

**M. M. GONZÁLEZ-REAL y A. BAILLE**

Área de Ingeniería Agroforestal

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica  
Universidad Politécnica de Cartagena

Correo electrónico:

[mayla.gonreal@upct.es](mailto:mayla.gonreal@upct.es)

[alain.baille@upct.es](mailto:alain.baille@upct.es)

---

ASIGNATURA DE TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS  
(5 ° Curso, IA)

## RESEÑA HISTÓRICA



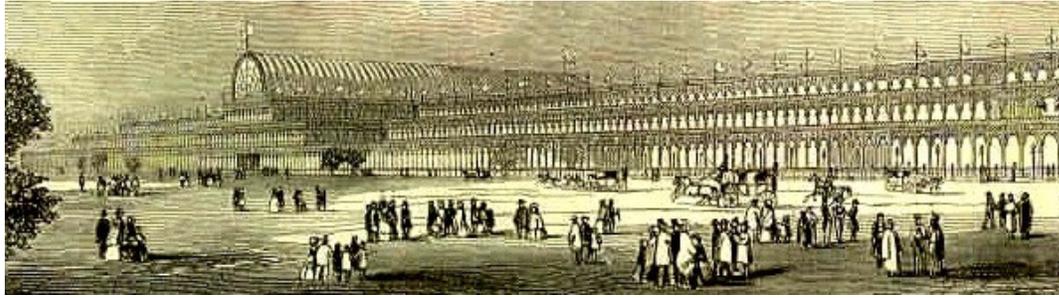
### Contenido

***1.1. Reseña Histórica***

***1.2. El Agrosistema Invernadero***

*Referencias*

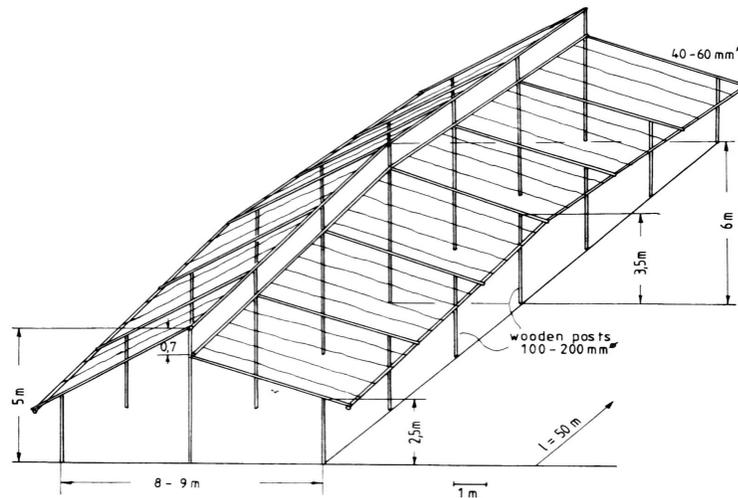
Cartagena, 2005



El palacio de cristal ("Crystal Palace"), con un monumental invernadero, en Hyde Park (Londres, 1856).



Gran invernadero de cristal del siglo XIX, en Inglaterra.



**Invernadero de madera utilizado en países tropicales.** La tecnología utilizada en la concepción de los invernaderos puede ser muy sencilla, ya que debe adaptarse no solamente a la condiciones climáticas, sino también al contexto socioeconómico de las regiones en las que se van a implantar y utilizar.



## RESEÑA HISTÓRICA DE LOS INVERNADEROS

*El invernadero, como sistema de producción agrícola (agrosistema) ya era conocido desde la Antigüedad. Este Capítulo describe la evolución tecnológica de los invernaderos a lo largo de los siglos. Los cambios tecnológicos se han debido no solamente a los avances en el diseño*

*de las estructuras y en los materiales de cubierta (vidrio, plásticos), sino también en las técnicas de control del medio ambiente (climatización, fertirrigación, enriquecimiento en CO<sub>2</sub>, control integrado de las plagas). Es decir, los invernaderos modernos integran todos los elementos que permiten llevar a cabo la horticultura de "precisión".*

### A– RESEÑA HISTÓRICA

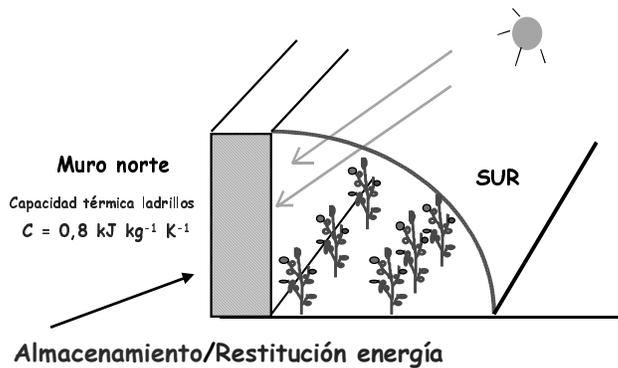
#### 1. DE LA ANTIGÜEDAD A LA EDAD MEDIA

En Mesopotamia, Egipto e Israel, Grecia y Roma ya se practicaba el cultivo de vegetales en macetas o barriles, protegiéndolos de noche en túneles, verandas o despensas (Greene, 1983). Como se desprende del Midrash (comentarios rabínicos de la Biblia, Libro del Eclesiastés), hace unos 3.000 años en Jerusalén *"nada faltaba en la mesa del Rey Salomón ni rosas con el calor del verano ni calabacines en la estación lluviosa"*.

La producción fuera de estación ya era conocida en la antigua Atenas y en Roma. De hecho, Teofrasto (372-387 AC), discípulo de Aristóteles conocido también por sus contribuciones sobre la descripción y génesis de los vientos, también describió la existencia de sistemas rústicos de protección de cultivos en los que las plantas se guardaban de las inclemencias del clima exterior desplazándolas por raíles hasta una veranda, donde se aprovechaba el calor que desprendía la mezcla de suelo y estiércol. Séneca (4 AC-65 DC) ya cuestionaba este tipo de práctica agrícola (*"¿no están viviendo en contra de la Naturaleza aquellos que cultivan rosas en invierno con vapores de agua caliente...?"*). Plinio el Viejo (23-79 DC) en su *"Historia Natural"* ya mencionaba el cultivo de espárragos fuera de estación (Steere, 1974), pero sus reflexiones iban en el mismo sentido que las de Séneca (*"el hombre nunca está satisfecho con aquello que le proporciona la Naturaleza, llega incluso a cultivar algunos vegetales solamente para ricos"*).

