

## Una brevísima historia de la arquitectura solar

Mariano Vázquez Espí

Lima (Perú), 1995; Ondara (España), 1999.[1]

---

*La expansión, ilimitada en apariencia, de su poderío material, ha colocado a la humanidad en el predicamento de un capitán cuyo buque está construido con tanta abundancia de acero y hierro que la aguja de su compás apunta sólo a la masa férrea del propio buque, y no al Norte. Con un barco semejante no hay modo de poner proa hacia ninguna meta; navegará en círculo, entregado a vientos y corrientes. Pero [...] podemos añadir que el riesgo subsiste sólo en tanto que el capitán **ignora** que su compás ha perdido la **sensibilidad para la fuerza magnética de la Tierra**. En el instante en que este hecho se pone al descubierto, una buena mitad del riesgo se esfuma, ya que el capitán que no quiere dar vueltas al azar [...] encontrará sin duda algún medio para determinar la dirección de su barco: podrá inventar una forma más moderna de compás, insensible a la masa del propio buque, o podrá orientarse por las estrellas, como en antiguas épocas.*

**Werner Heisenberg, 1955.**

---

Hace unos 2.500 años la cultura griega comenzó a diseñar sus casas para captar la radiación solar durante el invierno. Casi con total seguridad no fue la primera cultura humana en hacerlo. Posteriormente otras personas creían descubrir por vez primera las ventajas de abrirse (o cerrarse) al Sol. De hecho, no son pocos los que hoy, en las postrimerías del siglo, consideran la energía solar como una extraña fuente energética necesitada aun de bastantes años de investigación y desarrollo antes de tornarse práctica. Sin embargo, espero mostrar con este trabajo como el uso y la consideración del curso del Sol han ido evolucionando a lo largo de miles de años. Esta evolución prosigue hoy; la mejor técnica actual de hoy representa en apariencia una gran mejora respecto a la de hace algunas décadas. Pero si como medida de la eficacia de una técnica adoptamos su generalización cultural, su uso frecuente, en el que se aunen sencillez y fiabilidad, encontraremos que muchas de las técnicas antiguas (inseparables de las comunidades que las dieron vida) exhibieron una eficacia no superada en nuestros días.

La tesis principal que deseo enfatizar es la periódica interrupción de la evolución técnica de la arquitectura solar. Veremos que las razones de estas interrupciones se relacionan las más de las veces con una cierta visión cultural del mundo, y en especial con una particular visión del mundo económico. Si traigo a colación este tema, en una ciudad como Lima, casi permanentemente privada de la radiación solar directa, es con el convencimiento de que muchos de los temas que examinaré son extrapolables a otros aspectos de la realidad arquitectónica, ya se trate de la elección de los materiales con que construir, ya de la forma urbana de la ciudad. Espero que al final quede claro que el progreso técnico no es un proceso de acumulación y mejora inevitable del conocimiento: por el contrario, la tendencia dominante es la pérdida

de sabiduría, de conocimientos valiosos, que sólo se conservan con un considerable esfuerzo (en ocasiones penoso) de la voluntad de atesorarlos.

## Grecia

Para Sócrates, la casa ideal debería ser fresca en verano y cálida en invierno. Con muy pocas excepciones esta idea central de la casa como otra piel del ser humano ha sido examinada o dada por supuesta por todos los tratadistas. Pero el ideal de Sócrates no era fácil de alcanzar en la Grecia de hace 2.500 años. Los griegos carecían de medios artificiales para refrescar sus casas durante los abrasadores veranos; y sus sistemas de calefacción, básicamente braseros portátiles de carbón, tampoco eran adecuados para mantenerlas calientes durante el invierno.

De hecho son conocidas distintas crisis de escasez de combustibles en los tiempos antiguos: para el siglo V aC, numerosas zonas de Grecia estaban casi totalmente peladas de árboles. Esto originaría sin duda cambios microclimáticos hasta el punto de que Platón, refiriéndose a su Atica nativa dejó escrito: "Todas las partes más ricas y blandas han desaparecido y cuanto permanece es el mero esqueleto de la tierra".

Cuando los abastecimientos locales se desvanecieron y hubo que importar la madera, numerosas ciudades-estado regularon el uso de ésta y del carbón. En el siglo IV aC los atenienses prohibieron el empleo de madera de olivo para hacer carbón. Sin esta medida sus valiosas arboledas hubieran desaparecido víctimas de ciudadanos hambrientos de combustible.

Por fortuna se disponía de una fuente energética alternativa (el Sol) abundante y gratuita. En muchas zonas de Grecia el uso de la energía solar como ayuda al calentamiento de la casa constituyó una respuesta positiva a la escasez energética. Habitantes de un clima soleado durante casi todo el año, los griegos aprendieron a construir sus casa para beneficiarse de los rayos solares en los moderadamente fríos inviernos y evitar el calor del Sol en los cálidos veranos. Y así nació la arquitectura solar, o el diseño de la forma de los edificios en orden a mejorar su aprovechamiento solar.

La técnica griega consistió fundamentalmente en entender que la altura del Sol variaba a lo largo de las estaciones. O, dicho de otro modo, que la inclinación de los rayos solares era variable. Precisamente de la palabra griega para inclinación proviene la palabra castellana para clima. Para una latitud de 40 grados, en verano el Sol se ve en lo alto al mediodía, bajo un ángulo de más de 70 grados en el cenit, mientras en invierno, el Sol recorre una trayectoria más baja, con el cenit en los 26 grados. Así las cosas, bastaba con anteponer a las fachadas un pórtico cuya altura y profundidad formaran un triángulo con unos 80 grados de inclinación de la hipotenusa para que la fachada quedara libre de Sol durante el verano. Y además, si el espacio libre delante del pórtico era tal que su anchura y la altura del edificio de enfrente formaban un triángulo cuya hipotenusa tenía una inclinación no mayor que 26 grados, la fachada estaría convenientemente soleada en invierno.

En el diseño solar griego se aprecian pues dos aspectos: el diseño del propio edificio (la proporción del pórtico) y su relación con el edificio contiguo. La casa con patio central permitió resolver al mismo tiempo ambas relaciones, pues el edificio de enfrente es la propia entrada de la casa. Aun con esta solución que permitía la total autonomía de cada alojamiento, era necesario que el orden urbano permitiera esta inteligente disposición. De ahí la trama de calles orientadas de Este a Oeste de las ciudades griegas.

Entre el pórtico al aire libre y las entradas a las habitaciones en el interior de las casas no mediaba cristal alguno, pues los griegos no disponían ni de vidrio transparente ni de otros materiales análogos para huecos de puertas y ventanas. Las habitaciones principales de la casa no sólo eran calentadas por los rayos de Sol procedentes del pórtico sino que, además, estaban resguardadas del norte para evitar los fríos vientos. Como cita Jenofonte, Sócrates explicaba el sistema en estos términos:

*En las casa orientadas al sur, el Sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que en el verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado, de manera que hay sombra.*

Al diseño solar se le dio prioridad en ocasiones sobre cualquier otra consideración, tal y como ocurre en la ciudad de Priene. A pesar de su exaltada topografía los urbanistas de la ciudad aterraron las calles Este-Oeste, mientras las calles secundarias ascendían por la falda del monte según el eje Norte-Sur. A causa de la gran pendiente existente, muchas de las vías secundarias tenían en realidad más de escalera que de calle.

Figura 1: La ciudad de Priene

A pesar del difícil emplazamiento de Priene, todas sus casas, cualquiera que fuese su tamaño, estaban diseñadas de acuerdo con el principio geométrico de la orientación solar. Las habitaciones principales daban siempre a un porche cubierto orientado al sur. Hasta las casa de los ciudadanos más pobres podían disfrutar el calor del Sol en invierno y evitarse su ardor durante el verano.

Figura 2: Reconstrucción de una casa en Priene

¿Era eficaz la técnica griega? A parte de las evidencias que pueden rastrearse en la propia literatura griega se tienen evidencias empíricas. Edwin Thatcher estudió la capacidad de calentamiento en las habitaciones orientadas al sur. Descubrió que una persona desnuda sentada en la parte soleada de tales habitaciones se hallaría en relativo confort el 67 por ciento de los días de los meses más fríos, de noviembre a marzo. Por supuesto, sus habitantes habrían estado vestidos la mayor parte del tiempo, lo que aumentaría el porcentaje de tiempo confortable. Cuando el calor no bastaba, podían encenderse los braseros de carbón.

No puede extrañar después de esto que al poner Esquilo [**Esquilo, 1993!**] en boca de Prometeo algunas de las características que, en su opinión, habrían de separar a las culturas civilizadas de los bárbaros, entre ellas se encontrarán, precisamente, el adobe y también las casas vueltas hacia el sol.

Para lo que más adelante veremos, interesa aquí hacer una digresión acerca del concepto griego sobre la máquina. La máquina griega es por excelencia la palanca, de todos conocida. En un extremo se aplica la potencia, en el otro se vence una resistencia, un peso se mueve. La proporción entre potencia y resistencia es la inversa que exista entre sus respectivos brazos de palanca. Tanto mayor sea el brazo con que actúa la potencia respecto a la resistencia, tanto mayor será la resistencia que una cierta potencia puede vencer. Aunque los griegos no elaboraron el concepto de energía tal y como hoy lo conocemos, lo cierto es que la palanca griega representa bien el principio de su conservación. Puede concluirse por tanto que los griegos no esperaban obtener con este artilugio algo a cambio de nada: la cantidad de energía permanecía inalterada. La utilidad del artilugio residía únicamente en transformar la calidad de la energía, su cualidad. ¿Qué era la potencia? La potencia era generalmente energía humana o animal (recuérdese que la sociedad griega era mantenida mediante una economía esclavista). Así, la casa orientada hacia el sol tiene todas las características del concepto griego de máquina. Recibe una energía disponible gratuitamente en la

Naturaleza, la del Sol, y transforma su cualidad, haciéndola útil en invierno y evitándola en verano, cuando resulta perniciosa.

Esta cosmovisión del mundo de las máquinas quizá permita comprender que los griegos nunca desarrollaran motores, como la denominada en el siglo XIX máquina de vapor. Y ello a pesar de haber contado con todos los recursos técnicos necesarios. De hecho, la escuela de los llamados mecánicos griegos, encabezados por Herón de Alejandría, utilizaron no sólo la fuerza del vapor para producir movimiento, también la energía solar para producir vapor. Pero los artefactos construidos fueron siempre pequeños autómatas, órganos o silbatos, fuentes de agua, artilugios todos ellos atravesados por una intención lúdica, decorativa, espectacular; nunca, que sepamos, fue planeado usar este género de técnicas en el mundo de la industria, de la construcción o de la guerra [*Gille, 1980*].

## Roma

El consumo de madera de la antigua Roma fue incluso más pródigo que el de Grecia. Existía una enorme demanda de madera como combustible para la industria, para la construcción de barcos y casas, y para calentar baños públicos y villas particulares. En tiempos de Cristo era normal que los romanos ricos dispusieran de calefacción central en sus villas de recreo. Los hipocaustos quemaban madera o carbón en hornos e impulsaban luego el aire caliente a través de ladrillos huecos situados en los pisos y paredes. Una instalación de hipocausto podía llegar a devorar 150 kilos de madera por hora, o más de 15 metros cúbicos de leña diarios.

Los recursos locales de madera desaparecieron rápidamente de la península italiana. En el siglo III aC, la región de Monte Cimino, a escasa distancia de Roma, se encontraba tan densamente arbolada que el historiador Livio diría de ella ser "más difícil de atravesar y aterradora que las regiones boscosas de Alemania". Pero para el siglo I aC la madera tenía que importarse de regiones tan orientales como el Cáucaso, distante 1.500 kilómetros. Estrabón narra como la escasez de combustible obligó a cerrar las minas de hierro de Elba. Plinio el Viejo nos describe los efectos adversos sobre la industria local del metal en Campania.

Resulta plausible pensar que esta crisis de recursos decidieron a los romanos a adoptar la técnica solar griega, desarrollándola y adaptándola a los diferentes climas del imperio, empleando el vidrio en el cerramiento de las ventanas a fin de incrementar la ganancia de calor solar evitando las pérdidas, y aplicándola en invernaderos y edificios públicos tales como los baños. La arquitectura solar se convirtió en parte tan consustancial de la vida que la garantía de los derechos al sol, es decir, el derecho a que la casa del prójimo no se interpusiera entre el Sol y la casa propia, quedaría finalmente incorporada a la ley romana.

La amplitud del imperio romano aconsejó a Vitrubio [*Vitrubio, 1970!*], el famoso tratadista, a dejar dicho:

*Si deseamos que nuestros diseños de casas sean correctos debemos comenzar por tomar buena nota de los países y climas en que estas van a construirse. Un tipo de casa parece apropiado para Egipto, otro para España... otro aún diferente para Roma, y así sucesivamente con las tierras y países de características diferentes. Ello es tal porque una parte de la tierra se encuentra directamente situada bajo el curso del sol, otra dista mucho de él, mientras que otras se encuentran a medio camino entre las anteriores... Es evidente que los diseños de casas deberían conformarse a las diversidades del clima.*

Yendo más lejos que los griegos, Vitrubio especificaba el lugar de la casa donde deberían situarse cada habitación, según el uso de ésta a fin de lograr mayor confort. Así, por ejemplo, los comedores invernales debieran orientarse a la puesta de Sol invernal en el suroeste, mientras los estivales debieran dar al norte.

Según se agotaban las reservas de madera durante el siglo primero de nuestra era, los romanos prósperos de todo el Imperio empezaron a construir con el Sol en la mente. Tal es el caso de Plinio el Joven, rico e influyente escritor romano del siglo segundo. Tanto por conservar madera como para ahorrar dinero, dio forma a sus dos casas en los Apeninos, una invernal y otra estival, según la técnica solar griega y los dictados de Vitrubio. El estudio de la última, donde Plinio pasaba leyendo casi todo el día, era semicircular y estaba dotado de un gran ventanal abalconado por donde la luz del Sol penetraba desde la mañana hasta el atardecer.

Plinio bautizó como *heliocaminus* (literalmente "horno solar") a su habitación favorita. Muy probablemente, los huecos al sudoeste del *heliocaminus* estarían cubiertos con vidrio o con mica. Al permitir el paso de la luz y guardar el calor acumulado en su interior, tales materiales actúan como captadores del calor solar. El aire calentado no podía escapar con facilidad, de manera que la temperatura subía muy por encima de lo que resultaba posible en la casa solar griega. El invento del vidrio plano y transparente fue una novedad radical. El vidrio coloreado había sido empleado durante miles de años, pero no fue hasta el siglo I que se introdujo el transparente en las ventanas. Séneca, en una carta del año 65, señalaba que "ciertos inventos han tenido lugar recientemente; el empleo de paneles de ventana que permiten el paso de la luz a través de un material transparente es uno de ellos".

Figura 3: Heliocaminus romano en Ostia

El vidrio como colector solar se empleó también en invernaderos, a fin de multiplicar el número de cosechas a lo largo del año y, también, para poder cultivar plantas exóticas venidas de los confines del Imperio. Son bien conocidos, por los escritos de Plinio el Viejo, los invernaderos que surtían la cocina del emperador Tiberio durante todo el año.

Los baños públicos fueron también orientados hacia el sol de manera específica. Según Vitrubio: "El lugar para los baños debe ser tan templado como resultara posible y estar alejado del norte... Deberían mirar hacia la puesta del Sol invernal, pues cuando el Sol poniente nos ilumina con su resplandor irradia calor, volviendo esta orientación más cálida a última hora de la tarde. [Que es cuando había costumbre de tomar el baño]".

Para el siglo cuarto el abastecimiento de combustible había empeorado más aún si cabe. Con el fin de satisfacer las necesidades de Roma a este respecto, el gobierno destinó toda una flota exclusivamente al transporte de madera desde Francia y el Norte de Africa hasta el puerto Romano de Ostia. Probablemente todos los bosques de la península italiana habían sido arrasados por aquella época.

Cuando las escaramuzas fronterizas con los bárbaros adquirieron mayor gravedad, Roma hubo de fortalecer sus fuerzas armadas. Pero pese a sus esfuerzos, la posición de Roma se hizo cada vez más precaria y el flujo de recursos vitales desde las regiones exteriores del Imperio quedó interrumpido. La economía de Roma, ciudad insostenible contando sólo con los recursos disponibles en su rededor, cayó en el desorden y en la confusión. Aislados del resto del mundo se vieron obligados a adoptar un estilo de vida autosuficiente.

Para ayudar a los ricos a arreglarselas en su nuevo modo de vida de vida rural (una vez abandonada la residencia en la capital) los arquitectos Faventino y Paladio [*Paladio, 1990!*] escribieron manuales que hoy denominaríamos de autoconstrucción, con el acento puesto en la autosuficiencia. Además de la técnica solar, Paladio abogaba por el reciclaje del agua y por la disposición de las estancias de invierno directamente encima de los baños calientes, para beneficiarlas tanto del calor solar como del sobrante que ascendía de los mismos. Algunas otras novedades fueron incluidas en ambos tratados, tales como los colores claros u oscuros según se quisiera reflejar o retener el calor.

La importancia ganada por el acceso al Sol quedó claramente registrada en el Código del Emperador Justiniano en el siglo VI:

Si un objeto está colocado en manera de ocultar el Sol a un *heliocaminus*, debe afirmarse que tal objeto crea sombra en un lugar donde la luz del Sol constituye una absoluta necesidad. Esto es así una violación del derecho del *heliocaminus* al sol.

A pesar de este registro jurídico, la forma urbana de las ciudades romanas no permitieron el acceso de todos al sol. Y como sólo las clases enriquecidas tenían acceso efectivo a la justicia, las viviendas humildes no disfrutaron de orientaciones adecuadas. En agudo contraste con el espíritu griego de democracia e igualdad social (aunque reservadas ambas a los ciudadanos), la ideología dominante en la Roma imperial favorecía los privilegios de clase.

## Concentración de la energía solar

Junto con la orientación solar de los edificios y el empleo del vidrio como captador del calor solar, los antiguos conocieron otros modos de aprovechar la energía solar. Griegos, romanos y chinos desarrollaron espejos curvados que podían concentrar los rayos del Sol sobre un objeto con intensidad suficiente como para hacerlo arder en pocos segundos. Se trataba de reflectores solares a base de plata, cobre o bronce pulimentado.

Al madurar su comprensión de la geometría, los griegos advirtieron que un espejo de superficie parabólica resultaba incluso más potente que uno esférico. Esto era debido a que en un espejo parabólico convenientemente orientado, los rayos solares se concentran en un único punto, y no en varios como ocurre en un arco de circunferencia; a igualdad de energía, el área en que se concentra es menor, y por tanto mayor la temperatura que puede obtenerse en la zona calentada. La leyenda sostiene que Arquímedes utilizó espejos incendiarios para destruir los barcos de los invasores romanos en Siracusa, pero tal hecho no parece ser sino un mito.

En tiempos de los griegos y los romanos, los espejos incendiarios se utilizaron para encender fuegos, pero eran estos fuegos de intención más benigna, como los que ardían en los templos. Así Plutarco escribía que cuando los bárbaros saquearon el Templo de las Vestales en Delfos y extinguieron su llama sagrada, ésta hubo de volver a encenderse con la "llama pura e impoluta del Sol". Mediante "vasos cóncavos de bronce", las santas dirigieron los rayos del Sol sobre "material ligero y seco" que se encendió inmediatamente, y su llama ardió de nuevo.

Como sucediera con tantos avances de la antigüedad, todo el conocimiento sobre espejos incendiarios se desvaneció en los denominados Siglos Oscuros. Durante el nacimiento y desarrollo de la actual ciencia occidental, desde los tiempos de Roger Bacon, en el siglo XIII, los intentos de hacerse con el enorme

poder atribuido a Arquímedes en la leyenda ocupó buena parte del tiempo de artistas y sabios como Leonardo de Vinci, Andrea del Verrochio, Galileo o Athanasius Kircher.

Figura 4: Lamina del *Ars Magna Lucis et Umbrae* de Athanasius Kircher, 1646.

Una vez los fundamentos geométricos fueron redescubiertos quedaba el escollo técnico de construir un espejo suficientemente grande como para poder originar la combustión o el calentamiento de objetos con interés. A finales del siglo XVII ya se contaba con espejos de un metro y medio de diámetro, realizados con laminas de cobre. A principios del siglo XVIII Peter Hoesen introdujo la idea de un reflector formado mediante numerosos y pequeños espejos planos, fáciles de construir y de montar sobre un armazón con la forma deseada, alcanzando así la marca de tres metros de diámetro. De este modo quedaron establecidos los conceptos y principios técnicos y geométricos que más tarde serían usados en tecnologías punta en el presente siglo en artefactos tales como satélites artificiales. Curiosamente, tales espejos nunca fueron empleados como armas de guerra (el propósito inicial de Roger Bacon y los demás), pues para entonces la pólvora ya campeaba a sus anchas por los campos de batalla europeos.

Figura 5: Espejo incendiario de Hoesen, siglo XVII.

## Invernaderos

Ya sea a través de tradiciones vernáculas, ya sea a través de los redescubiertos tratados romanos, lo cierto es que, al igual que en el caso de los espejos, los colectores solares hortofrutícolas, es decir, los invernaderos, volvieron a emplearse durante el siglo XVI. Hasta entonces, ya sea por la falta de vidrio plano en una economía muchas veces de subsistencia, ya sea por prohibición eclesial que quería impedir cualquier intromisión humana en el plan divino (tal cual sería ayudar al crecimiento de las plantas), su uso había ido decayendo. Tras la Reforma, holandeses y flamencos, libres ya de la autoridad de la Iglesia Católica y la Inquisición, comenzaron a emplear la técnica de orientación solar tanto en el trazado de huertos como en el uso de invernaderos.

Una vez más, la técnica más simple consiste en la adecuada inclinación del muro frutal: se trata de forzar al árbol a crecer pegado a un muro orientado al Sol. Por una parte se intensifica así la radiación incidente en el propio árbol; además el muro, en ocasiones un simple talud de tierra, almacena calor, librando a la planta de una buena porción de heladas nocturnas.

Figura 6: Huertos frutales "solares", Francia, siglo XVII.

En el siglo XVIII el uso del colector solar en forma de invernaderos resurgió con fuerza en Inglaterra, donde llegaron a ponerse de moda con tal intensidad que se consideraba de mal gusto no poseer uno. Resulta notable la detallada comprensión que del funcionamiento del colector solar tenían los artesanos de la época, con anterioridad a que fueran difundidos los principios termodinámicos que permitirían explicar el fenómeno. De este modo, la necesidad de aislamiento nocturno se manifiesta en las contraventanas, toldos y demás partes móviles de la carpintería. También se entrevió las ocasionales necesidades de ventilación, disponiéndose ventanucos arriba y abajo para permitir la expulsión de aire caliente y poder evitar así sobrecalentamientos excesivos. En los invernaderos de la época, se afinaba también la inclinación del vidrio según la latitud del lugar, a fin de enfrentarse al Sol de la manera más directa en la época más fría.

Figura 7: Colectores solares de vidrio, Inglaterra, siglo XVIII.

Finalmente, el uso del invernadero pasó de la horticultura a la vivienda, primero como espacio anejo a la misma, que servía de aislamiento respecto al espacio exterior, después como habitación para algunos usos (tales como juegos, lectura o descanso), después, incorporado en la propia vivienda, en forma de estufa o salón con fuerte acristalamiento en la cubierta y/o en los muros laterales.

En el siglo XIX la popularidad de las estufas fue tal que cada quien quería tener una. De hecho, la gente comenzó a no preocuparse de la correcta orientación. A fin de conseguir una estufa en su vivienda, y en el caso de carecer de una habitación de la casa con la orientación adecuada, se acristalaba la fachada en cualquier caso, y para producir el mismo calor que no podía entonces ganarse del Sol, se recurría a sistemas de calefacción basados en el carbón o en el gas, disponibles a precios irrisorios por aquella época. De esta forma, en lugar de calentarse mediante los rayos solares procedentes del sur, los invernáculos contaban con sistemas de calefacción artificial; de ahorradoras de combustible, las estufas pasaron a ser despilfarradoras del mismo. Debido a ello, la muerte y desaparición de la estufa inglesa fue en muy buena parte debida a la institución del racionamiento de combustible durante la primera guerra mundial. La lección de la calefacción solar aprehendida en una época de sabia utilización de los recursos locales y disponibles, volvió a perderse cuando el acceso a recursos energéticos fósiles lejanos pero baratos se generalizó.

## Cajas calientes solares

El uso frecuente y popular de los invernaderos del siglo XVIII tuvo como consecuencia que mucha gente experimentara de forma directa la capacidad del vidrio de retener el calor solar. Como observara Horace de Saussure, uno de los más destacados naturalistas europeos de la época, "es un hecho sabido, y probablemente lo ha sido desde hace mucho tiempo, que una habitación, un carruaje, o cualquier otro lugar está más caliente cuando los rayos del Sol penetran en él a través de un cristal". La misma experiencia, tan habitual en nuestros días, de introducirse en un carro que ha pasado unas cuantas horas expuesto al Sol. Para el científico franco-suizo resultaba muy sorprendente que fenómeno tan común no hubiera inspirado hasta entonces ninguna investigación empírica sobre la temperatura máxima obtenible en un captador solar de vidrio. De hecho, cuando experimentaban con energía solar sus contemporáneos preferían operar con espejos solares, capaces de proezas espectaculares como incendiar objetos a distancia o fundir los metales más duros en segundos. Por ello, en 1767, de Saussure se dispuso a determinar la efectividad de los captadores calóricos de vidrio para acumular energía del sol, iniciando así la comprensión científica de un fenómeno cuya utilidad técnica venía siendo empleada desde antiguo como hemos visto.

De Saussure comenzó por construir un invernadero en miniatura de cinco paredes, realizado con otras tantas cajas de vidrio, de planta cuadrada y dimensiones decrecientes de 30 cm en la base por 15 cm de alto a 10 cm en la base por 5 cm de alto. Las cinco cajas estaban abiertas por su base, de tal modo que podían apilarse, una dentro de otra, todas sobre una mesa de madera negra. Tras exponer el artefacto al Sol durante varias horas, de Saussure midió la temperatura en el interior. La caja exterior era la más fría, aumentando la temperatura en cada caja menor sucesiva. La temperatura más elevada se registraba en la base de la caja más interior (87 grados). De Saussure escribiría que "las frutas expuestas a este calor [el de la caja interior] quedaron cocidas y jugosas".

Con el propósito de impedir más eficazmente la pérdida de calor, De Saussure construyó una pequeña caja rectangular de madera de pino de un centímetro y medio de espesor, revestida por dentro de corcho negro [véase aquí el redescubrimiento de las reglas sobre colores de Paladio y Faventino]. La parte superior de la caja quedaba cerrada por tres láminas separadas de vidrio. Expuesta la caja al sol, el interior de su base alcanzaba una temperatura de 118 grados. A este ingenio se le denominaría posteriormente caja caliente, por la gran cantidad de calor solar que podía retener.

Sin embargo, la caja caliente cedía todavía al exterior una parte de su calor. Decidió entonces colocarla dentro de otra caja abierta por arriba y rellenar de lana la separación entre ambas. Este refuerzo en su capacidad aislante se tradujo en una menor pérdida de calor, con lo que la temperatura en el interior de la caja caliente ascendió a 120 grados, incluso cuando el tiempo atmosférico no fue tan favorable como con ocasión del experimento anterior.

Figura 8: Caja caliente de Saussure, 1767.

El comportamiento térmico de esta caja caliente sugirió a de Saussure que la atmósfera de la tierra tendría un comportamiento similar: la intensidad de la radiación solar sería prácticamente igual en las montañas que en las riberas de los mares, pero la mayor capa atmosférica en estas últimas retendría mejor el calor. Sus experimentos indicaron que la caja caliente alcanzaba temperaturas parejas en la sierra que en el llano: esto demostraba que el brillo solar tenía la misma fuerza con independencia de la altitud.

Al igual que las caras de vidrio de la caja caliente, nuestra atmósfera permite a casi toda la luz solar alcanzar la tierra. Aproximadamente tres cuartas partes de la radiación solar llegan a la superficie de la tierra cuando el cielo esta despejado. La Tierra (como el suelo de la caja caliente) absorbe la energía solar y libera calor. Pero a este calor no le resulta fácil escapar a través del manto atmosférico: de la misma manera que el calor solar es retenido por los paneles de vidrio de una caja caliente.

Varios científicos del siglo XIX llevaron a cabo experimentos con cajas calientes y obtuvieron resultados análogos. Sir John Herschel, el importante astrónomo, realizó una caja caliente en el curso de una expedición durante los años 1830 al Cabo de Buena Esperanza. Se trataba de un cajón de caoba pintado de negro por su interior y cubierto de vidrio, colocado en un bastidor de madera protegido por otra lámina de vidrio y arena apilada sobre sus costados. El resultado de los experimentos de Herschel con esta caja caliente no sólo fue científicamente interesante sino además grato al paladar, como dan a entender sus notas:

*Cuando estas temperaturas de hasta 125 grados sobrepasaban la de ebullición del agua, se realizaron varios experimentos exponiendo huevos, carnes [al calor interior de la caja], todos los cuales, tras un moderado intervalo de exposición, se hallaron perfectamente cocinados...*

*En cierta ocasión un respetable estofado de carne fue guisado así y comido con no poco gusto por los divertidos espectadores...*

El relato de las comidas campestres solares de Sir John intrigaría a Samuel Pierpont Langley, el famoso astrofísico americano que posteriormente llegó a ser director de la *Smithsonian Institution*. Langley sentía fascinación por el calor solar desde niño, cuando se preguntaba por qué el cristal mantenía caliente el interior de un invernadero. En 1881 repitió experimentos similares a los anteriores en el monte Whitney.

