

Eduardo Prieto

# Arcadias bajo el vidrio

## Tipos termodinámicos: del invernadero a la casa solar

*Palabras clave:* Invernaderos, casas solares, tipología, termodinámica.

*Los invernaderos se han visto tradicionalmente como poco más que una anécdota en la historia de la construcción, aunque en realidad fueran el tipo arquitectónico más innovador del siglo XIX. Conjugando la rigurosa atención a los problemas del clima con el uso de los materiales industriales y los nuevos sistemas de calefacción, los invernaderos dieron pie a soluciones formales y técnicas extremadamente eficaces, que están en la base del diseño pasivo contemporáneo. Este artículo da cuenta de los orígenes del invernadero, de su desarrollo y consolidación como tipo termodinámico, y de su rápida extrapolación a otros usos convertido ya en ‘pseudomorfo’, para acabar desvelando su íntima relación con las llamadas ‘casas solares’ del siglo XX. Todo ello a la luz de una pulsión de calado en la tradición moderna: la búsqueda improbable de un clima completamente artificial.*

*Figura 1. Invernadero de la Universidad de Leiden, ca. 1700 (Hix 1971).*

Tal vez emulando los ingenios solares descritos por Plinio en sus *Cartas*<sup>1</sup>, los arquitectos y jardineros del Renacimiento y el Barroco idearon lujosas *orangeries* para abastecer con naranjas y limones las mesas de reyes y príncipes. Artefactos con destino gastronómico, las *orangeries* fueron una anécdota entre los muchos y también anecdóticos *menus plaisirs* de los reyes absolutos, y casi nunca tuvieron sentido fuera de los grandes conjuntos palaciegos. De ahí que, aunque suelen citarse las máquinas cortesanas de suministro cítrico como precedentes de los invernaderos modernos, éstos fueron fruto, en rigor, de la conjunción de dos circunstancias que no llegaron a influirse mutuamente hasta finales del siglo XVIII: de un lado, la moda, científica y burguesa a la vez, de las colecciones botánicas; del otro, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación de hierro y vidrio.

La pulsión taxonómica que alentó la construcción de grandes invernaderos no estribó tanto en recolectar y ordenar especies vegetales exóticas (algo que se venía haciendo, compulsivamente, desde finales del siglo XVII) como en el hecho de que tales especies se recolectasen vivas para ser trasplantadas en climas que, como el británico, el francés o el holandés, tenían bien poco que ver con el de los biotopos originales. En la transformación de los herbarios portátiles de plantas secas típicas de los siglos XVII y XVIII a esos museos vivos que pretendían ser los invernaderos de principios del siglo XIX desempeñaron también un papel importante los grandes viajes emprendidos en la época —desde los periplos de James Cook por Oceanía hasta las travesías americanas de Alexander von Humboldt o el viaje del joven Darwin alrededor del mundo—;

ejemplos mayores de las copiosas expediciones tropicales en pos de especies desconocidas que, a partir de 1800, fueron financiadas no sólo por los Gobiernos ilustrados, sino también por aristócratas dispuestos a invertir grandes sumas en sus aficiones botánicas. El resultado fue una obsesión compulsiva por la jardinería exótica que contagió pronto a lo que, por aquellas fechas, comenzaba a denominarse el ‘público general’.

Conforme la demanda de espacio para las nuevas colecciones vegetales vivas fue aumentando, los retos arquitectónicos implicados en la construcción de los invernaderos se hicieron mayores. Por supues-

Arquitecto (UPM, 2003), licenciado en Filosofía (UNED, 2004). DEA en Estética y Teoría de las Artes y Premio Extraordinario de Doctorado de la UPM (2014). Autor de “La ley del reloj: arquitectura, máquinas y cultura moderna” y “La arquitectura de la ciudad global: naturaleza, redes, no lugares”. Doctorado Internacional con mención de excelencia (UPM, 2014). Desde 2013 es profesor en el Departamento de Composición de la ETSAM. Ha sido ‘visiting scholar’ en la Harvard GSD (2016).

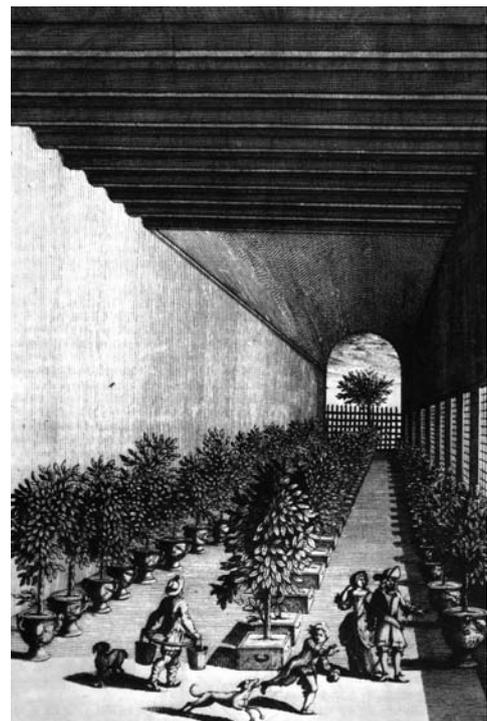
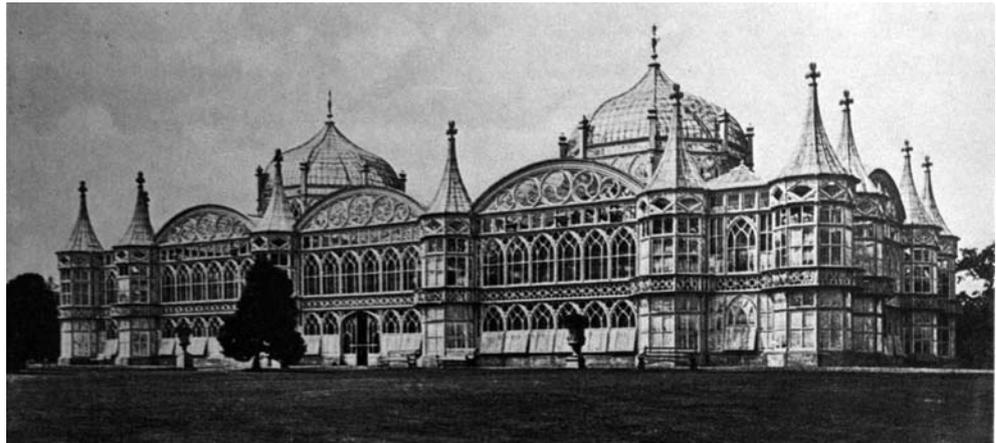


Figura 2. Invernadero sarraceno y gótico de Enville Hall, Staffordshire, 1854 (Hix 1971).



to, las viejas orangeries y sus variantes quedaron obsoletas (figura 1). De hecho, en poco menos de treinta años —los que van de 1800 a 1830, aproximadamente— los invernaderos (*jardins d'hiver*, *stoves*, *hothouses*, *greenhouses*, *palm houses*) modificaron radicalmente su tipo tradicional y su tecnología: dejaron de ser construcciones modestas formadas por una estufa, un muro y un plano vidriado sostenido por pies derechos de madera, y concebidas con el fin de albergar flores, arbustos y algunos árboles frutales, para devenir inmensos tinglados de acero cuyas superficies por completo acristaladas protegían ecosistemas complejos poblados por infinidad de especies, desde las cotizadísimas orquídeas y camelias hasta los grandes ejemplares de palmera tropical. Pero lo más sorprendente de esta transformación no está en el ingenio y la pericia con que se construyeron los nuevos invernaderos, sino las formas desprejuiciadas que adoptaron; formas que, sin atender a ningún precedente estilístico, respondían a un objetivo radicalmente funcional: la optimización del rendimiento energético del edificio para crear en su interior un verdadero microclima, un caso límite frente al cual las normas de composición tradicionales resultaban impertinentes.

En el diseño de los invernaderos, todas las decisiones —desde la disposición volumétrica hasta la elección de materiales, pasando por la solución estructural— trabajaban de consuno para atenuar el gradiente generado entre las condiciones del clima local y las del microclima encapsulado o, mejor dicho, ‘trasplantado’. Esto explica por qué, pese a algunas vacilaciones formales (por ejemplo, el invernadero en Carlton House, de 1808, trasunto de una iglesia con bóvedas de abanico, o el mucho más tardío de Endhall, en Staffordshire, mezcla de estilo gótico y ‘sarraceno’) (figura 2), el proceso de maduración del nuevo tipo fue extraordinariamente rápido.<sup>2</sup> En las primeras propuestas, un tanto rígidas, del primer gran visionario de los invernaderos, John Claudius Loudon, se advierten ya las características que más tarde resultarían inconfundibles en las formidables construcciones de Joseph Paxton y Decimus Burton. En primer lugar, su rotundidad formal, que respondía al reto de conseguir un volumen máximo capaz pero con el mejor coeficiente de forma, de manera que la mayor capacidad posible se conjugase con las menores pérdidas de calor a través de la envoltura de cristal. Esto condujo a un repertorio figurativo limitado pero eficaz, formado en la etapa de madurez de los invernade-

Figura 3. Invernadero holandés con sistema de protección solar, ca. 1700 (Hix 1971).

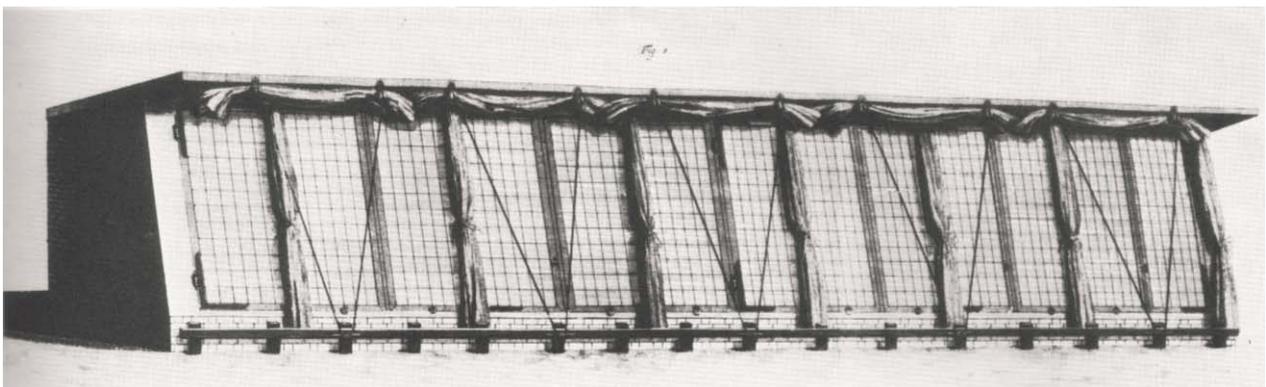
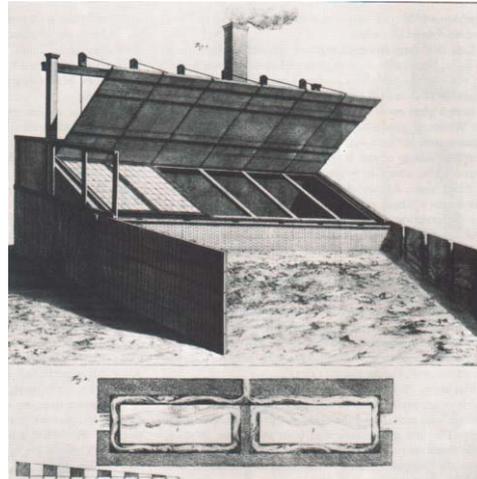


Figura 4. Detalle de 'caja solar' holandesa, ca. 1700 (Hix: 1971).



ros por casquetes esféricos y cilindros de directriz circular o elipsoidal. Combinados entre sí, éstos generaban figuras compactas y, por otro lado, muy atractivas, con un excelente comportamiento termodinámico pero también mecánico, por cuanto las superficies curvas, convenientemente arriostradas entre sí, resultaban muy estables por su propia forma.