La protección de cultivos se hacía con placas de talco o bien de mica pues no se conocieron las placas de vidrio hasta el siglo III (Wright, 1934). Según Columella (63 DC), agrónomo de Cádiz, la utilidad de estas placas rústicas era bien conocida de los romanos (Gibault, 1898), siendo éste un hecho confirmado por Plinio (77 DC) y Martialis (93 DC). Cabe pues imaginar que en esta época el uso de paneles, con baja transmisividad a la radiación solar, fuese el principal factor limitante de la productividad. Es entonces probable que fuese más factible aportar a los cultivos diferentes fuentes de calor que mejorar el nivel de radiación de estas protecciones temporales. Este aspecto parece confirmarse con el descubrimiento en Pompeya de un vestigio que parece ser un invernadero (Lemmon, 1962), donde ya se recuperaba la energía de los humos extraídos de una estufa, haciéndolos circular a través de las paredes huecas de la construcción (Stanghellini, 1987).

### China: invernaderos orientados E-O



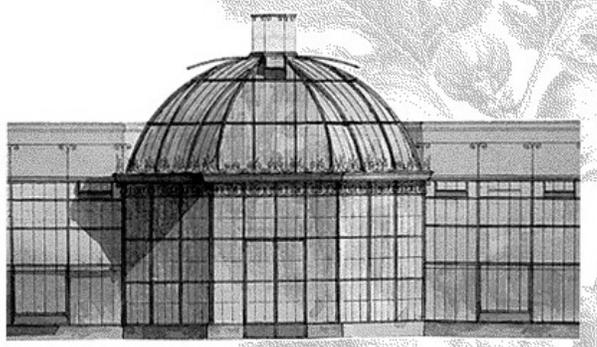
En Asia la protección de cultivos se hacía con papel engrasado (Anónimo, 1965), utilizándose esta técnica en muchas de sus regiones hasta mediados del siglo XX (Enoch y Enoch, 1999). Por ejemplo, en China ya se conocía en la Edad Media que el papel engrasado era un material con transmisividad suficiente para proteger los cultivos. Los cultivadores chinos tenían además un conocimiento empírico de la influencia que ejerce la orientación del invernadero en el microclima interno, como lo demuestra la aplicación de técnicas de

almacenamiento/restitución de energía solar a corto plazo (día/noche) para calentar el invernadero (Li, 1957). Es decir, los invernaderos de muchas regiones de China se orientaban este-oeste y se construían con un muro norte de gran capacidad térmica y una pared sur de papel engrasado y estructura de bambú. En este tipo de construcciones el muro actúa como una masa térmica, con efecto de amortiguación y desfase de la onda térmica que recibe el invernadero a lo largo del día, almacenando la energía solar y restituyendo la energía almacenada durante la noche. Cabe recordar que el estudio de procesos y de técnicas de recuperación/almacenamiento de energía en invernaderos ha sido un campo de investigación importante en toda Europa durante la década de 1980 (Albright, 1991).

Por supuesto, que la existencia ancestral de todas estas construcciones rústicas no permite inferir que las condiciones climáticas en su interior fuesen adecuadas ni que se alcanzasen en ellas niveles elevados de productividad. No hay que olvidar que no estaban destinadas, como en nuestros días, a ser una herramienta de investigación ni tampoco tenían como objetivo final “retornar un beneficio al productor que basa en ellas su empleo y en las que arriesga su capital” (Hanan, 1998). Se conoce, sin embargo, que una de las condiciones que han contribuido a su mejora y desarrollo ha sido el deseo de las clases altas de poseer flores y hortalizas fuera de estación. Ahora bien, desde el final del Imperio Romano hasta el principio del Renacimiento no se han manifestado cambios importantes en las estructuras destinadas a la protección de cultivos en Europa, quedando su uso circunscrito a las clases nobles (Enoch y Enoch, 1999).

## 2- DESDE LA EDAD MEDIA HASTA 1800

La edad media ha sido un período vacío para la ciencia. Aunque existen indicios de la existencia a finales del siglo **XV** de construcciones en España e Italia que serían más tarde precursoras de lo se conocería como las “orangerías” francesas, está claro que, hasta aproximadamente el siglo **XVI**, todas las actividades relacionadas con la agricultura eran un arte que aglutinaba una serie de normas surgidas de observaciones acumuladas durante siglos, mezcladas a menudo con supersticiones. En el siglo **XVI** aparecen una serie de libros que tendrán implicaciones en el arte de bien cultivar: “*De Re Hortensi Libellus*” (Charles Estienne, Paris 1536) y “*The Jewel House of Art and Nature*” (Sir Hugh Platt, 1594). En su libro, Hugh Platt ya preconizaba la recuperación de energía residual, generada por los gases de combustión de cocinas o chimeneas, para calentar invernaderos adosados a habitaciones o a refinerías de azúcar.

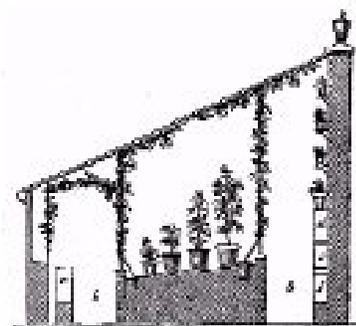


Con el paso del tiempo, el desarrollo de la protección de cultivos se ha ido apoyando en una base de conocimientos cualitativos hasta que la mejora de la técnica de producción de paneles de vidrio dio paso a los invernaderos tipo “orangeries” (Lemmon, 1962), construyéndose la primera en Inglaterra por Lord Burghley en 1562. Hacia la mitad del siglo XVI se construye en Padua la primera Universidad botánica con un invernadero (Lemmon, 1962), seguida por la Universidad de Pisa. A principios de siglo ya eran de uso corriente los sistemas rústicos de aporte energético, por medio de estufas o bien aprovechado la energía desprendida por mezclas de tierra y estiércol. La generación de CO<sub>2</sub> a partir de la descomposición de esta mezcla de material orgánico hace pensar que se practicaba el enriquecimiento carbónico, sin tener conocimiento de ello. De hecho, habrá que esperar mucho más de un siglo antes de que De Saussure (1817) descubra la descomposición del dióxido de carbono por las plantas.



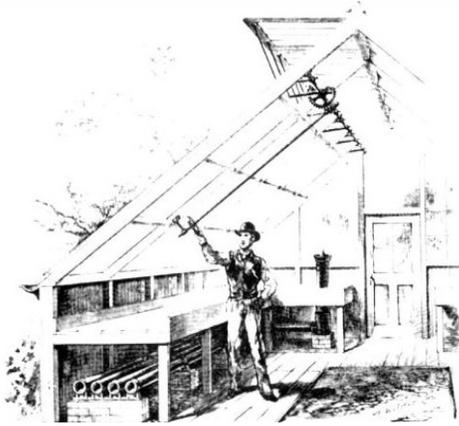
Aparecen con Ferrarius (1646, en Enoch et Enoch, 1999) las primeras recomendaciones sobre el arte de cultivar con aporte de calefacción al mismo tiempo que las “orangeries” empiezan a desarrollarse por toda Europa. Es un paso previo hacia la modificación del medioambiente de estas construcciones nobles que tienen por objeto satisfacer las exigencias de lujo y exotismo de las clases altas. Así las cosas, Luis XIV ordena que se amplíe la “orangerie” de Versailles, que llegó a tener un volumen de unos 6000 m<sup>3</sup>, y nombra como director de jardines a Quintinye, autor del libro “*Le parfait jardinier*” (1695). Años más tarde los invernaderos empezarían a implantarse en el nuevo mundo.