De Saussure, Herschel y Langley demostraron que en el interior de una caja cubierta de vidrio podían producirse temperaturas superiores a la de ebullición del agua. Su inventor era consciente de que la caja caliente podría tener importantes aplicaciones prácticas. Como en profesión de humildad, De Saussure señaló que "algún día podrá derivarse alguna utilidad de este ingenio [porque] en realidad es demasiado pequeño, barato, y fácil de hacer". Ciertamente su modesta esperanza sería más que satisfecha: la caja caliente se convirtió en prototipo de los colectores solares de finales del siglo diecinueve y del veinte; colectores capaces de suministrar agua caliente y calefacción a las casas y energía a las máquinas.

## **La Revolución Industrial**

Para los primeros años del siglo XIX los esporádicos avances experimentados por la ciencia y por la técnica a lo largo de las anteriores centurias se había disparado ya vertiginosamente, originando una Revolución Industrial total. El empleo de las máquinas como suplemento a la energía muscular de hombres y animales significó la posibilidad de manufacturar bienes a una escala sin precedentes. Pero la mecanización dependía de la producción de hierro, y hacer una tonelada de hierro suponía quemar entre siete y diez toneladas de carbón. El carbón juntamente con la madera, era también el principal combustible de las recientemente "inventadas" máquinas de vapor y de las fábricas surgidas por toda Europa.

A caballo entre el siglo pasado y el presente siglo, algunas tendencias que hoy llenan las páginas de actualidad de los medios de comunicación, fueron previstas con bastante detalle. Para lo que aquí interesa, convendrá señalar dos de ellas, ambas en relación con el fantástico consumo de carbón en Europa.

Svante Arrhenius (químico al que debemos la explicación fundamental de la velocidad de las reacciones químicas en tanto dependiente de las concentraciones relativas de productos y reactivos) señaló en las postrimerías del siglo pasado lo que hoy se denomina comúnmente calentamiento atmosférico por efecto invernadero. Concedor de la visión de la atmósfera de De Saussure, de la atmósfera en tanto colector solar o caja caliente, previó que la generación de dióxido de carbono aumentaría la capacidad de retención de calor del manto atmosférico. Con lápiz y papel, calculó que cabía esperar un aumento de 4 grados centígrados en los próximos dos siglos, de continuar la tendencia creciente en el consumo de energía fósil [2]. Merece la pena señalar que siendo él sueco, vio con alegría sus propios resultados: en efecto, el frío clima sueco se templaría redundando en lo que el pensaba sería ventajas para la vida de sus habitantes.

Resulta significativo que las detalladas investigaciones realizadas en nuestros días por la NASA o la Fundación Nacional para la Ciencia de los EEUU, no hayan mejorado ni la previsión de Arrhenius ni su exactitud, a pesar de haber empleado en las investigaciones varios supercomputadores y decenas de investigadores de reconocido prestigio y talento.

La otra tendencia que deseo subrayar es la de las futuras crisis energéticas por la escasez de combustible, de hecho crisis en todo análogas a las padecidas en el pasado por otras civilizaciones, la griega y la romana en particular, como hemos visto. Algunos economistas ingleses que como tales participaban del optimismo de la economía clásica en cuanto al feliz futuro que aguardaba a la humanidad gracias al imparable crecimiento económico, trabajaban además en la administración de empresas mineras. Como gestores empresariales pronto pudieron comprobar que el coste de extracción del carbón aumentaba conforme las vetas más accesibles eran agotadas; también como las reservas conocidas en un tiempo dado crecían más despacio que la demanda. En tanto gestores empresariales anunciaron una futura crisis energética si es que no se encontraba una fuente alternativa de energía. Resulta sorprendente constatar como estos hechos incontestables no influyeron en lo más mínimo en las teorías económicas inglesas que

siguieron confiando en que un crecimiento económico ilimitado aseguraría la vida y la felicidad de toda la humanidad; se trata aquí de una verdadera esquizofrenia personal pues los mismos autores que teorizaron acerca de la futura escasez de carbón, escribieron tratados de economía política en los que los recursos naturales eran considerados como una fuente inagotable de materiales y de energía [3].

Paralelamente a la economía política, surgía también una *economía física* derivada del sentido común y de las leyes de la termodinámica. Por su interés merece la pena reproducir algunos pasajes de uno de los padres de la termodinámica, Rudolf Clausius, escritos en ¡1885!:

*Debido a la conversión de carbón en energía mecánica vivimos un tiempo maravilloso [...] pero en general, en las relaciones económicas, vale el principio de que cada cosa puede usarse sólo lo que en el mismo tiempo pueda ser de nuevo producido. Por tanto, se debería usar como material combustible sólo la cantidad que es producida de nuevo a través del crecimiento de los árboles. Pero en verdad nos comportamos de manera muy distinta. Hemos hallado que hay bajo la tierra reservas de carbón de tiempos antiguos que se han formado de plantas en la superficie de la tierra y depositado durante un período tan largo que los tiempos históricos, en comparación, parecen minúsculos. Las gastamos ahora y nos comportamos exactamente como herederos felices que consumen un rico patrimonio. Se saca de la tierra todo lo que permite la fuerza humana y los medios técnicos, y se usa como si fuera inagotable. Los trenes, los barcos de vapor y las fábricas con máquinas de vapor usan una cantidad de carbón tan sorprendente que, mirando al futuro, no es algo caprichoso preguntarse que ocurrirá cuando los yacimientos de carbón queden agotados. Cuando se habla de tales eventualidades, se escucha a veces la objeción de que cuando se agoten los yacimientos de carbón de piedra se habrá encontrado desde hace tiempo nuevos medios de producir calor, de manera que no hace falta preocuparse. Si se pregunta sin embargo, cuáles deben ser estos descubrimientos, aparecen puntos de vista como que tal vez se tendrá éxito en separar el agua en sus partes constituyentes [...] sin gasto de energía, y con eso podría abrirse una fuente inagotable de calor mediante la combustión del hidrógeno. Estos puntos de vista contradicen, no obstante, de manera total, los principios básicos de la física. No se trata aquí en absoluto de sopesar probabilidades, sino de que puede distinguirse con total certidumbre lo posible de lo imposible. Cualquier obtención de energía sin un gasto correspondiente de energía es absolutamente imposible.*

La ruptura epistemológica de la economía política y su invasión de la cultura industrial, incluso a pesar de las serias advertencias de la ciencia corriente, merece un análisis detallado que no cabe en estas líneas (véase, por ejemplo, [Naredo, 1987]).

## **Los primeros motores solares**

Aunque los franceses se sentían seguros de la situación energética de la nación, no todos participaban de esta complacencia. En 1860 Augustin Mouchot, profesor de matemáticas del Liceo de Tours, escribió:

*Resulta inevitable llegar a la conclusión de que lo prudente y sabio sería no dormirse en lo referente a esta seguridad. La industria terminará por no encontrar en Europa los recursos con que satisfacer esta prodigiosa expansión... Indudablemente, el carbón se agotará ¿Qué hará entonces la industria?*

La respuesta de Mouchot era sencilla: "¡Cosecha los rayos del sol!". Para demostrarlo se embarcó en dos décadas de investigación pionera. Aunque para sus contemporáneos la idea sería novedosa, Mouchot comenzó su estudio por buscar antecedentes históricos. Sus conclusiones son en todo coincidentes con lo

que hemos visto hasta aquí y pueden resumirse en el siguiente párrafo:

*Pese al silencio de los escritos modernos, no debe creerse que la idea de utilizar el calor solar para las operaciones mecánicas es reciente. Por el contrario, hemos de reconocer que esta idea goza de gran antigüedad y que en su lento desarrollo a lo largo de los siglos ha dado lugar a varios ingenios curiosos.*

Mouchot descubrió la labor de Herón de Alejandría y de la escuela que hemos denominado mecánicos griegos. Se lamentó de que no hubieran sido adaptados a la práctica. Debe notarse aquí como el concepto de máquina de la Revolución Industrial es opuesto al concepto griego. Si como vimos, la máquina griega era una multiplicadora de la potencia animal o humana (siendo los seres humanos o sus animales domésticos el motor de la misma, lo que los griegos denominaron Potencia, capaz de vencer gracias a la máquina Resistencias muy superiores), por el contrario, para la Revolución Industrial, la máquina era el motor, es decir, un artefacto capaz de generar energía mecánica útil a base de consumir energía externa en forma de combustible. Y siendo Mouchot un auténtico hijo de la revolución industrial, no se contentaba con ver a la energía solar empleada en artilugios lúdicos.

De este modo, su primer objetivo fue construir un captador de energía que sustituyendo la fuente de energía habitual en su época, el carbón, pudiera mover una máquina de vapor convencional. Su primera caja caliente parecía prometedora porque podía generar temperaturas lo bastante elevadas como para producir vapor de agua. Sin embargo, las primeras experiencias prácticas fueron desalentadoras, pues Mouchot se dio cuenta de que una caja caliente lo suficientemente grande como para mover una máquina industrial de tamaño medio ocuparía mucho espacio y, en su opinión, sería demasiado cara.

El programa experimental de Mouchot fue poco a poco empleando técnicas solares que tal y como hemos visto se fueron desarrollando en el pasado: su primer horno, compuesto de un cilindro negro de cobre cubierto por una camisa de vidrio, absorbía la radiación solar que un espejo reflejaba sobre él. Con escasas modificaciones Mouchot transformó el horno solar en alambique capaz de convertir el vino en brandy o coñac. Con un diseño similar construyó una caldera. Cuando el aire se calentaba en su interior, se expandía ejerciendo una fuerte presión sobre el agua del tanque situado abajo.

Figura 9: Alambique solar de Mouchot.

Estos éxitos no lograban su objetivo principal: mover una máquina de vapor. La principal dificultad residía en que el elevado volumen de agua tardaba mucho tiempo en hervir y la producción de vapor era demasiado lenta como para impulsar un motor industrial. Mouchot sustituyó la caldera por un tubo de cobre de una pulgada de diámetro, de manera que el menor volumen de agua allí contenido se calentase mucho más rápidamente. Para almacenar el vapor, Mouchot soldó un depósito metálico al extremo superior del tubo. El reflector solar consistía en un espejo parabólico acanalado orientado al sur que giraba para beneficiarse de la máxima exposición solar. El éxito del artefacto permitió a Mouchot contar con el apoyo del gobierno francés. Sus investigaciones fueron interrumpidas por la guerra francoprusiana de 1870 en las que perdió la gran mayoría de sus máquinas.

Figura 10: Primera máquina solar de Mouchot, 1866.

Pero después de la guerra y con el apoyo del gobierno regional de Endre-et-Loire (distrito vinícola donde vivía y en el que las autoridades se vieron inmediatamente interesadas por su alambique) consiguió por fin un primer diseño con la potencia suficiente como para resultar de utilidad. El reflector parabólico fue

sustituido por un reflector cónico, de manera que toda la superficie de la caldera recibía y absorbía radiación solar aumentando notablemente el rendimiento. La máquina podía generar el suficiente vapor como para mover un motor de medio caballo a razón de 80 impulsos por minuto. Cuando Mouchot realizó su demostración la reacción de asombro más elocuente se resume bien en la siguiente aclamación "¡Un motor que funciona sin combustible!".

El éxito de la máquina de la ciudad de Tours reforzó la fe de Mouchot en la energía solar, haciéndole también consciente de las limitaciones a su aplicación práctica en un país como Francia. En primer lugar, se daba cuenta de que las máquinas solares ocuparían demasiado espacio en nuestras ciudades y, por consiguiente, no podrían emplearse ventajosamente. De hecho, el motor de Tours ocupaba una extensión de 6 por 6 metros y tan sólo producía medio caballo de potencia. Se necesitarían doscientas de tales máquinas para impulsar un motor industrial normal de cien caballos. Para disponer 200 máquinas solares (en cuatro filas y con la separación mutua que evitara se arrojasen sombra una a otra), serían precisos 9.300 metros cuadrados, es decir, un cuadrado de unos cien metros de lado. Mouchot se encontró así con una manifestación clara de los límites que el carácter finito del planeta y de la energía solar que recibe impone inexorablemente a la vida, y a la vida humana en particular.

Buscando ir más allá de estas limitaciones Mouchot viajó a Africa, a Argelia, donde sus máquinas gozarían de mayor intensidad de radiación y, por tanto, podrían producir mayor potencia con un mismo tamaño. Construyó alambiques (útiles para la destilación, pero también para potabilizar agua dulce o salada), bombas de riego que resultaban extremadamente útiles en la extensión de la superficie de regadío; diseñó también un horno portátil para las tropas francesas en Africa.

Figura 11: Cocina solar portátil del ejército francés debido a Mouchot.

Tras un año de ensayos, Mouchot presentó sus conclusiones a las autoridades argelinas. Estas quedaron tan impresionadas que le concedieron 5.000 francos para la construcción del "mayor espejo jamás realizado en el mundo" con destino a la gigantesca máquina solar que representaría a Argelia en la Exposición Universal de París de 1878; posteriormente sería embarcada a Africa y utilizada comercialmente. La máquina resultante fue capaz de bombear 2.000 litros de agua por hora, destiló alcohol y cocinó comida. Pero la demostración más espectacular tuvo lugar el 22 de septiembre, tal y como el propio Mouchot nos refiere:

*bajo un Sol ligeramente velado pero luciendo continuamente, fui capaz de elevar la presión en la caldera a 6,2 atmósferas... y, pese a la aparente paradoja, utilizar los rayos del Sol para hacer hielo.*

En efecto, había conectado el motor solar al ingenio refrigerador accionado con calor que Ferdinand Carré inventara en los años 1850, y que dio origen a nuestros modernos frigoríficos.

Figura 12: Máquina solar de Mouchot, 1878.

Tras su vuelta a Argelia, Mouchot dedicó atención primordial a la resolución de un difícil problema: ¿cómo almacenar el calor del sol, de manera que las máquinas solares pudiesen operar también en tiempo nublado, o durante la noche? La alternativa más evidente era calentar cuerpos con gran capacidad de absorción (y resistencia a las elevadas temperaturas) y guardarlos en depósitos aislados para aprovechar su calor posteriormente. Sin embargo, Mouchot descubrió una alternativa mejor. Utilizaría la energía solar para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno, almacenando luego ambos gases en cilindros separados. Cuando se produjese la demanda de calor sólo habría que recombinar ambos elementos y la

reacción química desencadenada generaría todo el calor necesario. Además, los gases podrían utilizarse también separadamente: el hidrógeno como combustible y el oxígeno para fines industriales.

En 1880 Mouchot volvió a sus estudios matemáticos. Su asistente, Abel Pifre, continuó ocupándose de la investigación solar. En el Jardín de las Tullerías de París, en 1880, Pifre exhibió un generador solar que accionaba una prensa capaz de imprimir los 500 ejemplares del *Journal du Soleil*.

Figura 13: Imprenta solar de Abel Pifre.

Pero en Francia no corrían buenos tiempos para la energía solar. El mejoramiento de las técnicas mineras y del sistema ferroviario (la mayor parte del carbón francés se encuentra cerca de sus fronteras) incrementaría la producción de carbón, reduciendo los precios del combustible. En 1881 el gobierno dirigió una última mirada final a las posibilidades de la energía solar para uso comercial. El informe final, realizando un balance monetario, concluyó que la inversión inicial era demasiado costosa como para que tales técnicas pudieran ser preferibles a las más convencionales basadas en carbón o gas.

De este modo Mouchot no logró introducir a Francia en la Edad del Sol. Pero sus esfuerzos innovadores traspasaron el umbral entre la experimentación científica y el desarrollo práctico de una tecnología revolucionaria. Demostró igualmente la gran diversidad de modos en que el Sol podía utilizarse para beneficio de la humanidad y sentó las bases para un posible futuro de desarrollo solar.

## **Motores solares para la Revolución Industrial**

Tras los trabajos de Mouchot, la construcción de motores solares tuvo muchos otros episodios. Esta insistencia es totalmente acorde con el programa fundamental de la Revolución Industrial que ya he señalado, a saber, la construcción de motores alimentados con la energía de combustibles. De hecho, en general, los distintos investigadores en motores solares comenzaron sus trabajos acuciados por el temor a una futura escasez de carbón en su país respectivo.

En un artículo redactado en 1868, John Ericsson, ingeniero sueco emigrado a los EEUU, mantenía que únicamente el desarrollo de la energía solar evitaría una crisis energética generalizada, y señalaba un ejemplo del siglo anterior: la evaporación del agua del mar para producir sal, que, lograda más por calor solar que con ayuda de carbón, ahorró unos 100 millones de toneladas de combustible. El primer motor de Ericsson guardaba un gran parecido con los últimos modelos de Mouchot. Poco a poco los diseños de Ericsson se fueron apartando en algunos detalles, como la eliminación del vidrio en el tubo de la caldera, el uso de aire caliente en vez de vapor para mover el pistón del motor, el uso habitual de vidrio en los reflectores. Muy celoso de su propiedad intelectual, Ericsson murió repentinamente en 1888, sin haber llegado a ningún modelo de utilidad práctica y llevándose con él a la tumba muchos de sus secretos, de los que sólo tenemos conocimientos a través de los sucesivos anuncios que hizo de sus progresos.

Figura 14: Motor solar de Ericsson.

La huelga del carbón en el invierno de 1902 en los EEUU, hizo real (aunque sólo fuera artificial y temporalmente) los negros augurios de una crisis de la energía, anunciada por diversos ingenieros y científicos, anuncio que en todo caso no había trascendido al gran público norteamericano. Debido a ello, los estudios de prospectiva auspiciados por instituciones científicas, tales como la *Smithsonian Institution* se multiplicaron. Así, por ejemplo, Robert Thurston, ingeniero de renombre, repasó por encargo los pros y

los contras de las energías de las mareas, el viento y el Sol como sustitutivas del carbón. Resulta notable que a pesar del hecho de que granjeros y rancheros americanos poseían pequeños molinos de viento con que bombear agua a sus casas o abrevaderos, este ingeniero considero inadecuada la energía eólica, basando su argumento en que **sería inadecuada para la explotación latifundista de grandes extensiones de terreno**. A pesar de este genero de prejuicios, basados más en una muy particular visión de la organización social deseable, que en sólidos argumentos científicos, Thurston tuvo que admitir que la energía solar despertaba gran atención en la comunidad científica y técnica. Y lo cierto es que a principios de siglo abundaban en el panorama numerosos inventores y empresarios solares, habiéndose registrado al menos 22 patentes de motores solares.

Entre todos ellos resultan espectaculares los motores diseñados, construidos y comercializados por Aubrey Eneas, inventor e ingeniero inglés residente en Massachusetts, fundador de la Solar Motor Company of Boston. El objetivo principal de la empresa era la venta de equipos de bombeo al sudoeste de los EEUU, donde los combustibles convencionales como la madera y el carbón eran escasos y caros. Esa parte del país parecía además ideal para la energía solar, pues en ella el Sol brillaba el 75 por ciento de los días del año.

Tras algunos diseños preliminares, Eneas pronto recayó en el diseño básico de Mouchot: el reflector cónico con la caldera en el eje. Pero incluyo una mejora significativa: en vez del cono completo el reflector era un tronco de cono. La razón es la siguiente, en la boca del cono un anillo del reflector de considerable superficie concentra la radiación alrededor de un único punto del eje; por el contrario, en el fondo del reflector, en el vértice del cono, una área diminuta del reflector concentra apenas energía sobre una área igual del eje. Como resultado desafortunado, la caldera situada en el eje recibe mucha radiación en la parte superior, mientras apenas recibe calor en la inferior, lo que disminuye la eficiencia del conjunto. En el tronco de cono adoptado por Eneas, existe un efecto similar, pero como la base inferior es todavía una circunferencia con un diámetro apreciable, la diferencia de energía recibida por el extremo superior e inferior de la caldera no es tan acusada y el rendimiento mejora notablemente. Según los propios cálculos de Eneas, la producción máxima de vapor se obtenía cuando el diámetro menor del reflector era al menos ocho veces mayor que el diámetro de la caldera, mientras que el diámetro mayor debería ser al menor de 9,6 metros (casi dos veces y media el diámetro del reflector de Mouchot).

Para 1899, Eneas había construido un conjunto completo con un diámetro de 10 metros en la boca del reflector, que estaba formado por más de 1.800 pequeños espejos de vidrio plateado. Distintos mecanismos y artefactos de relojería permitían orientar el espejo hacia el Sol a lo largo del día y de las estaciones, sin excesivo esfuerzo. El conjunto pesaba más de 4 toneladas.

Figura 15: Segundo motor solar de Eneas, 1899

En 1901, el motor quedo instalado en la primera granja de avestruces de los EEUU, en Pasadena, después de haber viajado desde Nueva Inglaterra hasta Denver (donde se hicieron los primeros ensayos), antes de alcanzar su destino final. Las avestruces eran visitadas por el público, que pudieron contemplar también (por el mismo precio) el motor solar de Eneas en acción. En esencia (según las crónicas de la época) el motor solar accionaba una bomba capaz de irrigar 120 hectáreas de cítricos extrayendo 6.400 litros de agua por minuto de un depósito situado a 5 metros de profundidad (es decir, una potencia de unos 5kW). En los periódicos de la época puede leerse esta vívida crónica:

*Primero se ve al rocío de la mañana ascender lentamente en un halo de vapor desde la gigantesca boca. Luego, los brillantes cristales resplandecen al Sol de la mañana y las ondas de calor empiezan a penetrar en el círculo, siendo la larga y negra caldera la que produce mayor impresión, pues al aumentar de intensidad los rayos reflejados, comienza a relucir de tal manera que en cualquier fotografía aparece casi como de calor blanco puro. Antes de cumplirse una hora de la vuelta de manivela y el enfoque, surge un chorro de vapor de la válvula de escape. El ingeniero mueve el estrangulador, se produce una sucesión de silbidos de la caldera, un "clank-clanketyt-clank" y el Sol comienza a extraer agua de un modo que pocos soñaron hace algunos meses.*

Figura 16: Instalación en Pasadena

Hasta 1904 Solar Motor Company vendió e instaló cinco motores solares. El último en la granja de John May consiguió bombear 6.700 litros de agua por minuto, pero desafortunadamente los espejos del reflector fueron destruidos por una tormenta de granizo. Otro de los modelos instalados con anterioridad fue destruido por un vendaval. Competidores sin escrúpulos en el negocio solar contribuyeron a ensuciar la reputación de Eneas. Con todo, el principal obstáculo a la comercialización de los motores solares era su costo: de dos a cinco veces el costo de una planta de vapor convencional. Aun cuando tras el desembolso inicial no existieran gastos de combustible, el elevado precio inicial desalentaba a los compradores. En los años siguientes el panorama comercial de las máquinas solares de Eneas se oscurecía. Tal y como el mismo dijo "mi experiencia con grandes reflectores me ha convencido de que incluso cuando se consigue la mayor eficacia, el costo de construcción, incluso a gran escala, es demasiado alto como para permitir su utilización comercial, excepto en unos pocos casos"

Figura 17: El motor solar en la granja de John May.

## **Motores solares de baja temperatura**

Los motores solares desarrollados tanto por Mouchot como por Ericsson y Eneas estaban basados en el empleo de reflectores para concentrar los rayos del sol. En sus afanosos esfuerzos por construir un motor comercialmente viable, estos pioneros asumieron la necesidad de alguna forma de concentración de la energía solar para lograr las elevadas temperaturas de vapor que creían necesarias. Como el conocimiento convencional rezaba que cuanto más altas son las temperaturas de vapor con mayor eficacia funcionarían las máquinas, buscaron producir temperaturas superiores a los 500 grados centígrados. En realidad estaban tan fascinados por los aparentes logros de la Revolución Industrial que deseaban poder sustituir el horno de leña o carbón debajo de la caldera de vapor por sus reflectores solares, dejando inalterados el resto de los artefactos que con asombrosa rapidez iban apareciendo por los países industriales y sus colonias.

Desgraciadamente este énfasis puesto en las altas temperaturas condujo a una serie de inconvenientes fundamentales. Las elevadas temperaturas en el interior de un colector originaban inevitablemente fuertes pérdidas de calor. De aquí que, aun cuando las altas temperaturas significaran mayor rendimiento del motor, la eficiencia de la captación solar decrecía sustancialmente (reduciendo la eficacia global de la conversión de energía solar en energía mecánica). Existían también otros inconvenientes. Los reflectores utilizados para obtener altas temperaturas debían ser grandes, complejos y costosos. Una vez instalados resultaban vulnerables a vientos fuertes y a las inclemencias del tiempo. Para empeorar la cuestión, debían mirar siempre al sol, lo que exigía un operario a tiempo completo o un delicado mecanismo capaz de mover automáticamente los reflectores. Y cuando no había soleamiento directo en días de bruma o nublados, los colectores concentradores dejaban totalmente de funcionar.

En un motor diseñado para operar a baja temperatura todos estos problemas podrían disminuir hasta desaparecer, al permitir usar cajas calientes, simples y baratas, o incluso láminas de metal desnudo. Al no alcanzar temperaturas tan elevadas, estos colectores tampoco perderían tanto calor. Y lo que es más, la superficie colectora no estaría obligada a seguir el curso del sol. Tales dispositivos podían absorber incluso la luz solar difusa de los días brumosos o nublados. La superior eficacia de la captación solar y los menores costos de construcción podrían quizás compensar la pérdida de rendimiento del motor. Y así en las postrimerías del siglo diecinueve algunos inventores comenzaron a darse cuenta de tales ventajas, iniciando el desarrollo de los motores solares de baja temperatura.

Entre los ejemplos numerosos y notables que podrían citarse se encuentra la bomba solar del ingeniero francés Charles Tellier. Eligió como líquido para el vapor no el agua, con una temperatura de ebullición sensiblemente alta. En vez utilizó hidrato de amoníaco que hierve a 33 grados bajo cero o el dióxido de azufre que lo hace a 10 grados bajo cero. Tellier había descubierto las aplicaciones de los líquidos de bajo punto de ebullición en el curso de sus investigaciones acerca de la congelación de alimentos, labor por la cual es más conocido.

En su bomba solar, el colector solar estaba construido con simples láminas de metal oscuro, entre medias de las cuales circulaba el líquido para ser evaporado. La chapa metálica inferior se aislaba a fin de reducir las pérdidas por conducción. La presión del amoníaco alcanzaba las 2,7 atmósferas y la bomba podía impulsar unos 1.300 litros de agua por hora. Estimó que en un clima con más horas solares que el francés se podrían alcanzar los 3.600 litros de agua por hora. A fin de aumentar el rendimiento, Tellier introdujo su colector en una caja caliente convencional, lo que permitió accionar un motor.

Figura 18: Instalación solar industrial de Tellier, 1880.

Dos ingenieros americanos, Willsie y Boyle, tomaron el relevo de Tellier. Basándose en los diseños del francés fueron poco a poco introduciendo mejoras. Desde el comienzo decidieron no dar publicidad a sus experimentos solares para no comprometer sus carreras: tras el fracaso final de Eneas y los fraudes de los charlatanes, la energía solar había adquirido mala fama en los EEUU. Tras una década de investigaciones decidieron trasladarse finalmente a Arizona donde la necesidad de energía barata era acuciante. Entre las modificaciones introducidas, cabe destacar el uso del agua en la caja caliente, que trasladaba su energía al dióxido de azufre mediante un intercambiador. El vapor de dióxido era finalmente el encargado de mover el motor. De este modo, los circuitos en la caja caliente no debían soportar grandes presiones, quedando estas limitadas al circuito, más pequeño que unía el motor con el intercambiador.

Una vez concluidas las pruebas fundaron la Willsie Sun Power Company en 1904. La empresa marchó bien hasta 1908; introduciendo mientras tanto mejoras adicionales, como la acumulación de calor en depósitos aislado conteniendo agua, lo que permitió a sus plantas funcionar 24 horas ininterrumpidas. En cuanto al balance económico resultaba de momento favorable a las plantas solares frente a las convencionales de carbón: aunque el coste de instalación de la planta era, en aquella época, de 164\$ por caballo de potencia, frente a los 40-90 de una planta convencional, el carbón era muy caro en Arizona, resultando el coste de explotación de una planta de carbón en 1,54\$/kWh frente a los 0,45\$/kWh que suponía operar la planta solar. Como resultado, la planta solar podía amortizarse en menos de dos años (de hecho, tras menos de 10 días de funcionamiento continuo, el costo total de ambas plantas se iguala). Sin embargo, un par de años después, la máquina productora de gas era introducida en el Sudoeste de los EEUU: quemaba carbón para producir gas artificial, y los motores que consumían gas artificial eran de dos a cuatro veces más eficientes que los convencionales basados en la combustión. De esta manera, el motor

solar perdió parte de su atractivo económico cuando el transporte del carbón bajo de precio. Debido a ello, la empresa dejó de operar, y nunca se averiguó a ciencia cierta que paso con Willsie y Boyler.