La segunda de las características de los invernaderos —el uso extensivo del vidrio como material de revestimiento— respondía asimismo a un requerimiento de índole energética. A mediados del siglo XVIII, el alpinista y prestigioso físico Horace de Saussure, aprovechando el conocimiento empírico atesorado desde finales del siglo XVI merced a las pequeñas orangeries de los palacios (inspiradas a su vez, como ya se ha señalado, en las descripciones de invernaderos de las *Cartas* de Plinio), y tras apercebirse de los poderes de los sistemas de concentración solar (inventados, según la tradición, por Arquímedes), aplicó las leyes del hoy denominado 'efecto invernadero' a primitivos paneles de captación térmica, por él llamados 'cajas solares', que fueron artefactos capaces de calentar de manera natural un fluido hasta los 120° C. Así, constataba Saussure en 1767, "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". Fue el origen de la mecánica solar que iría desarrollándose a lo largo del siglo XIX, desembocando en los motores solares de Mouchot y las bombas y paneles termosolares que empezarían a aplicarse en experimentos domésticos en la década de 1930. Sin embargo, las aplicaciones más tempranas y revolucionarias del efecto descrito por Saussure, los invernaderos, tenían a finales del siglo XVIII una larga prosapia,

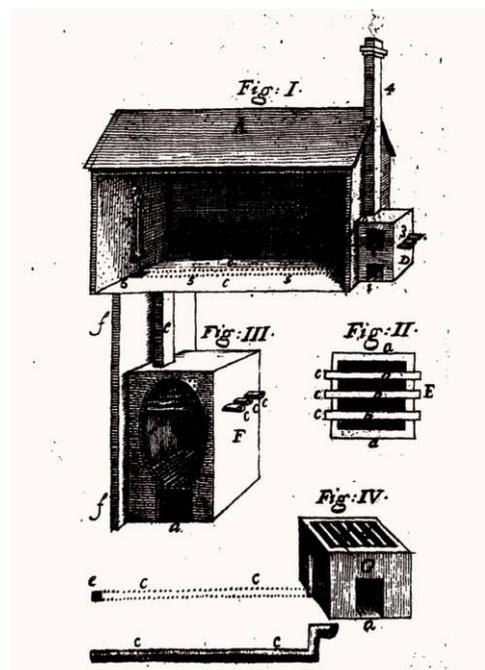
Figura 5. Lámina del Kalendarium Hortense de John Evelyn, 1699 (Evelyn: 1699).

aunque por entonces nadie pudiera sospechar el extraordinario desarrollo que pronto iban a experimentar este tipo de edificios.

### La maduración del modelo

Al principio, las *hothouses* consistían en meros desarrollos de los captadores solares ingenieros por los jardineros reales en la Francia de mediados del siglo XVII y perfeccionados, entre otros, por John Evelyn —que en 1699 propuso un innovador esquema de invernadero con estufa centralizada— (figura 5),<sup>3</sup> por Linneo en su *Caldarium* construido en Upsala en 1745, por Williams Chambers en 1763 —que desarrolló las ideas de Evelyn—<sup>4</sup> o por Michel Adanson y Philip Miller, autores de dos importantes tratados de horticultura publicados, respectivamente, en 1763 y 1768.<sup>5</sup> En ellos se recogía ya el más importante principio de diseño de los invernaderos: la inclinación de las cubiertas de vidrio con el fin de recibir «el mayor beneficio de los rayos solares en función de cada estación del año», según constataba Miller (citado en Loudon 1817: 3).

La conclusión de dichos tratados era que la forma de los invernaderos debía responder, en lo esencial, a razones de geometría solar y que, entre todas las composiciones posibles, la óptima sería aquella en las que las paredes de vidrio se dispusiesen perpendiculares a la dirección de los rayos solares durante la mayor parte del año. De ahí que, como señalaba Miller, se prefiriesen "los invernaderos formados por paredes verticales de vidrio, sobre las cuales se dispondría una cubierta inclinada", de



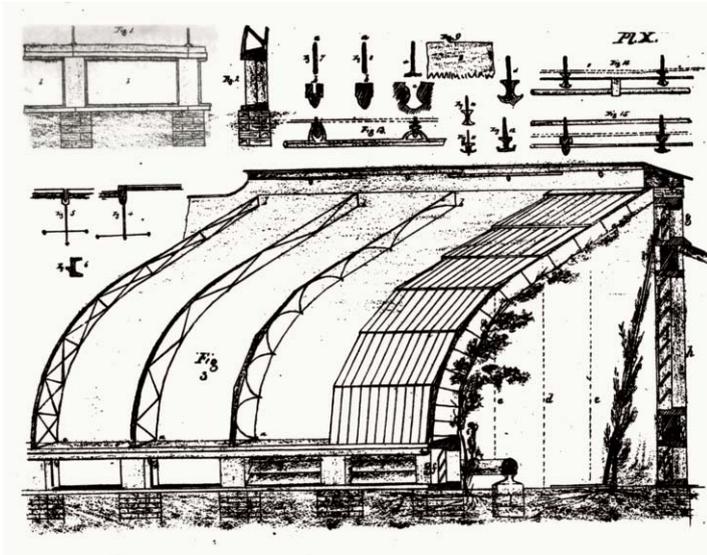
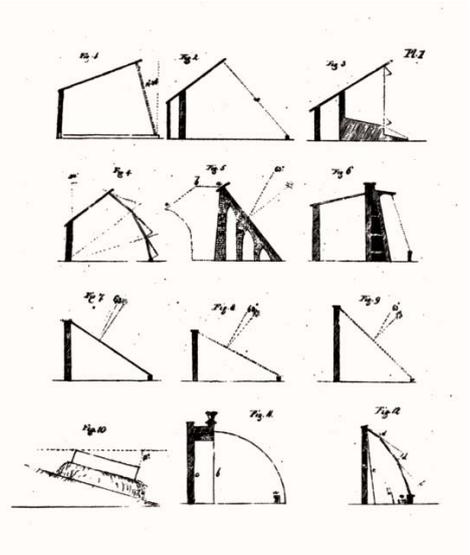


Figura 6. Invernadero tipo según Loudon, 1817 (Loudon 1817).

Figura 7. Tipología de invernaderos según Loudon, 1817 (Loudon 1817).



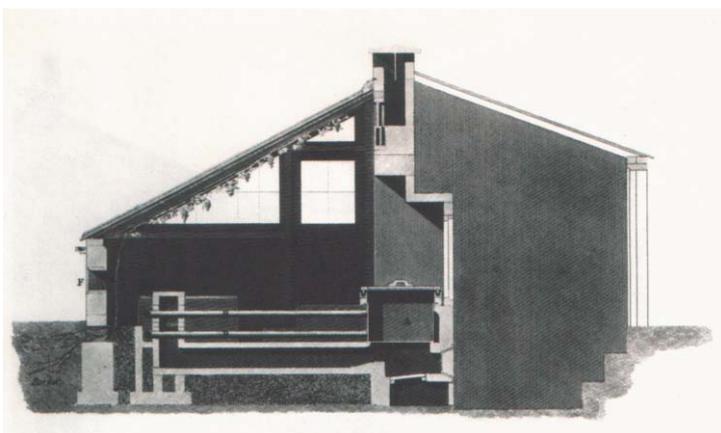
manera que, durante el invierno o las tardes de primavera u otoño, cuando el sol estuviese bajo, la radiación pudiera ser capturada a través de los paramentos verticales, mientras que en verano, la disposición en diente de sierra (*ridge and furrow*) de la cubierta, permitiría un ángulo de incidencia sobre el vidrio mucho más oblicuo, atenuando por lo tanto el recalentamiento (Ibidem: 8).

Los estrictos principios de diseño solar desarrollados por Adanson y Miller fueron compendiados por Loudon en tratados de gran éxito en su época, como *A short treatise on several improvement recently made in Hot-house* (1805) —en el que se daba cuenta de semilleros semejantes a las ‘cajas solares’ de Saussure— y, sobre todo, *Remarks on the Construction on Hothouses* (1817), un riguroso manual que iría actualizándose a lo largo de treinta años, recogiendo la evolución del nuevo tipo para dar cumplida cuenta de la casuística derivada de un esquema general, en principio, muy sencillo: el invernadero formado por paredes de vidrio inclinadas en función de la orientación y la latitud, y combinadas de maneras diversas con muros verticales de fábrica que dotaban de rigidez mecánica al

conjunto y funcionaban, gracias a su masa e inercia térmica, como acumuladores y dosificadores de calor. A este esquema solía añadirse una pequeña estufa (figuras 6, 7, 8).

En su configuración primitiva, los invernaderos respondían, por tanto, a un esquema anisótropo, orientado al Sur, y construido con una mezcla heteróclita de materiales, algo que se explicaba tanto por la falta de disponibilidad de vidrio a un precio razonable como por el uso pragmático de la capacidad térmica de los gruesos muros tradicionales. Con el tiempo, y conforme aumentaba el tamaño de las colecciones botánicas y el vidrio comenzaba a fabricarse en formatos mayores y más baratos (gracias, sobre todo, a los procesos de fabricación de cilindro a mano importados del continente por los Hermanos Chance, de Birmingham), los invernaderos fueron abandonando su originaria y modesta condición de *hotwalls* (según el término de Loudon) o de *conservative walls* (palabra que acuñaría Joseph Paxton en 1848), para volverse piezas muchos más grandes, simétricas, isotropas espacialmente y homogéneas en relación con los materiales con que estaban construidas.

Figura 8. Invernadero en los Jardines de Anthony Bacon, 1822 (Kohlmaier 1981).



