

# **TENDENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE INVERNADEROS: NORMAS CEN Y UNE. SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL Y POSIBILIDADES DE MECANIZACIÓN DE OPERACIONES DE CULTIVO Y RIEGO**

Pere Muñoz, Assumpció Antón, Juan Ignacio Montero  
Departament de Tecnologia Hortícola  
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

## **1. Introducción.**

La producción bajo invernadero de la zona europea se ha caracterizado por los dos tipos de sistemas de producción claramente diferenciados entre los países de Norte de Europa y los mediterráneos.

Los invernaderos de países fríos (Holanda, Alemania, Reino Unido) son invernaderos de vidrio con un alto grado de automatización y control con el objetivo de optimizar la producción y calidad de los cultivos.

Contrariamente, los invernaderos mediterráneos son invernaderos de bajo coste, con cubierta de plástico (Montero y Antón, 2002a), que proporcionan un mínimo control climático, y permiten a la planta su crecimiento además de conseguir un cultivo económicamente rentable.

Estos invernaderos simples de bajo costo son los que han permitido el espectacular crecimiento de la horticultura intensiva y de la renta agrícola de la zona del levante español en las décadas de los años 80 y 90.

No obstante, y a pesar del éxito conseguido, existen una serie de problemas asociados a este tipo de sistema de producción como son, las limitaciones de agua para el riego (calidad y cantidad), el control de plagas y enfermedades y las condiciones climáticas inadecuadas, que deben mejorarse para garantizar su competitividad (Montero y Antón, 2002a).

Todo ello, ha conducido a un freno en el crecimiento de la superficie de invernaderos y a la constatación de una clara tendencia hacia el aumento del nivel tecnológico de los equipamientos e invernaderos, la formación de los agricultores en su uso y ligado a ello un aumento en la calidad y producción.

Así, en la actualidad, nos encontramos en una situación en la que los que podemos denominar invernaderos artesanales van siendo substituidos por invernaderos industriales con niveles de tecnificación cada vez mayores. Estos invernaderos, siguen utilizando filmes plásticos como material de cubierta pero, cada vez presentan mayores sistemas de control (riego, sombreado, humectación, ventilación, recirculación de soluciones nutritivas...).

La presente comunicación pretende proporcionar una visión general de las tendencias en la construcción de invernaderos que deberán regirse de acuerdo a las normas europeas, así como de los sistemas de control ambiental.

## **2. Norma Europea de Invernaderos. UNE-EN13031-1.**

La Norma Europea de Invernaderos UNE-EN13031-1 es el resultado de un proceso europeo de normalización iniciado con el fin de unificar diversas normas nacionales existentes respecto al diseño y cálculo de estructuras de invernaderos. En España, viene a complementar a la Norma UNE76208.

La norma, proporciona las pautas de diseño estructural y construcción de estructuras de invernaderos para la producción comercial de plantas y cultivos. Está basada en el Eurocódigo 1 (ENV 1991) "Bases del diseño y acciones sobre las estructuras" en lo que concierne a los

principios generales y requerimientos de resistencia mecánica y estabilidad. Las consideraciones de durabilidad y servicio, se basan igualmente en los Eurocódigos 2-9 (ENV 1992-ENV 1999).

De acuerdo con la norma se entiende por **invernadero** la estructura utilizada para el cultivo y/o protección de plantas, que favorece la transmisión de la radiación solar bajo condiciones controladas con el fin de mejorar el ambiente de desarrollo de las plantas, presentando tales dimensiones que permita a las personas trabajar en su interior. En ella, se especifica que un **invernadero comercial** es aquél que se utiliza para la producción comercial de plantas y cultivos y en el que la presencia humana esta restringida únicamente a personal autorizado.

### 2.1. Diseño de estructuras de invernadero.

El diseño de los invernaderos se realizará de tal forma que pueda verificarse en todo momento que no se supera el estado límite. El estado límite de carga a considerar se determinará en función de la clasificación del invernadero.

La clasificación de la estructura del invernadero se realiza de acuerdo con su vida útil (5, 10 o 15 años) y con la tolerancia del sistema de cubierta a los desplazamientos.