## El primer motor solar práctico

Casi al mismo tiempo que Willsie y Boyler se ocupaban de su empresa, otro ingeniero autodidacta exploraba también el empleo de colectores de caja caliente para impulsar máquinas de baja temperatura. Frank Shuman residía en Filadelfia y como muchos de los ingenieros citados hasta ahora tenía una preocupación fundamental sobre el futuro: **"De una cosa estoy seguro y es de que la raza humana debe utilizar la energía solar o retornar a la barbarie"**.

Shuman después de revisar la obra de los que le habían precedido se inclinó por continuar con la misma línea de bajas temperaturas de Willsie y Boyle, salvo que utilizó éter como líquido colector en la caja caliente. Con un modelo pequeño para demostraciones y con un buen talento como propagandista, Shuman consiguió atraer un número suficiente de inversionistas como para crear la Sun Power Company. En sus investigaciones y diseños, Shuman se decidió a combatir la roca contra la que se habían estrellado los intentos anteriores: la alta inversión inicial necesaria. Fue consiguiendo mejoras que aumentarían el rendimiento de sus diseños a la vez que dejaban inalterados los costos y el tamaño, es decir, la superficie necesaria. Para una primera demostración práctica a escala real, la compañía escogió Egipto debido al abundante Sol y a la mano de obra barata. Sin embargo la planta habría de construirse primero en EEUU, probarla y luego desmontarla y volverla a montar en su emplazamiento definitivo.

La planta se alzó sobre 2.700 metros cuadrados cerca de la casa de Shuman en Tacony, Pennsylvania. Uno de los objetivos primordiales era incrementar la cantidad de calor recibida y capturada por los colectores. Para ello añadió a las cajas calientes sendos espejos laterales que reflejaban la luz sobre la caja caliente. Además, un mecanismo permitía ajustar la orientación de los colectores.

Figura 19: Planta solar de Shuman en Tacony, 1911.

Shuman también rediseñó el motor, pues había concluido que el anterior motor accionado por un fluido de bajo punto de ebullición no produciría suficiente potencia. Para no renunciar a la baja temperatura (óptima desde el punto de vista de la captación solar), inventó un motor especial que funcionaba con vapor a baja temperatura y baja presión. Al igual que el agua hierve en las montañas a temperatura menor que al nivel del mar (porque en altitudes superiores la presión del aire es menor), este motor era capaz de evaporar agua caliente a temperatura menor de 100 grados. Cada hilera de cajas calientes era recorrida por un tubo a través del cual el agua fría se convertía en vapor.

Este motor generaba más potencia que cualquier otra máquina solar construida anteriormente. Conectado a una bomba, el dispositivo solar podía elevar 12.000 litros de agua por minuto a una altura de 10 metros (una potencia de unos 20 kW). Casi el 30 por ciento de la energía solar incidente sobre los colectores era transformada en calor útil, produciendo una potencia máxima de 30 caballos de vapor y una media de 14 en un día de sol normal.

Antes de la expedición a Egipto la compañía solicitó informes a científicos independientes. Estos aconsejaron que los reflectores rodearan al colector, pues de otro modo la parte inferior de la caja caliente perdía calor. Para lograrlo bastaba con sustituir cada hilera de colectores concentradores por un único reflector de sección parabólica, en cuyo foco se suspendiera una larga caldera recubierta de vidrio. De este modo, la baja temperatura y el reflector parabólico de la máquina de Ericsson se sintetizaron en este nuevo

modelo.

Ya en Egipto, en Maadi, el modelo fue construido según el diseño modificado. Se construyeron cinco reflectores solares, cada uno de 60 metros de largo por 4 de ancho y separados 8 metros entre sí. Además la planta de Maadi podía funcionar las 24 horas del día. El excedente de agua calentada se guardaba en un gran depósito aislado, similar al utilizado por Wislley y Boyle, para su uso durante la noche o en días cubiertos y lluviosos. El motor podía así impulsar una bomba convencional ininterrumpidamente en todo tiempo, aumentando todavía más la eficiencia de la planta.

En la inauguración, en julio de 1913, el ingenio alcanzó los 55 caballos de potencia y la bomba elevó 27.000 litros de agua por minuto. El dispositivo de absorción captó el 40 por ciento de la energía solar disponible, un resultado muy superior al obtenido por la planta de Tacony.

Figura 20: Planta solar de Maadi (Egipto), 1912.

Tras dedicar siete años de trabajo a la energía solar, le parecía a Shuman que sus viejas predicciones optimistas comenzaban a tomar cuerpo. En febrero de 1914 escribió:

*La energía solar es ya un hecho, habiendo dejado de encontrarse en la fase de bella posibilidad; tendrá una historia algo parecida a la de la navegación aérea. Hace solo doce años no era más que una simple posibilidad y ningún hombre práctico la consideraba seriamente. Los hermanos Wright hicieron su vuelo de verdad y, desde entonces, los progresos fueron más rápidos. Hemos demostrado fehacientemente la capacidad de la energía solar, y también esperamos rápidos adelantos.*

Muchos eran quienes estaban de acuerdo, apoyando sin reserva la energía solar. Entre ellos, anteriores escépticos, como el equipo de *Scientific American*, que elogiaba ahora el motor de Shuman como absolutamente práctico en todos sus aspectos.

Las potencias coloniales europeas mostraron igualmente su interés, imaginándose los enormes beneficios económicos derivados de la utilización de la energía solar en su África subdesarrollada. Ante tan entusiastas demostraciones de apoyo, Shuman amplió el ámbito de sus planes. Esperaba construir 52.600 kilómetros cuadrados de reflectores en el Sahara, dando al mundo "a perpetuidad los 270 millones de caballos necesarios para igualar todo el combustible extraído en 1909".

Pero su gran sueño se desintegró con el comienzo de la Primera Guerra Mundial. Los ingenieros de la planta de Maadi dejaron África para ocuparse de trabajos de guerra en sus respectivos países, como el propio Shuman retornado a los EEUU, donde moriría antes de concluir la guerra.

Todavía más, tras el término de la guerra, las promesas hechas a la Sun Power Company carecían de valor. Además las potencias europeas empezaban a interesarse por el uso de una nueva forma de energía en sustitución del carbón: el petróleo. Para 1919, los ingleses habían invertido más de 20 millones de dólares en la Anglo-Persian Oil Company. Poco tiempo después se producían nuevos descubrimientos de petróleo y gas en numerosas partes del mundo (California, Iraq, Venezuela e Irán) Casi todos eran lugares soleados donde resultaba difícil obtener carbón; áreas pensadas por Shuman, y asimismo por Mouchot y Ericsson como principales emplazamientos de las plantas solares. Con el petróleo y el gas vendiéndose a precios casi regalados, los científicos, administradores y hombres de negocios volvieron a sentirse confiados con la situación energética, y las perspectivas para la energía solar empeoraron rápidamente.

## Una conjetura sobre la Revolución Industrial

La incompatibilidad, al menos histórica, entre la Revolución Industrial y el motor solar pone sobre la mesa numerosas preguntas de las que sería en extremo útil conocer respuestas. Esa incompatibilidad, como hemos visto, no se debe a falta de soluciones técnicas factibles: los motores solares pueden funcionar. Quizá se deba a los límites de éstos: la potencia irradiada por el sol está limitada y, por supuesto, es imposible capturarla toda (imposibilidad termodinámica de eficiencia perfecta), mucho menos capturar **más**. Esto sugiere una conjetura cuya exploración bien pudiera merecer la pena: quizás la Revolución Industrial (y la cultura técnica y científica nacidas con ella) esté indisolublemente unida a la esperanza de un crecimiento indefinido de nuestro poder, en particular, de nuestro poder energético, de la potencia que podemos hacer trabajar a nuestro antojo. Si así fuera, quedaría palmariamente explicada la imposibilidad *cultural* (no técnica) de hacer encajar el motor solar en la urdimbre industrial contemporánea, pues el motor solar (como otras técnicas solares ya sea menos espectaculares, como el uso vernáculo de la energía hidráulica y eólica, ya más, como la fotosíntesis) se limita a la transformación de la potencia energética disponible y ésta está limitada de forma insuperable por las características del Sol que nos regala la vida. Este límite opera como otros límites de la física (la velocidad de la luz por ejemplo): podemos desear sobrepasarlo e, incluso, empeñarnos en alcanzar nuestro deseo, pero no lo conseguiremos.

## Agua caliente solar

Con Revolución Industrial o sin ella, con necesidad o no de alimentar motores de gran potencia para uso de las industrias capitalistas, el alojamiento humano demanda de forma necesaria cantidades de energía (para agua caliente y calefacción) que si bien son modestas en comparación, pueden suponer una carga económica importante para las familias humildes o en lugares donde la disponibilidad de combustible es escasa.

Afortunadamente, se descubriría un modo seguro, fácil y barato de calentar agua: el depósito metálico de agua pintado de negro y simplemente colocado donde daba más el Sol y menos la sombra. Tales fueron los primeros calentadores solares de agua de que se guarda memoria en EEUU, ¡y funcionaban! Según uno de sus primeros usuarios, a veces "el agua se calentaba tanto que resultaba necesario añadir fría para poder tomar un baño".

Figura 21: Calentadores de agua en 1890.

El problema con estos calentadores solares no era su capacidad de producir agua caliente, sino el cuándo y durante cuánto tiempo. Estos inconvenientes de los métodos populares de calefacción solar llamaron la atención de los inventores a finales del siglo XIX, ya familiarizados con las propiedades de las cajas calientes. En EEUU, en varias épocas y lugares, florecieron empresas rentables dedicadas a la instalación de aparatos solares domésticos. La patente Climax, por ejemplo, de 1891, mezclaba la vieja práctica de la exposición de depósitos metálicos desnudos al Sol con el principio científico de la caja caliente, incrementando, así, la capacidad del depósito para captar y retener el calor solar.

Figura 22: La patente del calentador solar Climax, 1892.

El Climax, que nació en Baltimore, se extendió naturalmente a las zonas del país más soleadas, como California. Allí, el soleamiento casi constante significaba agua caliente gratis durante prácticamente todo el año. Además California importaba carbón a precios elevados de manera que la ventaja económica era más significativa aún si cabe. Para 1900 se habían realizado 1.600 instalaciones solamente en la California meridional. Las declaraciones de los usuarios, que pueden rastrearse en las crónicas de los periódicos locales de la época eran siempre elogiosas, dejando testimonio de que incluso en días nublados "era sorprendente lo mucho que se calentaba".

Figura 23: Casas solares americanas hacia 1900.

Entre 1900 y 1911 más de una docena de inventores registraron patentes para mejorar el Climax. Aunque sólo algunas de ellas llegaron a fructificar en un aparato eficiente, práctico y económico. En 1905 los derechos de fabricación y venta del Climax en California fueron adquiridos por una filial de la Solar Motor Company (la firma fundada por Aubrey Eneas). La compañía introdujo una modificación sustancial en el diseño de los depósitos de agua del Climax: como la relativamente profunda masa de agua contenida en los cuatro depósitos cilíndricos tardaba muchas horas en calentarse, se decidió sustituirlos por un gran tanque rectangular de escasa profundidad. El volumen total de agua quedaba inalterado pero, al haber menor cantidad de la misma por metro cuadrado, el calor del Sol penetraba con más celeridad y se tardaba mucho menos en disponer de agua caliente. Al igual que el modelo original, se conectaba generalmente a un sistema convencional de calentamiento de agua que entraba en acción durante el mal tiempo. Este nuevo modelo se denominó Climax Perfeccionado.

Un problema evidente quedaba por solucionar: tener agua caliente durante la noche y a primera hora de la mañana. Pero en el verano de 1909, en una pequeña tienda al aire libre del suburbio de Monrovia de Los Ángeles, un ingeniero llamado William J. Bailey comenzó a vender un calentador solar de agua que revolucionaría la industria. No sólo suministraba agua calentada solarmente mientras lucía el Sol, sino asimismo durante horas después de haber anochecido y también a la mañana siguiente; para más señas el modelo se denominó Día Y Noche.

Antes de instalarse en el oeste en busca de una cura para su tuberculosis, Bailey había trabajado con la Carnegie Steel en Pennsylvania. Pronto descubrió que su médico, el doctor Remington, experimentaba con calentadores solares de agua. Para templar el agua con mayor rapidez y conservar el calor durante más tiempo, Remington separaba el calentador solar en dos partes o unidades: un colector de calor solar y un depósito de acumulación de agua. El colector consistía en un serpentín colocado en el interior de un cajón con tapa de vidrio suspendido sobre el muro sur de la casa. El reducido volumen de agua contenido dentro del serpentín se calentaba rápidamente. Y, en lugar de permanecer al exterior (donde se hubiera enfriado en seguida por la noche o durante el mal tiempo) el agua caliente corría por una tubería hasta un depósito convencional situado en la cocina.

Bailey adoptó la idea de Remington del colector y el depósito separados. Para mejorar la retención del calor aisló el depósito mediante polvo de piedra caliza, que le separaba de una caja de madera que le contenía.

El serpentín del colector era de cobre y descansaba sobre una lámina metálica negra. La caja del colector estaba aislada con fieltro.

Ni siquiera se necesitaba bomba para impulsar el agua entre el colector y el depósito acumulador. El Día Y Noche operaba según el principio del termosifón (el agua caliente es más ligera que la fría y tiende a elevarse por sí sola). El depósito acumulador se situaba por encima del colector, con lo que el agua fría en su parte baja descendía por gravedad a través de un tubo hasta la entrada del colector. El flujo cíclico continuaba en tanto el agua del colector estuviera más caliente que la contenida en la base del depósito.

Para garantizar suficiente agua caliente en épocas de mal tiempo o períodos de mucho uso, Bailey recomendaba a los clientes añadir un calentador auxiliar. El Día Y Noche podía conectarse a una cocina de leña, un calentador a gas o un horno de carbón. El éxito del modelo fue tal que (a pesar de que el Climax Perfeccionado era notablemente más barato) las ventas de la compañía la permitieron convertirse en sociedad anónima en 1911, sólo dos años después de que Bailey abriera su tiendecita.

Figura 24: Propaganda de Day & Night Solar Heater Co.

La popularidad, uso y experiencia de la técnica multiplicó las empresas y los particulares que la comercializaron y la emplearon. Para 1935, revistas como la *Popular Mechanics* publicaban instrucciones detalladas para que cada cual pudiera construir por sí mismo su colector solar, después de que tras años de experiencia los problemas menores y de detalle hubieran quedado resueltos a satisfacción. Resulta notable que la ecuación fundamental del colector solar plano, es decir, la visión científica del asunto no fuera establecida hasta 1943 por Hottel y Woertz en un famoso artículo citado innumerables veces desde entonces [4].

Figura 25: Calentador solar "made your self" aparecido en la revista Popular Mechanics.

Sin embargo, como ya ocurrió con los motores solares de la Solar Power Company, un competidor imprevisto vino a acabar con una industria floreciente cuyo récord de ventas tuvo lugar en 1920. En efecto, entre 1920 y 1930 se descubrieron grandes bolsas de gas natural en la depresión de Los Ángeles. La producción de gas se disparó y los precios del combustible cayeron vertiginosamente. Para 1927, el consumidor podía obtener gas natural a casi la cuarta parte del precio que pagaba por el gas artificial en 1900. Además la distribución por red hizo llegar el gas a todo el mundo. Los fabricantes de calentadores de gas crearon incentivos económicos subsidiados por las compañías extractoras. Además de las facilidades ofrecían precios rebajados e instalación gratuita. A pesar de la crisis y la competencia desleal, el Día Y Noche demostró su vigor y fiabilidad técnica vendiéndose en California, aunque a un nivel muy limitado: 7.000 calentadores antes de interrumpir su fabricación al inicio de la Segunda Guerra Mundial. La última serie fue fabricada en 1941.

El esquema histórico del agua caliente solar en California es muy simple: una nueva técnica eficaz como el colector solar gana el favor del público, la fabricación industrial y la experiencia práctica resultante ayudan a mejorar la técnica, lo que aumenta aun más la eficacia técnica y comercial, en una ciclo de realimentación positiva. Pero, finalmente, la aparición de una nueva fuente de energía con la sola y única ventaja de un reducido y subvencionado costo económico, destruye la base económica de la técnica que acaba desapareciendo, sin que ninguna dificultad técnica importante contribuya a ello.

Este esquema histórico se ha repetido en otros tiempos y lugares. Por ejemplo en Florida, donde las patentes californianas como la del Día Y Noche fueron adquiridas por constructores o industriales de diverso signo. Miami experimentó su primera gran expansión con la conclusión de la autopista entre New York y Florida. La población de Miami, por ejemplo, pasó de 25.000 personas en 1920 a más de 75.000 en 1925. A diferencia de California, en Miami el gas natural resultaba caro debido al coste del transporte

entre la costa este y la oeste. Así las compañías de energía solar experimentaron un crecimiento espectacular de sus ventas. De hecho, tales industrias superaron incluso la depresión económica de 1926, que antecedió en Florida a la Gran Depresión de la economía industrial.

Las patentes sufrieron algunas modificaciones como respuesta necesaria a la adaptación a unas nuevas condiciones climáticas. Baste citar por ejemplo el problema de la fuerte humedad del clima de Florida. Las cajas de madera de los colectores y los forros en el mismo material de los depósitos acumuladores se deterioraban rápidamente a menos de pintarse con frecuencia. Pronto se diseñaron colectores enteramente de metal, generalmente acero galvanizado. Las grandes series fabricadas y la experiencia de funcionamiento acumulada sugirieron otras mejoras como el uso de cobre blanco en el serpentín, para evitar daños por congelación, o el aumento de la longitud del mismo, lo que aumentaba el caudal disponible.

El agua caliente solar interesó también fuera de los límites de Florida. A finales de los años treinta su uso se extendería a las Islas del Caribe y a Puerto Rico, Cuba y América Central. Al norte de Florida, de Luisiana a Georgia, los proyectos de vivienda pública comenzaron a emplear calentadores solares de agua. Así, por ejemplo, las 480 viviendas de un gran conjunto de Georgia obtenían del Sol 132.000 litros diarios de agua caliente. Tras su primer año de marcha regular, un funcionario de vivienda señalaría que "el calentamiento solar del agua se ha mostrado muy satisfactorio y si bien el costo inicial supera ligeramente el de otros sistemas de calentamiento, los costos de funcionamiento y mantenimiento resultan insignificantes".

Figura 26: Propaganda de un calentador solar, Cuba, ca. 1940.

A diferencia del caso de California, la industria solar en Florida superó (no sin dificultades) la Segunda Guerra Mundial, que significó entre otras cosas la nula disponibilidad de cobre (cuyo uso no militar fue congelado por el gobierno durante el conflicto).

Tras la guerra, aunque la industria consiguió recuperarse nunca alcanzó su anterior fuerza. Resulta ejemplar las razones de ello. En primer lugar, la prosperidad de la sociedad americana disparó el consumo de agua. Los usos y costumbres pasaron de un cierto estoicismo hacia las necesidades vitales (en cierto sentido, una actitud básica de la colonización del oeste americano), a un gusto y placer por el consumo sin límites, que poco a poco fue convirtiéndose en símbolo de status social, cuyo significado transcendía con mucho las determinaciones técnicas y biológicas. Las familias encontraban ahora que sus colectores solares, cuya producción de agua caliente estaba limitada por un tamaño no exagerado del colector en relación al edificio, eran insuficientes e imponían un límite a la cantidad de agua caliente disponible al día. Esto resultaba inadmisibile desde la óptica del nuevo consumidor típico. Pero en segundo lugar, los calentadores eléctricos de agua se convertían en una alternativa conveniente y eficaz. A ello contribuyeron tanto la caída de las tarifas eléctricas (que acompañaban así los ridículos precios de los combustibles fósiles de otras regiones americanas) como a las agresivas campañas de las compañías eléctricas para aumentar el consumo, estableciendo tarifas de promoción y ofreciendo la instalación gratuita de los calentadores.

No siendo ya la energía solar la ganga económica que una vez fuera y con las perspectivas cada vez mejores del agua calentada eléctricamente, muy pocos serían los compradores de equipo solar transcurridos los años cincuenta. La industria se redujo a una de mantenimiento; limpieza de serpentines, sustitución de cubiertas de cristal rotas y colocación de depósitos nuevos para quienes prefirieron conservar sus calentadores solares de agua por sentirse contentos con lo que obtenían: agua caliente solar

gratis en forma autónoma.

## De nuevo la arquitectura solar

Durante casi mil años tras la caída del Imperio Romano, los arquitectos europeos [que trabajaban para los príncipes, grandes señores e instituciones] ignoraron tácitamente los principios de la orientación solar. Los escritos clásicos sobre arquitectura solar de Sócrates, Aristóteles, Vitrubio y otros cayeron en desuso. A pesar de ello la tradición se recuperó en tratados como el del arquitecto italiano Alberti o el de Andrea Palladio. Sin embargo, los constructores vernáculos (unas veces autoconstructores y otras maestros artesanos para el resto de la comunidad) mantuvieron una tradición implícita basada en el sentido común, en la disponibilidad de materiales y energía, y en la adaptación a los recursos del rededor [5].

Tal es el caso en la Europa mediterránea y Asia Menor, dónde la arquitectura popular siguió aplicando algunos de los principios de construcción solar. La idea de orientar las casa hacia el sur no fue olvidada ni en Grecia, ni en Turquía, ni en el norte de Africa. En España también tenían en cuenta el clima y construían las casas con gruesos muros de piedra o adobe. Esta fábrica ayudaba a mantener los edificios templados en inviernos y frescos en verano.

La moda de la civilización clásica, implantada en Italia durante el Renacimiento, condujo a una reposición de los estilos griego y romano. Llegada esta influencia clásica al norte de Europa, los arquitectos copiaron diligentemente las formas externas de los edificios pero ignoraron los principios solares que otorgaban funcionalidad a su gran belleza. No supieron orientar adecuadamente los edificios, desaprovechando la oportunidad de calentarlos con la ayuda del sol. Humprey Repton, uno de los pocos arquitectos ingleses que advirtieron la ironía de esta mala utilización de la arquitectura solar clásica, señalaba:

*Al pasar por delante del bello pórtico corintio al norte de la mansión suelo sonreír pensando en lo incongruente de la arquitectura griega aplicada a los edificios de este país...*

El renacimiento de los principios de orientación solar en Europa tiene interés pero nos llevaría muy lejos. He preferido en esta ocasión recorrer brevemente esa misma historia en la parte norte de este continente americano.

La arquitectura solar americana partía del legado vernáculo. Las tribus de indios Pueblos del sudoeste americano establecieron algunas comunidades solares altamente sofisticadas. Durante los siglos once y doce de nuestra era, los indios Anasazi construyeron un cierto número de grandes aldeas (algunas de ellas sobre el flanco de una meseta, otras en llanuras abiertas) que evidencian un alto grado de sensibilidad a los movimientos diarios y estacionales del Sol. Ruinas tan bien conocidas hoy como las de Casa Larga en Mesa Verde, y Pueblo Bonito en el norte de Nuevo México datan de este período clásico de la cultura Anasazi.

Es bien conocido el común origen lingüístico y cultural de los pobladores del continente americano, cuyo flujo principal (si no único) corrió de Norte a Sur. Si no hago mención de ejemplos más cercanos, peruanos en particular, no es porque no les considere importantes, muy por el contrario revelan mi propia ignorancia sobre la cultura de su país, tema del que espero aprender aquí más que enseñar.

La *ciudad del cielo* de Acoma constituye uno de los ejemplos más sofisticados de dicha arquitectura solar. Construida sobre lo alto de una meseta, como lo estuvo la ciudad griega de Olinto, Acoma consta de tres largas hileras de unidades de alojamiento orientadas sobre un eje Este-Oeste. Cada unidad de alojamiento se articula en dos o tres gradas dispuestas para permitir la plena exposición solar de cada vivienda en invierno. La mayoría de las puertas y ventanas abren al sur, y los muros están contruidos con adobe. El Sol incide sobre estos cerramientos meridionales absorbentes de calor mucho más directamente en invierno que en verano. Por contra, la techumbre horizontal de cada grada está contruida de paja y barro tendidos sobre un forjado de troncos y ramas de pino para aislar a las habitaciones inferiores del alto Sol de verano.

Figura 27: Vista general de Acoma.

Importa señalar que los principios solares no sólo atañen a cada vivienda en particular, sino que también ordenan el propio trazado de la ciudad, capaz de garantizar a todas las viviendas el acceso al Sol invernal. Este doble aspecto ya lo vimos en la arquitectura griega.

Los colonizadores españoles que se establecieron en el sudoeste de Estados Unidos solían construir de acuerdo con una planta solar. Sus alojamientos adoptaron la forma de casas separadas no muy distintas a las habituales en muchas partes de España. La típica casa colonial española era una construcción de adobe con orientación Este-Oeste y las habitaciones principales abiertas al sur. Los muros regulaban la temperatura, disminuyendo significativamente el salto término respecto al del espacio exterior. Las ventanas, plagadas generalmente de partes móviles, tales como contraventanas exteriores e interiores, permitían aprovechar o protegerse de las condiciones climáticas exteriores, según éstas fueran favorables o desfavorables. La casa podía abrirse o cerrarse según conviniera. La arquitectura colonial española no siempre sobrevivió a la afluencia de gringos del Este norteamericano. Con sus raíces ancestrales en Inglaterra y el resto de la Europa nórdica, estos inmigrantes no comprendieron la adaptación del adobe al medio, y con frecuencia sustituyeron estas construcciones por casas de madera más adecuadas al clima de Nueva Inglaterra.

En vivo contraste con la arquitectura vernácula americana, la gran inmigración de la segunda mitad del siglo XIX provocó el crecimiento rápido de ciudades como New York, Filadelfia, Boston o Baltimore, de forma paralela al crecimiento experimentado por las ciudades europeas. Las condiciones de estas ciudades eran tan malas como la de los inmundos y hacinados barrios obreros de las ciudades europeas. Viviendas de pésima calidad constructiva, orientadas de cualquier modo y faltas de ventilación adecuadas. Algunos arquitectos criticaron este estado de cosas y reivindicaron la obligación de que los alojamientos ofrecieran mejores condiciones ambientales que las del espacio exterior preurbano, es decir, que las condiciones propias del clima que los colonizadores se encontraron. El programa puede resumirse, una vez más, en la regla de sentido común: casas templadas en invierno y frescas en verano.

Sin embargo, el trazado urbano junto a las altas densidades propiciadas por la especulación inmobiliaria no permitían al arquitecto individual diseñar los edificios con la calidad ambiental como objetivo: los edificios de enfrente impedían el acceso al sol, un derecho reconocido desde antiguo del que eran desposeídos los nuevos urbanitas. Este problema básico, más urbano que edilicio, llamo poderosamente la atención del arquitecto William Atkinson, reformador de Boston. Atkinson percibió como "el rascacielos se beneficia de la luz... a expensas de los edificios más bajos y antiguos". Consiguio convencer al ayuntamiento de la importancia de garantizar el acceso al Sol de todos los edificios, y en breve la ciudad contó con nuevas leyes por las que se limitaba la altura de las nuevas construcciones.

Figura 28: Obstrucción solar de un rascacielos en Boston, Atkinson, ca. 1904.

En 1910 Atkinson se interesó también por la mejor orientación de las habitaciones vivideras (bajo el supuesto de que la forma y ordenanza urbana garantizaban el acceso del Sol a las fachadas). El problema era ahora estudiar el comportamiento respecto al Sol de cada una de las posibles fachadas. Los resultados para los meses de verano confirmarían su hipótesis de que las ventanas al Este y al Oeste recibían demasiado Sol estival. El 21 de junio, por ejemplo, una caja solar orienta al Este alcanzaba en su interior 47 grados centígrados a las 8 de la mañana; 27 grados más que la misma caja solar orientada al sur y 22 grados más que la temperatura exterior.

Figura 29: Carta de soleamiento de Atkinson.

Optimista sobre el potencial del calor solar, Atkinson publicó en 1912 un libro titulado *La orientación de los edificios, o proyectando para el Sol*. Pero la realidad no confirmó sus expectativas. Pocos arquitectos americanos siguieron sus ideas sobre el aprovechamiento de la orientación solar para obtener calefacción gratis en invierno. Los resultados de Atkinson fueron olvidados pronto.

Resulta irónico en todo caso que Atkinson redescubriera la técnica de orientación solar griega unos 2.500 años después de que fuera explícitamente formulada y además no se le hiciera ningún caso. Esto dice poco a favor de la veracidad de los objetivos declarados explícitamente por la ciencia y la técnica industriales.

El desarrollo de la arquitectura solar en algunas de las tendencias del Movimiento Moderno europeo, y en particular la tarea de divulgación del *Royal Institute of British Architects* (RIBA) originaron una nueva ola de interés en los años treinta. Las cartas e instrumentos solares prendieron rápidamente en Europa, abriéndose pronto paso a los estudios de urbanistas americanos como Henry Wright, quien propugnaba el uso de esta información para determinar cómo obtener el máximo provecho del calor solar.