Los primeros ejemplos de esta nueva concepción de los invernaderos fueron los diseñados por el propio Loudon después de que hubiese patentado un sistema de barras de acero forjado, muy ligeras y que podían curvarse a voluntad para generar superficies de directriz esférica, cilíndrica e incluso cónica. La nueva flexibilidad formal en las envolturas dio pie a construcciones inéditas, curvilíneas, plegadas, bulbosas y revestidas con una increíblemente liviana piel de vidrio (los invernaderos más radicales de Loudon parecen, de hecho,

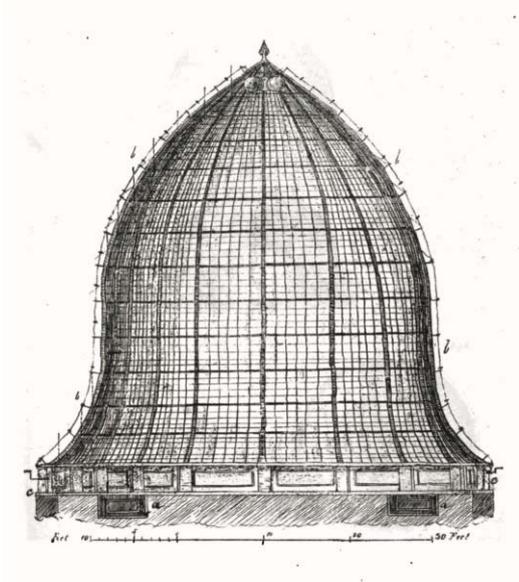


Figura 9. Invernadero según Loudon, 1817 (Loudon 1817).

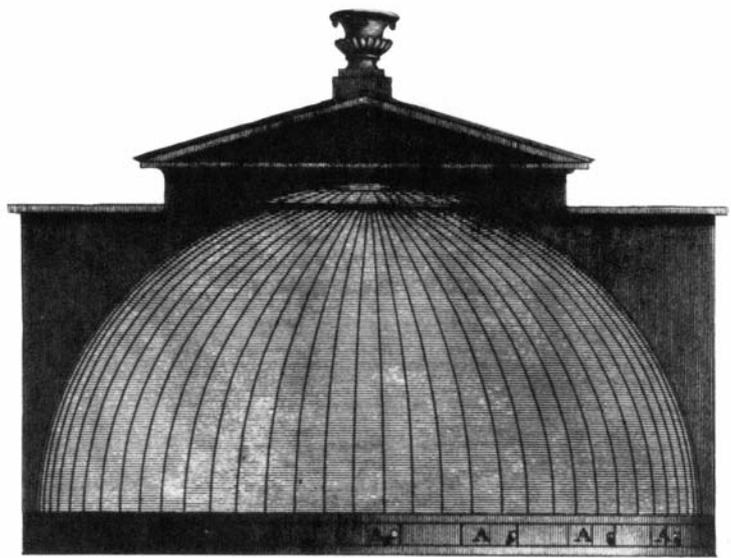


Figura 10. Invernadero de sir George Mackenzie's, ca. 1820 (Hix 1971).

anticiparse un siglo a las formas cupuladas y tecnocráticas de las casas de Buckminster Fuller) (figuras 9, 10 y 11). Determinada rigurosamente por ‘jardineros científicos’ como Loudon, la geometría de estos invernaderos respondía al propósito fundamental de conseguir el máximo soleamiento y las mínimas pérdidas de calor, y también de lograr un comportamiento estructural impecable. El objetivo era acentuar el efecto de calentamiento natural aprovechando la disponibilidad de vidrio, material con el que ya no se revestía sólo un paramento —como en las ‘estufas’ de Linneo o Miller—, sino todas las superficies del invernadero. Por mor de la transparencia, los vidrios que se empleaban eran de buena calidad,<sup>6</sup> y para evitar el cualquier sombreado producido por un plano opaco, el acristalamiento se resolvía con estructuras muy ligeras, apenas visibles, de acuerdo a un principio de economía que era a la vez mecánico, energético y económico. De ahí el protagonismo de las estructuras tipo cascarón —superficies cilíndricas o esféricas— que, además de asegurar un buen coeficiente de forma, producían sólo esfuerzos en el plano, minimizando así las tracciones, algo de gran relevancia en estructuras configuradas con materiales que, como el vidrio y el hierro fundido o forjado, son muy frágiles

### Una tipología termodinámica

Gracias a su forma y sus materiales, los primeros invernaderos modernos garantizaban un óptimo aprovechamiento de la radiación solar. Con todo, no llegaban a ser autosuficientes, habida cuenta de los muchos días lluviosos o neblinosos en los que la radiación muy baja, y de las largas noches de invierno acompañadas con fuer-

tes heladas. En tales casos, los invernaderos eran literalmente ‘estufas’ (*stoves*), por cuanto albergaban sistemas más o menos eficientes de calefacción. Éstos podían ser tan primarios como una gran fogata encendida en el interior del espacio acristalado, solución que, según Loudon, podía llegar a ser atractiva por mor de la “imagen del fuego brillando entre las plantas” —imagen pintoresca donde las haya que tenía en sí “algo de social y comfortable” (Loudon 1817: 6)—, pero que a la postre resultaba insuficiente en construcciones de gran volumen, en los cuales, confesaba Loudon, resultaba muy difícil “homogeneizar la temperatura del espacio calefactado” (Ibidem: 55).<sup>7</sup>

Históricamente, en los invernaderos se habían instalado sistemas de producción y distribución de calor basados en el *hypocaustum* romano, con redes de conductos

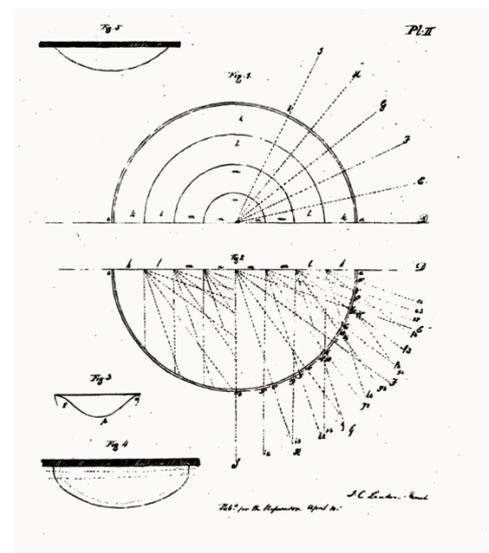


Figura 11. Estudios de geometría solar, 1817 (Loudon 1817).



y las ochos calderas que calentaban el edificio a través de un sistema registrable de tuberías empotradas en el suelo. Ajena a cualquier precedente estilístico, la forma del invernadero parecía estar dotada de una indiscutible necesidad interna, pues resultaba óptima para cumplir su función y era precisa y coherente como un reloj. A fin de cuentas, la Great Stove estaba concebida como una suerte de máquina de máquinas que estratificaba hábilmente dos dispositivos de geometrías y sentidos heteróclitos: arriba, los volúmenes acristalados de la ‘máquina solar’ —ligera, transparente, tectónica y conservativa—; abajo, los muros de la ‘máquina ígnea’ —pesada, opaca, estereotómica y regenerativa (figura 14).

Definida por la Reina Victoria como “la más magnífica y extraordinaria de las creaciones inimaginables” (Pevsner 1979: 290) y por Charles Darwin, recurriendo al tópico, como una construcción en la que “el arte vence realmente a la naturaleza” (Colquhoun 2004: 106), la Great Stove de Paxton pronto sería emulada, incluso superada, por otras grandes invernaderos, como la no menos célebre Palm House de Kew, construida por Richard Turner y Decimus Burton en 1850. Se trataba, en este caso, de una composición de bóvedas cilíndricas cerradas en sus dos testeros con sendas semiesferas, y rematada con una enfática cúpula de rincón de claustro. La bóveda de cañón principal tenía 15 metros de luz y 110 de longitud; la estructura estaba organizada con arcos de acero laminado dispuestos cada 3 metros, y de cabios cada 25. A diferencia de Chatsworth, en Kew el conjunto no estaba rigidizado por el plegado en diente de sie-

rra, sino mediante correas dispuestas longitudinalmente que se postearon para zunchar el edificio por su perímetro. Por lo demás, el invernadero resultaba semejante a la Great Stove: la relación superficie/volumen minimizaba las pérdidas de calor; su forma y orientación garantizaban el máximo soleamiento; las superficies curvadas eran fácilmente drenantes; el agua se recogía en canalones perimetrales y se conducía hasta depósitos de riego; y el gran volumen acristalado se posaba sobre un zócalo pétreo. En él se situaba una suerte de gran suelo radiante, cuyo efecto se complementaba con una corriente de convección producida por una serie de trampillas exteriores, de tal modo que el aire caliente subía hacia el claristorio, barriendo la superficie de las paredes de vidrio y ayudando así a evaporar el agua de condensación. Las calderas, se colocaron lejos del cuerpo acristalado: un pequeño tren subterráneo conectaba éste con aquéllas.

#### La utopía del clima artificial

Hacia 1840, los grandes invernaderos habían dejado de ser, pues, los artefactos anecdóticos típicos de los palacios barrocos para convertirse en una empresa seria y ambiciosa que daba cuenta a un tiempo de la afición burguesa por las plantas tropicales y de la ambición científica por aclimatar cualquier especie, por exótico que fuera su ecosistema original, para su estudio riguroso. Tal ambición se traducía de un modo muy expresivo en la propia palabra ‘aclimatación’, es decir, en la posibilidad de modificar la hasta entonces inalterable geografía de los climas merced a los poderes de los invernaderos. La tradición

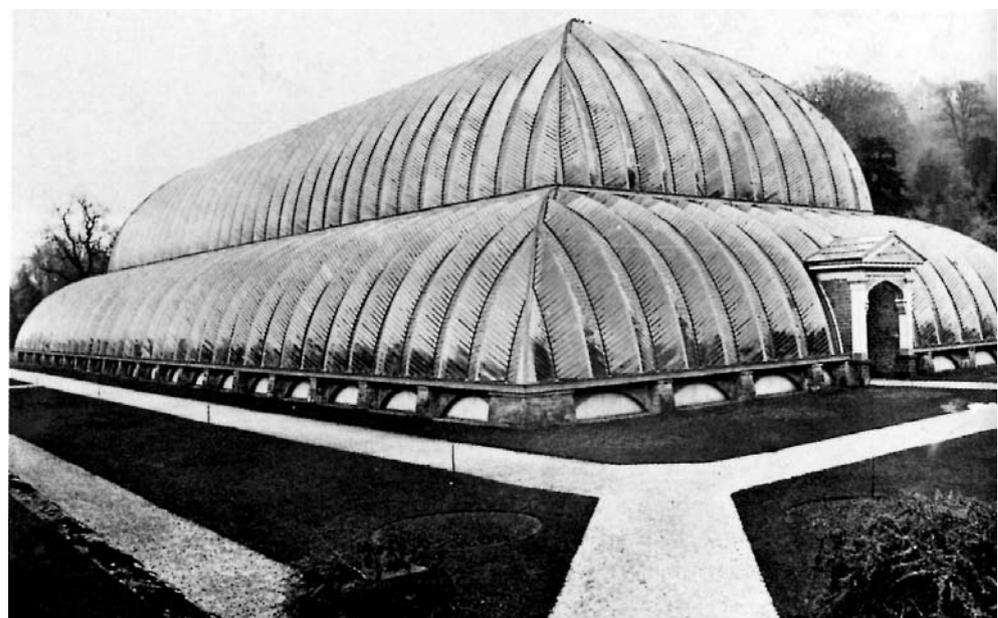


Figura 14. El invernadero de Chatsworth antes de su destrucción en 1920. (Kohlmaier 1981).