Un siglo más tarde surgen todo tipo de recomendaciones sobre construcción, climatización y ahorro energético. Boerhaave (1710, 1720) observa que las paredes orientadas perpendicularmente a los rayos del sol, a medio día en invierno, permitían captar el máximo de radiación solar durante la estación más desfavorable. Empiezan a desarrollarse diferentes técnicas de aporte de calor, haciendo pasar los gases de combustión a través de conductos practicados bajo el suelo o empotrados en paredes verticales (Agrícola, 1719; Van der Voort 1737 y 1750). Habrá que esperar unos años para que aparezca la calefacción por tubos con agua caliente, inventada por el físico francés Bonnemain (1777).



Está claro que a partir de la revolución científica del siglo XVII, la experimentación había empezado a ser ya una parte esencial e integrante de la ciencia, habiéndose convertido Newton en esta época en el maestro de la filosofía experimental (Crombie, 1983). Durante el siglo XVII aparecen una serie de descubrimientos (Brutsaert, 1982) que tendrán años más tarde implicaciones importantes en el desarrollo de la teoría de la evaporación por Dalton (1802). Sin embargo, las aplicaciones prácticas en agronomía, y en invernaderos en particular, tienen que aguardar hasta casi la mitad del siglo XX, cuando Penman (1948) estableció, con bases teóricas sólidas, el papel que juega la radiación en la evaporación de superficies naturales. Así pues, empiezan en el siglo XVII los experimentos sobre evaporación con Perrault (1669-70), seguidos por los trabajos de Halley años más tarde (1687, 1691, 1694), siendo este último más conocido por ser el descubridor de la periodicidad del planeta que lleva su nombre. También empiezan a proliferar montajes experimentales y modelos teóricos para explicar el proceso de evaporación.





Por ejemplo, la primera descripción de lo que puede ser considerado como el precursor del lisímetro de pesada aparece a principios de siglo (De La Hire, 1703).

En el siglo XVIII el termómetro llegó a ser un instrumento preciso, como lo demuestran las observaciones de Monge en 1790 (*"el aire saturado a elevada temperatura contiene más agua que a baja temperatura"*). En esta época ya se conocía el concepto de grado de saturación del aire (Le Roy, 1751) y Franklin (1757) ya había observado que la evaporación causaba enfriamiento, contribuyendo ambas observaciones al descubrimiento del concepto de calor latente, realizado por Black en torno a 1760.

Es precisamente en el siglo XVIII cuando surgen las primeras recomendaciones sobre la gama de temperaturas que exigen los cultivos protegidos de la época (Van der Voort, 1737, 1750). No obstante, la preocupación por la medida de la temperatura ha sido mucho más antigua y se materializó con el primer termómetro realizado por Santorio (1590), cuyo descubrimiento se atribuye también a Galileo hacia el año 1600. La medida de este parámetro climático presenta una evolución importante a lo largo del siglo XVIII (Recknagel y col., 1995), gracias a los trabajos de Amonstons (físico francés), Bartoló (profesor napolitano), Fahrenheit (físico prusiano) y Reaumur (físico naturalista francés), cuyas investigaciones permitieron definir dos puntos fijos (el hielo fundido y el agua hirviendo). Posteriormente, aparecerá con Celsius en 1740 el primer termómetro con dos puntos de referencia (el 0 para el hielo fundido y el 100 para el agua hirviendo), dando lugar a la escala Celsius.

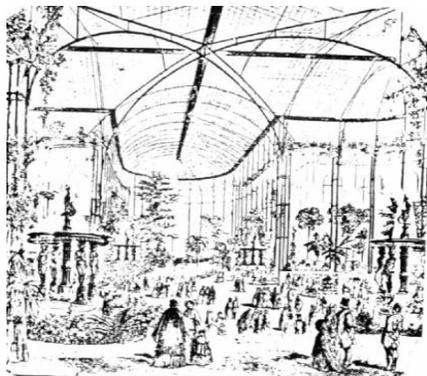
### 3- EL SIGLO XIX

En el siglo XVIII se fueron identificando los procesos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación, que servirán de base a todos los estudios sobre térmica y energética, que tendrán aplicaciones en la modelización y en el control del clima de invernaderos a partir de la segunda mitad del siglo XX. En 1861 Maury introduce el concepto de balance de energía y Homén establece en 1897 el primer balance cuantitativo, determinando el flujo de calor en el suelo a través de la medida de su temperatura. A finales del siglo XIX se hicieron grandes avances en el conocimiento de la radiación como resultado de los descubrimientos de Stefan y Boltzmann. Ya existían en esta época métodos para medir la radiación directa, como el pirheliómetro tipo Ångström, lo que permitió a Pouillet (1838) estimar el valor de la constante solar en los confines de la atmósfera con un valor bastante cercano ( $= 1,7633 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \cong 1228 \text{ W m}^{-2}$ ) del que se acepta en la actualidad ( $\approx 1370 \text{ W m}^{-2}$ ).

Una contribución esencial al conocimiento de la transferencia de masa en fluidos se debe a Fick (1855), quien comprobó experimentalmente que el flujo local de un componente de una mezcla de fluidos en reposo es proporcional al gradiente de su concentración, extendiendo más tarde Boussinesq (1877) esta ley a flujos turbulentos. La ley de Fick confirmó que el proceso de transferencia de masa debía proceder de acuerdo a las mismas leyes con las que Fourier explicó la propagación de calor en un conductor. En 1874 Reynolds dedujo que los mecanismos de transporte de calor y el momento deben ser similares en flujos turbulentos, sirviendo estos trabajos de base a los estudios de Schmidt (1917) sobre coeficientes de intercambio, estudios que señalan el reconocimiento de la evaporación como un proceso a considerar en los intercambios.



Como consecuencia del avance de las ciencias experimentales, también se observa un gran progreso de las actividades relacionadas con la agricultura: De Saussure (1817) estudió la descomposición del dióxido de carbono por las plantas, Sprengel (1828) descubrió la importancia del nitrógeno en la vida vegetal y Liebig (1828) sometió a normas científicas la nutrición de las plantas.