Su hijo Henry N. Wright continuó los trabajos de su padre, con el objetivo de determinar exactamente cuánto calor podía ganar un edificio en New York durante las diferentes estaciones con sus ventanas abiertas a diversas orientaciones. Wright abordó la relación entre orientación de ventana y calor en el edificio aplicando la información meteorológica de New York a la publicada por el RIBA sobre exposición solar. Como Atkinson y muchos otros a ambos lados del Atlántico creían haber "descubierto" antes, la orientación sur resultó ser la mejor para el calentamiento invernal y confort en verano. Mediante sus publicaciones, Wright ponía este mensaje al alcance de miles de lectores.

Figura 30: Soleamiento, orientación y confort, Henry N. Wright, 1938.

Al tiempo que se sucedían tales estudios teóricos, el arquitecto George Fred Keck comenzaba a poner en práctica la arquitectura solar. Keck no sabía nada de la arquitectura solar griega o romana, ni tampoco había oído mencionar los trabajos de Atkinson o las modernas comunidades solares de Europa. Pero un día de invierno Keck tuvo una experiencia que le convencería de una vez por todas de la utilidad del vidrio como ayuda a la calefacción doméstica. Durante una visita de obra a una de las casas que construía advirtió que:

*Los obreros estaban dentro ocupándose de los acabados. Era en enero o febrero... y el Sol brillaba muy intensamente, había como una docena de obreros en camisa, sin chaqueta. Y no obstante estábamos sin calefacción, porque no habían instalado aún la central. La temperatura exterior era inferior a los 0 grados centígrados y los hombres estaban allí dentro tan confortables sólo en*

*mangas de camisa ¡y era por el calor del sol!*

Quedó tan asombrado que pronto acarició la idea de utilizar el vidrio para retener la energía solar como calefacción doméstica. Ignorante de los estudios disponibles en 1932, realizó los propios y llegó a la conclusión de siempre: un cerramiento acristalado orientado al sur y bajo aleros era el que más confort proporcionaba a lo largo de todo el año.

Careciendo de acceso a los medios de financiación institucional, Keck sólo podía ensayar su teoría en las viviendas que normalmente proyectaba para clientes particulares. Según sus propias palabras: "Construíamos cada año una casa pequeña para alguien, y cada vez ensayábamos el orientarla hacia el Sol y abrir más y más cristal al sur". Sus diseños de casas solares fueron integrando poco a poco los distintos elementos del clima, tales como la protección frente a los vientos fríos del Norte, la protección solar al Este y, sobre todo, al Oeste, la ventilación cruzada capaz de aprovechar brisas suaves en verano, etc. Todos estos detalles se aparecían claramente en la forma típica de la planta de sus proyectos.

Figura 31: Casa Howard Sloan, diseño solar de Keck, 1940.

Tras la Segunda Guerra Mundial este género de principios llegó a popularizarse en cierta medida, hasta el punto de convertirse en mercancía, tal y como puede verse en los anuncios de publicidad de revistas tales como la *Popular Science*. Este renacimiento de la arquitectura solar reavivó asimismo la controversia de los ingenieros sobre la efectividad de los huecos acristalados orientados al sur. Esta controversia tuvo su origen en las casas todo cristal de algunas de las tendencias más "radicales" del Movimiento Moderno y del Estilo Internacional, en las que grandes superficies acristaladas aparecían en cualquier orientación, provocando enormes ganancias de calor en verano y cuantiosas pérdidas en invierno, con la consiguiente necesidad de equipos tanto de calefacción como de refrigeración. Sin embargo, quien quiera que usará el vidrio en conjunción con la orientación adecuada obtenía siempre buenos resultados.

Figura 32: Propaganda de casas solares en *Popular Science*, 1945.

Poco a poco los arquitectos interesados en el concepto de casa solar fueron reinventando las persianas, cortinas, contraventanas y toldos que podían reducir las pérdidas de calor en las noches invernales, o la ganancia en los días estivales. Todavía más, Arthur Brown creyó descubrir por vez primera la utilidad del color negro en los muros interiores tras una cristalera orientada al sur, en realidad un principio ya explicitado por Paladio en su tratado del siglo IV.

Figura 33: Casa Tucson, diseño solar de Brown, 1945.

A pesar de tales mejoras, la construcción solar comenzó a desfallecer a fines de los años cuarenta, en parte porque la ética del ahorro propia del período de guerra se había desvanecido rápidamente. Con la energía de origen fósil cada vez más barata, a poca gente importaba la contribución del Sol a rebajar las facturas por calefacción.

De hecho, las casas orientadas solarmente continuaron gozando de popularidad durante un tiempo entre los ricos, que podían costearse un arquitecto versado en las técnicas de la calefacción solar y la refrigeración natural. Las casas solares diseñadas por encargo florecieron de Maine a California, y de Texas a Canadá durante los últimos años cuarenta. Sin embargo, finalmente, la creciente popularidad de la calefacción y los sistemas de ventilación mecánicos (reforzada por los precios en permanente caída de los combustibles) llevaría a una pérdida de interés casi total por la arquitectura solar para finales de los años

cincuenta.

## Calefacción solar

El esquema histórico que he examinado con algún detalle en el caso de los motores solares, del agua caliente solar y de la propia arquitectura solar se repite del mismo modo con la calefacción solar, aunque en este caso el examen será breve para evitar repeticiones innecesarias.

El uso de colectores solares para calefacción doméstica no era totalmente nuevo. El primer caso registrado se remonta a los años 1880, cuando Edward Morse, botánico y etnólogo de reputación mundial, empleó una caja caliente para este fin. Morse había observado que al correr unas cortinas oscuras tras una ventana soleada, éstas se calentaban en extremo, produciéndose corrientes de aire templado entre las mismas y los cristales. Así pues, ¿por qué no aplicar el mismo principio a la calefacción de una estancia o de una casa? Como modelo de ensayo de su teoría, Morse construyó un primer aparato: apenas una caja caliente adosada al muro sur de un edificio, con aberturas que permitían al aire exterior penetrar en ella y al aire calentado solarmente escapar a las habitaciones. A principios de 1882, el primer calentador solar de aire de Morse es instalado en el Museo Peabody de Salem. *Scientific American* lo calificaría de "ingenioso dispositivo para la aplicación del calor de los rayos solares a la calefacción de nuestras casas... y sin embargo tan simple y autónomo que uno se pregunta cómo no ha sido usado siempre". A pesar de esta publicidad y del éxito práctico obtenido, su idea permanecería en el olvido durante medio siglo.

Figura 34: Calentador solar de Morse, 1881.

El otro gran hito de la calefacción solar son las casas experimentales del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), bien conocidas.

En 1938, los ingenieros de esta vanguardista institución americana recibieron fondos por valor de 650.000 dólares para iniciar una investigación sobre el uso de colectores solares para calefacción doméstica. El programa fue dirigido por Hoyt Hottel, con la ayuda de Byron Woertz, a la sazón estudiante graduado. Hottel era conocedor de los muchos logros anteriores en el campo de la energía solar y se proponía comprobar científicamente sus posibilidades para la calefacción doméstica. Decidió primero estudiar el colector plano; el mismo que se había empleado con éxito en California para calentar agua destinada a usos domésticos.

El equipo investigador abordó un riguroso estudio científico de la viabilidad técnica y económica de una calefacción basada exclusivamente en la energía solar. Su primera tarea fue construir un pequeño edificio que sirviera de laboratorio experimental. Como curiosa anécdota hay que decir que el arquitecto y el constructor emplearon una brújula magnética no corregida para determinar la posición del norte geográfico (en vez de emplear el Sol como antiguo); como resultado el edificio se desvió 7 grados del verdadero Sur.

Figura 35: Primera casa solar del MIT

Concluido el edificio, se instalaron 14 colectores planos sobre el faldón sur de su cubierta con una inclinación de 30 grados respecto a la horizontal. El agua caliente era bombeada hasta la cumbre de la vivienda, desde donde se enviaba hasta un depósito acumulador de 66.000 litros que ocupaba totalmente el sótano. El aire frío era extraído de las habitaciones mediante ventiladores y era insuflado al depósito caliente. Una vez templado el aire retornaba a las habitaciones, calentando el edificio. En consecuencia el

sistema era "activo", necesitando aporte de energía eléctrica para accionar las bombas y ventiladores que transportaban el calor. A diferencia de las casas solares de Keck y del calentador solar de aire de Morse, el sistema no era capaz de funcionar sin aporte energético externo.

Desde un punto de vista técnico, los resultados del experimento fueron por lo general positivos; con ayuda de los colectores solares el laboratorio mantuvo una temperatura constante de 23 grados durante todo el invierno. Sin embargo, los resultados del análisis económico fueron inequívocamente desfavorables. Aparte de demostrar su propia viabilidad técnica, el experimento dio a conocer importantes datos. El informe de Hottel y Woertz es considerado todavía como un clásico en el tema. Ambos ingenieros destacaron los principales factores incidentes sobre el rendimiento del colector solar: inclinación del dispositivo sobre la cubierta, transmisión lumínica de las tapas de cristal, pérdida de calor por las otras cinco paredes opacas del colector, tipo de material absorbente utilizado y varios otros aspectos esenciales. En realidad, todos estos conceptos ya habían sido apreciados por los anteriores inventores, de manera que hay que concluir que el artículo de Hottel y Woertz es clásico por haber empleado el lenguaje científico en su exposición, con las necesarias ecuaciones de estado del colector solar y demás parafernalia. Así, por citar un ejemplo, la investigación del MIT demostró que la eficacia del colector plano se reduce al aumentar la diferencia de temperatura entre la placa absorbente y el aire exterior, hecho bien conocido con anterioridad y que había sugerido el empleo de sistemas de baja temperatura en los motores solares. De otra parte, un sorprendente descubrimiento fue que la suciedad y el hollín en suspensión aérea afectan escasamente al rendimiento del colector.

Las dificultades de índole económica del primer experimento del MIT sugirieron a otros investigadores usar el propio aire como agente transmisor del calor, un poco en la línea inicial del sistema de Morse. Tal es el caso del sistema de George Löf, instalado en su propia casa durante la Segunda Guerra Mundial. El sistema de acumulación empleado fue en esta ocasión piedra machacada, guardada bajo el suelo y aislada. El sistema consiguió suministrar un tercio de las necesidades de calor de la casa durante un invierno. El resto de la energía era suministrado por un sistema de calefacción de aire, enteramente convencional. El colector solar con aire tenía la ventaja evidente de acoplarse sin dificultad a los equipos habituales de calefacción en aquella época.

Muchos otros experimentos de este género tuvieron lugar en el MIT y en otros lugares. En 1958, el equipo de investigación solar del MIT construyó su cuarta casa solar: un alojamiento de nueva planta levantado en Lexington, Massachusetts. Nuevamente, los investigadores utilizaron agua caliente solar para templar la casa. Pero en esta ocasión sólo aproximadamente un 50 por ciento del calor necesario era suministrado por el Sol. El personal del MIT llevaría a cabo un análisis económico sumamente sofisticado de este sistema: sobre la base del bajo costo de los combustibles fósiles en aquellos años calcularon que los costos del sistema de calefacción solar deberían reducirse en un 80 por 100 si se aspiraba a lograr un período de amortización de diez años.

Pese a tales opiniones pesimistas, los años de investigación habían demostrado la viabilidad técnica de la calefacción doméstica solar para edificios situados en climas fríos. El único obstáculo insalvable era el elevado costo, siempre económico.

Figura 36: Cuarta casa solar del MIT.

## Perspectivas de posguerra

El resto de esta historia hasta nuestro días es, por un lado bastante compleja, y por otra suficientemente conocida como para que no quepa ni siquiera resumirla en esta ocasión.

Baste señalar que hasta las sucesivas crisis en los precios del petróleo, las sociedades industriales se lanzaron tras la senda del crecimiento económico indefinido, amparadas en una abundancia de recursos y sustentadas por un consumo energético siempre en crecimiento. Al mismo tiempo, en otros lugares y con otras condiciones (Israel, Australia o Japón) la energía solar en cualquiera de sus formas experimento sucesivos períodos de auge acompañada siempre por un temor local a la escasez futura de combustibles. Tal es el caso de Israel, siempre temeroso de un corte en el suministro de petróleo, dada su posición geográfica.

Figura 37: Calentador solar corriente en Australia.

Además del petróleo, la pesadilla de la energía nuclear vino a constituirse en la fuente de energía barata e inagotable, capaz de desanimar al más optimista de los investigadores solares.

Como contraste, nótese que la carrera de armamentos si que propició (sin importar ningún criterio sobre el coste económico en esta ocasión) una investigación extensa sobre la energía solar, en particular sobre la energía fotovoltaica; cuyo uso todavía no ha llegado a ser popular debido como siempre a un problema de coste económico.

Figura 38: Propaganda acerca del crecimiento indefinido de la oferta de energía fósil.

## Conclusión

Una y otra vez, la escasez de combustible en algún tiempo o lugar ha estimulado la búsqueda de alternativas energéticas, espoleando los avances de la arquitectura y la técnica solar. Pero esta misma energía es tildada de antieconómica y desdeñosamente marginada cada vez que se descubría una nueva fuente de combustible abundante.

La cuestión del abastecimiento de combustible en la actualidad nos recuerda a la situación vivida en la Grecia y Roma antiguas. Mientras que los combustibles convencionales siguen agotándose y encareciéndose sólo relativamente, las alternativas parecen limitadas. Todas las nuevas técnicas (extracción de petróleo de arena o de esquistos bituminosos, la producción de fuel-oil sintético, la energía nuclear), presentan numerosos problemas ecológicos (e incluso económicos).

El Sol es, sin embargo, una fuente probada de energía capaz de satisfacer indefinidamente a muchas de nuestras necesidades energéticas, de hecho a todas, si pudiéramos o supiéramos adaptar nuestras necesidades a los recursos disponibles en nuestro rededor. Resulta asombroso el hecho de que la más eficiente de las técnicas solares, la arquitectura solar pasiva, haya sido redescubierta innumerables veces, para volver a ser olvidada.

El Sol podría ser la fuente energética práctica y abundante de la que dependiera la civilización el día en que se agoten los actuales suministros de combustibles fósiles. Y quizás nos encontremos en el umbral de una perdurable y estable era solar. La historia ofrece numerosas lecciones que facilitarían esa quizá

deseable transición a una nueva era.

Lo cierto es que los navíos romanos navegando por el Mediterráneo en busca de leña han sido sustituidos por los petroleros rumbo al Golfo Árabe; su objetivo es el mismo. Mientras tanto el Sol todavía nos calienta, aun cuando los bosques del Norte de África desaparecieran hace largo tiempo. Y seguirá calentando a las generaciones futuras después de que los pozos de gas y petróleo se hayan vaciado, y sea lo que sea de nuestra actual civilización.

Por ello lo más reseñable de esta historia reside en aquellas características que propiciaron que los seres humanos se interesaran, fabricaran y emplearan técnicas solares y aquellas otras que propiciaron lo contrario.

Entre las primeras pueden enumerarse algunas: la autonomía individual, el uso local, el interés por el conocimiento. Entre las últimas sólo encontramos una: *una* particular visión económica del mundo, que utiliza la moneda como vara universal de medida.

Estas características favorables y desfavorables al desarrollo de técnicas autónomas y sostenibles no son exclusivas de la arquitectura solar. Por el contrario, la historia de muchas soluciones o problemas arquitectónicos e ingenieriles conducen a conclusiones similares.

La búsqueda de nuevas claves de comprensión ha ido surgiendo en muy diversas áreas de conocimiento, según los ideales de la Revolución Industrial se han mostrado incapaces de explicar el devenir histórico, de entender como técnicas eficientes se veían sustituidas por técnicas problemáticas (pero económicamente rentables para algunas partes del planeta).

Esta búsqueda de nuevas claves exige salir fuera del marco estrictamente arquitectónico, dando sentido nuevo a palabras tópicas como "interdisciplinar" adjetivo muchas veces empleado, pero vacío también de más contenido que el de mezclar distintos titulados en las portadas de los trabajos. Esta "salida hacia fuera" cuadra también con la vocación generalista, de la arquitectura. Quizá tras realizarla, podamos encontrar respuestas detalladas a estos sucesivos pasos atrás de técnicas eficientes, tal y como la técnica solar.

## Referencias

*Butti, Ken et John Perlin* (1980) **A golden thread**. (Se cita la versión castellana: Un hilo dorado. Madrid: Blume, 1985) .

*Esquilo* (1993!) **Tragedias completas**. (Madrid: Cátedra) .

*Gille, Bertrand* (1980) **Les mécaniciens grecs**. (Éditions du Seuil. (Se cita la tr. castellana: La cultura técnica griega. Barcelona: Juan García Ediciones, 1985).)

*Maunder, W.J.* (1988) **The human impact of climate uncertainty**. (London: Routledge) .

*Naredo, José Manuel* (1987) **La economía en evolución**. (Madrid: Siglo XXI Ediciones) .

*Paladius* (1990!) **De Re Rustica**. (Madrid: Ed. Gredos. Tr. castellana: Tratado de agricultura. Medicina Veterinaria. Poema de los injertos. por Ana Moure Casas) .

*Pou, Antonio* (1992) "**Cambio climático y referencia a la degradación de suelos**". (Ecosistemas, n.3) .

*Vázquez Espí, Mariano* (1986) "**Siete malentendidos alrededor de la arquitectura vernácula**" (en La tierra, material de construcción. Soria: Interacción, pp. 199-210.)

*Vázquez Espí, Mariano* (1997) "**Los límites de la técnica**". (Boletín de la Biblioteca Ciudades para un futuro más sostenible, número 3 <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n3/amvaz.html>) .

*Vitruvio* (1970!) **Los diez Libros de Arquitectura**. (Barcelona: Editorial Iberia, tr. directa del latín por Agustín Blazquez) .

Fecha de referencia: 30-4-1999

---

1: Este texto es en realidad un extenso resumen de la obra *Un hilo dorado* [**Butti & Perlin , 1980**]. La única aportación que podría considerarse original consiste en resaltar la tesis principal tal y como se enuncia al principio. La persona interesada debiera acudir a la obra citada. Para entender algunas referencias geográficas, el lector debe situarse en la ciudad de Lima en Perú, donde inicialmente fue dictada la conferencia. Cuatro años después, casi al borde del Mediterráneo he revisado y corregido muy ligeramente el texto original.

---

2: Véase [**Pou , 1992**]. Medio siglo antes Tyndal había ya sugerido la línea de investigación y la conclusión, aunque no llegó a ningún resultado cuantitativo, véase [**Maunder , 1988**].

---

3: Un tema, merecedor de estudio aparte, es la influencia que las técnicas de energía solar preindustrial tuvieron en el éxito de la Revolución Industrial: ¿hubiéramos asistido al nacimiento de la máquina de vapor sin el desarrollo y progreso de fuentes de energía previas como las norias, los molinos de viento, etc? A fin de cuentas, el contexto técnico preindustrial es impensable sin la proliferación de fuentes energéticas que son solares indirectamente, y sin este contexto el nacimiento de la Revolución Industrial resulta difícil de imaginar: no parece que la máquina de vapor pudiera surgir en una sociedad campesina o recolectora...

---

4: "The Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors", *American Society of Mechanical Engineers Transactions*, febrero de 1943, pp. 91-104.

---

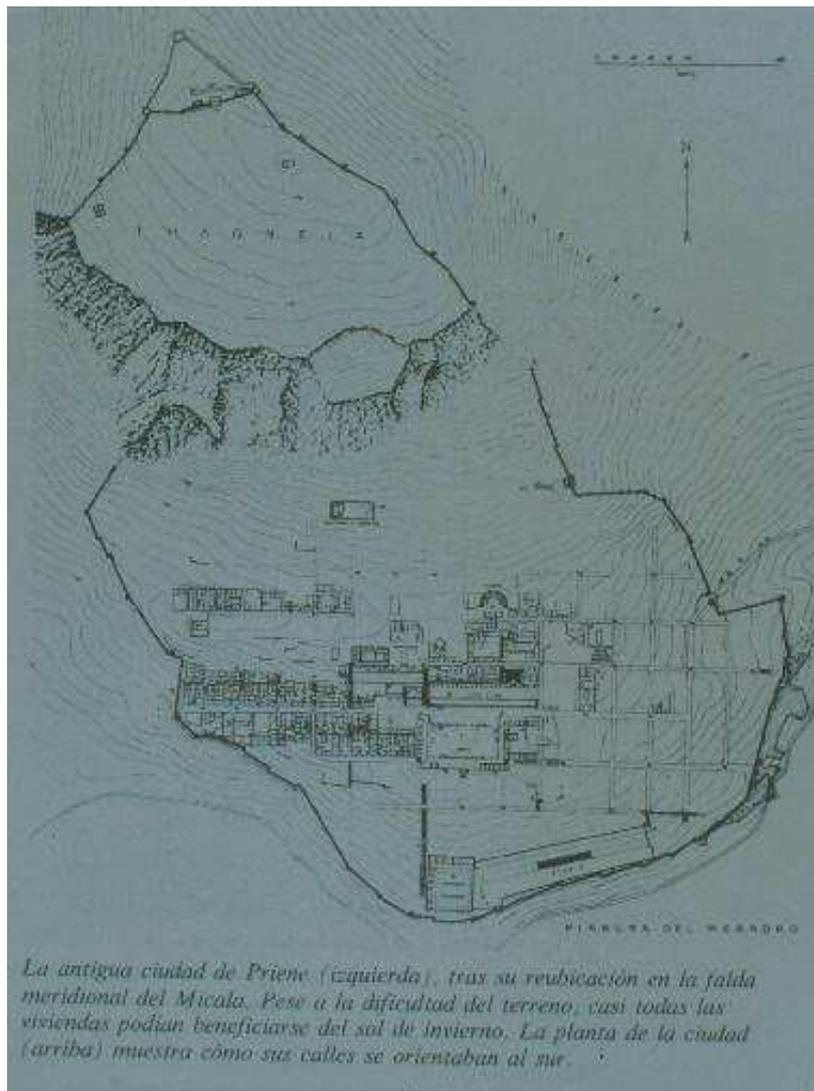
5: Cómo y cuándo la arquitectura popular fue sustituida por la construcción moderna apoya la misma tesis que se resalta aquí, véase [**Vázquez , 1986**] y [**Vázquez , 1997**].

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i1amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## La ciudad de Priene



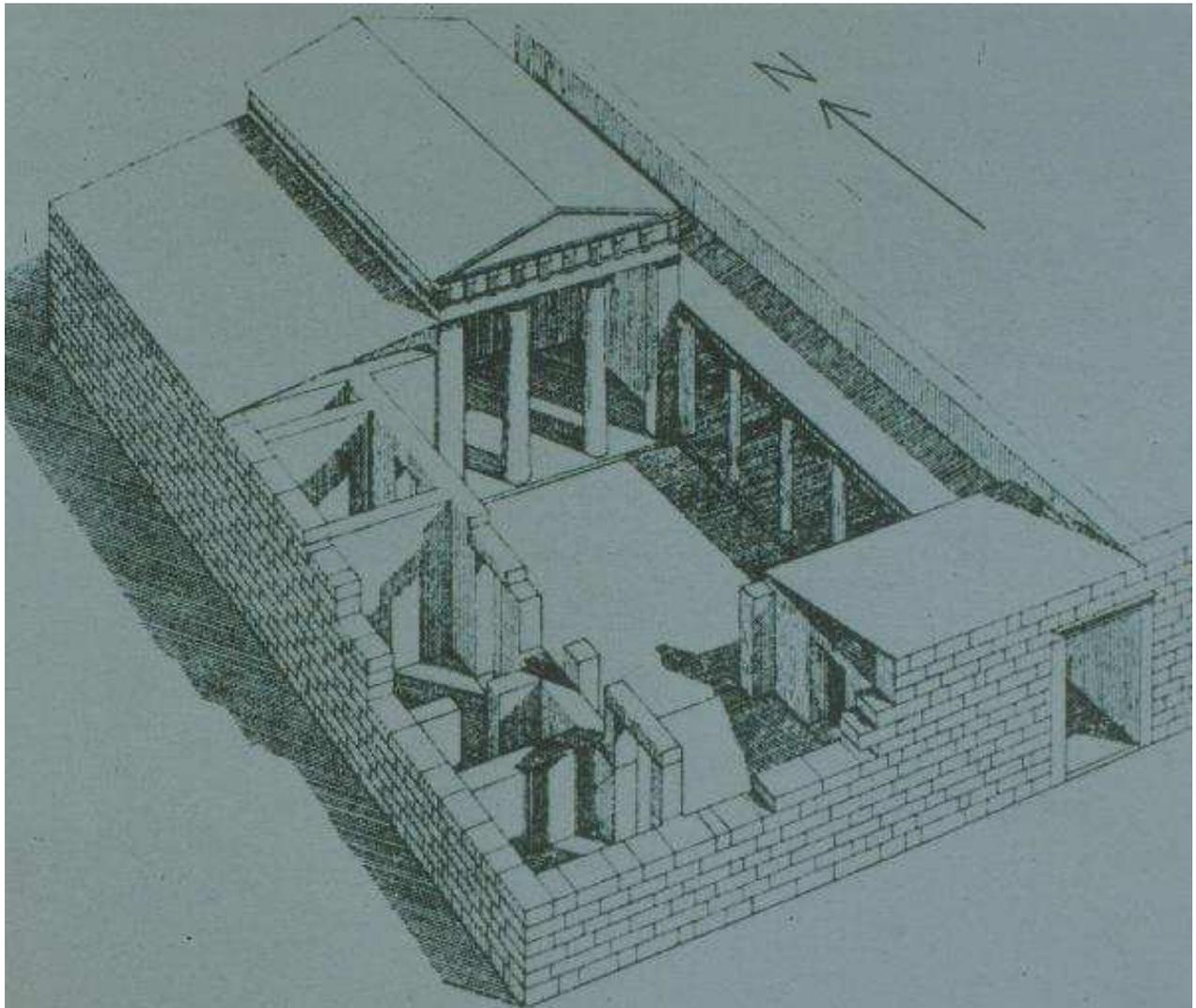
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i1amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i2amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Reconstrucción de una casa en Priene



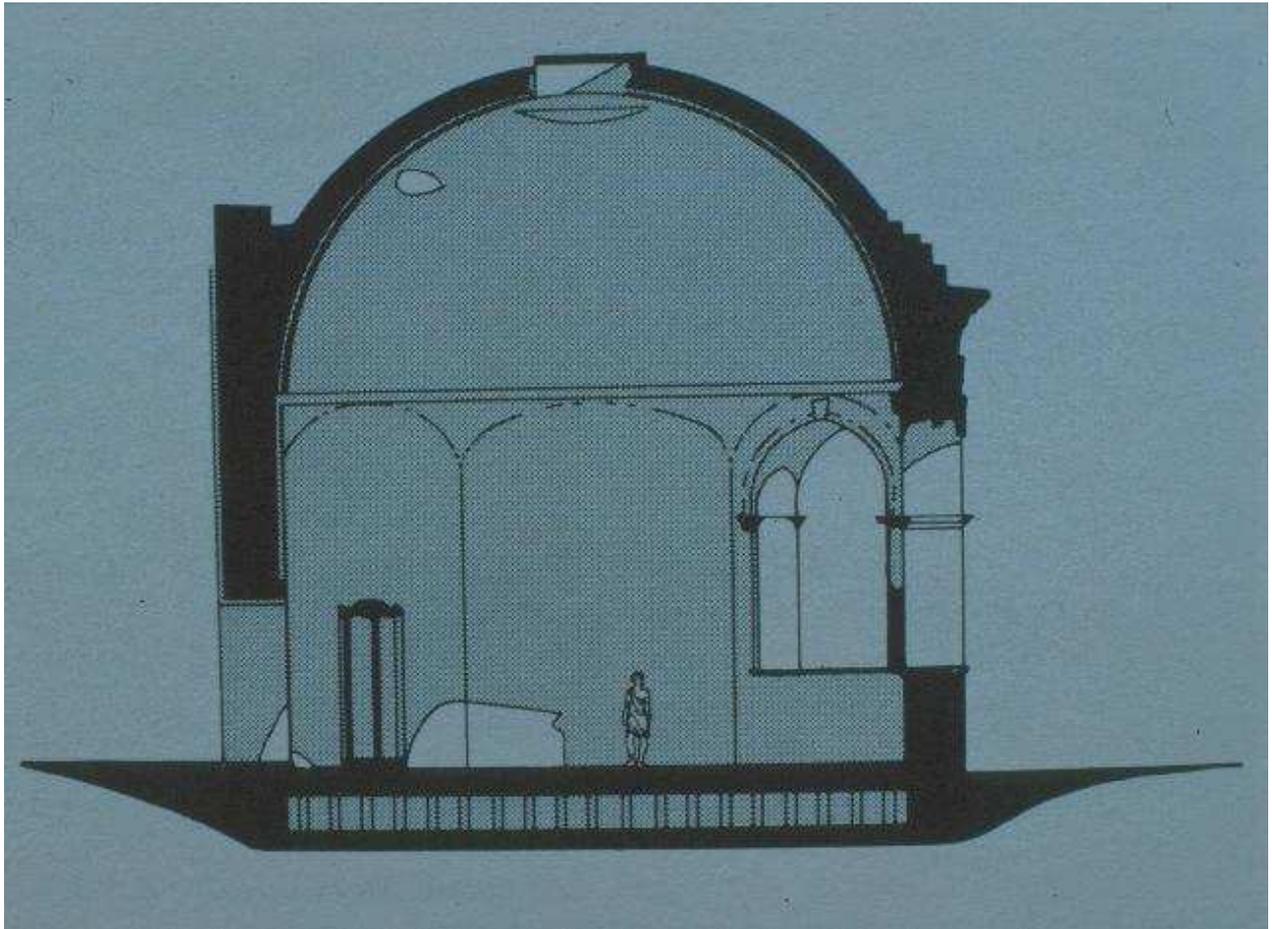
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i2amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i3amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Heliocaminus romano en Ostia