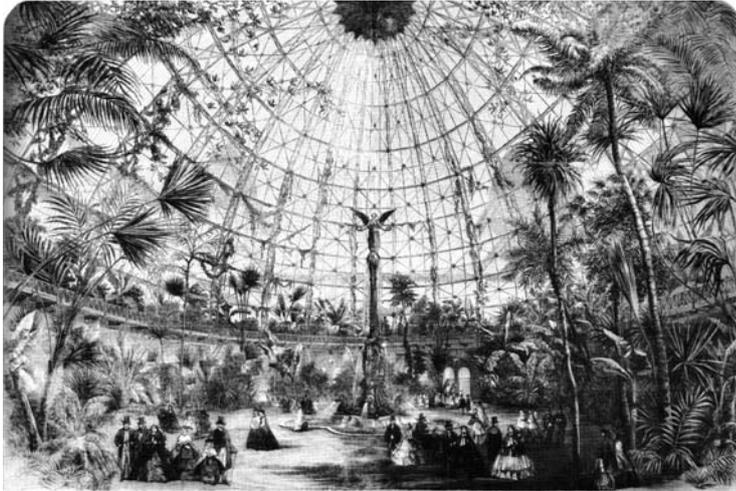


Figura 15. Utopías del clima artificial: el Palacio del Pueblo en Londres, 1859 (Hix 1971).

clásica, inspirada en lo esencial en Hipócrates, había dividido la Tierra en tierras templadas, frías y cálidas, de las cuales sólo las primeras se creían aptas para la vida civilizada. Se creía además que los climas definían la constitución física y el carácter de sus habitantes. Este determinismo climático se aplicaba también a una escala menor, por cuanto dentro de las propias zonas templadas se creía había unas más favorables que otras: de hecho, estas zonas tocadas ‘por la mano de Dios’ se asociaron a la cuenca del Mediterráneo, sobre todo a Grecia e Italia, lugares de donde, no por casualidad, procedían los tratadistas clásicos.

Con su capacidad para poner entre paréntesis la rígida geografía clásica asociada a los climas, los grandes invernaderos traían aparejadas nuevas nociones que iban más allá de lo puramente técnico. Entre ellas, daba crédito a una posibilidad que, desde entonces, se ha convertido en una de las utopías de la modernidad, si bien de un modo solapado: la utopía del clima artificial o del clima absoluto. El ambiente ideológico para propiciarla se venía caldeando desde finales del siglo XVIII, con la recuperación de las viejas tesis del determinismo climático y los primeros estudios sobre la relación entre la atmósfera natural y el ambiente humano. Al respecto, pueden citarse algunos ejemplos que hablan por sí solos: en 1791, Herder, en los primeros capítulos de su obra mayor, de gran influencia en el primer Romanticismo, definía la cultura humana como la historia de la pugna con el ambiente y el clima, y concluía que los hombres eran, en rigor, “pupilos del aire”.<sup>11</sup> En 1821, Hegel incluyó el dominio de la atmósfera entre los fundamentos del Derecho (“incluso el aire cuesta, pues hay que calentarlo”, escribió) (Hegel 1970 (1821): 351); en 1808, Fourier, explicó su plan para incrementar el efecto

de las auroras boreales de manera que el norte de Canadá pudiera tener una temperatura como la de la Costa Azul, para “rehacer la naturaleza” y dotar al mundo de un “clima perfecto” (citado en Barthes 1971: 83, 91).

No es casualidad que esta cronología coincida con el desarrollo y maduración de los grandes invernaderos, convertidos en una dotación cada vez más imprescindible y que, desde 1820 aproximadamente, fueron construyéndose en todas las capitales europeas. De hecho, el invernadero como gran artefacto de ‘aclimatación’ se asoció desde muy pronto con la utopía del ambiente controlado a través de la técnica, y lo más notable es que tal asociación no se debió directamente a filósofos como los anteriormente citados (no de momento, al menos), sino a los jardineros e ingenieros que construían los grandes artefactos de hierro y cristal y que, al cabo, eran hombres al tanto de las ideas de su tiempo. En 1817, el propio Loudon, en un pasaje contenido en los miles de páginas que constituyen sus obras, anticipó, muy en la línea de Fourier, el día en el que los “climas artificiales” de los invernaderos “ya no estarían abastecidos de pájaros, peces y animales inofensivos, sino de ejemplares de las especies humanas [sic]” (Loudon 1817: 49), para proponer al cabo la aplicación del invernadero a escalas cada vez mayores. Una generación más tarde, en 1844, una vez que la sensibilidad ambiental condujo al fenomenal desarrollo de los sistemas de ventilación y climatización, el médico y mayor especialista en ingeniería higiénica de la época, David Boswell Reid, se preguntaba, muy en la línea de Hegel, por qué, siendo el “aire invisible” tan importante para los espacios habitados, no se empezaba a considerar la arquitectura como “el cuerpo de esa atmósfera interior sin la cual no podría darse la vida” (Boswell 1844: 71) (figura 15).

En la Inglaterra polucionada y anublada como nunca del siglo XIX, la utopía higiénico-atmosférica era casi un lugar común. Esto explica el simbolismo que sus contemporáneos dieron a la que sería la mayor obra de arquitectura del siglo XIX y, sin duda, la más relevante de la tipología solar que aquí se está describiendo: el Crystal Palace construido por Joseph Paxton para la Exposición Universal de 1851. Como la historia del edificio es conocida, bastará con recordar, en primer lugar, las dimensiones de su huella, 1848 pies de largo y 408 de ancho (esto es, un poco mayor que el Palacio de Versalles), y su altura máxima de 108 en el transepto (es decir, más alto que la Abadía de Westminster).

Después puede mencionarse su plazo de ejecución de 6 meses, lo que da cuenta del grado de madurez constructiva y de capacidad logística de su Paxton y de los jardineros, arquitectos e ingenieros que le ayudaron a levantar el edificio. La singularidad del Crystal Palace no estribó en su esquema, un tanto rígido e inspirado, en realidad, en las plantas basilicales de la tradición clásica; tampoco en el hecho de que estuviera construido enteramente con hierro y cristal, como los grandes invernaderos o las estaciones de ferrocarril. Su radicalidad consistió en el modo en que, con estas premisas, el edificio puso en crisis los lenguajes de la arquitectura tal y como se había concebido hasta el momento, y todo ello desde un modo de proyectar que había tenido en la disponibilidad de nuevos materiales pero, sobre todo, en la atención a la geometría solar, sus verdaderas y prácticamente exclusivas guías.

Proyectado a partir de un módulo de 24 pies, y con series de piezas iguales determinadas por la longitud máxima de los paneles de vidrio (un metro y medio, aproximadamente),<sup>12</sup> el Crystal Palace fue el resultado de un método de prefabricación industrial y de ensamblaje hasta entonces inédito en la historia arquitectura. No fue, sin embargo, su lógica constructiva, que permitía que el edificio pudiera desmontarse completamente y rehacerse a otro lugar (como ocurrió, literalmente, con su traslado de Hyde Park a Sydenham en 1853), sino su imagen tecnológica expresada por el hierro y el vidrio, así como su concepción tipológica —un gran contenedor neutro—, los que harían fortuna en la arquitectura inmediatamente posterior. Basta con mencionar, al respecto, el edificio homónimo construido en Nueva York en 1854 o la larga serie de grandes pabellones que, de la mano de arquitectos e

ingenieros como Horeau, Dutert y Contamin o Eiffel, entre otros, irían surgiendo en el continente con ocasión de las innumerables exposiciones universales celebradas a lo largo del siglo XIX.

### El Crystal Palace como ‘pseudomorfo’

Más allá de las deudas del Crystal Palace con la construcciones precedentes (fundamentalmente, *hothouses* y *greenhouses* de acero y vidrio, pero también estaciones de ferrocarril), buena parte del éxito del edificio dependió de una fructífera descontextualización que señalaba el paso del invernadero botánico al contenedor social o, empleando las elocuentes palabras de un contemporáneo de Paxton, a un “gran invernadero metropolitano” (Pevsner 1979: 294). En este proceso de descontextualización algunas cosas se quedaron por el camino; y no fueron menores: la principal fue que el Crystal Palace perdió el decoro o la condición de ‘arquitectura parlante’ que habían tenido previamente los invernaderos, por la cual la razón solar o energética del edificio resultaba legible de un vistazo.

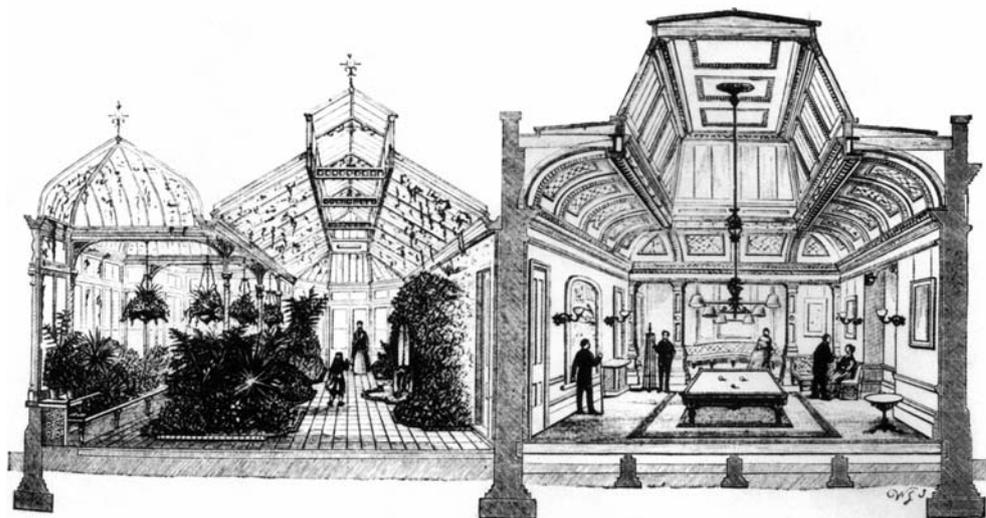
La obsesión funcional originaria —recrear en la fría Europa los ecosistemas tropicales— dejó paso así a un propósito menos determinista: construir un gran contenedor para personas, mercancías y también para arquitecturas. De hecho, el Crystal Palace albergó durante la Great Exhibition de 1851 y aun después toda una serie de pabellones: pompeyano, bizantino, gótico, renacentista, islámico, egipcio, chino, e incluso prehistórico, este último ilustrado con modelos a escala real de los dinosaurios, lo que confería al espacio acristalado no ya un carácter fantasmagórico, que diría Walter Benjamin, sino francamente surrealista. Lo relevante, en cualquier caso, era la flexibilidad tipológica y constructiva del nuevo tipo edificatorio, y su indiferencia estética, que lo habilitaba para presentar los diferentes estilos históricos, sin competir con ellos. De este modo, en el Crystal Palace —una especie de pseudomorfo cuyo primitivo sentido energético sólo quedaba como vestigio formal—, el eclecticismo victoriano hallaba un nuevo lenguaje: el de la neutralidad pura de la transparencia o, lo que es lo mismo, la ‘falta de estilo’ (figura 16).