En función de la tolerancia a los desplazamientos se distinguen dos tipos de invernaderos:

Invernadero Tipo A. Invernaderos cuyo sistema de cubierta no tolera los desplazamientos de la estructura sometida a cargas de diseño. Este tipo de invernaderos debe diseñarse considerando los estados límite de servicio (ELS) y los estados límite últimos (ELU).

Invernadero Tipo B: Invernadero cuyo sistema de cubierta tolera los desplazamientos de la estructura sometida a cargas de diseño. Este tipo de invernadero puede diseñarse considerando únicamente los estados límite últimos (ELU).

De acuerdo con el tipo de invernadero y la vida útil de la estructura la norma considera un total de 5 clases de invernadero (Tabla 1). También especifica que los invernaderos de vidrio deben diseñarse con una vida útil mínima de 15 años, e indica que aquellos invernaderos que contengan equipamientos o cultivos de gran valor no deben diseñarse con vidas útiles inferiores a 10 años.

NOTA: Recordemos que los *estados límites*, aplicables a una estructura o a un elemento estructural aislado, son aquellos más allá de los cuales no quedan satisfechos los comportamientos requeridos por el proyecto. Podemos clasificarlos en:

- **Estado Límite Último**
- **Estado Límite de Servicio**

Los **estados límites últimos** son aquellos asociados con el colapso de una estructura que pone en peligro la vida humana. Los *estados límites últimos*, que pueden requerir consideración, incluyen:

- Pérdida de equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como cuerpo rígido.
- Pérdida de la capacidad de carga portante, debido por ejemplo a: rotura, inestabilidad, fatiga u otro estado límite acordado, tales como excesivas tensiones y deformaciones.

Los **estados límites de servicio** corresponden a estados más allá de los cuales, dejan de ser satisfechos los criterios de servicio especificados en el proyecto. Estos incluyen:

- Deformaciones o flechas que pueden afectar la apariencia o el uso efectivo de la estructura (incluyendo el mal funcionamiento de máquinas o servicios) o que pueden causar daño a los elementos de terminación o no estructurales.
- Vibraciones que pueden causar disconfort a las personas, daño al edificio o a su contenido o que limitan su eficacia funcional.

**Tabla 1. Clasificación de los invernaderos**

Tipo	Vida útil mínima de diseño		
	15 años	10 años	5 años
Tipo A	A15	A10	
Tipo B	B15	B10	B5

2.2. Condiciones.

Las condiciones de validez de los métodos de cálculo vienen definidas por una serie de criterios de durabilidad, tolerancias, mantenimiento y reparación.

Respecto a la durabilidad se establece que la protección contra la corrosión sea tal que no comprometa la integridad de la estructura como mínimo durante el período de tiempo de vida útil estimada del invernadero.

Las tolerancias se refieren fundamentalmente a la tolerancia del sistema de la cubierta al desplazamiento. Por tanto, competen a los invernaderos clasificados como tipo B, y se centran en la desviación máxima entre bases de columnas. La tabla 2 muestra los valores máximos admisibles.

**Tabla 2. Valores máximos admisibles en la separación horizontal entre bases de columna para los invernaderos clasificados como tipo B.**

Máxima desviación permisible en la separación horizontal entre bases de columna			
Medida	Desviación máxima		
	B15	B10	B5
Distancia entre base de columnas o arcos L	$\frac{1}{150}L$	$\frac{1}{150}L$	$\frac{1}{50}L$
Longitud total del invernadero $L_{gh}$	$\frac{1}{1500}L_{gh}$	$\frac{1}{1500}L_{gh}$	
Anchura total del invernadero $B_{gh}$	$\frac{1}{1500}B_{gh}$	$\frac{1}{1500}B_{gh}$	

Finalmente, respecto al mantenimiento y reparación se especifica que los constructores y fabricantes deben suministrar un “manual” en el que se detallen las especificidades del invernadero y las cargas de servicio y mantenimiento utilizadas en el diseño del invernadero. En todo momento, la norma recomienda evitar en lo posible la acumulación de cargas en la cubierta.

2.3. Acciones sobre los invernaderos.

Todas las acciones o cargas que puedan darse a lo largo de la vida de los invernaderos deben considerarse en su diseño. La norma especifica las posibles combinaciones de carga que pueden presentarse simultáneamente y que han de contemplarse en el diseño, éstas son: cargas permanentes, de viento, de nieve, de instalaciones permanentes, de instalaciones temporales, cargas del cultivo y cargas verticales concentradas.