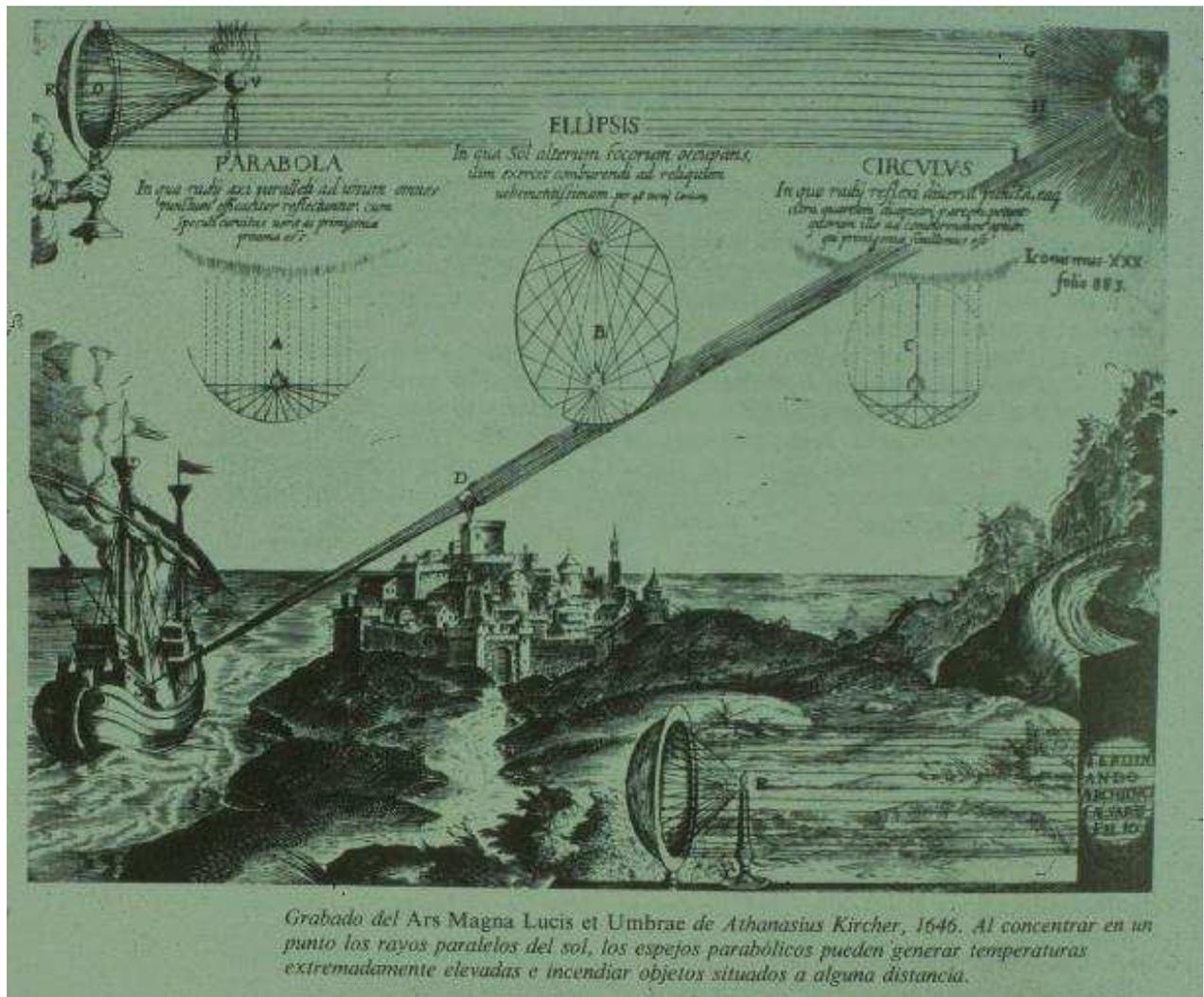
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i3amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i4amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Lamina del Ars Magna Lucis et Umbrae de Atanasius Kircher, 1646



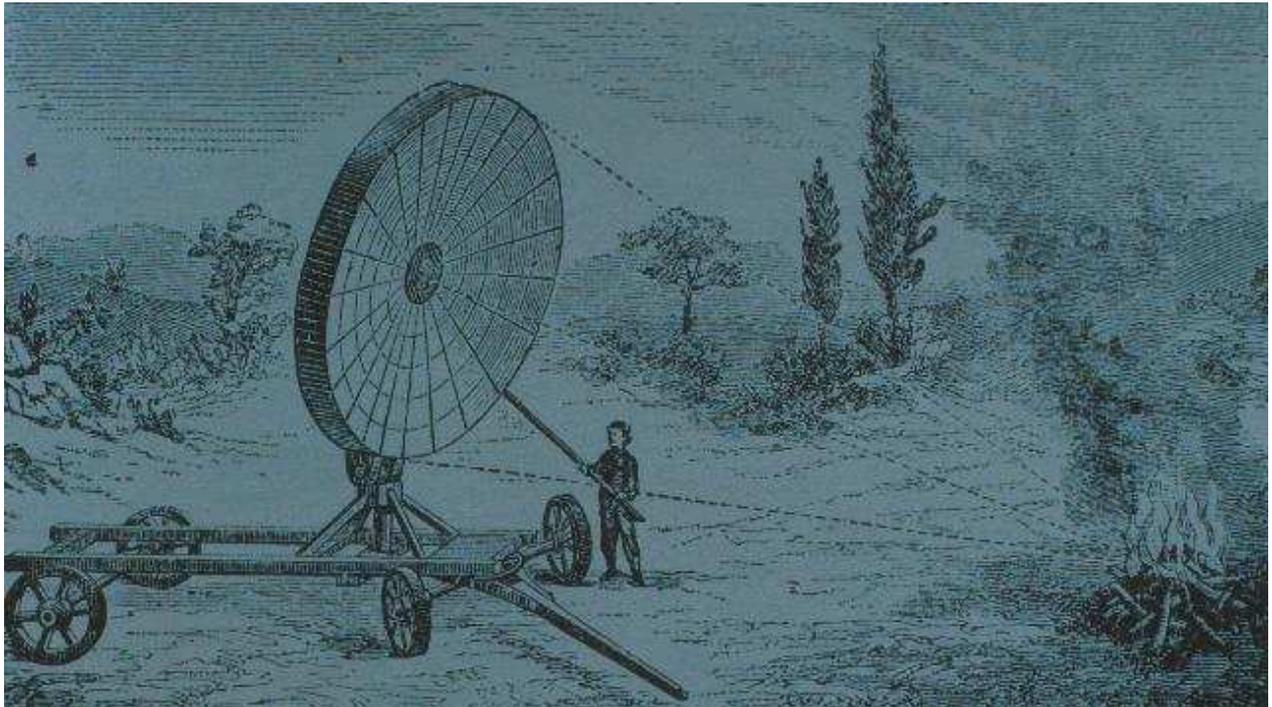
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i4amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i5amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Espejo incendiario de Hoesen, siglo XVII



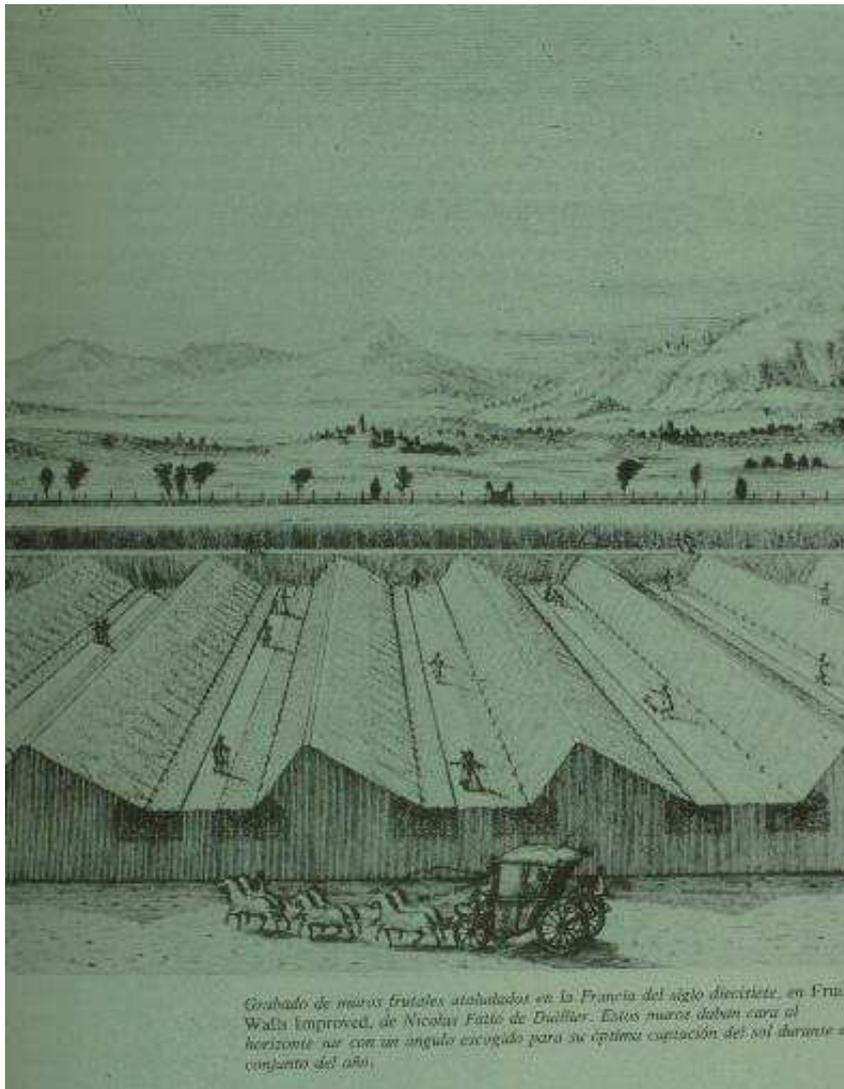
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i5amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i6amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Huertos frutales "solares", Francia, siglo XVII



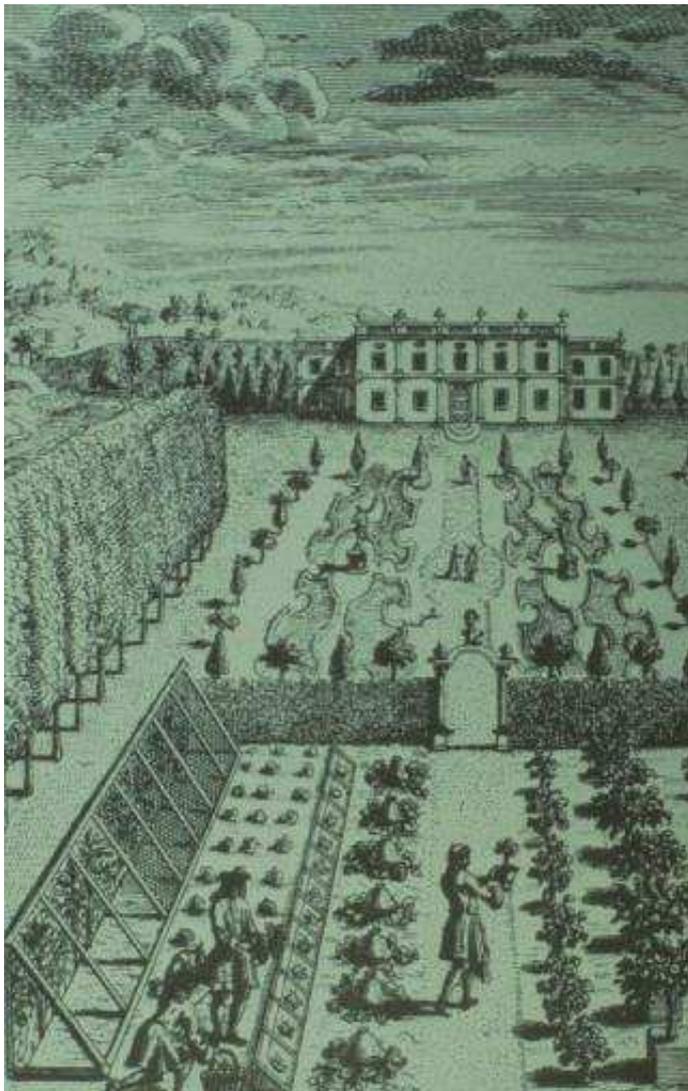
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i6amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i7amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Colectores solares de vidrio, Inglaterra, siglo XVIII



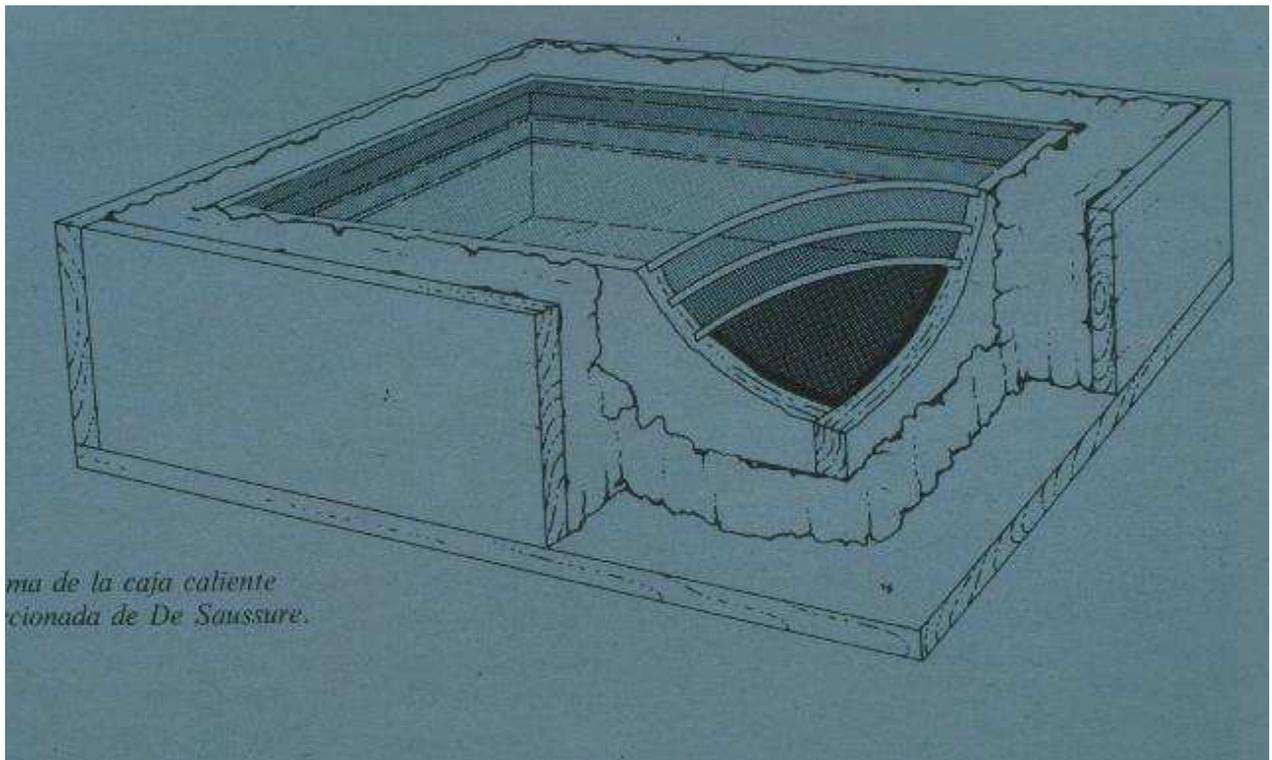
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i7amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i8amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Caja caliente de Saussure, 1767



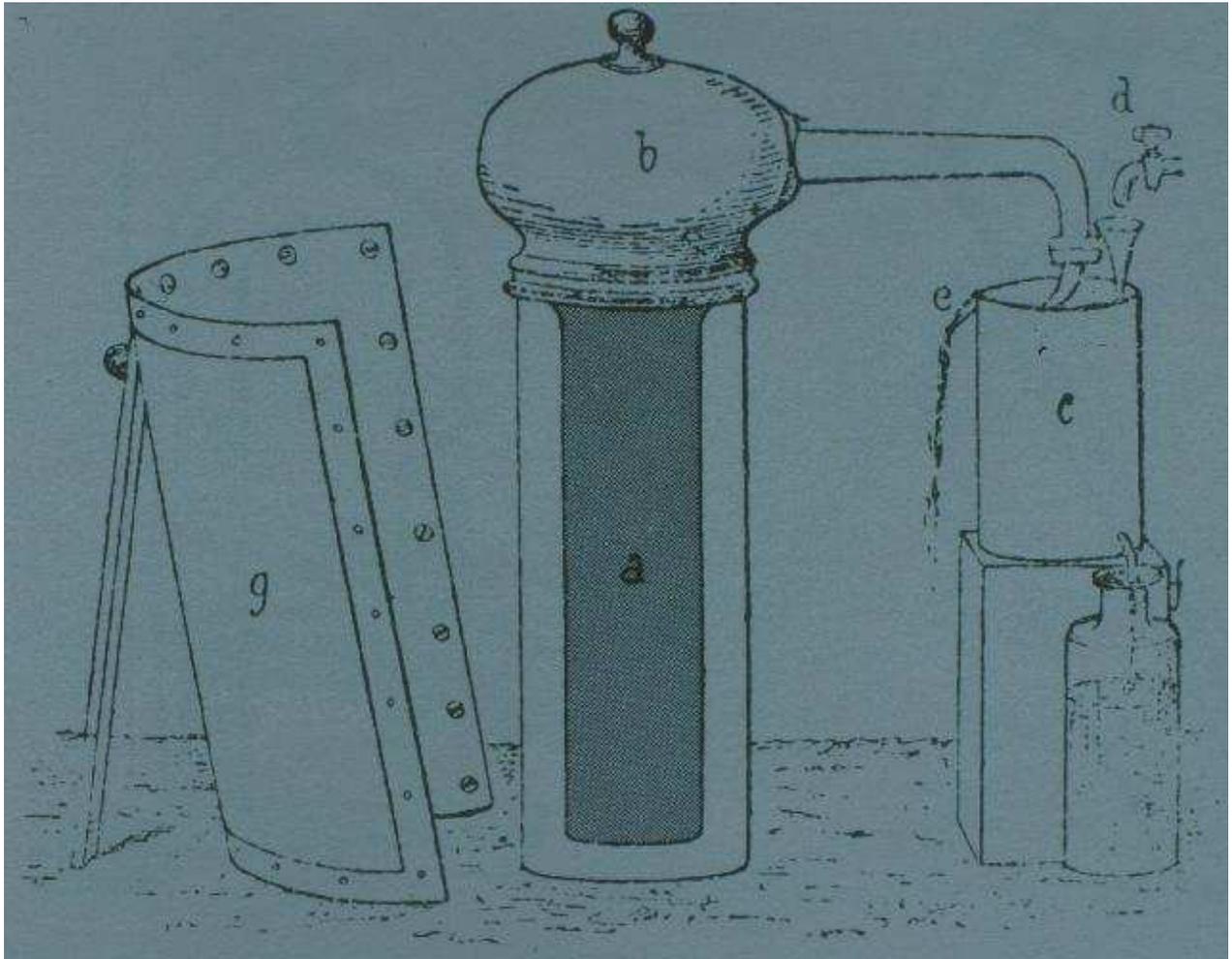
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i8amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i9amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Alambique solar de Mouchot



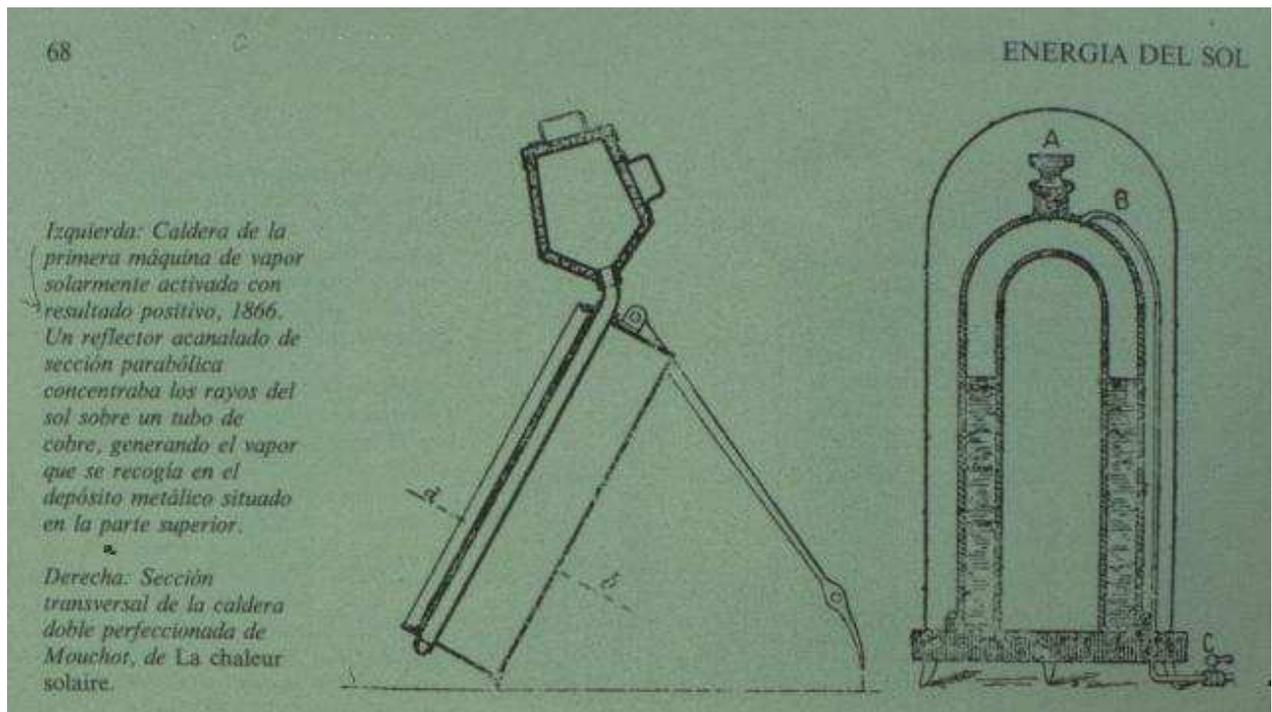
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i9amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i10amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Primera máquina solar de Mouchot, 1866



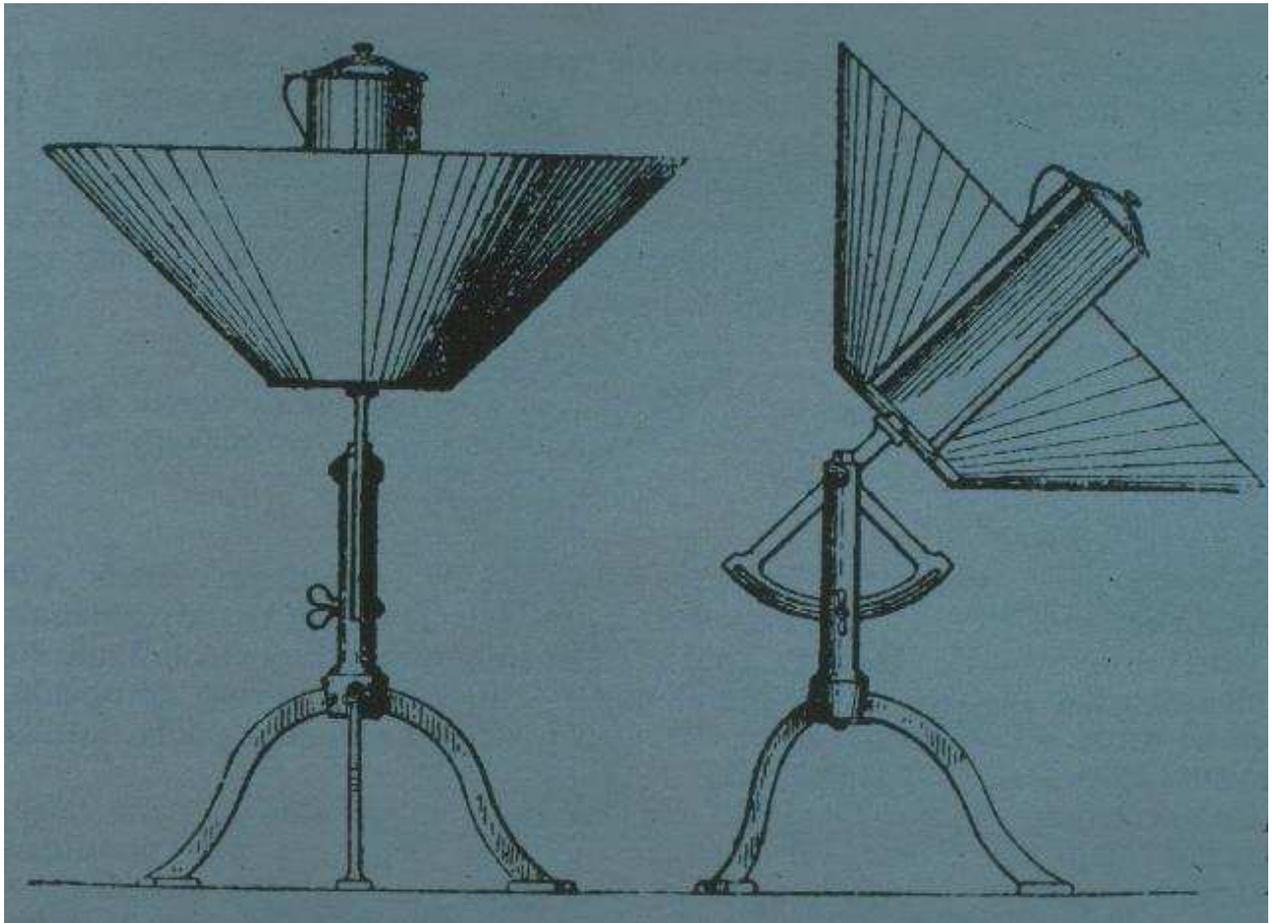
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i10amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i11amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Cocina solar portátil del ejército francés debido a Mouchot



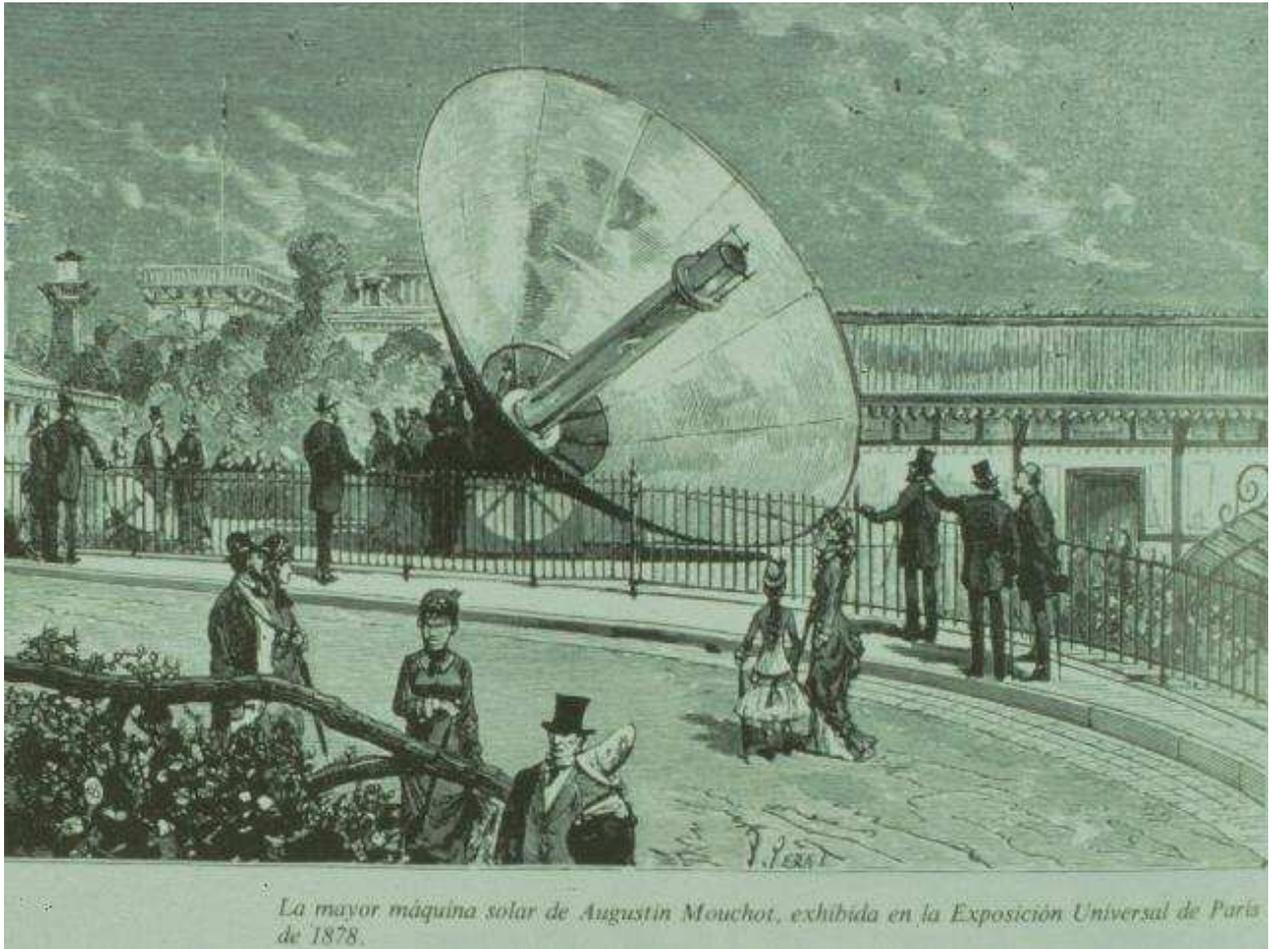
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i11amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i12amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Máquina solar de Mouchot, 1878