Pese a que el Crystal Palace fue aceptado sin reservas por el gran público, que lo admiró a través de las anteojeras del Romanticismo (el edificio se vio como «un arco resplandeciente», como “un palacio para un príncipe encantado”, en palabras del poeta Thackeray (Ibidem: 295),<sup>13</sup> en general los arquitectos no lo valoraron más

Figura 16. El Crystal Palace en 1851 (Internet).



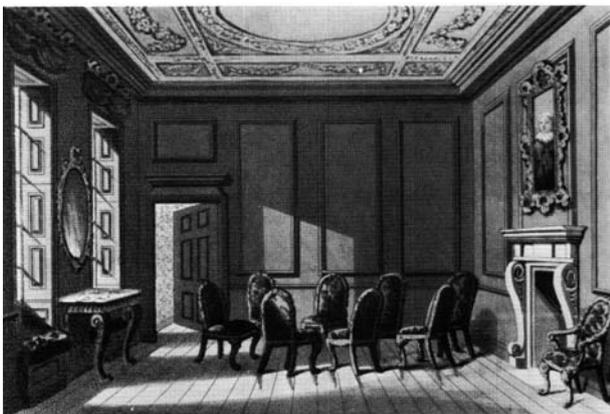
Figura 17.  
 Invernadero y sala de  
 billar en Theydon  
 Grove, Londres, ca.  
 1860 (Kohlmaier  
 1981).



que como un salvaje fruto del eclecticismo industrial. Tal era la opinión incluso de Gottfried Semper, que había trabajado en el diseño de algunos pabellones históricos de la Exposición de 1851, y que había descubierto allí la cabaña de los indios caribes que celebraría en sus escritos. A Semper le resultaba desconcertante y traumática la inmaterialidad del pseudoinvernadero londinense, su atmósfera disuelta por la luz, su condición de ‘vitrina’ o mero “vacío cerrado por un cristal” (Semper 2007: 91), libre del contrarresto benéfico de las formas pesadas de la mampostería. De hecho, Semper —adalid, por otro lado, del principio del revestimiento y de la espacialidad en la arquitectura— nunca reconocería la ejecutoria estética de las construcciones de hierro y vidrio, cuyas aspiraciones como tipo independiente y replicable le parecían peligrosas, y cuyo “estilo al modo del ferrocarril” encontraba detestable. Conviene detenerse en sus razones, pues dan cuenta de los modos en que la arquitectura ‘solar’ amenazaba por entonces a la arquitectura ‘seria’.

Oponiéndose a aquellos que, como Zola, consideraban que había llegado el momento de que “el hierro acabase con la piedra” (Ibidem: 292), Semper consideraba que la construcción metálica, excepto en los edificios puramente funcionales como las estaciones de ferrocarril, era incompatible con la monumentalidad, pues daba pie a edificios leves, transparentes, casi invisibles, en los cuales el ojo perdía las referencias materiales o tectónicas propias de la ‘verdadera’ arquitectura; una constatación que refrendaría más tarde Louis-Auguste Boileau en su visita a la Galería de las Máquinas de la exposición parisina de 1887: “El espectador no es consciente del peso de las superficies transparentes, que son para él aire y luz, es decir, un fluido imponderable” (citado en Giedion 1961: 295). A tal fluidez imponderable correspondía, según Semper, una intolerable indefinición de la planta, esquemática al modo del Crystal Palace o incluso “mediocre y sin forma” (Semper 2007: 91) como en el Jardin d’Hiver que Charpentier acababa por entonces de construir en París. Se trata de una impresión convalidada por

Figura 18. El parlour de una casa victoriana antes y después de añadir el invernadero, según Humphry Repton (Kohlmaier 1981).



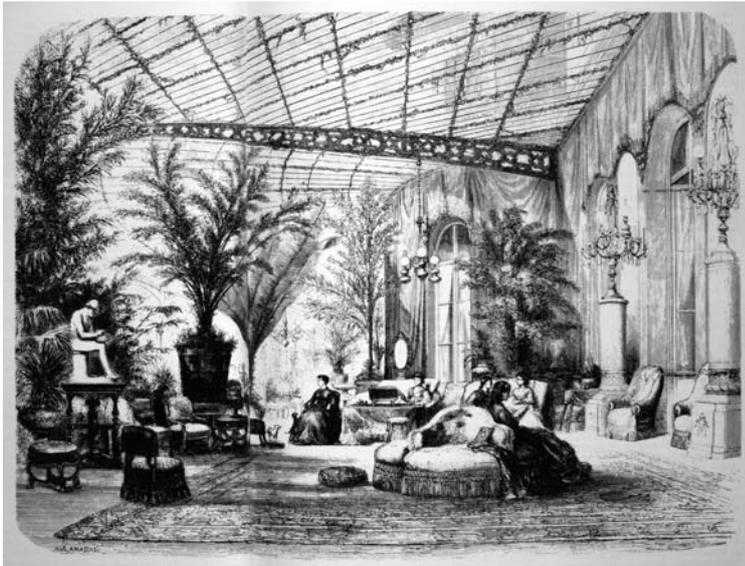


Figura 19. Jardín d'hiver de la princesa Matilde Bonaparte en París, ca. 1869 (Kohlmaier 1981).

otro observador contemporáneo del edificio, Richard Lucae, que vio en la inmensa obra el primer ejemplo de un “ambiente creado de manera artificial”, un ambiente en el que “como ocurre en un cristal, no hay un interior o un exterior verdadero”, de manera que nos sentimos “separados de la naturaleza, sin apenas darnos cuenta”, como si “estuviéramos en la sección de una atmósfera” (Lucae 1869: 303).

Para Semper y, en general, para los arquitectos ‘serios’ formados en la Academia, el problema del Crystal Palace no consistía en el uso del hierro y el vidrio en sí mismo; estribaba en la pretensión de convertir invernaderos y edificios análogos en tipos arquitectónicos independientes y dotados, por tanto, de legitimidad estética. Para el autor de *Der Stil*, tales construcciones tenían una condición esencialmente subalterna: sólo se justificaban en cuanto complementos pintorescos y funcionales añadidos a verdaderas arquitecturas, igual que “el jardín exige necesariamente una casa a la que ser adosado” (Semper 2007: 92). Por ello proponía que los tinglados de hierro y vidrio, presuntuosamente ‘arquitecturizados’ como el Jardín d’Hiver parisino, retornasen a su primitiva condición de ‘simples invernaderos’: ingenios concebidos para captar la radiación, “dotados de carpinterías y separaciones móviles” y tan ligeros y tan grandes como se quisiera, siempre y cuando estuviesen vinculados a construcciones masivas más importantes. La jerarquía representativa impedía, de este modo, que el invernadero —ya fuera en su expresión literal o en variantes pseudomorfas como el Crystal Palace— fuera autónomo desde el punto de vista estético: el invernadero debía renunciar a ser ‘verdadera’ arquitectura, limitándose a complementar

y poner a ésta en contacto en la naturaleza, al modo de una máquina pintoresca (figuras 17, 18, 19).<sup>14</sup>

### Máquinas pintorescas y ‘ready-mades’

Pese a las reticencias de Semper y, en general, los arquitectos formados en los estilos históricos, la influencia del Crystal Palace y, a la postre, la del invernadero moderno como tipo arquitectónico, fue considerable, dando pie a dos nuevas familias: la de los grandes pabellones de exposiciones universales de la segunda mitad del siglo XIX; y las ‘casas solares’ que comenzarían a proyectarse mucho más tarde, ya madura la modernidad.

Adoptando la estética del vidrio y el acero de los invernaderos, pero olvidando su sentido energético, los pabellones de exposiciones se tradujeron en nuevos tipos de sesgo ingenieril concebidos con afán de competencia tecnológica, pero prudentemente alejados de lo que por entonces seguía considerándose la arquitectura ‘seria’, la de las academias y los estilos históricos. De hecho, las plantas esquemáticas e informes de estos grandes pabellones, su espacialidad indefinida y su indiferencia estética fueron a la vez un problema para los defensores de los estilos históricos y un aliciente para los adalides del estilo ‘moderno’, pese a que éstos acabaran inspirándose en ellos sólo de una manera analógica, como coartada intelectual. Hubo que esperar a la década de 1960 para que la vieja idea del contenedor indefinido y vidriado reviviese en utopías tan celebradas como el Fun Palace de Cedric Price, una pieza cuya estética era, por otro lado, bien diferente a la del Crystal Palace. Más afines a éste serían otros edificios ya descaradamente posmodernos, como la facetada Iglesia de Garden Grove (1980), de Philip Johnson y, sobre todo, el literalmente ‘paxtiano’ Palacio de Convenciones de Nueva York, construido por I. M. Pei en 1986, poco antes de erigir su polémica pirámide de vidrio en el corazón del Louvre parisino.

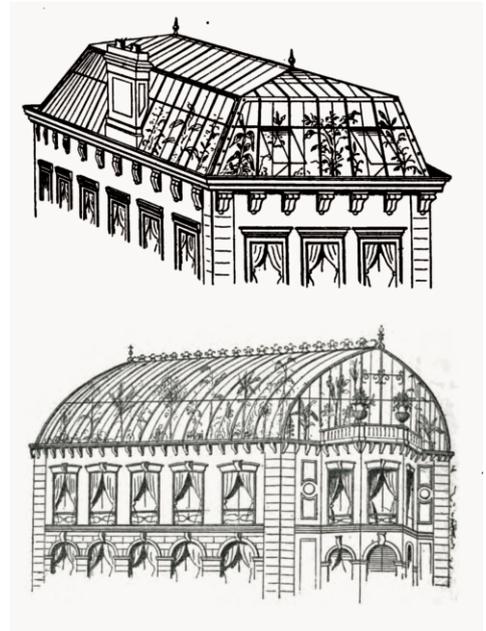
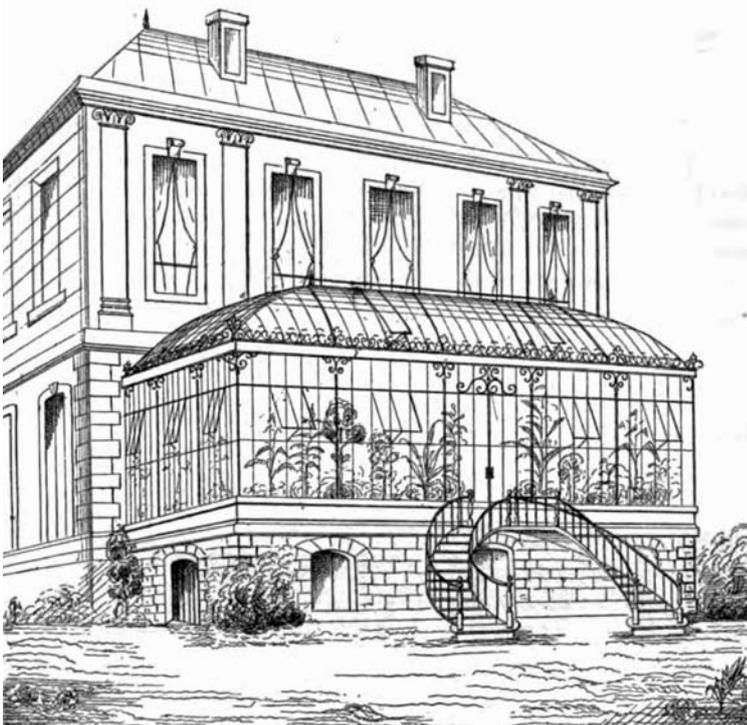
Al igual que lo había sido tempranamente el Crystal Palace, todos los edificios que acaba de mencionarse son pseudomorfos: manifiestan su configuración solar sólo como vestigio de una primitiva razón funcional ya perdida. En ellos, el tipo se ha independizado de los requerimientos originales para comenzar su andadura formal por sí solo. En otros casos, los vínculos entre la forma y la función, entre el programa y el tipo, se mantuvieron, y no sorprende la afinidad casi mimética de los ‘primitivos’ invernaderos del siglo XIX con

Figura 21. Cubiertas invernadero de inmuebles urbanos, 1873 (Joly 1873).

muchas de las construcciones tecnológicamente más avanzadas del siglo XX; una semejanza que sugiere la continuidad de la tradición innovadora vinculada a las razones solares.