**Jardín de Invierno (Paris, 1860)**

La industrialización del siglo XIX va a aportar cambios notables a aquella tecnología balbuciente que se había desarrollado con anterioridad en Europa. Hare inventa en 1831 la calefacción eléctrica, dejando pasar la corriente a través de hilos de elevada resistencia, pero se cree que no se utilizó en invernaderos durante el siglo XIX, a pesar de que a finales de siglo ya existían resistencias eléctricas protegidas con bloques de cerámica. La utilización de luz artificial para promover el crecimiento y desarrollo de plantas en invernaderos tiene una larga historia (van den Muijzenberg, 1980). De hecho, William Gilbert ya había descubierto en 1600 la imantación sin contacto o por influencia y Charles François de Cisternay Dufay la existencia de dos electricidades de naturaleza distinta. Pasaron más de dos siglos antes que Hervé Magnon (1825-1888) observase que se formaba clorofila cuando las plantas se exponían a la luz eléctrica y que Siemens (1880) estudiase la influencia de la luz en la vegetación. Habrá que esperar el descubrimiento de la lámpara incandescente por Edison en 1879 para que empiecen a conocerse lámparas con una duración superior a las de arco eléctrico, utilizadas por Siemens.

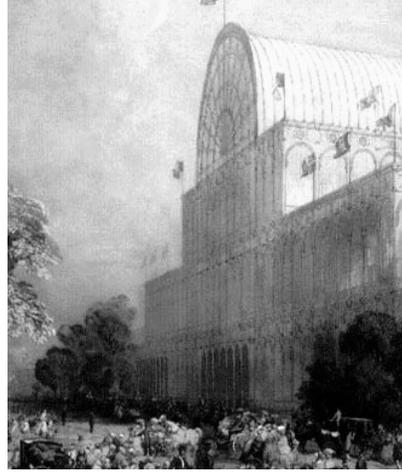
Las primeras experiencias serias sobre el papel que juega el CO<sub>2</sub> atmosférico en la producción de cultivos empiezan con el francés Demoussy (1902), seguidas por las de Molliard que presentó sus estudios en La Academia de Agricultura de Francia en 1938. Actualmente, se considera que el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> del aire (27 μmol mol<sup>-1</sup> entre 1972-1989, Allen 1990) es un indicador pertinente de la actividad industrial (Woodward et col., 1991). Sin embargo, existen serias dudas acerca de la influencia que puede ejercer un aumento de esta concentración sobre la modificación de la distribución global de ecosistemas naturales (Woodward et col., 1991), debido a la dificultad que conlleva el extrapolar experiencias en cámaras de cultivo, con plantas aisladas, a la respuesta de grandes superficies vegetales al aire libre. No existen estas dudas en el caso de cultivos protegidos, donde se ha demostrado que un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> puede modificar la productividad (Gaastra, 1959; Reynolds et Acock, 1985), con respuestas contrastadas que son específicas de la especie (Kimball, 1983). La eficiencia de la inyección de CO<sub>2</sub> en muchos cultivos de invernadero tiene algo que ver también con el agotamiento de la concentración de CO<sub>2</sub> del aire en un medio confinado y con vegetación. Esta situación que es real y casi común, incluso en invernaderos ventilados, será estudiada, entre otros, por Goldsberry (1986).



En la primera mitad del siglo XIX aparecen realmente los primeros cambios notables en la construcción de invernaderos (Hix, 1974). Los invernaderos y protecciones temporales pasan de ser un pasatiempo para ricos a desarrollarse en torno a las grandes ciudades de Europa y de América. Se inventan las técnicas para fabricar hierro fundido (Enoch et Enoch, 1999) y se mejoran los métodos de fabricación del vidrio. Las placas de vidrio pasan de tener pequeñas dimensiones (13cmx23 cm) a formar paneles de 30 cm de ancho y más del doble de largo. La fabricación de las primeras placas de vidrio con 141 cm de longitud aparece en Bélgica en

1880 (Enoch et Enoch, 1999). Consecuentemente, el desarrollo de invernaderos de vidrio de gran superficie va a ser paralelo al desarrollo de la arquitectura del hierro y del vidrio. Tenemos un ejemplo claro en los edificios franceses de la época con grandes tragaluces ("La Magdalena" de Vignon en París).

Los invernaderos de grandes dimensiones, preconizados por Loudon, (1823, 1825), han contribuido en la época al desarrollo de estas construcciones. En 1851 Paxton construye en Hyde Park (Londres) el conocido Palacio de Cristal, primer invernadero modular, que fue la atracción de la Gran Exposición Internacional que tuvo lugar a finales de siglo. Ha sido éste el primer edificio de grandes dimensiones (superficie: 62.000 m<sup>2</sup>) construido con cristal (láminas de 1.20 m de longitud), hierro y madera, montado sobre armadura de hierro fundido y laminado. Paxton ya había previsto (i) un sistema de desagüe, integrado en los elementos estructurales de la cubierta y en los pies derechos de hierro fundido, y (ii) la recogida de la condensación en canalillos situados en los largueros inferiores de los bastidores de madera (Yáñez, 1982; Enoch y Enoch, 1999). Aunque estas construcciones no se destinaban a una explotación comercial, se puede insistir en su importancia en el desarrollo de los invernaderos puesto que en aquella



Crystal Palace (Londres, 1856)



época se estudiaron y resolvieron multitud de problemas constructivos, de ventilación, riego, calefacción, etc. Aparece el primer automatismo para gestionar la apertura de la ventilación, inventado por John Williams of Pitmaston (Enoch et Enoch, 1999), que ideó un cilindro en el cual un pistón accionado por la expansión y la contracción del aire operaba sobre una ventana corrediza. El primer invernadero equipado con un sistema de automatismo más completo ve la luz en 1806 (Lemmon, 1962). La apertura/cierre de la ventana se gestionaba accionando una válvula de vapor y una alarma advertía cuando la temperatura interna sobrepasaba un determinado nivel. En 1834 aparece el primer sistema de riego por aspersión, inventado por Loddiges, que utilizó, en un invernadero de pequeñas dimensiones, tubos perforados ubicados bajo cubierta.

A principios de siglo aparece el libro precursor de los estudios de climatización en invernaderos "A description of a patent hothouse", publicado por el Dr. James Anderson (1803), en el que ya se muestra un interés real por la utilización racional de la energía solar: "el invernadero tiene que ser calentado de día principalmente por la luz del sol y recuperando energía en período nocturno..." (en Enoch et Enoch, 1999). En 1815 Mackenzie ya preconizaba invernaderos de geometría esférica para mejorar la captación de la radiación solar y Moll había observado años más tarde (1829) que el doblamiento de paredes de vidrio era una técnica eficaz de ahorro energético. Sin embargo, las construcciones populares, en general temporales, eran sencillas. El aporte de calor más económico seguía siendo el generado por la descomposición de materia orgánica, quedando el uso de estufas y de recuperación de gases de combustión circunscrito a las construcciones permanentes con cubierta



de vidrio. Probablemente, los efectos negativos en la vegetación de algunos componentes de los gases de combustión, como óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono (Mansfield y Murray, 1984), explican que **Moll** ya describiese en 1829 las ventajas de la calefacción por agua caliente frente a la recuperación de humos de cocinas o chimeneas.