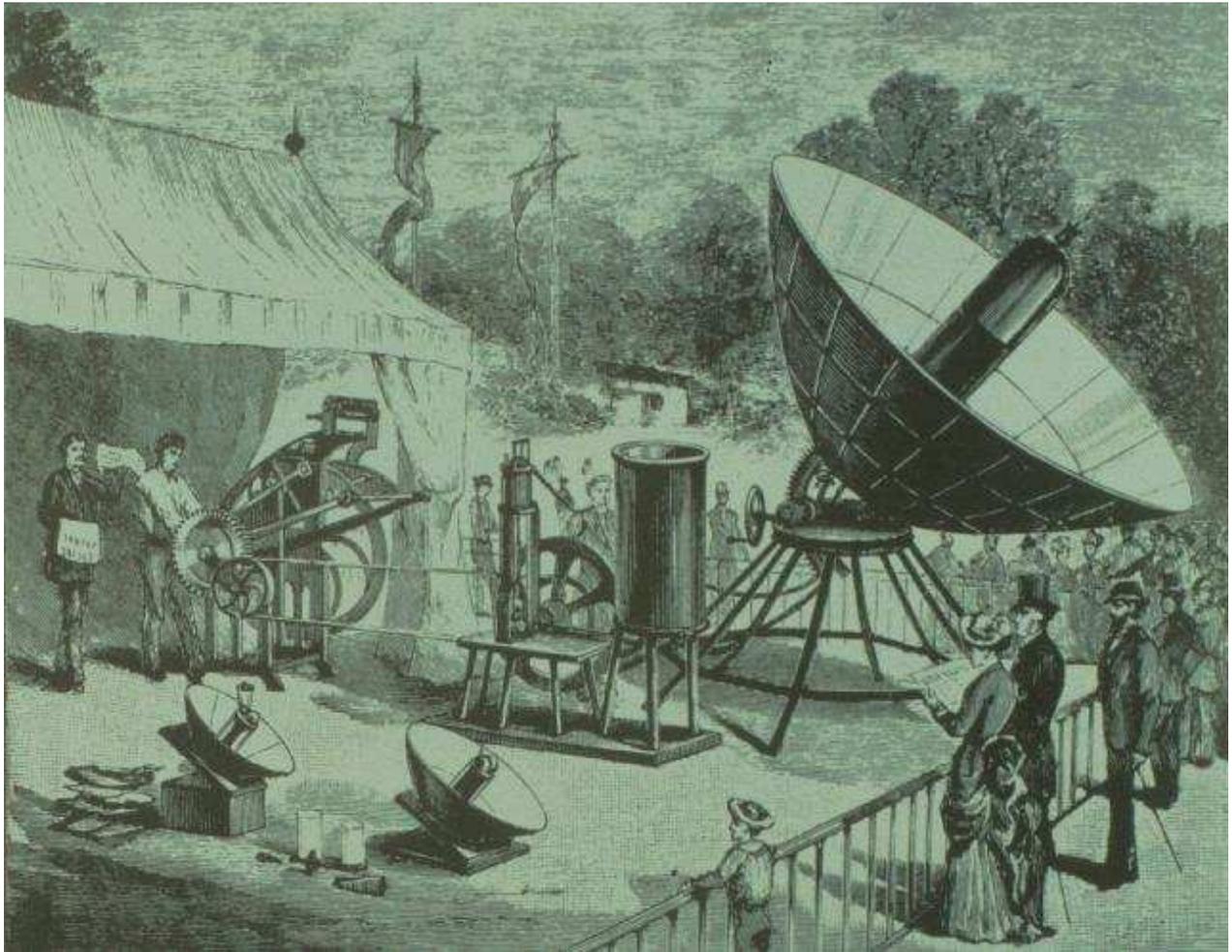
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i12amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i13amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Imprenta solar de Abel Pifre



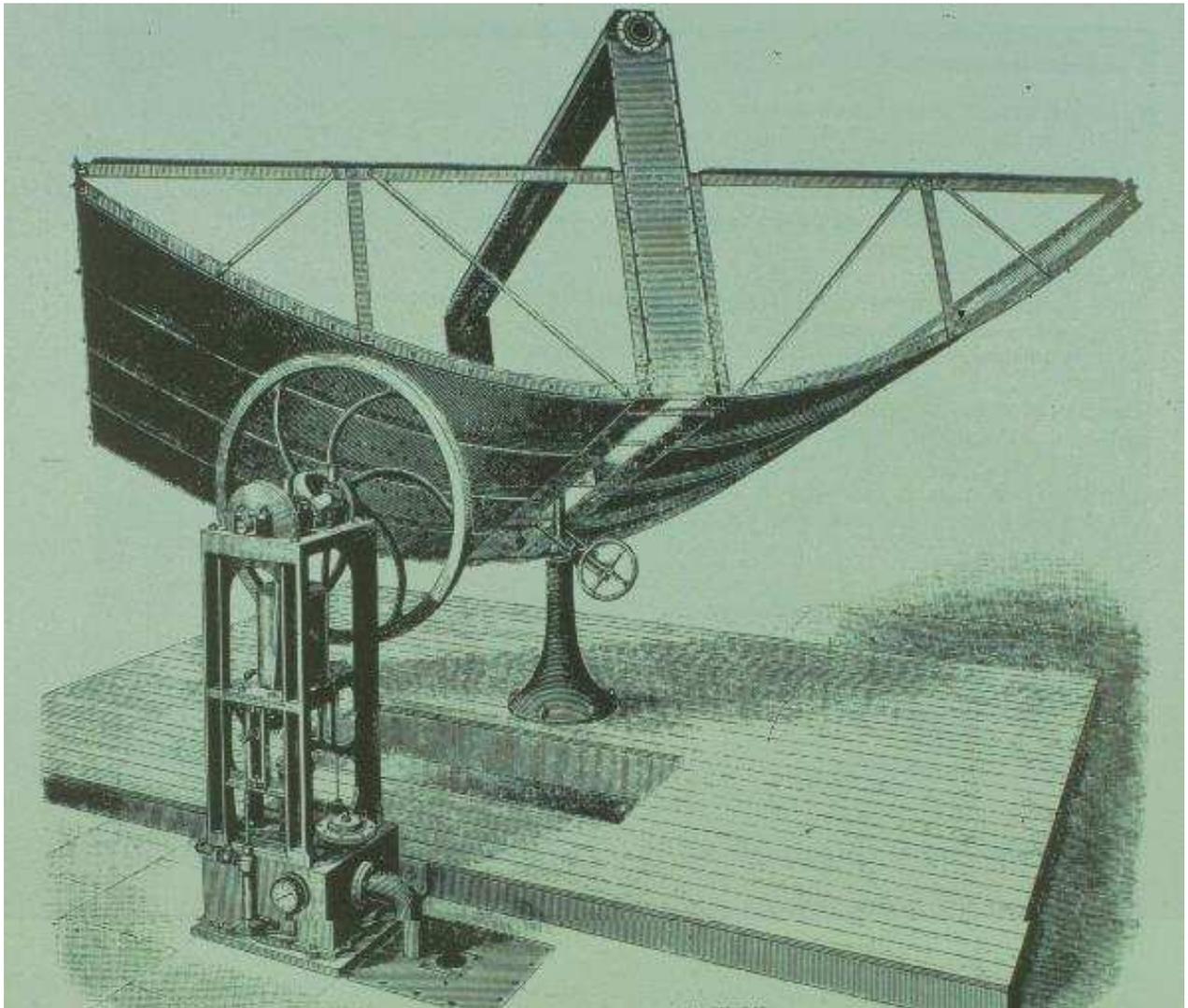
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i13amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i14amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Motor solar de Ericsson



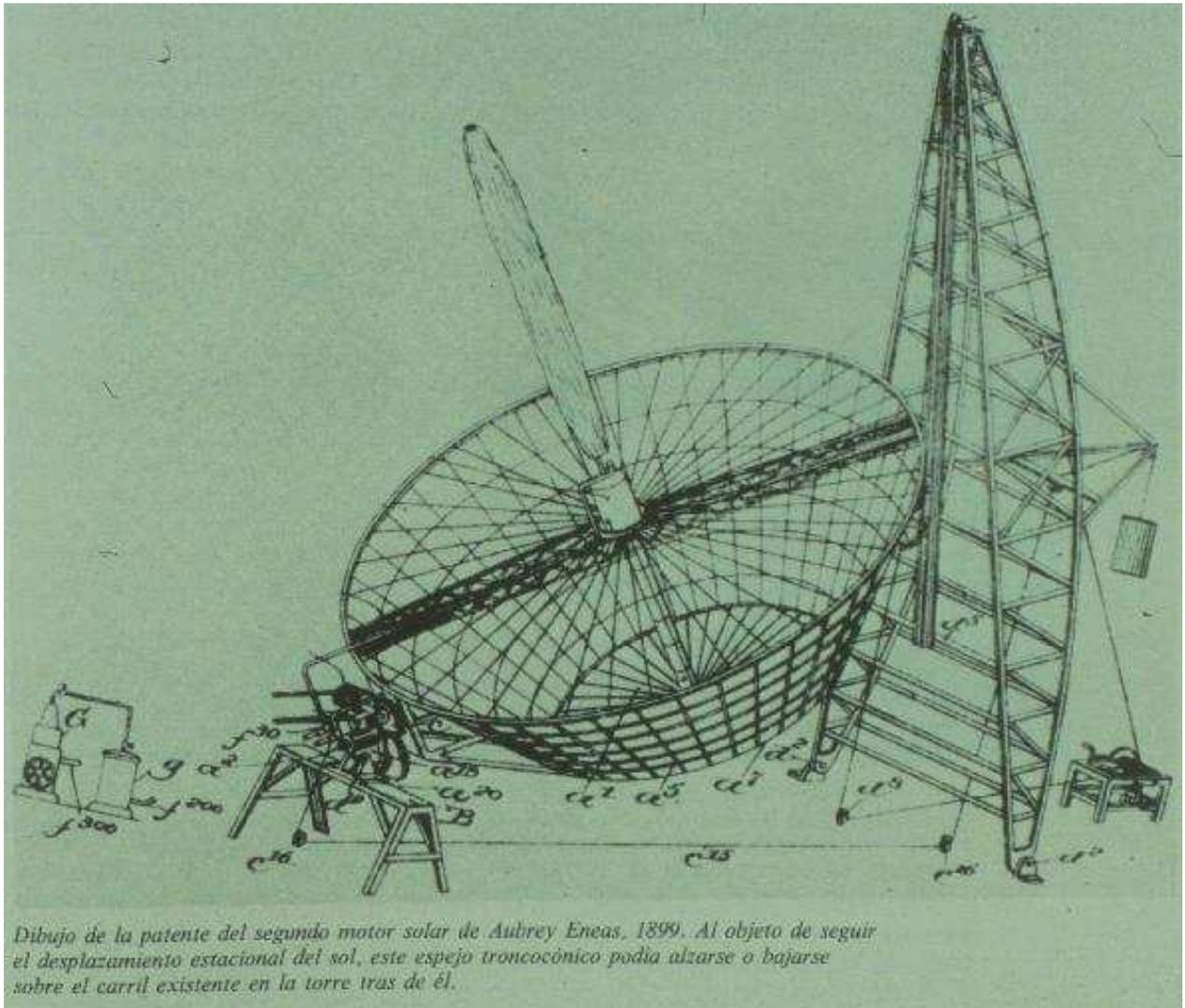
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i14amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i15amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Segundo motor solar de Eneas, 1899



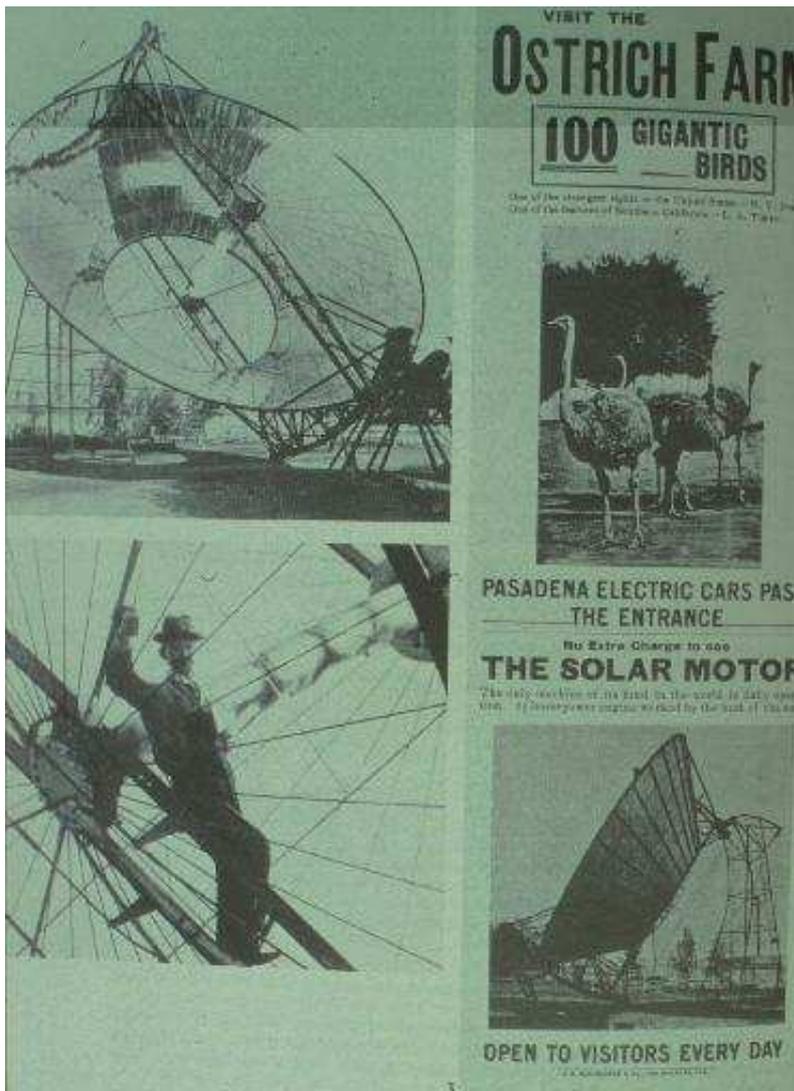
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i15amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i16amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Instalación en Pasadena



- 1: Detalle de los puntos calientes de la caldera
- 2: Hoja publicitaria
- 3: Aubrey Eneas subido a su ingenio

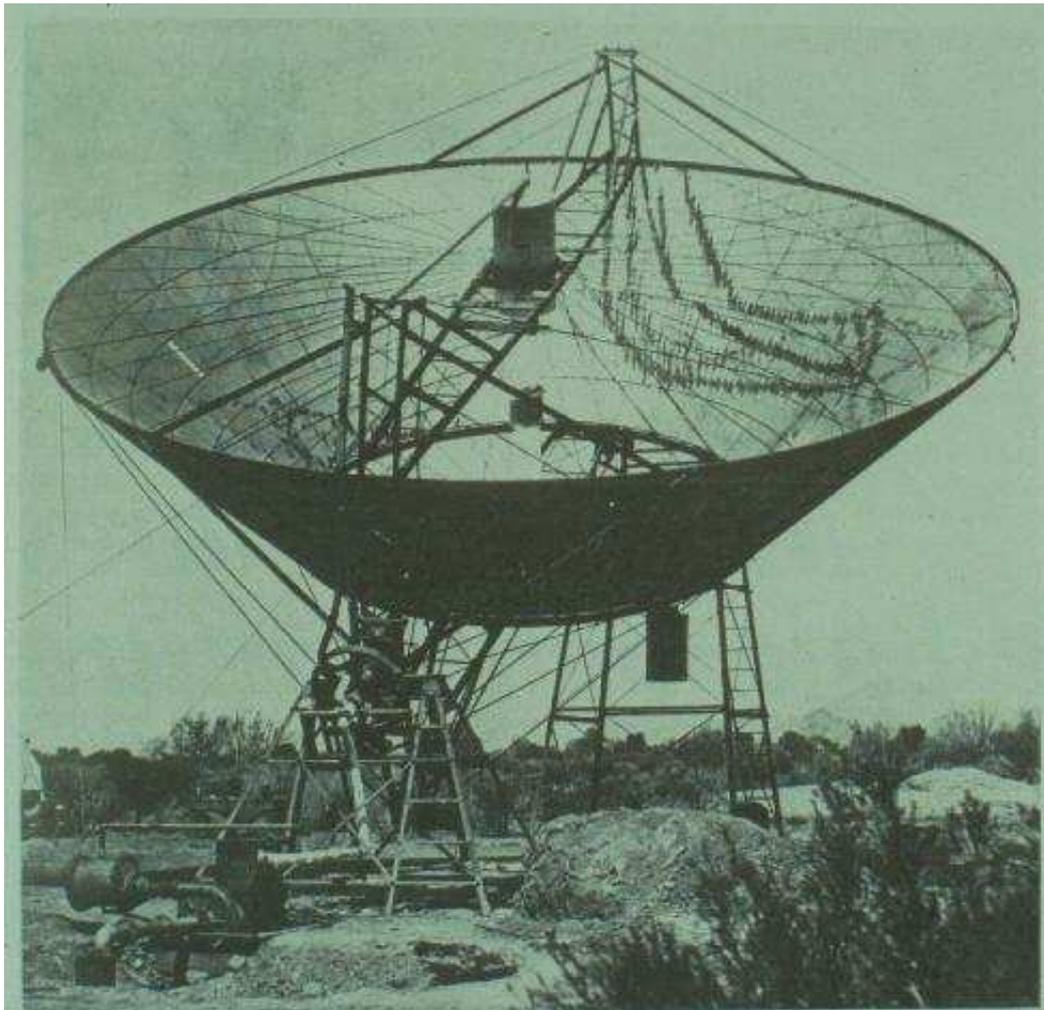
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i16amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i17amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## El motor solar en la granja de John May



*El motor solar en la granja de John May contribuyó a hacer florecer el desierto de Arizona.*

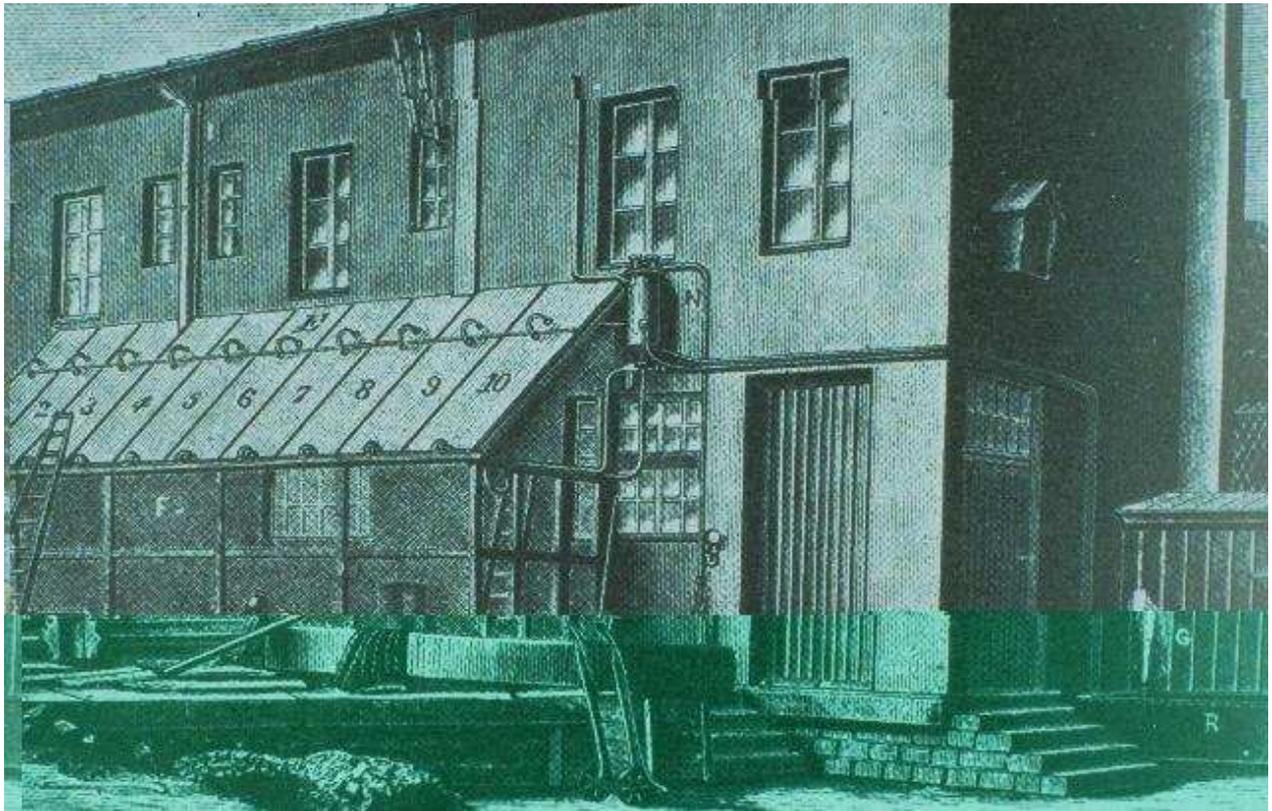
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i17amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i18amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Instalación solar industrial de Tellier, 1880



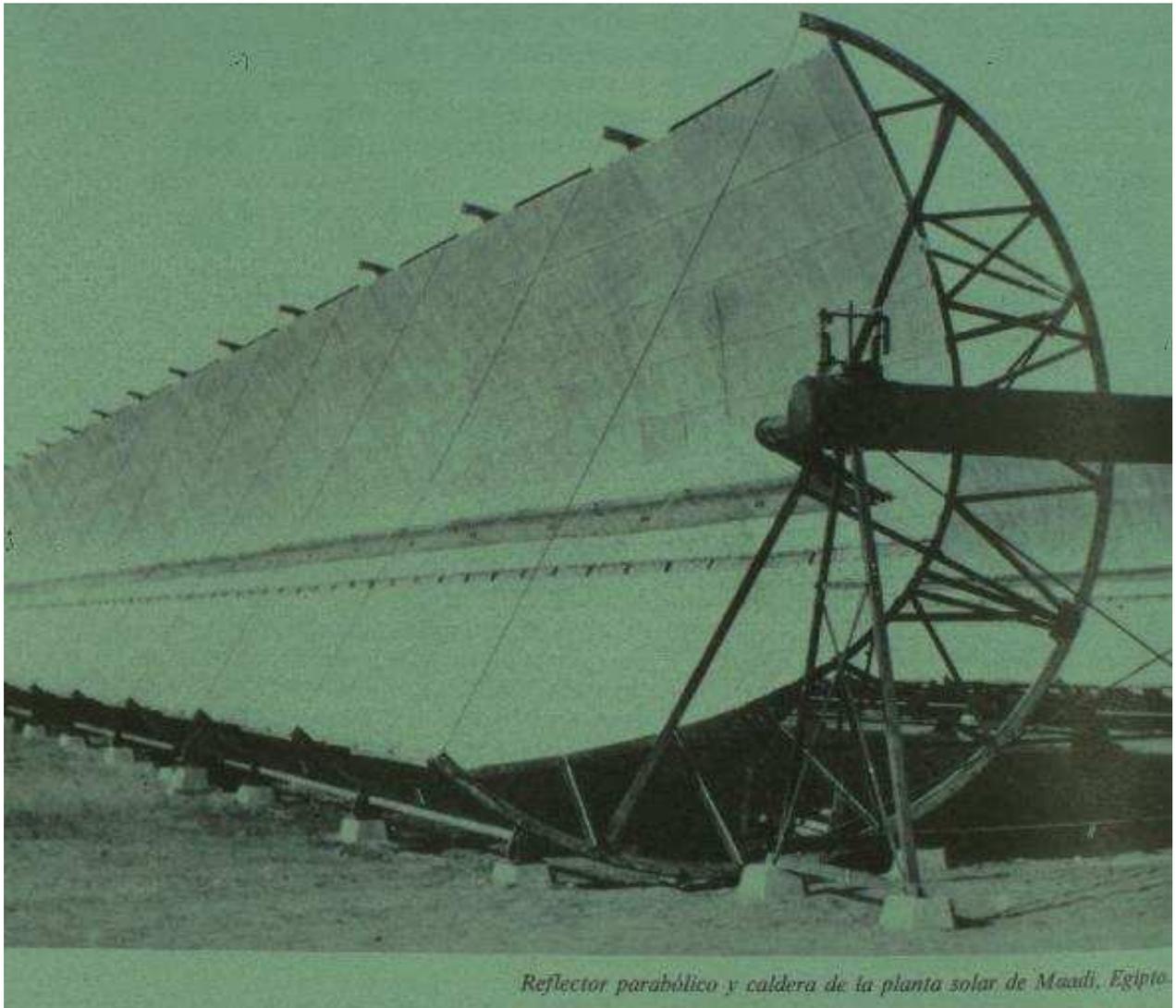
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i18amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i19amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Planta solar de Shuman en Tacony, 1911



*Reflector parabólico y caldera de la planta solar de Maadi, Egipto*

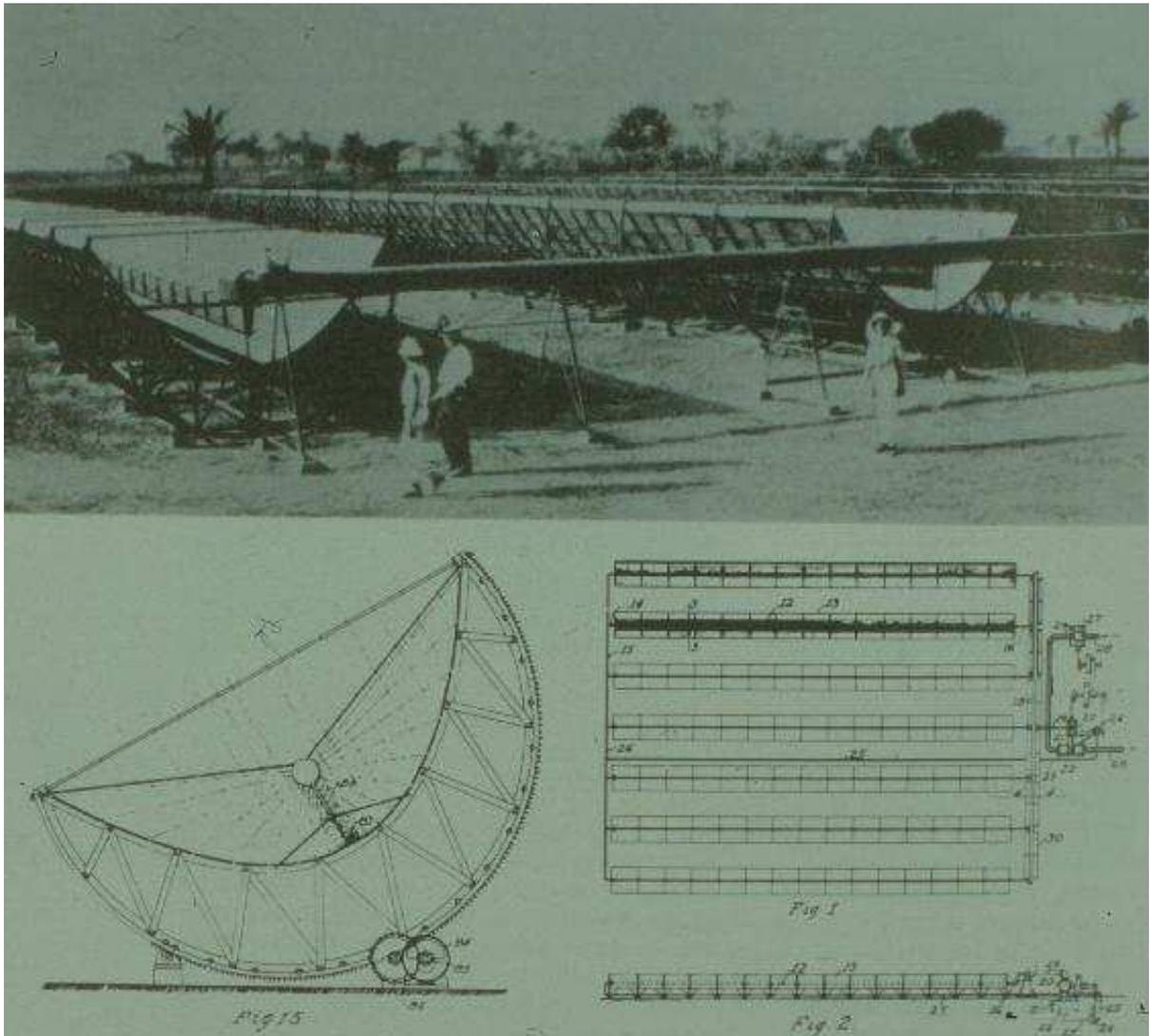
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i19amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i20amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Planta solar de Maadi (Egipto), 1912



Arriba, vista general de la planta.