Entre tales construcciones se encuentran, por supuesto, las que han prolongado y actualizado en nuestros días el viejo modelo de los invernaderos, como la Academia de Ciencias de San Francisco, de Renzo Piano —formada por una rotunda cúpula perforada para buscar la luz y semienterrada para mejorar su aislamiento térmico—, el Jardín Botánico de Gales (2000) de Norman Foster, y, sobre todo, el Proyecto Edén (2004), de Nicholas Grimshaw, un gran invernadero de estructura mínima y piel de colchones de ETFE concebido con las mismas razones solares y estructurales de las ‘estufas’ de Paxton y Burton, aunque su geometría bulbosa se inspire ahora en las formas espontáneas de la naturaleza, como las pompas de jabón, las células y los radiolarios. Sin embargo, donde de una manera más evidente pervivieron las viejas razones solares y estructurales de las *hothouses* victorianas (acaso a su pesar) fue en la obra de Buckminster Fuller, en especial las cúpulas geodésicas que depuraban los esquemas decimonónicos, conservando lo más valioso que había en ellos: la íntima afinidad entre energía y geometría. De hecho, por su economía constructiva, por su carácter industrializado y transportable y, sobre todo, por su excelente relación superficie/volumen, las

Figura 20. Invernadero adosado a una casa burguesa, 1873 (Joly 1873).



cúpulas ‘fullerianas’ siguen siendo hoy utilizadas para generar condiciones de confort en climas extremos (proyectos en el Ártico y en la Antártida, pro ejemplo), haciendo las veces de invernaderos habitados.

La tradición de la arquitectura solar inaugurada a principios del siglo XXI no sólo ha perdurado en estos ejemplos de continuidad casi literal; también ha fructificado en las arquitecturas que han adoptado el modelo del invernadero como una parte u órgano especializado en el contexto de una construcción más amplia. Los antecedentes principales de estas disposiciones híbridas son, por supuesto, los pasajes de las capitales del siglo XIX, formados por la unión —un tanto surrealista o ‘fantasmagórica’ al modo de Baudelaire y Benjamin— de gráficas fachadas dibujadas por oropeles eclécticos y ascéticas y etéreas cubiertas de hierro y vidrio. La hibridación es también evidente en los invernaderos domésticos (*conservatories*) que solían adosarse a las mansiones victorianas (figuras 20 y 21). En todos estos casos, las construcciones de hierro y acero —pseudomorfos del invernadero al cabo— se comportaban como Semper habría esperado: como maquinarias pintorescas subordinadas a la ‘verdadera’ arquitectura.

Máquinas pintorescas son también los invernaderos añadidos en muchas de las casas de la primera Modernidad. La Casa Citrohan (1927) de Le Corbusier está resuelta al mediodía con un doble acristalamiento separado por una cámara-invernadero de unos cincuenta centímetros de ancho, solución que cabe interpretar, por un lado, como una versión miniaturizada

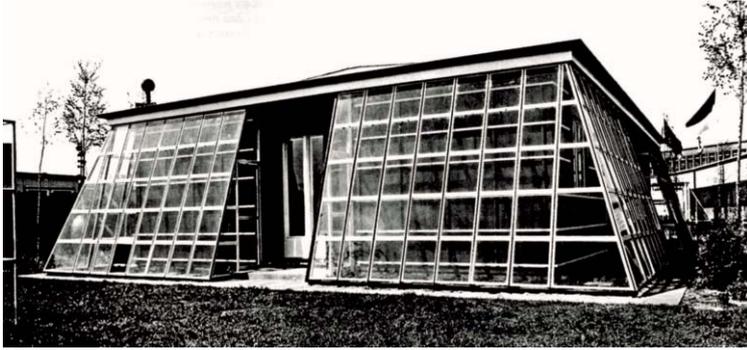


Figura 22. La Wachsende Haus de Martin Wagner, 1932 (Arch +, 198-199).

zada de los conservatories victorianos y, por el otro, acaso como una premonición del futuro *wur neutralisant*. Algo semejante cabe decir del invernadero integrado en la fachada Sur de la Casa Tugendhat de Mies van der Rohe (1928), y también en otros proyectos donde la asunción de la tradición del invernadero fue aún más premeditada.

Fue el caso de la Wachsende Haus (casa crecedera) que Martin Wagner construyó para la exposición 'Sonne, Luft und Haus für Alle' (1932), cuya fachada dejaba patente su intrínseca razón bioclimática. Estaba formada por una piel de vidrio inclinada respecto de la horizontal para optimizar la captación solar, de acuerdo a una solución que, lejos de ser innovadora, conocían ya los jardineros de la generación de Loudon (es decir, los jardineros que habían precedido a la modernidad en un siglo); solución que, convenientemente descontextualizada, podía presentarse como inédita (figura 22). En cualquier caso, en la Wachsende Haus las prestaciones energéticas de la arquitectura solar se ponían al servicio del ideal de autosuficiencia propio de la época, no en balde marcado por las carestías energéticas y alimentarias provocadas por la I Guerra

Mundial y la subsiguiente crisis económica. La incorporación del invernadero se justificó, así, tanto por razones estéticas como funcionales, pues la pequeña 'estufa' que envolvía la casa podría cobijar también un pequeño huerto doméstico. La mecánica solar adoptaba, de este modo, tintes organicistas.

### Casas solares y 'détournements' bioclimáticos

Mientras en Europa se quería domesticar el sol con fines estéticos y sociales reinterpretando —aunque sin reconocerlo— la vieja tradición de los conservatories victorianos, en los Estados Unidos se había emprendido, a través de prototipos, el estudio científico de las 'casas solares', la segunda de las familias derivadas, en último término, de las utopías climáticas del siglo XIX. La tecnología solar que comenzó a desarrollarse a principios del siglo XX fue, en general, fruto de la obsesión por la helioterapia nacida a finales del siglo anterior y que alcanzaría su punto álgido en la Europa de la década de 1920. Sin embargo, fue en los Estados Unidos donde los estudios sobre el solar se llevaron a cabo de una manera más sistemática de la mano, sobre todo, de William Atkinson, autor del primer estudio dedicado específicamente a la relación de la geometría solar con la arquitectura (*The Orientation of Buildings, or Planning for Sunlight*, 1912) (figura 23), cuyo efecto se complementó, en otros contextos, con los muchos libros de divulgación higienista publicados en aquel país por aquellos mismos años, como *Fresh Air and How to Use It* (1914), donde Thomas S. Carrington presentaba curiosos ingenios solares susceptibles de aplicarse a la casa burguesa (figura 24).

Así y todo, la historia de los ingenios sola-

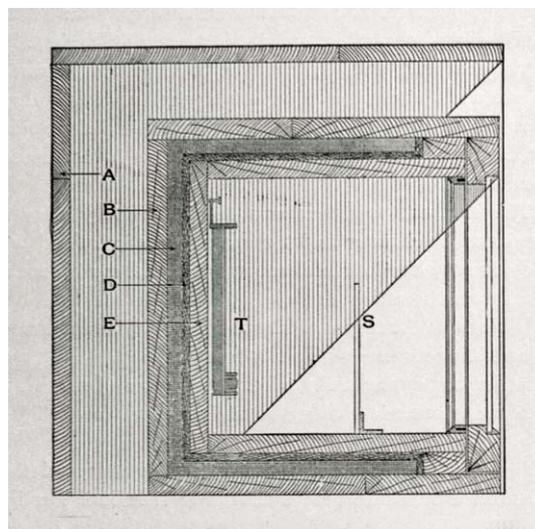


Figura 23. Esquema de la sunbox diseñada por William Atkinson, 1912 (Atkinson 1912).

Figura 24. Turn-table House: casa solar de 1914 (Carrington 1914).



Figura 25. La casa solar de Mickelson, 1930 (Los 1977).

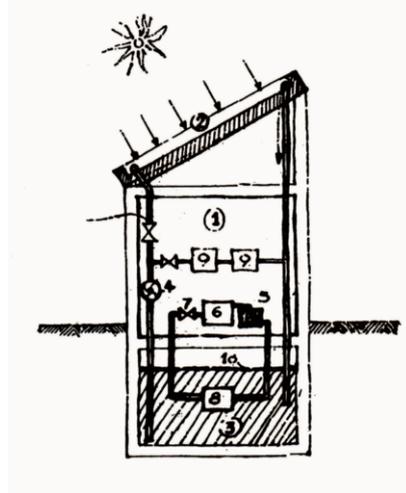
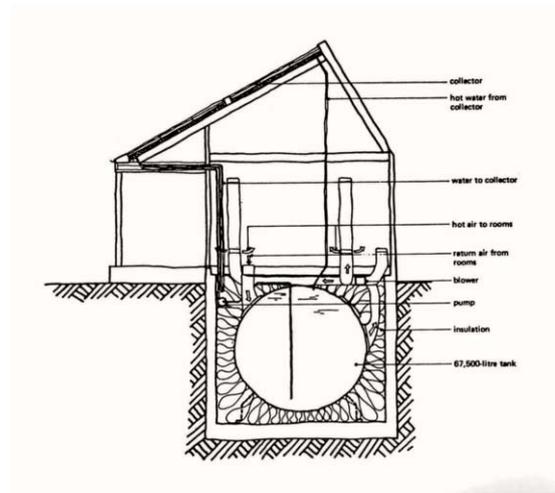


Figura 26. MIT Solar House, 1939 (Los 1977).



res concebidos a la manera ‘moderna’ comienza con el que construyó en 1939 un grupo de investigación del MIT, proyecto que en lo fundamental se derivaba de una propuesta presentada en 1930 por Mickelson en el Instituto de Agricultura de Moscú, y que se denominó retóricamente ‘Casa solar’, aunque en realidad se tratase de una solución bastante simplista para incorporar en una cubierta inclinada una superficie de paneles termosolares conectados a una bomba de calor (figura 25).