A continuación, se explicarán brevemente cada una de las cargas, el método de cálculo y, finalmente las combinaciones que han de tenerse en cuenta en el caso de España.

Cargas permanentes ( $G_{K1}$ ): Se definen como cargas permanentes del invernadero las correspondientes al peso de los elementos estructurales y no estructurales sin considerar el de las instalaciones. Su cálculo se debe realizar de acuerdo con el eurocódigo 1 (ENV 1991-2-1) y viene especificado en el Anexo 1 de la norma.

Cargas de instalaciones permanentes ( $G_{K2}$ ): Estas cargas son las originadas por instalaciones permanentes de invernadero sobre su estructura. Entre estas pueden citarse: calefacción, alumbrado, sombreo, riego, ventilación, aislamiento y cooling. Los valores de peso de los equipos deben determinarse nuevamente de acuerdo con el eurocódigo 1 (ENV 1991-2-1).

Cargas de viento ( $Q_{K1}$ ): Las cargas de viento se deben al efecto del viento sobre la estructura del invernadero, para su determinación deben utilizarse igualmente las recomendaciones recogidas en el Anexo B de la norma basadas también en el eurocódigo 1.

Cargas de nieve ( $Q_{K2}$ ): Recogen el efecto de la nieve sobre la estructura del invernadero, su cálculo también basado en el mismo eurocódigo se especifica en el Anexo C de la norma.

Cargas del cultivo ( $Q_{K3}$ ): Corresponden a las cargas del cultivo y del medio de cultivo si la estructura del invernadero es la que debe soportar las cargas. En caso de no disponer de información más detallada los valores a considerar serán los que se presentan en la tabla 3

**Tabla 3. Cargas del cultivo ( $Q_{K3}$ ) a considerar en el cálculo de las acciones sobre las estructuras de invernaderos.**

Cultivo	Carga característica (kN/m <sup>2</sup> )
Cultivo similar a tomates y pepinos	0.15
Cultivo en contenedores ligeros (fresas)	0.3
Cultivo en contenedores pesados (plantas en tiesto)	1.0

Cargas verticales concentradas ( $Q_{K4}$ ): Corresponden a las cargas producidas por el peso de las personas cuando realizan operaciones de mantenimiento y reparación. La tabla 4 presenta los valores de cargas verticales concentradas a considerar.

**Tabla 4. Cargas verticales concentradas ( $Q_{K4}$ ) a considerar en el cálculo de las acciones sobre estructuras de invernaderos.**

Carga concentrada	Valor característico (kN)
Carga en elemento estructural o canalón	1.00
Carga en elementos secundarios	0.35

Cargas de instalaciones temporales ( $Q_{K5}$ ): Corresponden a magnitudes variables originadas por equipamientos móviles temporales como por ejemplo equipos de limpieza, raíles etc. Para determinar su valor deben utilizarse los datos de peso proporcionados por el fabricante así como la carga máxima que pudiera transportar el equipo.

Las cargas anteriores no deben contemplarse separadamente sino que deben considerarse las combinaciones entre ellas en función de la probabilidad de aparición simultánea en cada región.

Para ello, la norma introduce los denominados coeficientes de combinación ( ) que se determinan a escala regional y permiten establecer la probabilidad de aparición simultánea de las diferentes acciones. Los valores correspondientes a cada región se recogen en el Anexo E de la norma.

La tabla 5 muestra las combinaciones de carga a considerar para el cálculo de las acciones de las diferentes clases de invernadero en el caso español.

Donde  $\gamma_i$  son los denominados “factores parciales” relacionados con el nivel de seguridad del invernadero. Al igual que en el caso de los coeficientes de combinación, el mismo Anexo E presenta los valores a emplear para cada factor parcial.