Abajo: sección del colector y planta general de la instalación.

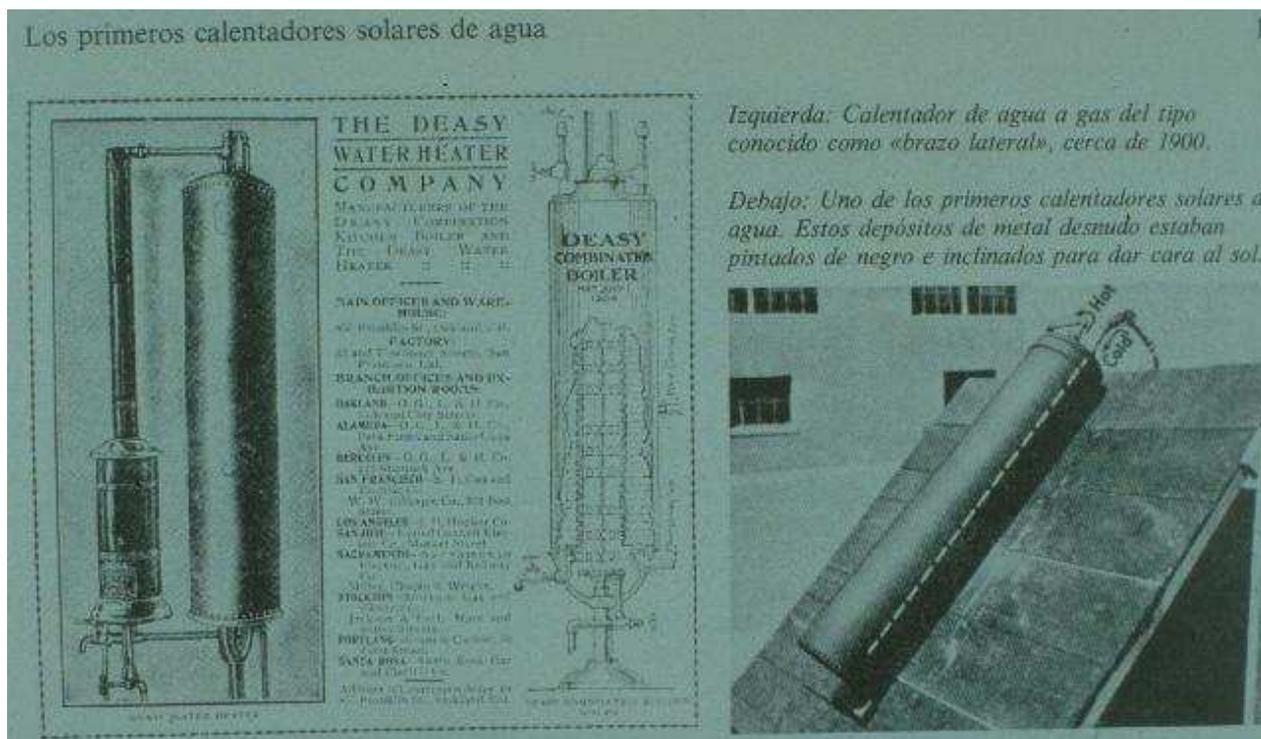
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i20amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i21amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Calentadores de agua en 1890



A la izquierda instalación con gas, a la derecha instalación solar.

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i21amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i22amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## La patente del calentador solar Climax, 1892

Los primeros calentadores solares de agua

### Climax Solar-Water Heater

UTILIZING ONE OF NATURE'S EXHIBITED POWERS

#### THE SUN'S HEAT

(Stored up in Hot Water for Baths, Domestic and other Purposes.)

GIVES HOT WATER at all TIMES OF THE DAY AND NIGHT  
NO DELAY  
FLOWS INSTANTLY  
NO CAGE NO WIGGY  
ALWAYS CHARGED ALWAYS READY  
THE WATER AT TIMES ALMOST BOILS

Price, No. 1, \$25.00  
The Sun will supply sufficient heat for 3 or 6 days.

CLARENCE W. KEMP, BALTIMORE, MD.

*Especifica: Calentador del calentador solar de agua Climax en 1892. El precio de este calentador, el calentador de Kemp, en un tamaño de 25 o 15 litros.*

*Deben: Los modelos diferentes de calentador de Climax, según se llaman en compendio, tienen presentados (y presentarán) en forma de abstracción presentada (directa).*

The diagram illustrates the Climax Solar-Water Heater system. On the left, a person is shown at a sink, with a vertical pipe labeled 'A' leading to a heater unit mounted on a wall. The heater is supported by a bracket. A pipe labeled 'B' leads from the heater to a bath and room. A gas stove is shown in the kitchen area, with a pipe labeled 'C' leading to the heater. The diagram is labeled 'BATH ROOM' and 'KITCHEN'.

Shows a Climax Solar-Water Heater supported by a bracket on the wall.  
A.—Is the cock to use when the hot water is wanted. This passes cold water to the heater, displacing the hot water and forcing it through a pipe to the sink tub.  
B.—Is the drain cock which is used to prevent freezing.  
C.—The air opening which prevents vacuum in the heater and siphonic action.

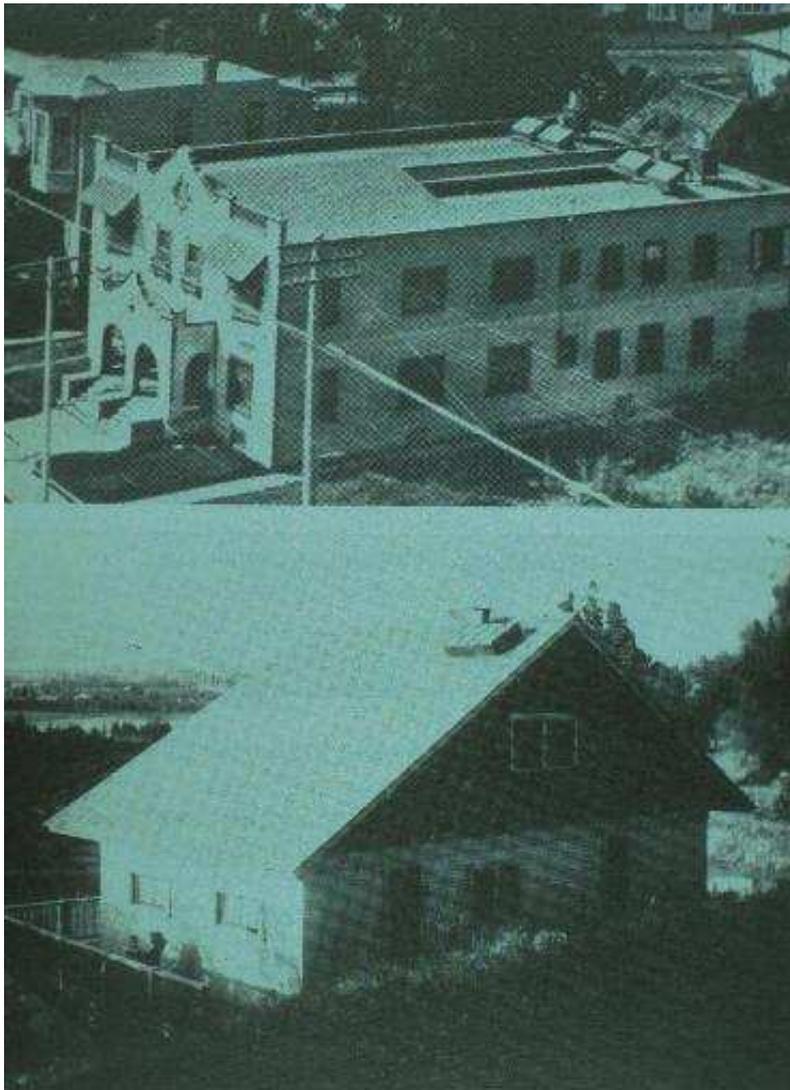
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i22amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i23amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Casas solares americanas hacia 1900



Obsérvese, en los tejados, los pequeños colectores solares, de prácticamente nulo impacto visual.

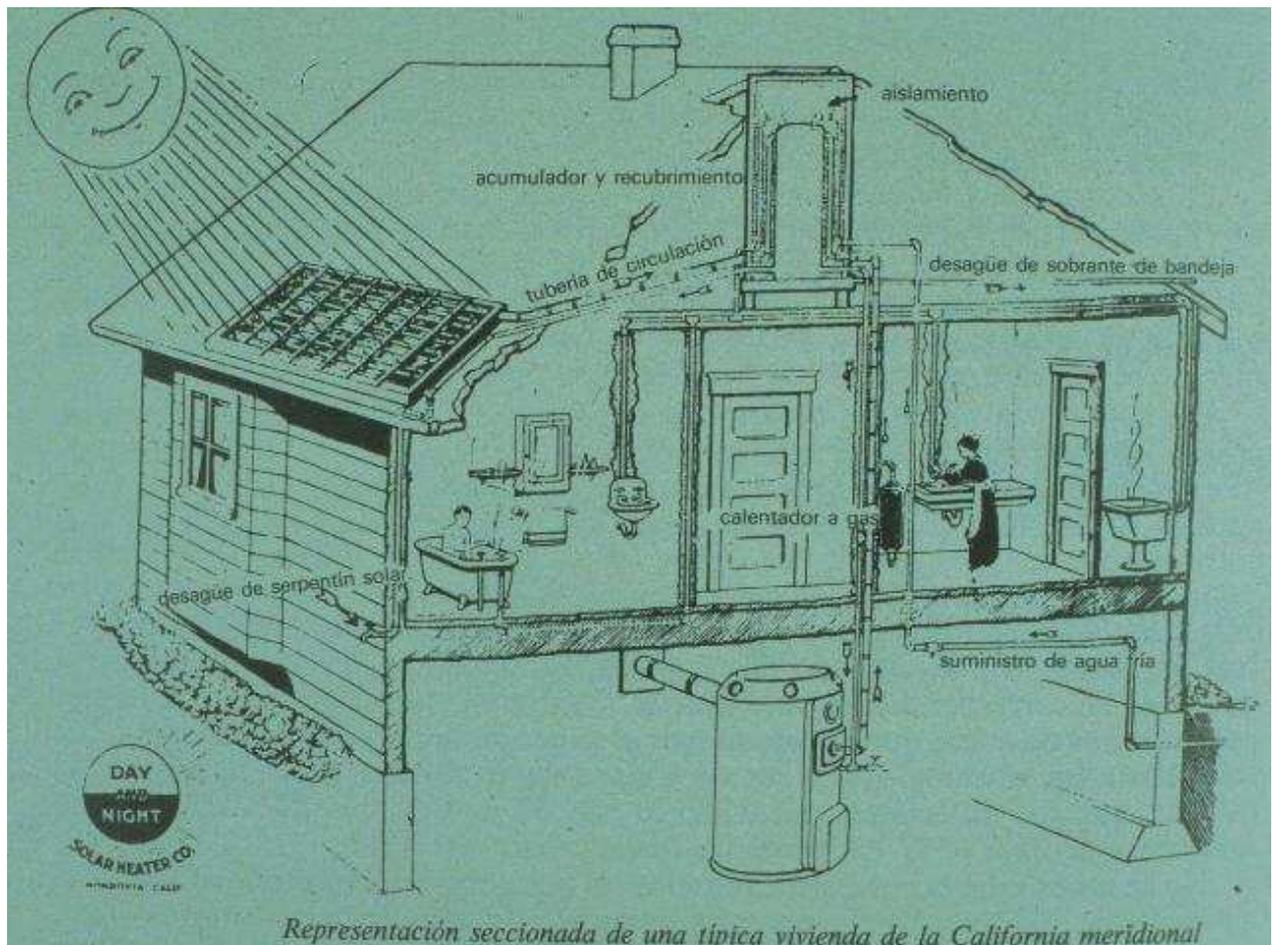
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i23amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i24amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Propaganda de Day & Night Solar Heater Co.



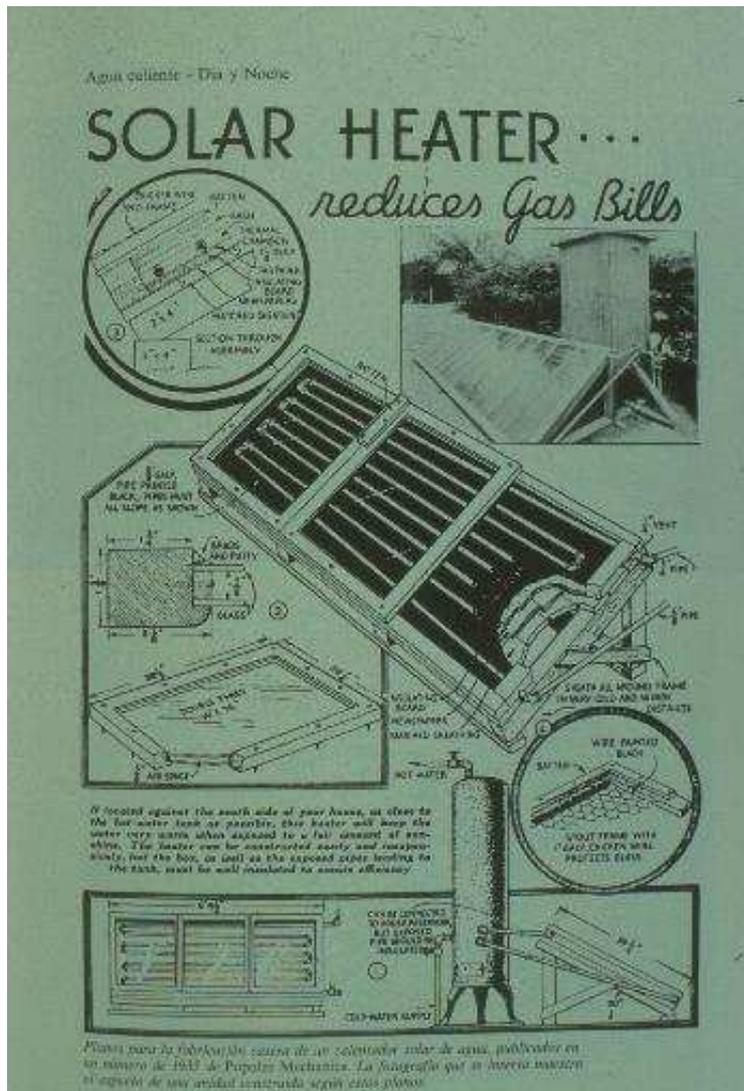
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i24amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i25amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Calentador solar "made your self" aparecido en la revista Popular Mechanics



Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i25amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i26amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Propaganda de un calentador solar, Cuba, ca. 1940

**Agua Solar**  
MARCA REGISTRADA

*Sin Electricidad,  
sin Gas, sin Carbón.*

DOBLE TUBERÍA  
QUE GARANTIZA  
CALOR CONTINUO.

**sin Gasto..!**

**Agua Caliente a todas  
horas y para todos los usos.**

VALVULA TERMICA  
QUE IMPIDE EL PASO  
DEL AGUA FRIA

ABSOLUTAMENTE AUTOMATICO — INSTALARLO Y DEJARLO  
RESPONDEMOS SIEMPRE DE SU FUNCIONAMIENTO.  
NO CONSUME NI GRASA NI ACEITE SIQUIERA PARA FUNCIONAR.  
SIN PELIGROS MECANICOS NI DE OTRA CLASE

NUESTRAS GARANTIAS PATENTADAS.

litros de capacidad. El gobierno federal adquirió algunos

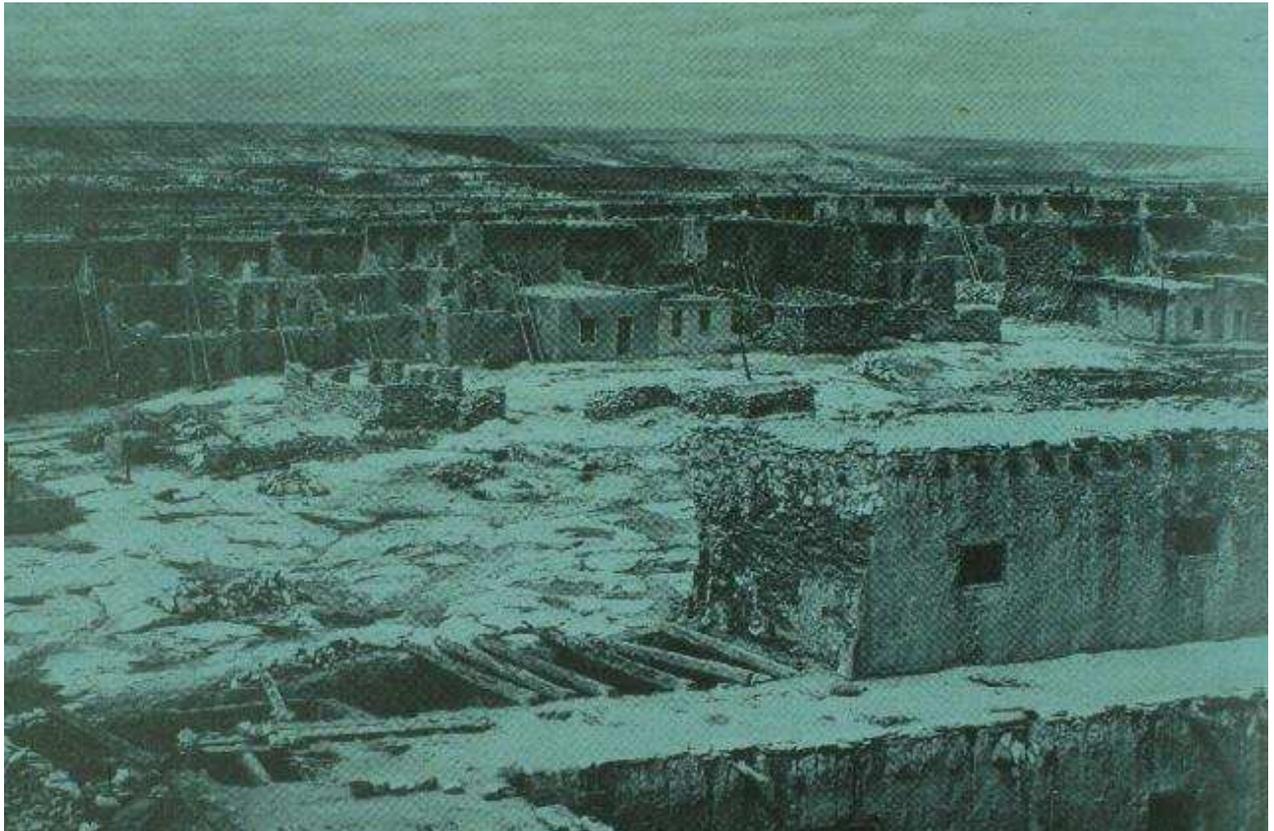
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i26amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i27amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Vista general de Acoma



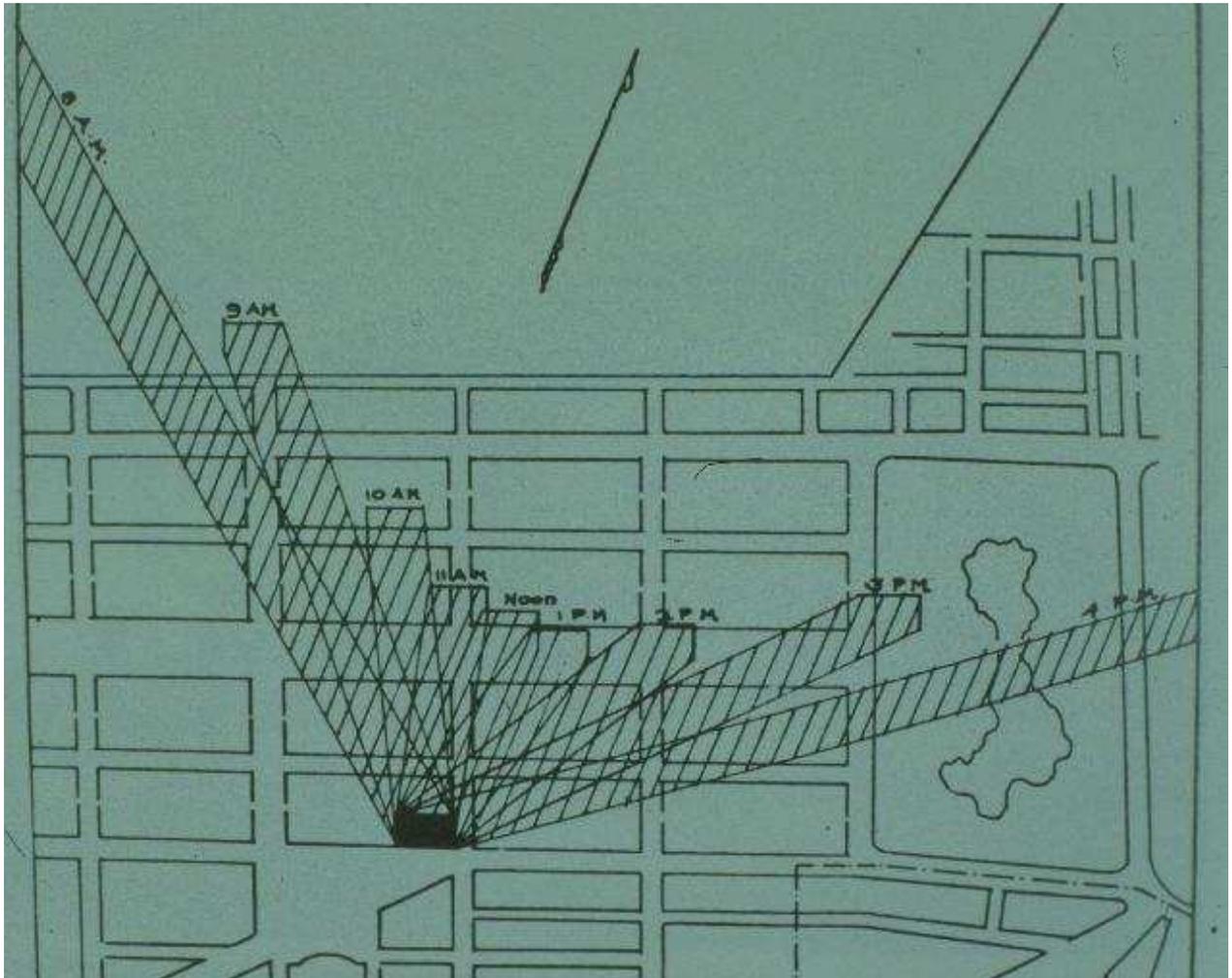
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i27amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i28amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Obstrucción solar de un rascacielos en Boston, Atkinson, ca. 1904



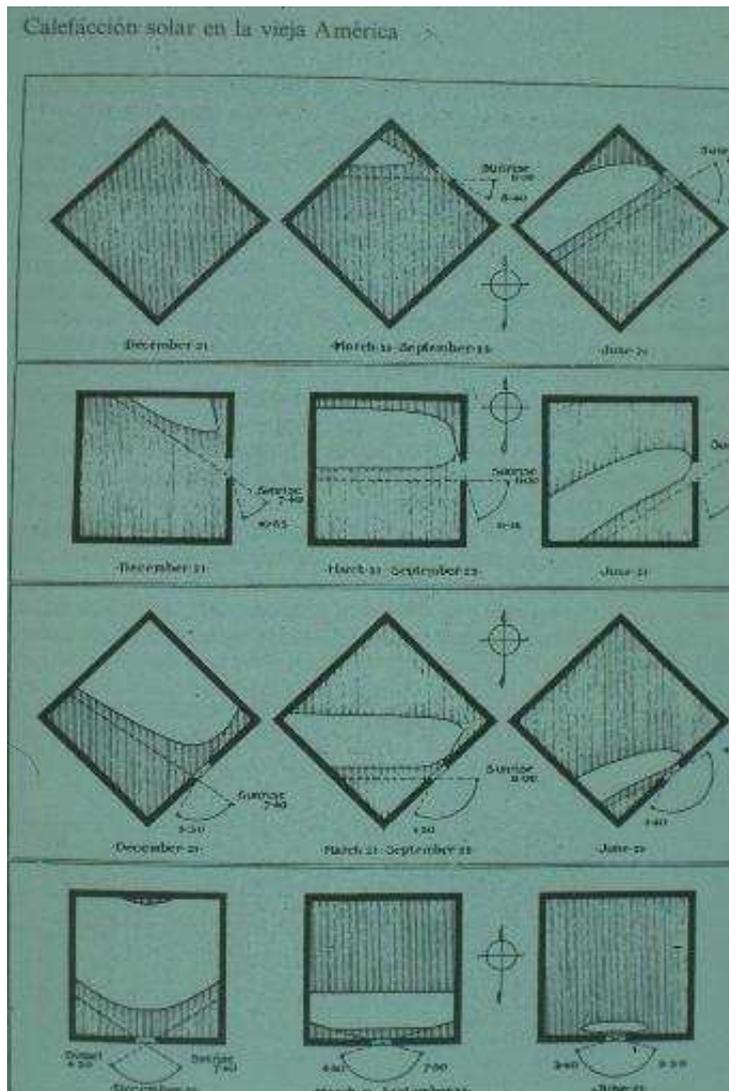
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i28amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i29amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Carta de soleamiento de Atkinson



De arriba hacia abajo, por filas, ventanas orientadas al NW, W, SW y S. De izquierda a derecha, por columnas: solsticio de invierno, equinoccios, solsticio de verano. En todos los casos, se muestra la porción de suelo soleada en algún momento del día.