Es precisamente *en el siglo XIX cuando empieza historia de los plásticos*, aunque totalmente desvinculada de las aplicaciones agrícolas. La primera producción y comercialización aparece con la *vulcanización del caucho* en 1839, antes de que se conociese la noción de macromolécula o polímero. Posteriormente aparece el primer *plástico artificial* en 1870 (conocido como celuloide) que tiene su origen en un polímero natural: la celulosa. Habrá que esperar un siglo para que empiecen a configurarse las superficies destinadas a cultivos protegidos en Almería, con los típicos invernaderos de plástico tipo “parral”.

#### 4- EL SIGLO XX

A principios de siglo los invernaderos de vidrio conocen en Holanda su mayor desarrollo y en 1904 ya se publica el primer censo de superficies destinadas a invernaderos. En 1900 se construye en Loosduinen un invernadero con estructura de acero, que será el precursor de los invernaderos tipo “Venlo”. Desde la primera aparición del prototipo “Venlo”, en 1937, éste tipo de invernaderos continúan utilizándose aún hoy en día, debido a las mejoras continuas



que comenzaron realizarse a partir de los años 50 (Jacobs, 1995). Las estructuras empiezan a construirse con acero inoxidable y aluminio anodizado en los herrajes. El primer sistema de control del clima, precursor de las computadoras digitales, se instala hacia mediados de 1960. El fuel y el gas empiezan a sustituir el carbón en los años 70, con mejoras notables en el sistema de calefacción (caldera, válvulas de mezcla controlables, etc). Las pantallas móviles comienzan a instalarse a partir de los años 80.

Hasta la segunda guerra mundial, la investigación sobre el clima en invernaderos se limitaba a un solo trabajo, aunque fundamental, del físico inglés Wood (1909, en Businger 1963) que intentó explicar el “efecto invernadero”, teoría que empezó a plantearse en la segunda mitad del siglo XIX. Según esta teoría “la radiación solar penetra al interior del invernadero pero no puede salir” (el vidrio transmite la radiación solar y absorbe la radiación de longitud de onda larga emitida por el suelo y la vegetación). Los intentos de Wood y más tarde de Van Gulik (1910) en explicar la influencia que ejerce en este efecto una de sus componentes (radiación de longitud de onda larga), no llegaron a resultados concluyentes, debido esencialmente a problemas experimentales. Sin embargo, el fracaso fue solamente parcial ya que permitió a Wood observar que se debía a un efecto de confinamiento del aire. Habrá que esperar más de 50 años para que Businger sienta sobre bases físicas sólidas la influencia que ejercen el efecto radiante y el efecto de confinamiento en el conocido “efecto invernadero”.

Las aplicaciones a la gestión del clima y del riego del balance de masa del aire y del proceso de transpiración son también muy recientes. Las bases teóricas remontan a 1926 cuando Bowen formuló las leyes que rigen la pérdida simultánea de energía y vapor de una superficie, dando lugar al conocido cociente de Bowen (o “Bowen ratio”). Sin embargo, será Penman quien reconcilie, en 1944, los principios fundamentales de la termodinámica (balance de energía) y de la aerodinámica (ecuaciones de transferencia de calor y de vapor), configurando las primeras bases científicas que determinarán la evaporación de una superficie de agua libre, extendidas más tarde por Monteith (1965, 1975) a superficies vegetales.

Poco a poco va a comenzar a configurarse un cambio que llevará a la sustitución progresiva de los paneles de vidrio por filmes de plástico, materiales que despertaron en esta época un gran interés a escala mundial. Sin embargo, habrá que esperar la aparición de la *primera materia plástica sintética*, el fenoplasto (baquelita) a principios del siglo XX (Baekeland, 1909). Se tiene conocimiento que la *utilización de la celulosa*, como material de cubierta de invernaderos, remonta a 1917 (Wright, 1980). Sin embargo, la industria de los plásticos empezó realmente a desarrollarse en los años 30 y con ella la aplicación de los plásticos para usos agrícolas. Este aspecto queda reflejado en el fuerte incremento que experimentó la producción mundial, pasando de 86.000 toneladas en 1925 a 46 millones de toneladas en 1978.

La aplicación a mayor escala de los plásticos en invernaderos no se observará hasta después de la primera guerra mundial, iniciándose en Japón y en Estados Unidos, siendo su utilización en el Sur de Europa mucho más tardía. Es a partir de este periodo cuando aparece un amplio abanico de materias plásticas, en general de origen sintético, que provienen de síntesis diversas: el poliestireno, polietileno, el PVC, el plexiglás (polimetacrilato de metilo) y el nilón (poliamidas). A finales del siglo XX se estima que la *superficie mundial de invernaderos cubierta con plásticos abarca unas 200.000 ha* (Wittwer, 1993), de las que *España contabiliza más de 30.000 ha*, quedando casi circunscrita el área de utilización del vidrio, con sistemas sofisticados de control del clima, a unos pocos países de Europa (Holanda, Italia, Alemania, Francia, Dinamarca).

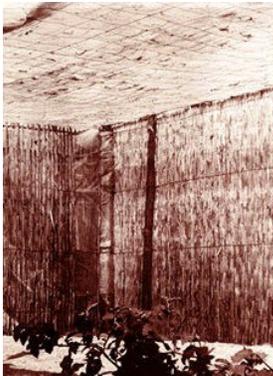
Podemos decir, en resumen, que la evolución mundial observada en el nivel tecnológico de los invernaderos ha dado un giro de unos 180 grados a lo largo de los siglos. Es decir, habiendo comenzado como una técnica de protección temporal con estructuras ligeras, conocidas desde hace muchos siglos, ha llegado a alcanzar un nivel tecnológico elevado con técnicas complejas de gestión y control del medio ambiente. Sin embargo, si nos centramos en el nivel tecnológico, se puede decir que ha vuelto a realizar una vuelta atrás, como lo demuestran las estructuras rudimentarias y la escasez de equipamientos de los invernaderos artesanos del sur de Europa y de otras regiones del mundo.