**Tabla 5. Combinaciones de carga a considerar en el diseño y construcción de invernaderos en el caso español.**

	Permanente	Instalaciones permanentes	Viento	Nieve	Cultivo	Vertical concent.	Instalaciones temporales
<b>a1)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$	$\gamma_{G2} G_{K2}$	$\gamma_{Q1} Q_{K1}$	$\gamma_{Q2} Q_{K2}$	$\gamma_{Q3} Q_{K3}$		
<b>a2)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$	$\gamma_{G2} G_{K2}$	$\psi_{Q1} \gamma_{Q1} Q_{K1}$	$\gamma_{Q2} Q_{K2}$	$\psi_{Q3} \gamma_{Q3} Q_{K3}$		
<b>a3)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$	$\gamma_{G2} G_{K2}$	$\psi_{Q1} \gamma_{Q1} Q_{K1}$	$\psi_{Q2} \gamma_{Q2} Q_{K2}$	$\gamma_{Q3} Q_{K3}$		
<b>b1)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$		$\gamma_{Q1} Q_{K1}$				
<b>c1)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$	$\gamma_{G2} G_{K2}$			$\psi_{Q3} \gamma_{Q3} Q_{K3}$	$\gamma_{Q4} Q_{K4}$	$\psi_{Q5} \gamma_{Q5} Q_{K5}$
<b>c2)</b>	$\gamma_{G1} G_{K1}$	$\gamma_{G2} G_{K2}$					$\gamma_{Q5} Q_{K5}$

Las tablas 6 y 7 presentan los valores de coeficientes de combinación y factores parciales correspondientes a España de acuerdo con la norma EN13031-1.

**Tabla 6. Factores parciales  $\gamma_i$  aplicables en el caso español.**

Carga	Símbolo	ELS	ELU
permanente	$\gamma_{G1}$	1.0	1.2/1.0
Instalaciones permanentes	$\gamma_{G2}$	1.0	1.2/1.0
Viento	$\gamma_{Q1}$	1.0	1.2
Nieve	$\gamma_{Q2}$	1.0	1.2
Cultivo	$\gamma_{Q3}$	1.0	1.2
Vertical concent	$\gamma_{Q4}$		1.2
Instalaciones temporales	$\gamma_{Q5}$	1.0	1.2

**Tabla 7. Coeficientes de combinación aplicables en el caso español.**

	viento	nieve	cultivo	instalación
	$\psi_{Q1}$	$\psi_{Q2}$	$\psi_{Q3}$	$\psi_{Q5}$
<b>a1</b>		0.5	1.0	
<b>a2</b>	0.0		1.0	
<b>a3</b>	1.0	0.0		
<b>c1</b>			1.0	0.6

La norma contempla otras cargas que deben considerarse en el cálculo de las acciones sobre la estructura del invernadero como son las cargas sísmicas ( $Q_{K6}$ ) y térmicas ( $Q_{K7}$ ) que no explicaremos por no afectar a los cálculos en España.

#### 2.4. Anexos.

Respecto a los Anexos, la norma incorpora un total de 9 Anexos, tres de ellos informativos (Anexos G, H y I) y el resto normativos (Anexos A-F). El contenido de cada uno de ellos es el siguiente:

- Anexo A: Capacidad Estructural de la cubierta.
- Anexo B: Cargas de viento.
- Anexo C: Cargas de nieve.
- Anexo D: Estados límites últimos de los arcos.
- Anexo E: Factores relativos a cada país, coeficientes y fórmulas.
- Anexo F: Manual de utilización y placa de identificación.
- Anexo G: Instrucciones para mantenimiento y Reparación.
- Anexo H: Detalles estructurales.
- Anexo I: Método de cálculo de invernaderos cubiertos de plástico.

Dada la complejidad de los temas, y al no tratarse el presente documento de un capítulo dentro de un curso de cálculo de estructuras, nos centraremos en los anexos F y G por su interés general al ser anexos que implican a constructores, vendedores y usuarios.

#### Anexo F: Manual de utilización y placa de identificación.

Este Anexo especifica algunas de las obligaciones del vendedor/constructor del invernadero respecto al comprador. Así determina la obligatoriedad por parte del vendedor de suministrar un manual del usuario y, la obligatoriedad de instalar, en algunos casos, una placa identificativa del invernadero.