La MIT Solar House I, de 1939 (a la que siguieron las versiones II, III y IV de 1947, 1948 y 1950 respectivamente), desarrolló el diagrama ruso, combinando la cubierta inclinada de captadores termosolares con un sistema de acumulación de calor situado bajo rasante, a los cuales se añadía un pequeño invernadero orientado al Sur. Por supuesto, este esquema, presentado en su momento como una gran novedad (igual que hoy se siguen presentando como inéditas tantas soluciones relacionadas

con la arquitectura solar), no era en el fondo más que una reinterpretación, no muy sofisticada, del añejo tipo de los conservative walls y de las *hothouses* dibujado por Loudon un siglo y medio antes (figura 26). Como los primeros invernaderos modernos, las casas solares de la MIT y otros ejemplos coetáneos más desarrollados estéticamente —la Casa Howard Sloan (1940) de G. F. Keck, la Casa Tucson (1945) de Arthur Brown y, sobre todo, la Casa Dover (1948) de E. Raymond (figura 27)— eran construcciones muy compactas, abiertas con largueza al mediodía, pero cerradas al septentrión y parcialmente soterradas. Pese a que estas casas solares norteamericanas eran esquemáticas y resultaban funcionalmente inferiores a los invernaderos decimonónicos (especialmente en todo lo relacionado con la ventilación), dieron pie a un fructífero debate, aún pertinente, sobre los modos de combinar o integrar en la arquitectura los viejos esquemas tipológicos del diseño solar pasivo con la nueva tecnología de captación activa fundada en los paneles termosolares, los depósitos de acumulación y la nueva maquinaria de producción de calor o frío. La tradición tipológica del invernadero decimonónico se encontraba así con la tradición tecnológica inaugurada con la ‘caja solar’ de Saussure, continuada con la ‘bomba solar’ de Mouchot y perfeccionada con los primeros paneles termosolares modernos inventados a principios del siglo XX.

Figura 27. Dover House, 1948 (Araujo 2007).



El de las ‘casas solares’ fue un nuevo tipo arquitectónico que, olvidado al calor del consumismo basado en la energía barata, comenzaría de nuevo a dar juego con ocasión de las sucesivas crisis energéticas producidas desde la primera de 1973. Con todo, en Europa, la arquitectura solar se mantuvo reticente a la hora de abandonar el viejo esquema formal de los invernaderos

ros por los nuevos artefactos basados, cada vez más, en la difícil integración de gadgets bioclimáticos. Fruto de esta reticencia fue la nueva generación de pseudomorfos solares, basados en descontextualización o puesta al día formal de los viejos esquemas.

Fue el caso de la Facultad de Historia de la Universidad de Cambridge (1968), de James Stirling, un proyecto tan relevante como controvertido. En esta obra, el esquema del invernadero, despojado de sus funciones originales y considerado como pura forma, se yuxtapone a una estructura maciza que parece sostenerlo y con la cual entra en diálogo merced al contraste de materiales y calidades. Protegido por la cubierta, el vacío de la ‘estufa’ da cuenta de lo público, como si fuese una plaza o un pasaje, mientras que el prisma de ladrillo opaco alberga lo ‘privado’. Pese a que la composición entre ambos elementos sigue manteniendo la lógica de la máquina pintoresca semperiana (es decir, la decorosa yuxtaposición del artefacto acristalado a la arquitectura masiva), el presunto invernadero parece interesar a Stirling menos por sus prestaciones térmicas que por sus cualidades estéticas. De hecho, el edificio, insuficientemente ventilado e insoportablemente ruidoso los días de lluvia, fue, desde el punto de vista del confort, un fracaso rotundo.

La lógica de la descontextualización planteada en ejemplos como el de la Facultad de Historia puede llevarse más lejos, para adquirir el cariz de una apropiación, incluso de un extrañamiento o *détournement*. En tales casos, el invernadero deja de ser considerado como un simple pseudomorfo (es decir, un objeto en el que perviven formas con una primitiva razón funcional ya

perdida), para recuperar su condición de elemento autónomo y funcionalmente coherente. Se convierte en un objeto de apropiación que puede transformarse merced a la duchampiana varita mágica del arquitecto. El ‘invernadero’ es trasladado, así, de un campo semántico a otro, pero se respeta su anatomía, su integridad de objeto. Concebido como una especie de *ready-made*, el invernadero llega a ser, sin más, el ‘edificio’. En este proceso de cambio de contexto no hay manipulaciones de escala y función (como en el Crystal Palace) o dislocaciones estilísticas (como en la Facultad de Historia de Cambridge): la técnica, la funcionalidad y la estética del objeto se asumen con una literalidad a la cual no se ponen más límites que los de la oportunidad del proyecto.

Sin duda, los mejores ejemplos de esta estrategia de *détournement* se encuentran en la obra de Anne Lacaton y Jean-Philippe Vassal, para quienes el invernadero —óptimo en su construcción, económico en su coste y flexible en su organización espacial— es la *machine à habiter* por antonomasia, acaso la definitiva. Lo es también por sus prestaciones energéticas, que contribuyen a mejorar la atmósfera de las viviendas, y que, además, contiene un rico potencial de uso. Como escribe el propio Vassal dando cuenta, en realidad, de un lugar común, “el clima europeo, en algunas épocas, no es agradable. Para sentirse a gusto hay que adaptar climáticamente la casa. Y esta adaptación climática favorece fundamentalmente la arquitectura del invernadero. Uno de los productos más novedosos es una casa con una cubierta de plástico que se puede plegar o desplegar en tres minutos. Su uso como vivienda es prometedor porque proporcionar exactamente la protección que, en un momento dado, se necesita. Una arquitectura de este tipo tiene más que ver con el vestido, todo lo contrario de lo que sucede con la arquitectura tradicional.” (Lacaton & Vassal 2010: 13)

La alusión al vestido no resulta banal. Lacaton & Vassal adoptan el principio de revestimiento (*bekleidung*) semperiano en un sentido extremo para que prevalezca lo ligero sobre lo pesado, lo evolutivo sobre lo estático, lo mestizo sobre lo genuino. En algunos casos, la apropiación consiste, sin más, en convertir el invernadero en una casa a través de un cambio intencionado de contexto, como ocurre en la Casa en Coutras (2000), un tinglado hortícola que ‘ya estaba ahí’ antes de que el *détournement* lo convirtiera en ‘otra cosa’. Pero la apropiación no tiene que ser siempre tan modélica; de hecho, suele implicar de

Figura 28. Casa Latapie, de Lacaton y Vassal, 1993 (AV Monografías 170).



algún modo u otro una manipulación. En la Casa Latapie (1993) (figura 28) el invernadero ya no es una pieza autónoma, una casa al completo, sino una parte del todo doméstico que se contrapone a otras por las cualidades de sus materiales y su sentido energético, como ocurría en los conservatorios de las casas victorianas. El esquema de la máquina pintoresca aparece también en las viviendas en Mulhouse (2005) o Trignac (2010) —formadas por la composición de una rotunda estructura de vigas prefabricadas (la ingeniería civil también puede ser una fuente de ready-mades) con una serie de pequeños invernaderos de policarbonato—, y en la Torre Bois-le-Prêtre (2011) en París, surgida de la macla de severos microinvernaderos (de nuevo, conservatories puestos al día) con una rotunda estructura preexistente de hormigón armado.

En todos estos casos, las estrategias de manipulación apuntan a una especie de reciclaje tipológico. Recuerdan también al collage, pero también al bricolaje, en la medida en que no implican tanto un pensamiento creativo, ingenieril y consistente con una lógica medios-fines cuanto un reuso pragmático de materiales disponibles (formas y tipos probados con eficacia a lo largo del tiempo) para resolver nuevos problemas. Y así, en el tránsito desde los invernaderos del siglo XIX hasta las casas solares contemporáneas, el proyecto estético acaba dependiendo de una elección técnica que es al mismo tiempo ideológica, como técnicos e ideológicos han sido siempre los modos de enfrentarse a las cuestiones del clima en la arquitectura.

### Notas

1. Sobre los ingenios solares de las villas de Plinio, puede recurrirse a Harte, Geoffrey Bret. 1928. *The Villas of Pliny. A Study of the Past Times of a Roman Gentleman*. Boston y Nueva York: Houghton Mifflin Company, pp. 36 y ss. Sin embargo, al documentación más detallada está en Philipp, Klaus Jan. 2014. *Karl Friedrich Schinkel Späte Projekte*. Stuttgart: Edition Axel Menges, pp. 20 y ss.
2. El invernadero burgués se incluyó muy pronto en el catálogo de los artefactos pintorescos, junto con otros inventos de carácter más o menos bioclimático, como las pérgolas, las terrazas o las ice houses. Para constatarlo, basta acudir a tratados de la época como el de John B. Papworth, *Rural residences, consisting of a series of design for cottages, small villas, and other ornamental buildings*, de 1818, donde los invernaderos se enmascaran con un decoroso lenguaje ecléctico.
3. Evelyn, John. 1699. *Kalendarium Hortense, or the Gardener's Almanac*. Londres.
4. Chambers, William. 1763. *Plans, Elevations, Sections, and Perspective Views of the Gardens and Buildings at Kew in Surrey*, Londres: J. Haberkorn.

5. Miller, Philip. 1754. *The Gardener's Dictionary*. Londres; Adanson, Michel. 1763. *Familles des plantes*. París: Chez Vincent.
6. La necesidad de contar en los invernaderos con vidrios de buena calidad ya había sido advertida por Adanson en su *Familles de Plantes* (1763), donde recomendaba el uso de «cristal de Bohemia con el fin de conseguir la mayor luz posible» (citado en Loudon 2010: 5). Loudon, en 1817, ya era capaz de cuantificar las pérdidas debidas a la falta de transparencia del vidrio: «Una cuarta parte de la luz se pierde al atravesar perpendicularmente un vidrio por muy claro que éste sea; en los de mala calidad este porcentaje pasa a ser la mitad. Ahorrar en el vidrio, por tanto, no resulta económico; y perjudica tanto a los ojos como a las plantas» (Loudon 1817: 83).
7. En ocasiones, los invernaderos requerían de un gasto energético tal que ponía en duda el carácter solar y pasivo del edificio. Lo constata Paul Scheerbart, en *La arquitectura de cristal*, refiriéndose al invernadero del Jardín Botánico de Dahlem: «En este caso, lo peor es que las paredes de cristal son sencillas en lugar de dobles, lo que supone un enorme gasto en calefacción durante el invierno. Con demasiado orgullo, la dirección del jardín cuenta en una de sus guías que, en invierno, a una temperatura de -10° C a las 8 de la mañana, se emplea en un solo día un vagón cargado de treinta toneladas del mejor carbón de Silesia» (Scheerbart 1998: 88). Hay que recordar, en este sentido, que fue el inmenso gasto de mantenimiento derivado del sistema de calefacción, lo que llevó al duque de Devonshire a demoler en 1920 el extraordinario invernadero construido en Chatsworth por Joseph Paxton.
8. Casi todos los pioneros de los sistemas de calefacción centralizada, ya sea de aire caliente, de vapor o de agua caliente, desarrollaron su propio sistema de acondicionamiento de invernaderos. Desarrollando las intuiciones de John Evelyn (que, como ya se ha señalado, planteó por primera vez un sistema de calefacción centralizada conectada a una caldera), John Loudon (*A short treatise on several improvements recently made in Hot-house, 1805*; *Remarks on the Construction of Hothouses pointing out the most advantageous forms, materials, and contrivances to be used in their construction, 1817*; *An Encyclopaedia of Gardening, 1822*) integró los esquemas centralizados en el tipo convencional de invernadero con pared vidriada orientada al Sur y muro de fábrica orientado al Norte; un esquema que desarrollarían, cada uno a su manera, el marqués de Chabannes (*On conducting air by forced ventilation and regulating the temperatures in dwellings, with a description of the application of the principles as established in Covent Garden Theatre and Lloyd's Subscription Rooms, 1818*), Thomas Tredgold (*Principles of warming and ventilating, 1824*), Charles Richardson (*A popular treatise on the warming and ventilation of buildings, showing the advantages of the improved system of heated water circulation, 1839*) y, finalmente, el gran compilador y sistematizar de todos estos sistemas, David Boswell Reid (*Illustrations of the theory and practice of ventilation with remarks on warming, exclusive lighting, and the communication of sound, 1844*). Sobre el nacimiento de los sistemas centralizados de calefacción, *vid.* Ferguson, Eugene S. 1976. 'An Historical Sketch of Central Heating: 1800-1860', en Peterson, Charles E. *Building Early America*. Filadelfia: Chilton Book Company. Sobre la aplicación de la calefacción central a los invernaderos, *vid.* Hix, John. 1971. *The Glass House*. Cambridge: The MIT Press.