## 5- LA HISTORIA RECIENTE: DEL “PARRAL” DE 1960 AL PARRAL DE HOY

En la leyenda de la horticultura almeriense, tienen un lugar privilegiado dos agricultores, o “colonos”, como se llamaba en los años 50 a los agricultores seleccionados por el Instituto Nacional de Colonización, INC. En el año 1955, en la comarca de Roquetas del Mar, Juan Sánchez Romero sembró su parcela de judía en “enarenado”. Hasta entonces, nadie había podido sacar rendimiento de las tierras desérticas de esta



**Enarenado (Almería, 1953)**



**Primer parral  
(Almería, 1960)**

comarca, debido a la excesiva salinidad del suelo. En la misma comarca, el colono Francisco Fuentes Sánchez, tuvo la idea de colocar en el año 1960 un acolchado de polietileno transparente sobre un “parral”, estructura de madera reforzada con alambres, utilizada para entutorar y guiar las plantas de viña. Después de varios ensayos, pudo construir la primera estructura de “parral” con cubierta de plástico.

En poco tiempo, estas estructuras levantaron un enorme interés, aunque su uso no se concretizó hasta principios de los 70, debido al precio relativamente elevado del plástico en esta época y sobre todo a su escasa duración (menos de 6 meses). Con la llegada de materiales plásticos más duraderos (2-3 años), el recubrimiento de invernaderos con estos materiales se hizo competitivo, lo que incidió en el despegue del conocido “Mar de Plástico” almeriense.

Han pasado ya 30 años desde estos tiempos de pioneros en tierras de Roquetas del Mar, y aún se pueden ver algunos invernaderos similares a los de esa época. Pero son una minoría. Hoy día, la mayoría de los invernaderos parral poseen estructuras más altas, con más pendientes (“raspa y amagado”, Pérez Parra, 1998), con postes de cemento o de aluminio que han reemplazado los soportes en madera. Además, existe un gran abanico en la elección de materiales de plástico que pueden ser (i) de tipo “térmico”, es decir opacos a los IR, (ii) antigoteo, (iii) con aditivos UV que actúan sobre la esporulación de algunos hongos, y hasta (iv) con tratamientos fotoselectivos, como los filmes fluorescentes.

**El “mar de plástico” (El Ejido, 1999)**

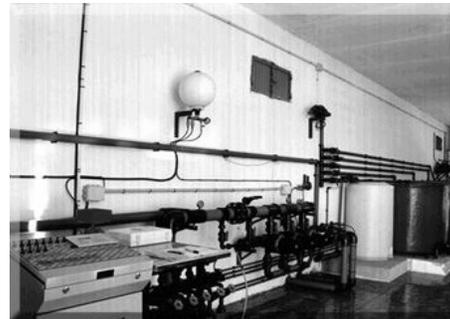


### **¿David contra Goliat?**

Actualmente, también se puede observar una cierta progresión de otro tipo de estructuras, como los túneles de arco, los túneles multicapillas y hasta invernaderos de cristal tipo “Venlo”, lo que puede parecer una “fantasía” en tierras del “parral”. Estos invernaderos desafían, como David, al parral-Goliat, elevando fieramente sus puntas agudas de cristal azulado en el crepúsculo del Campo de Dalías. Son rivales que rompen la monotonía del paisaje almeriense y su mar de plástico. Sin embargo, tienen bastante dificultades para hacerse un hueco al sol, pero ahí están, y pueden ser duros competidores del hasta ahora todo poderoso parral.

### **Del riego a manta al cultivo hidropónico**

Sin embargo, los cambios no se han realizado solamente por fuera, también se aprecian dentro del invernadero. El “enarenado” sigue con su atractivo para muchos agricultores. Sin embargo, los sustratos artificiales, tipo perlita, lana de roca, fibra de coco, etc., que permiten un mejor control del uso del agua y de fertilizantes, ya ocupan unos miles de hectáreas. Casi todos los agricultores se han volcado con el riego por goteo, cuando no hace mucho tiempo los colonos solamente utilizaban el riego a manta. Muchos agricultores ya poseen autómatas de riego, con control de pH, EC y drenaje, y algunos tienen ordenadores de fertirriego, con una amplia panoplia de algoritmos de control y de programación del riego. El hidropónico puro, bastante popular en los países nórdicos, y conocido como “NFT” (“Nutrient Film Technique”) sigue siendo una herramienta de investigación en los Centros Experimentales y Universidades (incluida la UPCT, con el invernadero del Área de Ingeniería Agroforestal en la finca experimental Tomas Ferro).



### **De la apertura manual de las ventanas al ordenador de clima**

También van apareciendo sistemas de apertura de ventanas automatizadas, laterales o cenitales, de tipo enrollables, accionadas por motores. Se empiezan a ver algunos sistemas de calefacción, bastante rudimentarios en la mayoría de los casos. Y ¡por fin!, en algunas explotaciones punteras, existen ordenadores de clima, que controlan automáticamente temperatura, humedad (por nebulización), pantalla de



sombreo y térmica, y hasta enriquecimiento en CO<sub>2</sub>, del cual el interés económico queda aún por demostrar en las regiones con fuerte insolación (Enoch, 1990).

## B- ACTUALIDAD Y FUTURO

### 1 - DEL ARTESANO AL INDUSTRIAL

La horticultura de hoy tiene poco que ver con la horticultura "artesanal" que se practicaba hace 40 o 50 años en las huertas de las afueras de las grandes ciudades. Antes de la segunda guerra mundial, la periferia de París era una de las zonas hortícola y florales más ricas de Francia, debido a la proximidad del lugar de compra y de consumo. Ahora, estas zonas de producción han desaparecido por completo, con el encarecimiento del precio del terreno, y se han trasladado hacia zonas de clima más propicio, y con terrenos con precios más abordables como el Rosillón. Esta misma tendencia se ha observado en casi todos los países desarrollados. El caso de la Huerta valenciana, que ha perdido más de la mitad de su importancia de antaño, es también característico de este fenómeno de alejamiento entre el lugar de producción y el lugar de consumo.



En este sentido, la zona de producción de Almería, con sus principales mercados en Alemania, Francia y Gran Bretaña, y ahora también Estados Unidos, demuestra que ha llegado la hora de la horticultura industrial y de la globalización. Está claro que, en un contexto de fuerte inversión en el sistema de producción, se van a utilizar todos los argumentos tecnológicos para abaratar los costes de producción (mecanización, robotización), para controlar los procesos (clima, fertirrigación, manejo del cultivo), para controlar la calidad (lucha integrada, nuevos cultivares) y para mejorar la calidad del medio ambiente (recirculación del drenaje, reutilización de los residuos vegetales, plásticos y sustratos). Este último aspecto parece actualmente más bien orientado hacia un plan de "marketing" y de "imagen de marca".

La paradoja de la horticultura de hoy es que cohabitan grandes explotaciones de decenas de hectáreas, que pertenecen a empresas nacionales o multinacionales, con pequeñas empresas familiares de, alrededor, de 1 ha, agrupadas en cooperativas. Estas dos formas de organización de la producción y de la distribución se van desarrollando en paralelo, modernizando su herramienta de producción y mejorando su sistema de comercialización.