#### Manual del Usuario.

Como ya se ha comentado, el vendedor del invernadero debe suministrar junto con este, un manual del usuario que, como mínimo, debe contener la siguiente información:

- Clase del invernadero.
- Fabricante.
- Fecha de montaje, fecha de entrega si es el propietario el que realiza el montaje.
- Superficie cubierta.
- Acciones características de diseño.
- Capacidad o no para transporte de maquinaria de limpieza en la cubierta.
- Condiciones de cimentación o anclaje, si el fabricante no procede a la construcción del invernadero.
- Manual del usuario para el mantenimiento y reparación de acuerdo con el anexo G.
- Instrucciones para mantener la durabilidad, definición de cada uno de los procedimientos de mantenimiento implícitos para mantener la durabilidad del invernadero a lo largo de toda su vida útil.
- Instrucciones sobre cuando las aberturas de ventilación, con posibilidad de abrirse y cerrarse, deben ser cerradas siempre que la velocidad del viento exceda de "x" m/s, siendo "x" el 65% de la velocidad del viento de referencia pero corregida, para la altura sobre el terreno y el periodo de tiempo medio para el cual se dispone de información meteorológica de la velocidad del viento normal, en el país donde se ha construido el invernadero.
- Instrucciones para que, en el caso de que el invernadero esté diseñado con liberación de calor y con el fin de reducir las cargas de nieve, el sistema de calefacción y el autómata estén preparados para su uso en aquellos periodos en los que pueda actuar la nieve, aunque el invernadero se encuentre vacío.

- Instrucciones relativas a la flecha de los cables sometidos a cargas por los productos. La flecha del cable sometido a una carga debe ser, al menos, dos veces superior a la distancia entre los soportes de los cables dividida por 30, para un nivel de carga de 0.15 kN/m<sup>2</sup>.
- Nota indicando Invernadero construido de acuerdo con EN13031-1 “Invernaderos: Diseño y Construcción. Parte 1: Invernaderos de producción comercial.”

Referente a la placa de identificación, el Anexo especifica la información que debe presentar en función de la clase de invernadero. En el caso de los invernaderos de la clase B5 la placa de identificación debe contener:

Clase de invernadero.  
Fabricante.  
Fecha de entrega.

Si se trata de invernaderos de las clases A15, A10, B15 y B10 la placa instalada en el interior del invernadero debe contener:

Clase de invernadero.  
Fabricante.  
Fecha de montaje.  
Carga característica del cultivo.  
Superficie cubierta.

#### Anexo G: Instrucciones para mantenimiento y reparación.

El manual del usuario para el mantenimiento y reparación, debe contener como mínimo las siguientes informaciones: acceso a la cubierta y limpieza y blanqueo de las cubiertas. Se recomienda que incluya también información respecto a desplazamientos y trabajos en la cubierta.

**Acceso a la cubierta:** Para facilitar el acceso a la cubierta con seguridad para el operario la estructura del invernadero debe disponer de algún dispositivo que permita que las escaleras permanezcan rectas y estables. Debe permitir que éstas puedan apoyarse con seguridad sobre la estructura del invernadero en determinados puntos que resistan las cargas adicionales que representan.

Para un buen acceso desde la escalera al surco de la cubierta, se debe contemplar la posibilidad de apoyar la escalera en uno u otro lado de la canal e instalar una agarradera a 1 m de altura sobre la canal.

**Desplazamiento en la cubierta:** Deben suministrarse los medios necesarios para que el operario pueda desplazarse con toda seguridad sobre la cubierta, incluyendo los medios para desplazar las herramientas y la existencia de puntos fuertes a lo largo de la cubierta donde puedan depositarse las herramientas.

**Trabajos en la cubierta:** Cualquier operario que realice algún tipo de trabajo en la cubierta, debe disponer de una plataforma que le permita mantener el equilibrio sin ayuda de las manos.

**Limpieza y blanqueo de las cubiertas:** Al tratarse de una operación periódica, en función del tipo de estructura, se recomienda la limpieza con máquinas que faciliten la operación y eviten la necesidad del trabajo humano.

### **3. Control climático de invernaderos.**

#### 3.1. Introducción.

Un buen manejo del control del ambiente en el invernadero, es un requisito fundamental para proporcionar las condiciones ambientales óptimas de crecimiento y desarrollo del cultivo y, por tanto, una producción rentable.

El invernadero, al tratarse de un sistema cerrado, permite modificar con cierta facilidad las variables que afectan al crecimiento y desarrollo de las plantas. Para ello, es necesario modificar y obtener las condiciones climáticas y de fertirrigación óptimas de acuerdo con los datos suministrados por las ciencias hortícolas (Rodríguez y Berenguel, 2001).