9. Tal era el caso, por ejemplo, de un ambicioso sistema, el Automaton Gardener, que Loudon describe así: «La más bella e ingeniosa máquina hasta ahora propuesta para la mejora de la horticultura es el 'Jardinero automático' inventado por el Sr. Kewley. El propósito de esta máquina es regular la temperatura en todos los ámbitos del invernadero, aunque es igualmente aplicable en el ámbito doméstico. Un termómetro, situado en la atmósfera que quiere regularse, está conectado con el resto de la maquinaria, situada fuera de la construcción o a una distancia conveniente. La subidas o las bajadas del termómetro (...) determinan el funcionamiento de un pistón (...) que pone en marcha las válvulas y rociadores en el interior del invernadero» (Loudon 1817: 71).
10. Entre los sistemas de ventilación, Loudon cita el del marqués de Chabannes, un sofisticado dispositivo que, en cierto modo, anticipaba el 'aire acondicionado': «Situaba un ventilador, que él denominaba bomba de aire, en la parte más alta de una casa, y lo conectaba mediante tubos descendentes con los falsos techos de todas las habitaciones, de manera que pudiera extraerse el aire enrarecido. En la parte más baja de la casa había un recipiente o cámara técnica, que en invierno se llenaba con aire caliente, y en verano con frío, y que estaba también comunicado mediante conductos con la parte más alta de todas las habitaciones. Los conductos estaban, por supuesto, dotados de válvulas, de manera que pudiera regularse a placer la temperatura de cada habitación. La bomba de aire era accionada con el viento o con el humo de la chimenea» (Loudon 1817: 67). El marqués de Chabannes, pionero de los sistemas de calefacción central, fue uno de los primeros en aplicar a los invernaderos sistemas de calefacción por caldera de vapor (*vid.* Chabannes 1818).
11. *En Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit* [Ideas para la filosofía de la historia de la humanidad], Herder postuló una ciencia, la 'aerología', concebida como un saber general sobre la atmósfera, como una investigación del "globo de aire que cobija la vida". Tal ciencia, proclamaba Herder, abriría nueva luz sobre la conexión de la cultura humana con la naturaleza, presentando el espectáculo de "cómo ese gran invernadero de la naturaleza actúa en mil transformaciones según leyes fundamentales uniformes" (Herder 1960: 78-79).
12. Hacia 1850, el uso del vidrio no sólo estaba determinado por su elevado precio, sino por sus dimensiones, limitadas por el proceso de fabricación de cilindro a mano, que daba lugar a piezas de unos 150 centímetros de longitud, cortadas generalmente en tres piezas de aproximadamente 25 centímetros de ancho.
13. Sobre la construcción del Crystal Palace y la recepción estética del edificio por diversos tipos de público, *vid.* Gibbs-Smith, C. H. 1981. *The Great Exhibition of 1851*. Londres: Victoria & Albert Museum; Kohlmaier, Georg y Sartory, Barna von. 1981. *Houses of Glass: A Nineteenth-Century Building Type*. Cambridge: The MIT Press; y Hix, John. 1974. *The Glass House*. Cambridge: The MIT Press.
14. La transformación del invernadero en una máquina pintoresca miniaturizada y susceptible de aplicarse a escala doméstica queda patente en las láminas de los tratados de ventilación y calefacción que fueron publicándose a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, por ejemplo el de Joly en Francia, que compendia de una manera sistemática todos los estudios previos realizados en el Reino Unido.

En el tratado de Joly, publicado en 1873 (*Traité pratique du chauffage, de la ventilation et de la distribution des eaux dans les habitations particulières*, París : J. Baudry) los *conservatoires* se adosan, como máquinas pintorescas, a los zócalos de los edificios de fábrica, incluso colonizan las cubiertas, en lo que parece una anticipación de los cuerpos vidriados que los arquitectos del Movimiento Moderno añadirían más tarde a sus retóricas villas.

## Bibliografía

- ADANSON, Michel. 1763. *Familles des plantes*. París: Chez Vincent.
- ATKINSON, William. 1912. *The Orientation of Buildings, or Planning for Sunlight*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- BARTHES, Roland. 1971. *Sade, Fourier, Loyola*. París: Éditions du Seuil.
- BOSWELL REID, David. 1844. *Illustrations of the theory and practice of ventilation with remarks on warming, exclusive lighting, and the communication of sound*, Londres: Longman, Brown, Green, & Longmans.
- BRUEGMANN, Robert. 1978. 'Central Heating and Forced Ventilation: Origins and Effects in Architectural Design', en *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 37, n. 3.
- CARRINGTON, Thomas S. 1914. *Fresh Air and How to Use It*. Nueva York: The National Association for the Study and Prevention of Tuberculosis.
- COLQHOUN, Katherine. 2004. *A Thing in Disguise: The Visionary Life of Joseph Paxton*. Londres: Harper Collins.
- CHABANNES, Jean-Baptiste de. 1818. *On conducting air by forced ventilation and regulating the temperatures in dwellings, with a description of the application of the principles as established in Covent Garden Theatre and Lloyd's Subscription Rooms*, Londres.
- CHAMBERS, William. 1763. *Plans, Elevations, Sections, and Perspective Views of the Gardens and Buildings at Kew in Surrey*, Londres: J. Haberkorn.
- DOWNES, Charles. 1852. *The Building Erected in Hyde Park for the Great Exhibition of the Works of Industry of All Nations*. Londres: John Weale.
- EVELYN, John. 1699. *Kalendarium Hortense, or the Gardener's Almanac*. Londres.
- FERGUSON, Eugene S. 1976. 'A Historical Sketch of Central Heating: 1800-1860', en Peterson, Charles E. *Building Early America*. Filadelfia: Chilton Book Company.
- GIBBS-SMITH, C. H. 1981. *The Great Exhibition of 1851*. Londres: Victoria & Albert Museum.
- GIEDION, Sigfried. 1961. *Space, Time, and Architecture*. Cambridge: Harvard University.
- HARTE, Geoffrey Bret. 1928. *The Villas of Pliny. A Study of the Past Times of a Roman Gentleman*. Boston y Nueva York: Houghton Mifflin Company.
- HEGEL, Georg W. F. 1920. *Grundlinien der Philosophie des Rechts*, en *Werke*, vol. 7. Frankfurt [Primera edición en alemán: *Grundlinien der Philosophie des Rechts*, Berlín: Nicolaische Buchhandlung, 1821].
- HERDER, Johann G., 1960. *Schriften. Eine Auswahl aus des Gesamtwerk*. Múnich: Walter Flemmer Ed.
- HIX, John. 1971. *The Glass House*. Cambridge: The MIT Press.
- JOLY, V. Ch. 1873. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation et de la distribution des eaux dans les habitations particulières*, París: J. Baudry.
- KOHLMAIER, Georg y Sartory, Barna von. 1981. *Houses of Glass: A Nineteenth-Century*

- Building Type*. Cambridge: The MIT Press.
- LACATON & VASSAL. 2010. 2G, número 21.
- LOS, Sergio y Pultizer, Natasha (eds.). 1977. *L'architettura della evoluzione: il sistema abitazione tra industrializzazione edilizia e tecnologie alternative*. Bologna: Edizioni Luigi Parma.
- LOUDON, John C. 1805. *A short treatise on several improvements recently made in Hot-house*. Londres.
- LOUDON, John C. 1817. *Remarks on the Construction of Hothouses pointing out the most advantageous forms, materials, and contrivances to be used in their construction*. Londres: J. Taylor.
- LOUDON, John C. 1822. *An Encyclopaedia of Gardening*, Londres: Longman, Huret, Rees, Orme, and Brown.
- LUCAE, Richard. 1869. 'Über die Macht des Raumes in der Architektur'. *Zeitschrift für Bauwesen*, vol.19.
- MILLER, Philip. 1754. *The Gardener's Dictionary*. Londres.
- PAPWORTH, John B. 1818. *Rural residences, consisting of a series of design for cottages, small villas, and other ornamental buildings*, Londres: R. Ackermann.
- PEVSNER, Nikolaus. 1976. *A History of Building Types*. Londres: Thames & Hudson. Versión española utilizada: *Historia de las tipologías arquitectónicas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1979.
- PHILIPP, Klaus Jan. 2014. *Karl Friedrich Schinkel Späte Projekte*. Stuttgart: Edition Axel Menges.
- RICHARDSON, Charles J., 1839. *A popular treatise on the warming and ventilation of buildings, showing the advantages of the improved system of heated water circulation*, Londres: John Weale.
- SCHERBAART, Paul. 1998. *La arquitectura de cristal*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.
- SEMPER, Gottfried. 2007. *Dy Style et de l'architecture*. Marsella: Éditions Parenthèses [Buena parte de los ensayos que contiene la edición francesa han sido traducidos recientemente al español: Armesto, Antonio (ed.). 2014. *Escritos fundamentales* de Gottfried Semper. Barcelona: Fundación Arquia].
- SCHIVELBUSCH, Wolfgang. 1977. *The Railway Journey: The Industrialization of Time and Space in the 19th Century*. Berkeley: The University of California Press.
- TREDGOLD, Thomas. 1824. *Principles of warming and ventilating*, Londres: Joseph, Taylor.

Fecha final recepción artículos:  
24/04/2016  
Fecha aceptación:  
19/06/2016

Artículo sometido a revisión por  
dos revisores independientes por  
el método doble ciego.