En esta lucha por la conquista de los mercados, la transformación y la modernización del sistema de producción son partes importantes a considerar en la estrategia (planteamiento a largo plazo) de la empresa o de la cooperativa. Consecuentemente, la formación de los ingenieros, técnicos, capataces y obreros, va a ser una inversión clave en su desarrollo futuro. De ahí el papel fundamental que va a tener la formación de estas personas, tanto en la Universidad como en los Centros de Formación Profesional.

### 2 - EL INVERNADERO: ¿UN AGROSISTEMA SOSTENIBLE?

Es una pregunta que se puede plantear muy a menudo cuando uno se toma el tiempo de observar los alrededores de las explotaciones con invernaderos de plástico en el Sudeste español. En muchos casos, la impresión visual de desechos plásticos que vuelan al viento es bastante desoladora. Pero quizás este detalle sea lo de menos. Al lado de esta desagradable impresión estética, se ocultan realidades menos visibles, pero más peligrosas: la sobreexplotación, contaminación y salinización de la capa freática, el uso intensivo de pesticidas, los vertidos incontrolados de residuos.

La pregunta que cabe plantearse es ¿tiene algún futuro este tipo de horticultura? A medio y largo plazo sin duda alguna, siempre que los agricultores y las administraciones tomen medidas para frenar estas prácticas que dañan irremediabilmente el medio ambiente, y las

reemplacen por otras que respeten el entorno y el siempre frágil equilibrio ecológico. En esta tarea, los científicos e ingenieros que trabajan en el campo de la horticultura ya proponen soluciones y técnicas, que ciertamente tienen un coste, que habrá que repercutir en el precio final del producto. Está claro que será éste el precio que habrá que pagar por la sostenibilidad del sistema de producción. Nuestra convicción es que esta horticultura llamada “intensiva” puede, y debe, ser un ejemplo de agricultura sostenible y limpia. En un invernadero, entorno más o menos confinado, es perfectamente factible con las tecnologías de hoy controlar de manera precisa los procesos de producción si se ajustan los consumos de agua, fertilizantes y energía, controlando y optimizando los recursos utilizados, naturales (energía solar, agua) o artificiales (fertilizantes, energía eléctrica) (Baille, 1999).

Es un hecho probado que la eficiencia del uso del agua es superior en cultivos protegidos que en cultivos al aire libre (para el tomate varía entre 30 a 40 L por kg de tomate producido, y de 50 a 60 L kg<sup>-1</sup>, respectivamente, Stanhill, 1980). También se podría decir lo mismo de la eficiencia de uso del nitrógeno, o de otros elementos minerales, si los agricultores optasen por un uso racional de fertilizantes.

Algunos ejemplos disponibles de tecnologías “limpias” pueden ser:

- El reciclaje y la reutilización de las soluciones nutritivas.
- La lucha integrada, que asocia la lucha biológica a una lucha química razonada.
- El aprovechamiento de la energía solar (invernaderos solares).
- La recuperación de los desechos vegetales y plásticos.



**Factoría de recuperación de desechos vegetales (El Ejido)**

Esta profunda mutación, que deberá progresivamente ocurrir en la horticultura española, ya es una realidad en países como Holanda, donde la legislación en materia de medio ambiente obliga a que los horticultores reutilicen los lixiviados, reciclen los residuos vegetales y los sustratos (lana de roca, por ejemplo), y no utilicen ciertos métodos químicos de desinfección, como el bromuro de metilo.

La Universidad debe ayudar y contribuir a esta mutación imprescindible, tanto en los aspectos que atañen a la investigación y al desarrollo de tecnologías sostenibles, como en la formación de ingenieros y técnicos que deben tener un alto nivel de conocimientos en nuevas técnicas de producción, en nuevas tecnologías y en su aplicación para la protección del medio ambiente.

La asignatura de **Tecnología de Invernaderos** está directamente relacionada con esta necesidad de formación en nuevas tecnologías, tratando de inculcar al alumno los fundamentos para que pueda elegir y diseñar los sistemas de climatización del invernadero de manera racional, optimizando recursos como la energía solar, la energía fósil, el agua y el CO<sub>2</sub>.

### 3 ¿HACIA UNA HORTICULTURA DE PRECISIÓN?

La agricultura “intensiva” tiene mala prensa. Es sinónimo de rendimientos elevados, asociados a un uso desmedido de fertilizantes y productos fitosanitarios. Quizá por eso, se habla ahora de *agricultura de “precisión”*, que no difiere fundamentalmente de la agricultura intensiva en sus objetivos, pero que pretende alcanzarlos utilizando tecnologías avanzadas y herramientas informáticas de control y de ayuda a la decisión.

Podríamos entonces hablar también de *horticultura de precisión*, de la que la horticultura mediterránea se aleja bastante, pero que tendrá que asemejarse al modelo de horticultura holandés actual, al menos en los aspectos que atañen a la sostenibilidad del sistema. Esta horticultura de precisión se puede considerar aún como algo teórico: el sistema estaría constituido por el cultivo dentro de un medio confinado, perfectamente controlado y, por ende,

con un mínimo de intercambios con el exterior. Es el concepto de *invernadero "cerrado"*, donde se trata de minimizar su reacción respecto al clima exterior (frío, calor, humedad, viento), dejando entrar el recurso imprescindible a la producción vegetal, es decir la radiación solar. Este modelo no es algo lejano para los científicos e ingenieros. Ya han existido prototipos de invernaderos cerrados pero han tropezado con la dura realidad económica de las leyes del mercado. Sin embargo, puede ser que este concepto de invernadero sea el futuro.

#### 4- EL SIGLO XXI: LA ERA DEL CONTROL INTEGRADO DEL INVERNADERO

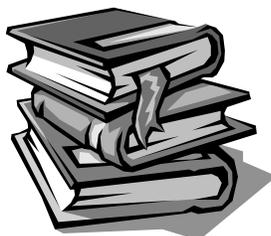
Dentro de la investigación en horticultura de precisión, una parcela específica está reservada al diseño y control por ordenador de invernaderos y sus equipamientos. La disponibilidad de herramientas informáticas que incorporen modelos que describan el funcionamiento de las tres componentes del sistema (cultivo, clima, suelo/sustrato) puede permitir un control preciso de estas componentes.

Ya existen tales "simuladores" de cultivos de invernaderos, uno de los cuales (Simulserre, INRA, Francia) ha sido elaborado precisamente con fines de docencia. Un simulador de este tipo puede perfectamente utilizarse como herramienta de ayuda a la decisión, por ejemplo para planificar el cultivo, prever los gastos de calefacción o de CO<sub>2</sub>, o bien para elegir la temperatura de consigna del aire durante el ciclo de cultivo.