El nivel de control puede ser muy simple, p.e. la simple protección contra la lluvia y el viento, o mucho más sofisticado mediante sistemas avanzados de control que permitan mejorar la calidad de la producción, acelerar el crecimiento e incluso reducir la polución y el consumo de energía.

En este sentido, los controladores han evolucionado en los últimos años desde simples termostatos que accionan el sistema de calefacción o ventilación, hasta los actuales controladores digitales capaces de utilizar modelos de crecimiento de los cultivos y emplear complicados algoritmos de control que implican diversas variables ambientales (Bailey, 1998).

### 3.2. Control ambiental en invernaderos.

Un buen control climático empieza por un diseño apropiado de la estructura que permita aprovechar al máximo las condiciones climáticas naturales. A partir de este diseño pueden añadirse diferentes equipos de climatización que proporcionen un mejor manejo de las condiciones ambientales.

En este sentido, cabe mencionar dos elementos de diseño fundamentales que, condicionan la producción y calidad de los cultivos y deben considerarse antes de incorporar los diferentes equipos de control. Estos son: la estructura del invernadero y el material de cubierta.

Tradicionalmente se ha considerado que la radiación no es un factor limitante en los países de la zona mediterránea, diversos estudios han constatado la falta de veracidad de la afirmación destacando la importancia que sobre la producción tiene el incremento de la transmisión de luz (Castilla *et al.*, 2001; Montero y Antón, 2002b)

La orientación de la estructura es un factor importante a considerar respecto a la disponibilidad de luz para el cultivo. La recomendación general es emplear la orientación Este-Oeste frente a la Norte-Sur ya que el porcentaje de transmisión de luz del invernadero es claramente superior (figura 1). Esta diferencia tan pronunciada se produce fundamentalmente en los meses invernales período en el cual la transmisión de luz es más limitante.

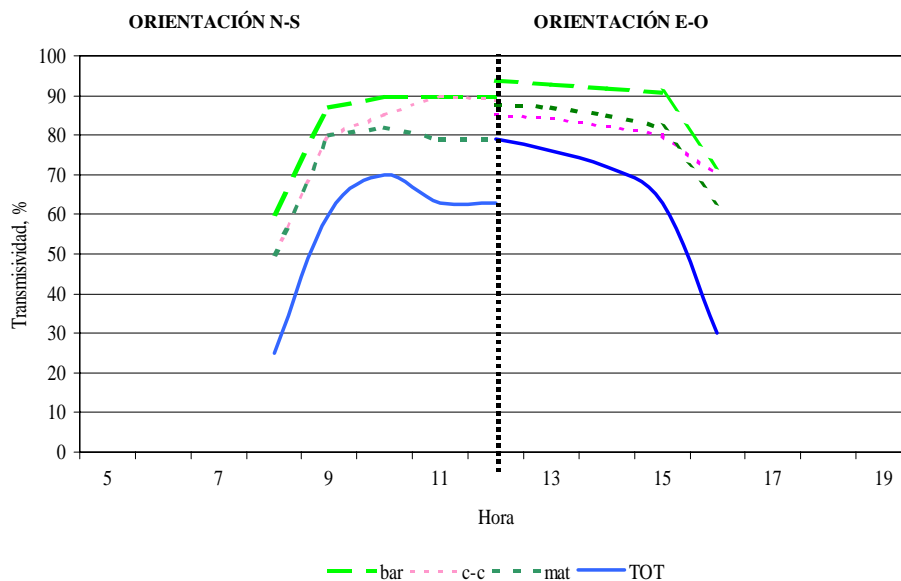


Figura 1. Transmisión de luz directa de un invernadero de polietileno en función de la orientación de la cubierta.



Otro factor que repercute en la transmisión es, naturalmente, el material de cubierta y sus propiedades ópticas. Últimamente se están introduciendo nuevos materiales como el ETFE, un copolímero de tetrafluoroetileno, con un alto grado de transmisividad que permiten incrementar considerablemente las producciones sin necesidad de modificar otros parámetros del invernadero. Un ejemplo claro son los resultados obtenidos por Montero y Antón (2002b) para un cultivo de tomates en dos invernaderos idénticos variando únicamente el material de cubierta (tricapa frente a ETFE).