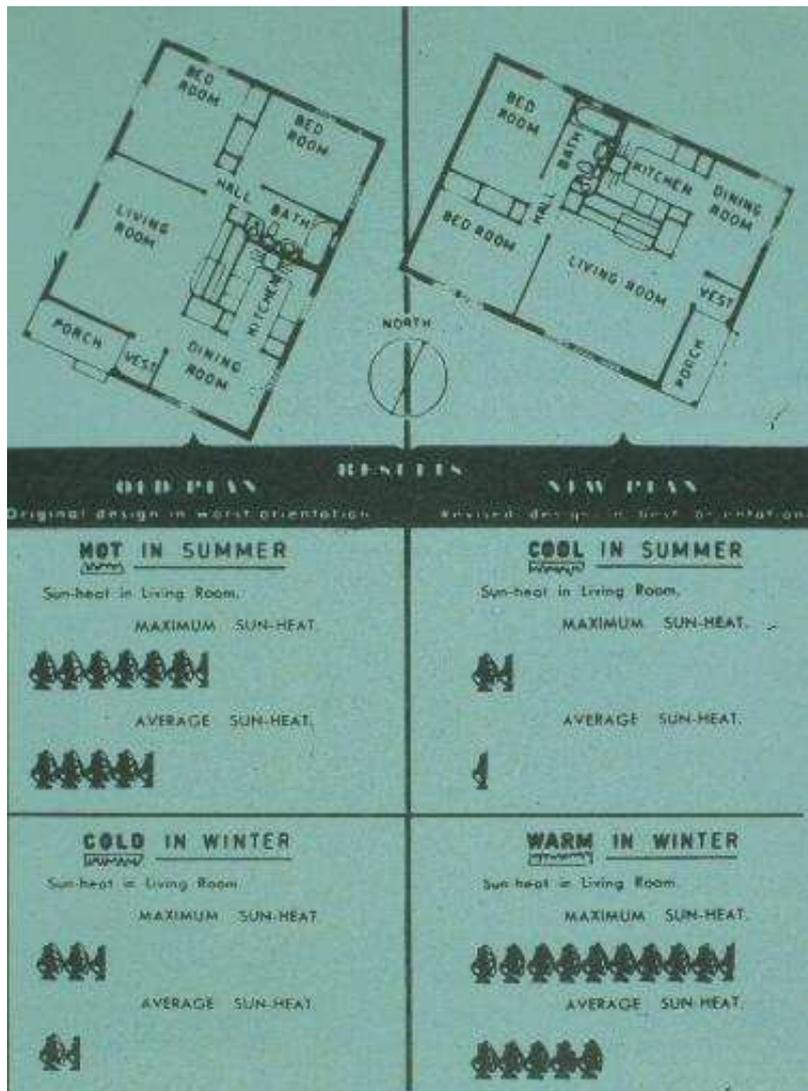
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i29amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i30amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Soleamiento, orientación y confort, Henry N. Wright, 1938



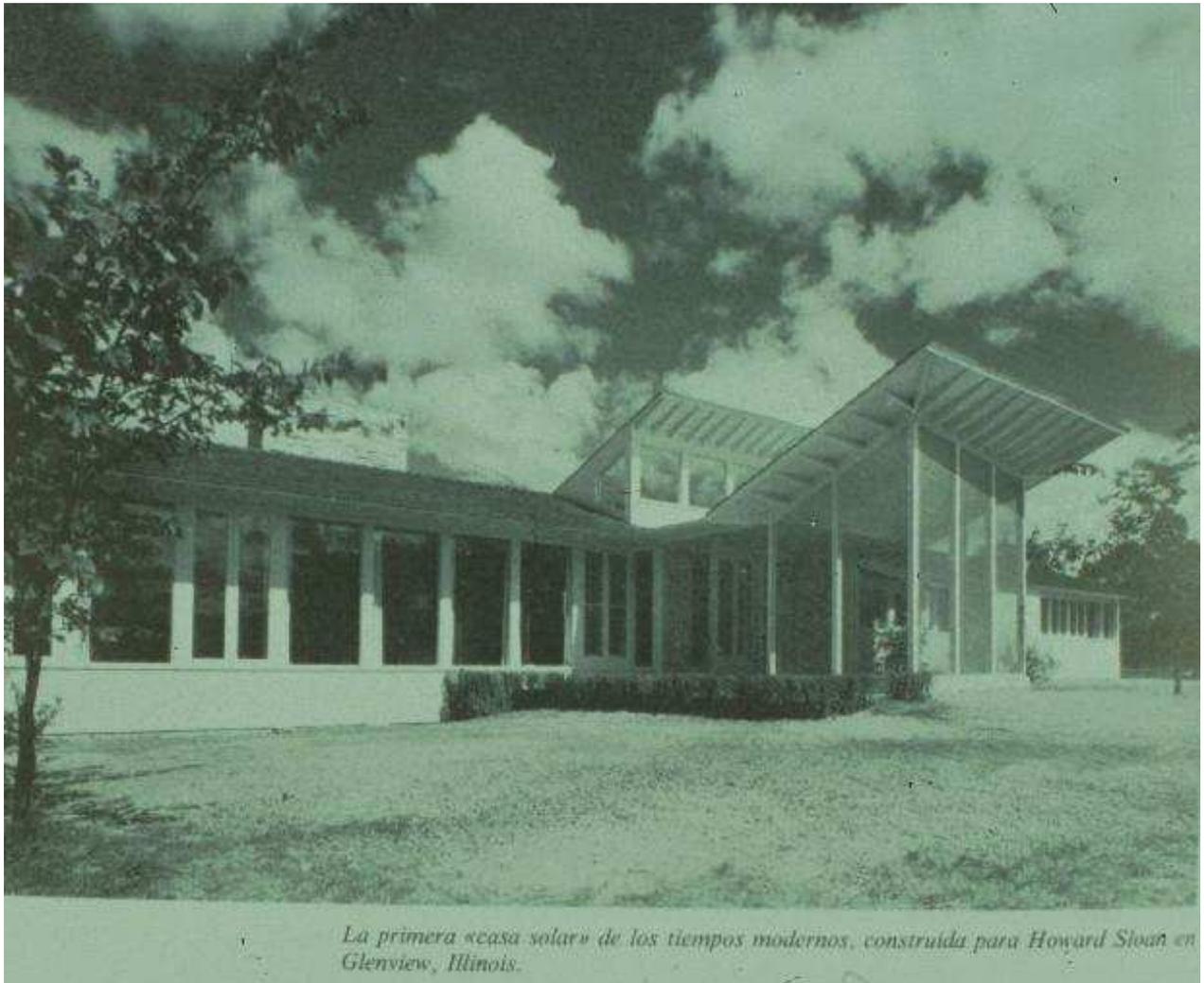
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i30amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i31amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Casa Howard Sloan, diseño solar de Keck, 1940



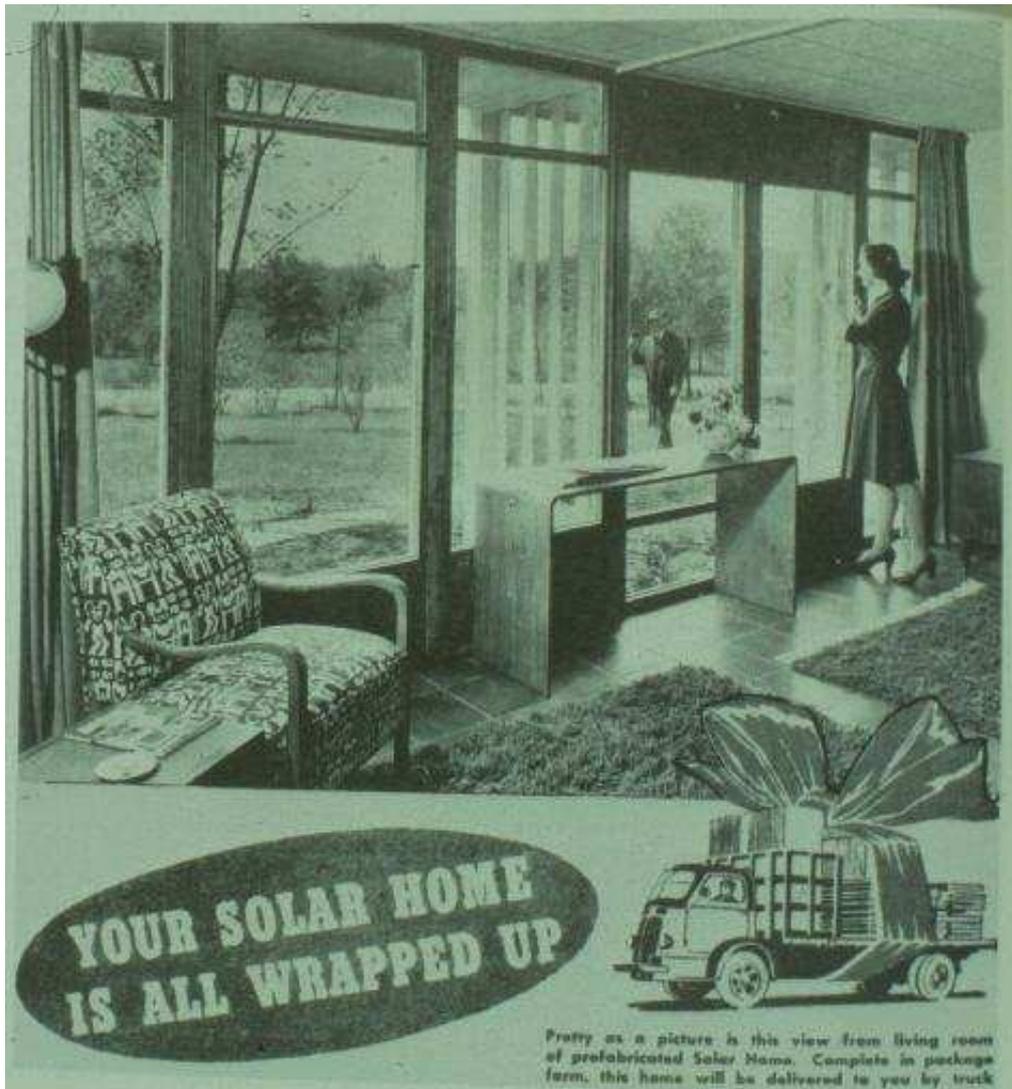
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i31amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i32amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Propaganda de casas solares en Popular Science, 1945



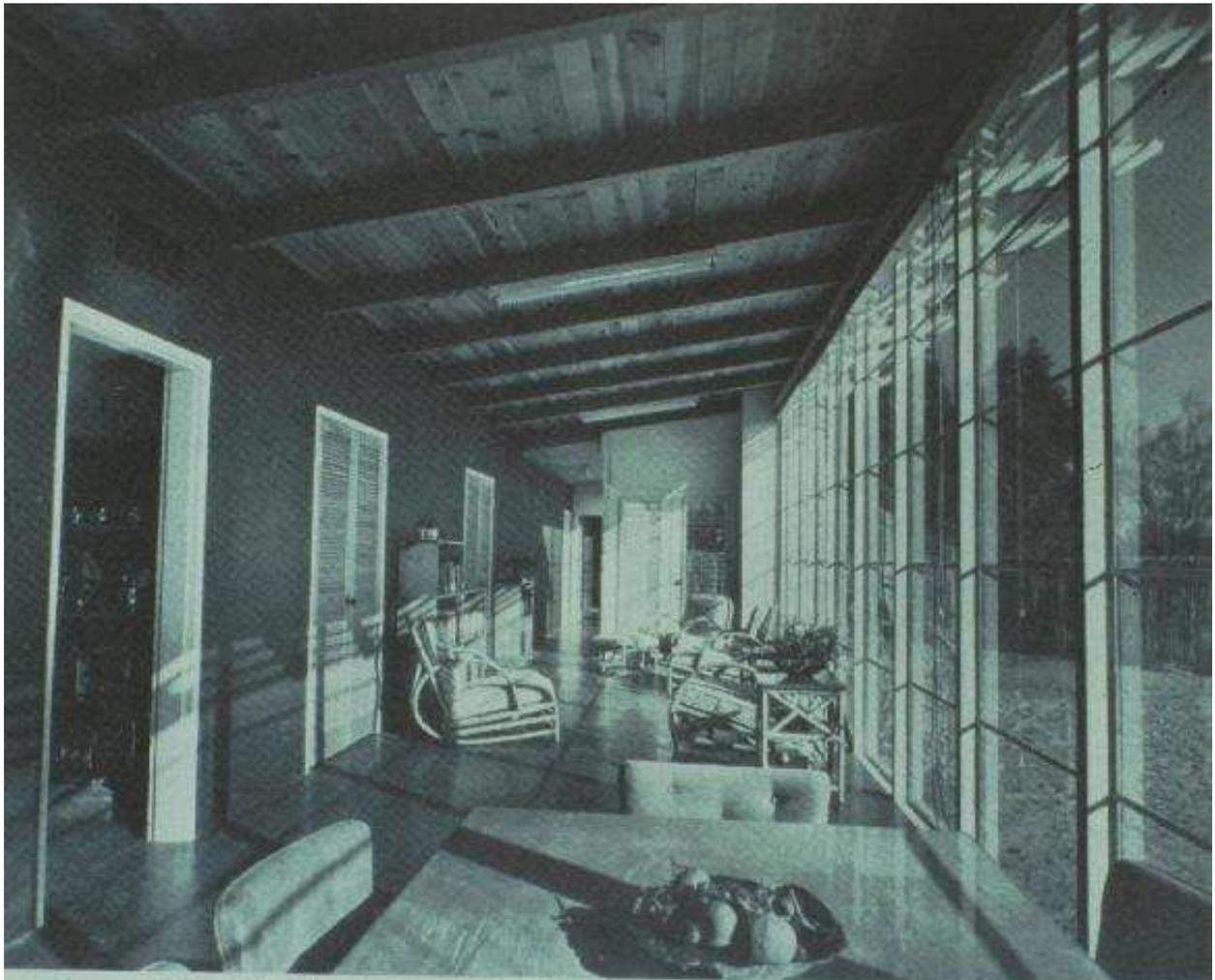
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i32amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i33amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Casa Tucson, diseño solar de Brown, 1945



*Aspecto interior de la casa solar de Tucson durante un día soleado de invierno. La luz solar que penetra a través de los ventanales al sur calienta el muro negro de la izquierda.*

Obsérvese la cuidadosa selección de materiales y colores para la mejor captación solar.

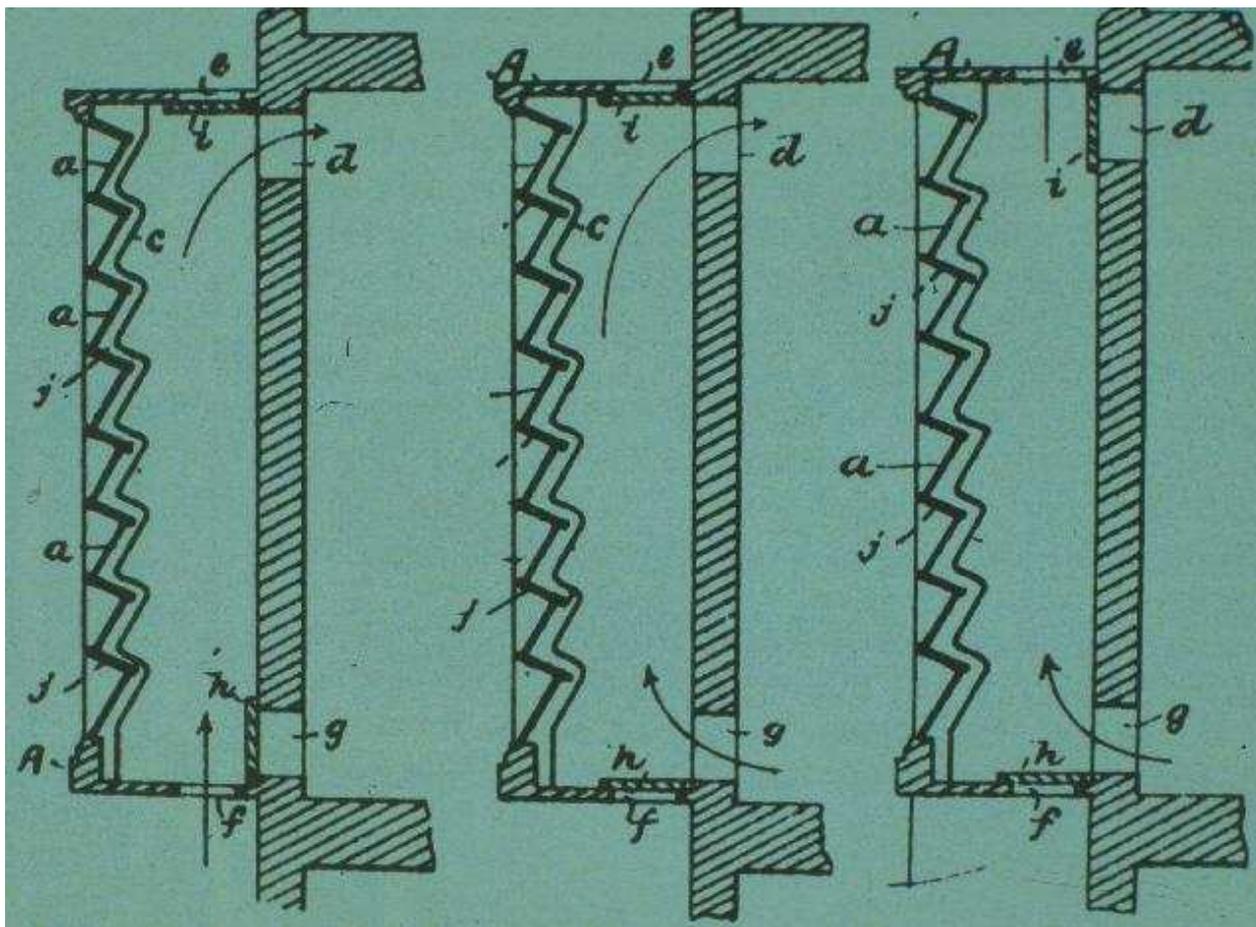
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i33amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i34amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Calentador solar de Morse, 1881



Izquierda, posición invernal diurna; centro, posición invernal nocturna.  
Derecha, posición estival para ventilación forzada.

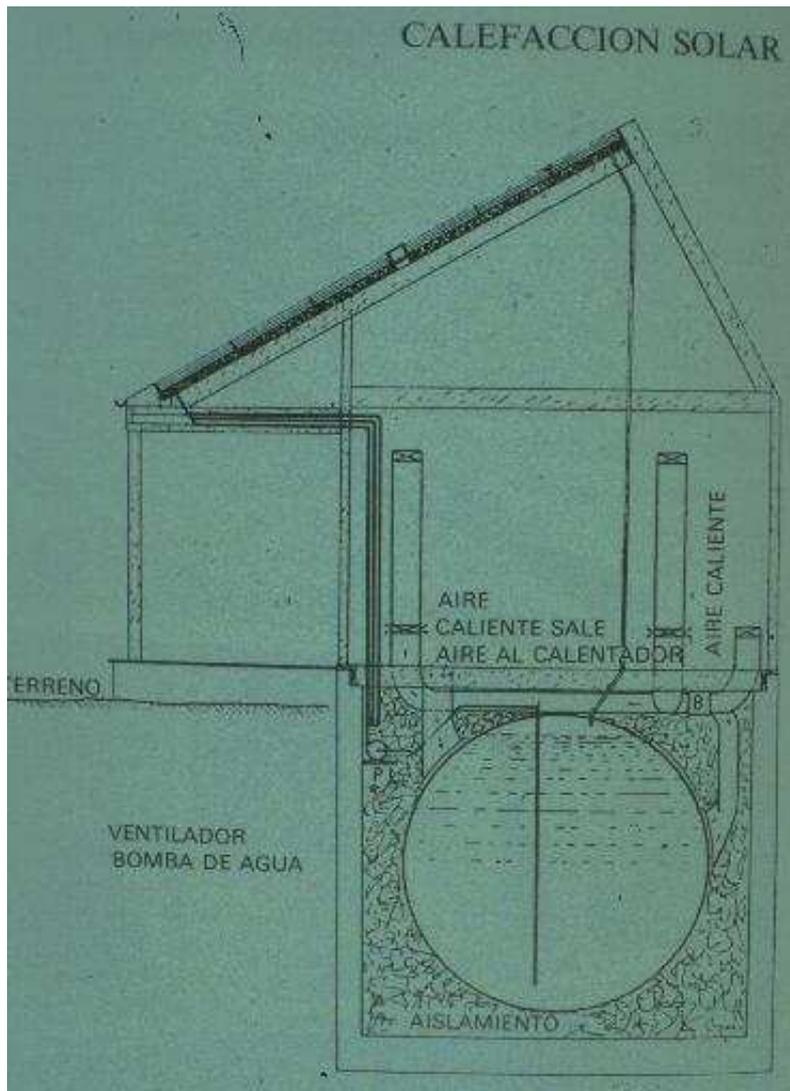
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i34amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i35amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Primera casa solar del MIT



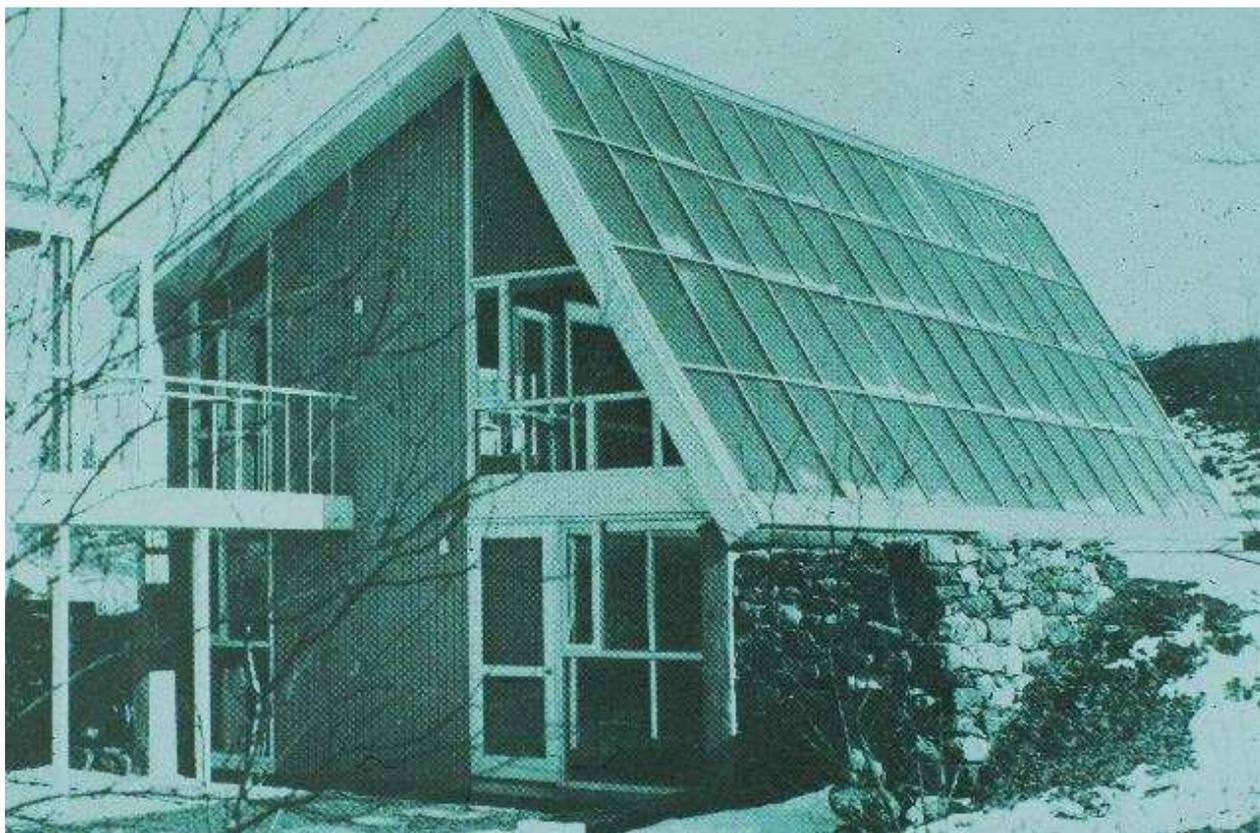
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i35amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i36amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Cuarta casa solar del MIT



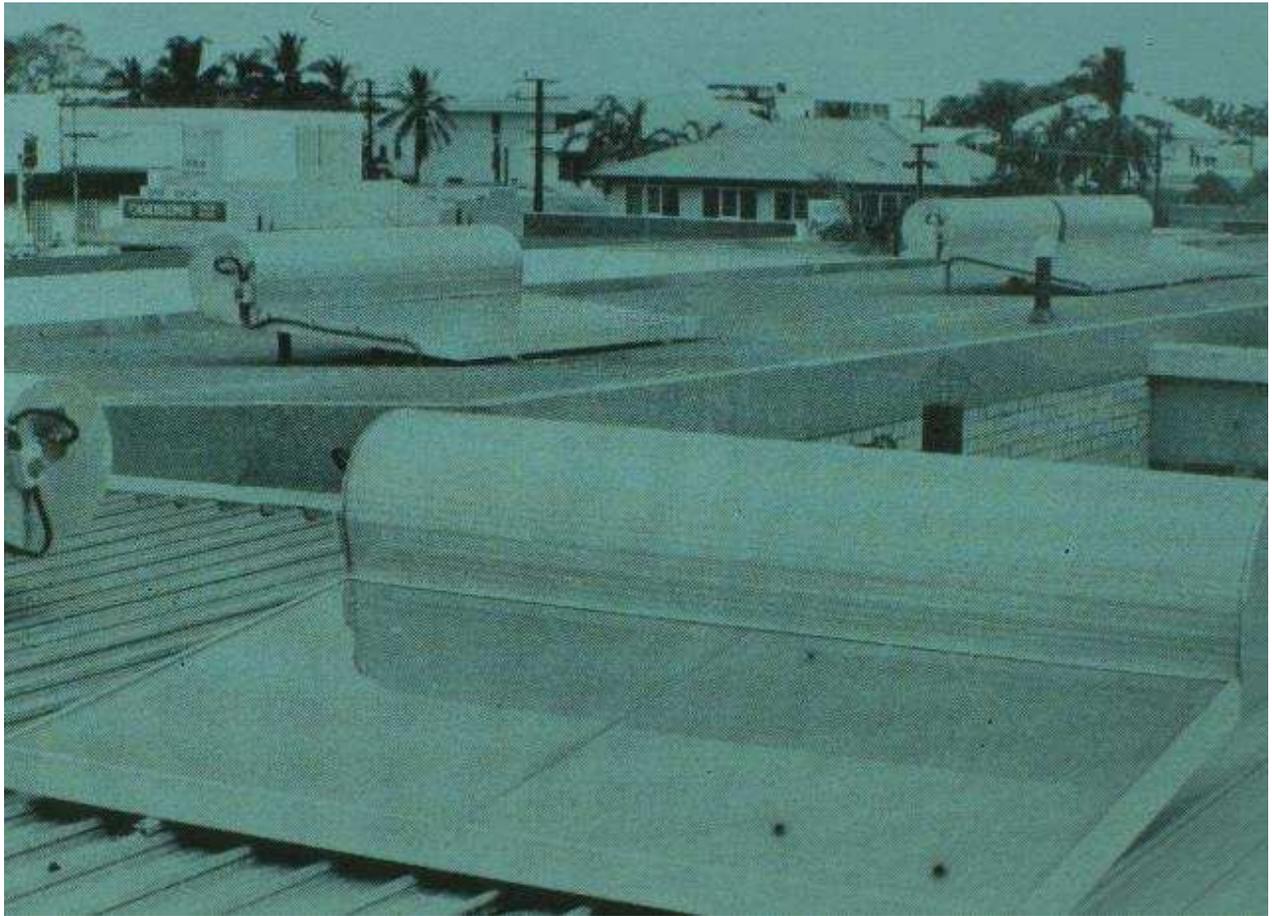
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i36amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i37amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Calentador solar corriente en Australia



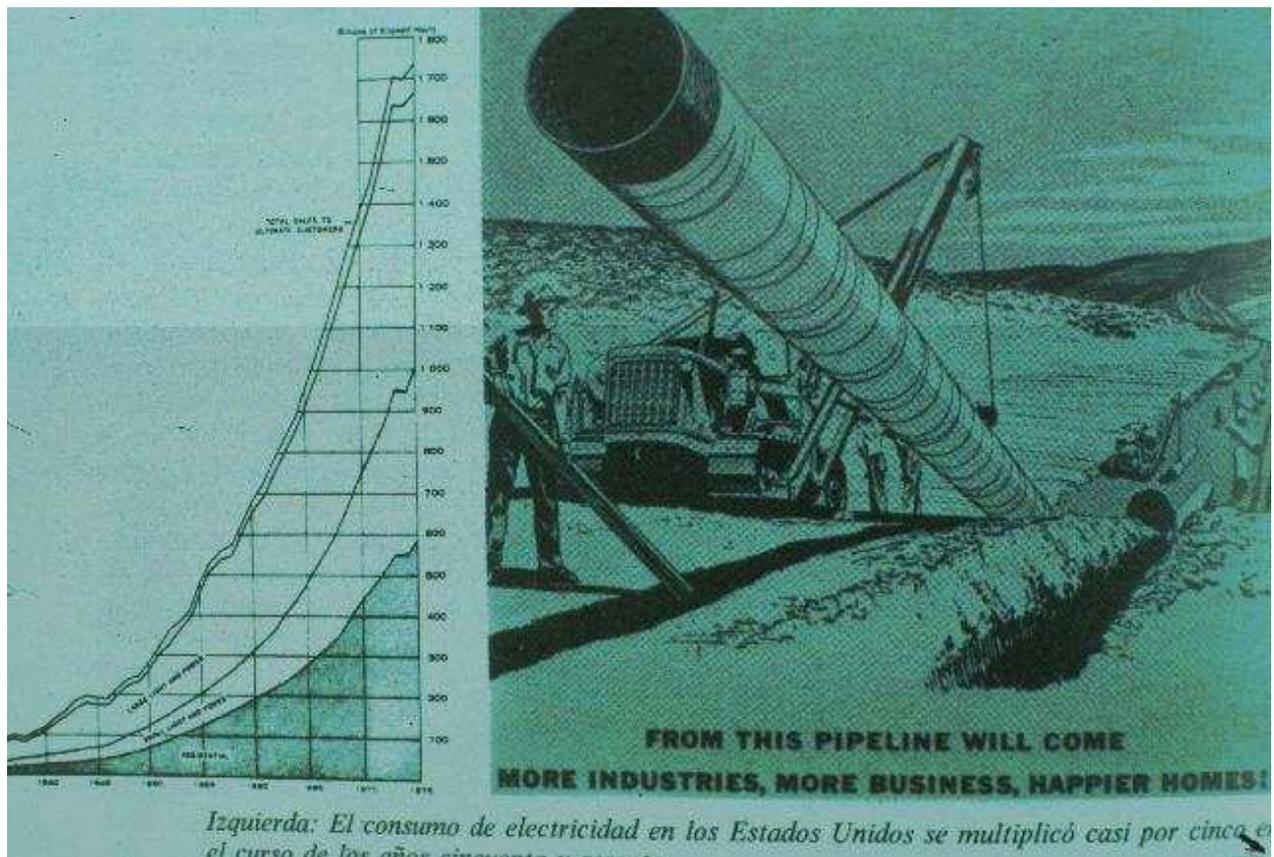
Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i37amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i38amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X

## Propaganda acerca del crecimiento indefinido de la oferta de energía fósil



Una brevísima historia de la arquitectura solar > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i38amvaz.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X