventanas se usan como artefactos de refrigeración y calefacción (ventilación y captación solar).

Desafortunadamente, ni la norma NBE-CT79 ni a lo que parece el nuevo Código Técnico prestan atención central a nada que no sea el aislamiento.

En paralelo, arquitectos como Phillipe Rahm teorizan sobre la belleza de ambientes térmicos fuera de la zona de confort convencional...

Back

## La bomba de calor: paradigma supersticioso

---

Aunque el proceso práctico es complicado, el funcionamiento teórico de una bomba de calor es análogo a una bomba de agua: se trata de bombear calor desde una fuente fría a una caliente, en sentido contrario al flujo espontáneo. Para ello, como en una bomba de agua, es necesario realizar un trabajo, consumiendo energía útil.

Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, menor será el rendimiento de la bomba. Aunque ese rendimiento es mayor que la unidad; por ejemplo para calefacción:

$$\frac{\text{calor aportado}}{\text{energía consumida}} = 1 + \frac{T_{\text{Fría}}}{\Delta T}$$

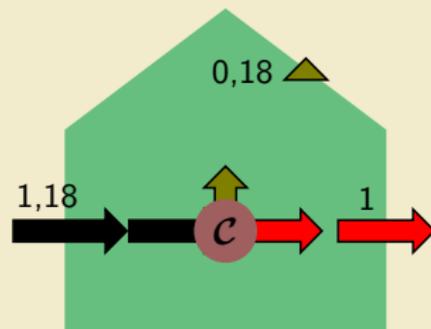
Por ejemplo, para una bomba trabajando entre 0 y 20 °C, el rendimiento teórico es:

$$1 + \frac{273 \text{ K}}{20 \text{ K}} \approx 15$$

**Pero tras estas cifras tan optimistas hay más historias que contar...**

# La bomba de calor: paradigma supersticioso

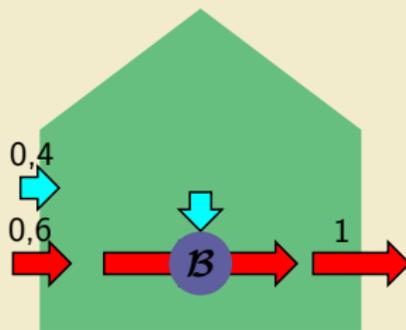
	Caldera	Bomba
Rendimiento	0,85	2,5
Consumo	1,18	0,4
Pérdidas	1,18	1
- pasivas	0,18	
- activas	1	1
'Contaminación' térmica	1,18	0,4



Caldera de gas

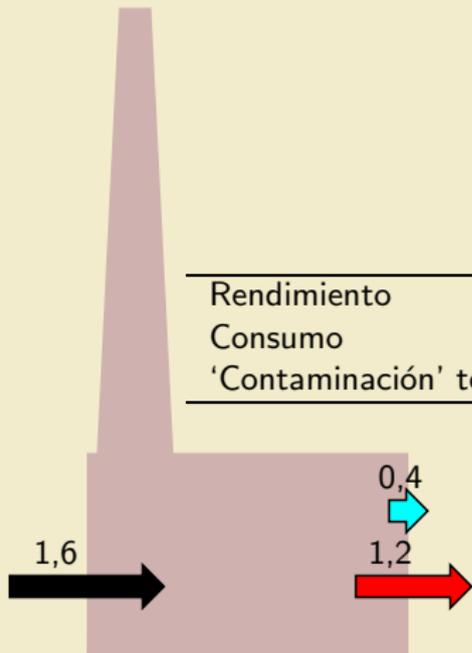
«Es infinitamente más rentable usar una cantidad mínima de esta energía de cinco estrellas, altamente concentrada, para acumular la energía antigua desordenada y de baja calidad que yace en nuestros patios y concentrarla dentro de la casa. ¡Esto sí que constituye una gestión eficiente de los recursos energéticos!»

P.W. Atkins, *La segunda ley*, 1984.