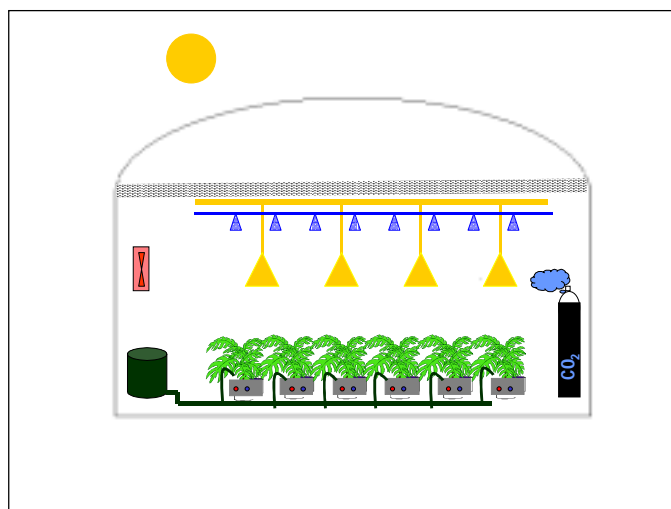
**Tabla 8. Producción de un cultivo de tomates bajo invernadero con diferentes materiales de cubierta (H1: Invernadero con cubierta tricapa; H2: Invernadero con ETFE).**

	Transmisión %	Producción, kg m <sup>-2</sup>	
		invierno	verano
H1	62-63	8.3	13.5
H2	81-83	9.5	17.0

El clima del invernadero es el resultado del tiempo atmosférico exterior, el sistema de control ha de permitir su modificación para conseguir las condiciones de cultivo deseadas. Para conseguir estas condiciones en el invernadero, las técnicas en las que se puede influir son:

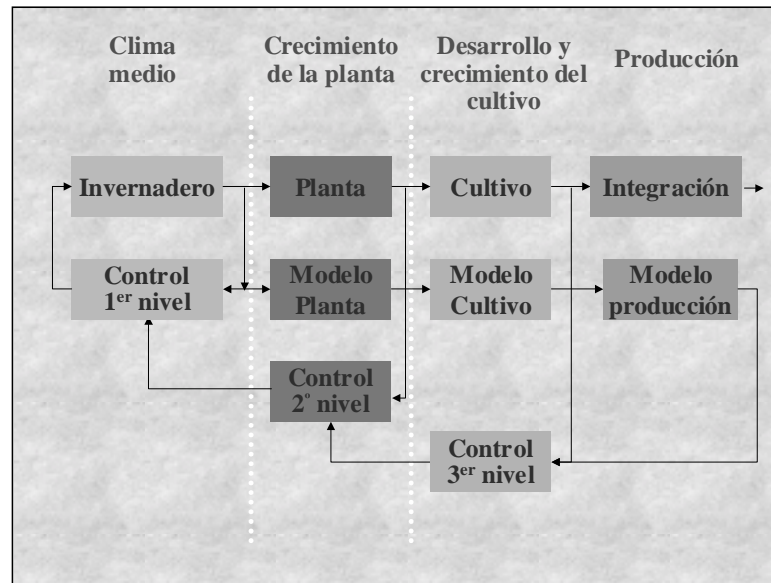
- Ventilación y calefacción: para influir en la temperatura.
- Sombreado y alumbrado eléctrico: para influir en la luminosidad.
- Fertilización carbónica (CO<sub>2</sub>): para influir en la fotosíntesis del cultivo.
- Ventilación y nebulización: para influir en la humedad del aire.

Las condiciones climáticas locales y los modelos ambientales deben ser capaces de proporcionar las herramientas de cálculo necesarias para dimensionar los sistemas de actuación (potencia de calefacción, tamaño de las ventanas, nº de boquillas de nebulización, etc.) que permitan el control del ambiente del invernadero (figura 2.)



**Figura 2. Sistemas de modificación del clima de un invernadero.**

En realidad, el control del microclima del invernadero es un proceso multi-nivel en el que los diferentes niveles se definen en función del tiempo (Bailey, 1998; Rodríguez y Berenguel, 2001; Tantau, 1985) tal y como se observa en la figura 3.