Como conclusión de este Capítulo, queremos subrayar el enfoque *claramente integrador y multidisciplinar* de la investigación en el campo del control de invernaderos. Se necesitan conocimientos de varias disciplinas, tanto físicas como agronómicas, además de automatismo y control. El estrecho vínculo existente entre el cultivo y el clima en un invernadero implica que el investigador, o el ingeniero, que quiere desarrollar o utilizar un sistema de control sea un buen conocedor de los **procesos físicos y fisiológicos**, es decir que sepa cómo cada componente del sistema va a reaccionar en respuesta a un cambio que interviene en otra componente. Claramente, nos parece muy importante que estas interacciones entre medio físico y cultivo sean bien comprendidas y asimiladas por los alumnos.



El jardín de plantas ("Jardin des Plantes")  
de Paris



## Referencias bibliográficas

### Reseña Histórica

- Albright L.D., 1991. Production solar greenhouse. In . "Energy in world agriculture. Solar Energy in Agriculture", Ed. Parker B.F., Vol 4, p: 213-231, 447 pp.
- Anónimo, 1965. Japanese Plastic Industry Publication.
- Arons, A.B., 1970. Evolución de los conceptos de la física. Trillas.
- Baille A., 1991. Energy cycle. In: *Ecosystems of the World, Greenhouse Ecosystems. Capítulo II*, 265-286, 423 pp..
- Baille A., Boulard T., Gary C., 1991. Les critères d'optimisation dans la gestion du climat et de la production sous serre. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 76(5), pp25-36.
- Bowen M., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporación from any water surface. *Phys. Rev.*, 27, 779-787.
- Businger G. A., 1963. The glasshouse (greenhouse) climate. In: *Physics of Plant Environment*, van Wijk (Ed.), North-Holland Publ. Co., Amsterdam.
- Brutsaert W., 1982. Evaporation into the atmosphere. Theory, history and applications. Ed Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Challa H., 1988. Prediction of production: a requisite approach. *Acta Hortic.*, 229: 133-141.
- Challa H., Bot G.P.A., Nederhoff E.M., van de Braak N.J., 1988. Greenhouse climate control in the nineties. *Acta Horticulturae*, 230: 459-470.
- Delegido Gómez J.V., 1991. Desarrollo de un modelo para estimar la evapotranspiración máxima a escala regional utilizando imágenes de satélite. Tesis Doctoral. Facultad de Física. Universidad de Valencia, 139 pp.
- Demoussy E., 1904. Sur la végétation dans des atmosphères riches en acide carbonique. *CRAS*. Paris, 138,191-293.
- Enoch H.Z., 1990. Crop responses to aerial carbon dioxide, *Acta Horticulturae*. 268, 17-29.
- Enoch H.Z., Enoch Y. 1999. *The history and geography of the greenhose*. In: *Ecosystems of the World, Greenhouse Ecosystems. Capítulo I*, 1-15, Elsevier, 423 pp.
- Goldsberry K.L., 1986. CO<sub>2</sub> fertilisation of carnation and other flower crops. In: *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops*. Enoch H.Z., and Kimball B.A. (Eds.). Vol II. CRS Press, Boca Raton Florida. 117-140
- Gaastra P., 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. *Mededelingen. Landbouwhogeschool*, No 59, 68 pp.
- Gibault G., 1898. Les origines de la culture forcée. *J. Soc. Hort. de France*: 1109-1117.
- Greene E.L. 1983: *Landmarks of Botany Hystory*. Stanford University Press, Stanford, CA, pp. 128-211.
- Hix, J., 1974. *The glass House*. Pahidon Press Ltd., London, pp 208.
- Jacobs, J.M., 1995. The history of greenhouse cultivation. In "*Greenhouse Climate Control. An Integrated Approach*". Bakker J.C., Bot G.P.A, Challa H., van de Braack N.J. (Eds.). Wageningen Press, 3-7, 279 pp.
- Kimball B.A., 1983. CO<sub>2</sub> and agricultural yield: an assamblage and análisis of 430 prior observations. *Agronomy. Journal*, 75, pp: 779-788.
- Lemmon K., 1962. *The covered Garden*. Museum Press, London, 284 pp.
- Li H.L., 1957. *The Garden flowers in China*. The Ronald Preess, New York, Capítulo 2:12-21.
- Monge., 1790. Mémoire sur la cause des principaux phénomènes de la météorologie. *Annales de Chimie* 5, 1-71.
- Macca P., 1992. Les plastiques utilisés en agricultura: nature et propriétés des materiaux. In: *Les plastiques en agriculture*. Comité Francais des Plastiques en Agriculture et Revue Horticole (Eds.), 29-58, Paris, 583 pp.

- Mansfield T.A., Murray A.J.S., 1984. Polluants generated in greenhouse during CO<sub>2</sub> enrichment. *Acta Horticulturae*. Symposium on CO<sub>2</sub> enrichment, Norway, 171-178, 162 pp.
- Pérez Parra J., 1998. El invernadero parral: caracterización y evolución. In: *Tecnología de Invernaderos II*. Curso superior de especialización. 2ª edición. Pérez Parra, Cuadrado Gómez (Eds.), Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería, 179-192, 512 pp.
- Monteith J.L., 1965. Evaporation and environment. In: *The state and movement of water in living organisms*, 19th Symp. Soc. Exp. Biol., 205-234.
- Monteith, J.L., 1975. *Principles of Environmental Physics*. Arnold E. (Ed), London: 225pp.
- Reynolds J., Acock B., 1985. Predicting the response of plants to increasing carbon dioxide: A critique of plant growth models. *Ecological Modelling*, 29, pp: 107-129.
- Sanchez, C. *Los principios de la física en su evolución histórica*. Universidad Complutense de Madrid, 1986.
- Stanhill G., 1980. The energy cost of the protected cropping: a comparison of six systems of tomato production. *J. Agric, Engng. Res*, 25, 145-154.
- Steere W.C., 1974. Botany. In *Enciclopedia Británica*. Macropodia 3. Enciclopedia Británica, Inc. Chicago II. pp: 65-75.
- Tatón R., 1975. *Historia general de las ciencias*. Ed. Destino, Barcelona.
- van den Muijzenberg E.W.B., 1980. A history of greenhouses, Preliminary edition, Translated and edited by Peter Newton, Manchester University. In: *Ecosystems of the World, Greenhouse Ecosystems*, Enoch H.Z. and Enoch Y. (Eds), 1999. Capítulo I: The history and geography of the greenhouse, 423 pp.
- Woodward F.I., Thompson G.B., McKee I.F., 1991. The effects of elevated concentration of carbon dioxide on individual plants, populations, communities and ecosystems. *Annals of Botany* 67 (Supplement 1), pp: 23-38.
- Wright R., 1934. *The Story of Gardening from the hanging Gardens of Babilonia to the hanging Gardens of New York*. George Routledge, London, 435 pp.