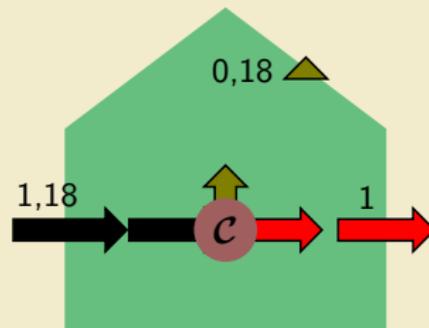


Bomba de calor

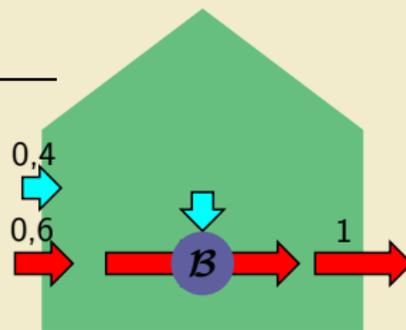
# La bomba de calor: paradigma supersticioso



	Caldera	Bomba
Rendimiento	0,85	0,63
Consumo	1,18	1,6
'Contaminación' térmica	1,18	1,6



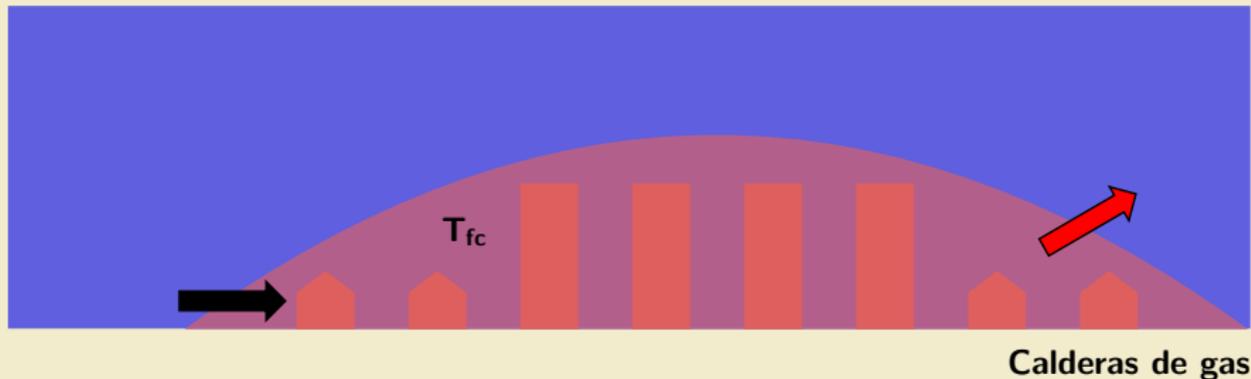
Caldera de gas



Bomba de calor

## La bomba de calor: paradigma supersticioso

---



En la 'ciudad del gas', la energía consumida se usa dos veces: primero caldea el interior de los edificios; luego caldea el espacio urbano, el espacio del 'fuera' (Fernando Ramón).

El microclima urbano resulta así algo más suave que el clima meteorológico, aquel que se padece en el rededor rural.

## La bomba de calor: paradigma supersticioso

En la 'ciudad de la bomba', solo una pequeña fracción de la energía consumida llega a la ciudad para caldearla, disipándose la mayor parte en el entorno rural de la central eléctrica. Las propias bombas caldean los edificios enfriando el espacio urbano.

El microclima urbano resulta así algo más duro que en la 'ciudad del gas': las propias bombas han de hacer frente a una mayor diferencia de temperaturas (y mayores pérdidas por tanto), viendo disminuir su rendimiento.

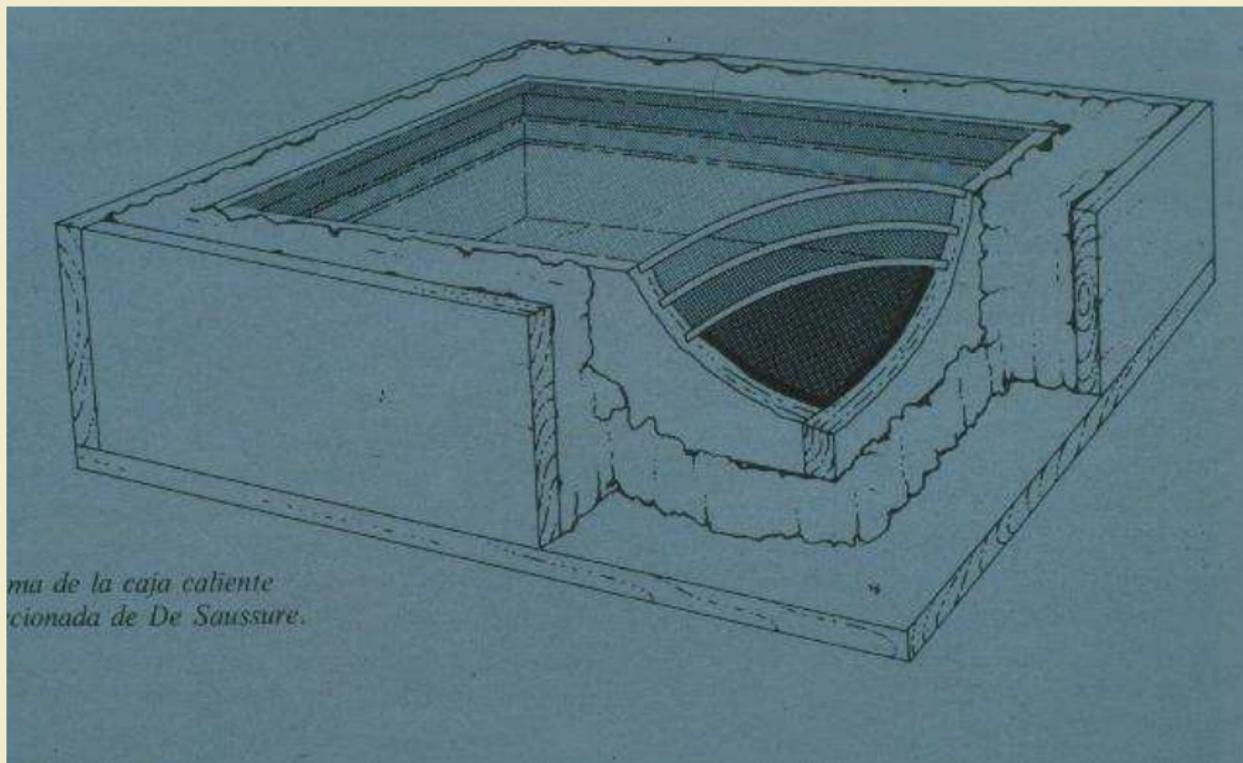


**Bombas de calor**

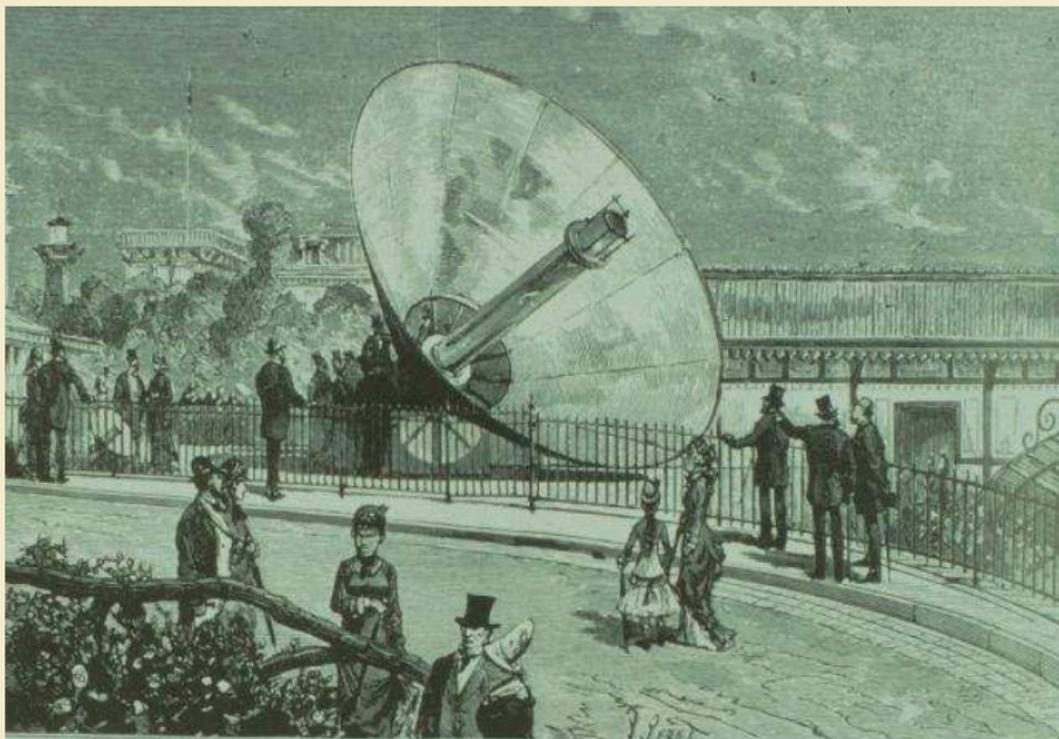


## 'Caja solar' de Saussure

---



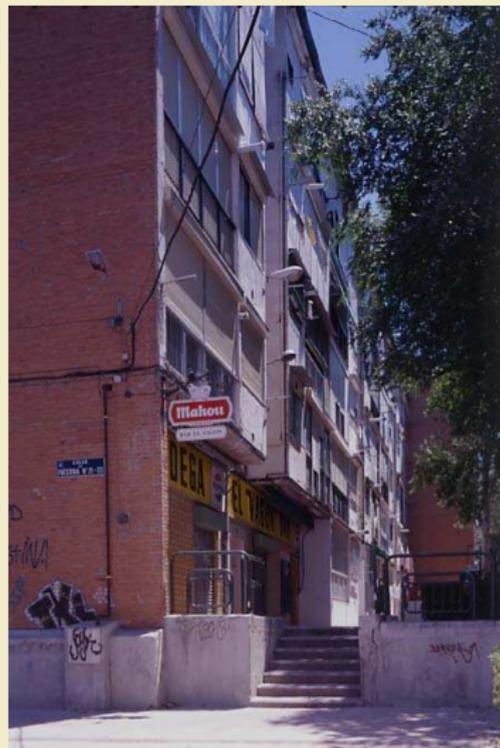
## Maquina solar de Mouchot, 1878



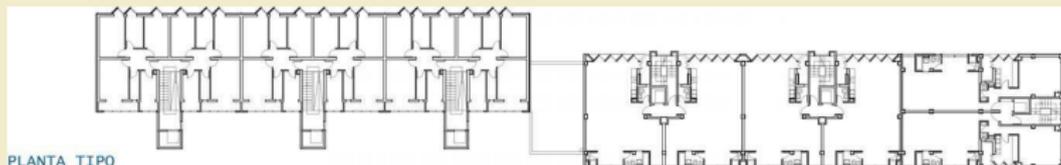
*La mayor máquina solar de Augustin Mouchot, exhibida en la Exposición Universal de París de 1878.*

# Rehabilitación en San Cristóbal (Madrid)

---



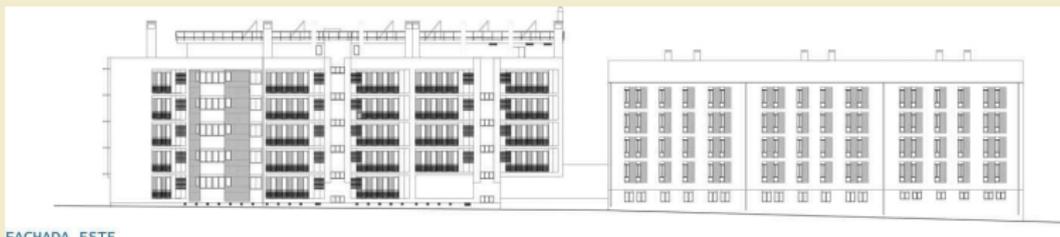
# Rehabilitación en San Cristóbal (Madrid)



PLANTA TIPO



FACHADA OESTE



FACHADA ESTE

# Rehabilitación en San Cristóbal (Madrid)