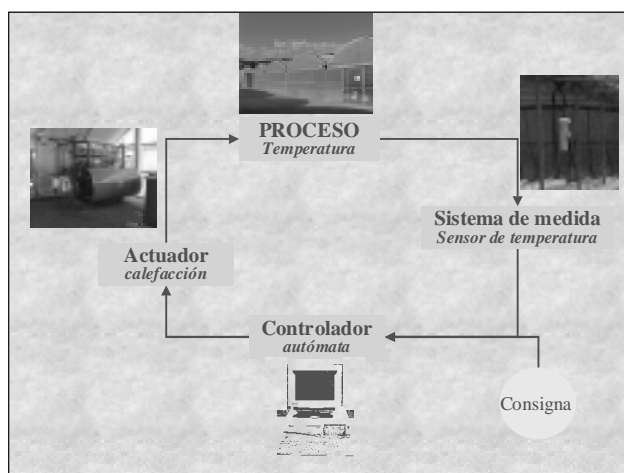
**Figura 3. Niveles de control del clima de un invernadero. (Bailey, 1998)**

En el nivel más bajo está el control a corto plazo de las condiciones ambientales en el invernadero, que actúa con una escala de tiempo de minutos. Este tipo de control se ha desarrollado, habitualmente, utilizando un control por realimentación que no requiere modelos del sistema.

El siguiente nivel se ocupa del control del desarrollo vegetativo, donde las escalas de tiempo se establecen por procesos fisiológicos y oscilan entre horas y días.

El nivel más alto de control trata de la planificación, coordinación, etc. De la producción global del cultivo, la escala global oscila desde días hasta el tiempo de vida del cultivo.

Un ejemplo del control clásico por realimentación lo observamos en la figura 4. El esquema representa el proceso a controlar, la temperatura del invernadero, para ello se precisará de un sistema de medidas, (siguiendo con el ejemplo, el sensor de temperatura), un controlador (ordenador, autómatas, ...) que compara la señal medida con el punto de consigna y ordena funcionar al actuador (calefacción si la diferencia es negativa o ventilación si la señal es positiva, es decir la temperatura medida mayor que la deseada).



**Figura 4. Ejemplo de un sistema de control climático por retroalimentación.**

El control por retroalimentación, puede complementarse con un sistema de control anticipativo (feedforward) pero en ese caso es necesaria la incorporación de modelos que simulen los procesos que se dan en el invernadero. Finalmente el control puede mejorarse con un sistema adaptativo en el que los parámetros del modelo se ajustan en función de la variación de las condiciones del invernadero.

El control ambiental actual está dirigido, casi exclusivamente, a las condiciones del ambiente aéreo. Sin embargo el verdadero requisito a cumplir es asegurar que los procesos biofísicos de fotosíntesis, transpiración y crecimiento lleguen a ser óptimos en lo posible.

#### **4. Sistemas de automatización de riego.**

Entendemos como riego, el aporte artificial de agua a la rizosfera. En el caso de los invernaderos, el riego es el único sistema de aportar agua a la planta ya que el invernadero es un sistema cerrado y aislado del exterior que impide los aportes naturales (lluvia, nieve, etc.).

Respecto a las modalidades de riego, en cultivo bajo invernadero los sistemas hoy en día más utilizados son los de tipo localizado de alta frecuencia y la aspersión, descartándose el riego a manta o por inundación (salvo en el caso de semilleros o cultivos hidropónicos puros).

De acuerdo con lo anterior, en lo que sigue nos centraremos en los sistemas de riego localizado de alta frecuencia utilizando el concepto de fertirrigación (riego con solución nutritiva).

##### **4.1. Demanda de riego en función del sistema de cultivo.**

El objetivo último del riego es mantener las condiciones óptimas de la rizosfera. De acuerdo con esto el riego ideal sería continuo con caudales que permitieran mantener todos los parámetros constantes (Cánovas, 1998). En la práctica, este objetivo es imposible en la mayoría de los sistemas de riego salvo, en cierto modo, en los hidropónicos puros con recirculación continua.

En los sistemas de riego localizado, deben determinarse las secuencias de riego en función del sistema de cultivo. Para ello, distinguiremos dos grupos de sistemas de cultivo:

- a) Sistemas de cultivo en suelo.
- b) Sistemas de cultivo sin suelo.

a) Sistemas de cultivo en suelo: en el caso del cultivo en suelo, las secuencias de riego dependen de su porosidad, textura, volumen, Capacidad de Intercambio Catiónico, etc.

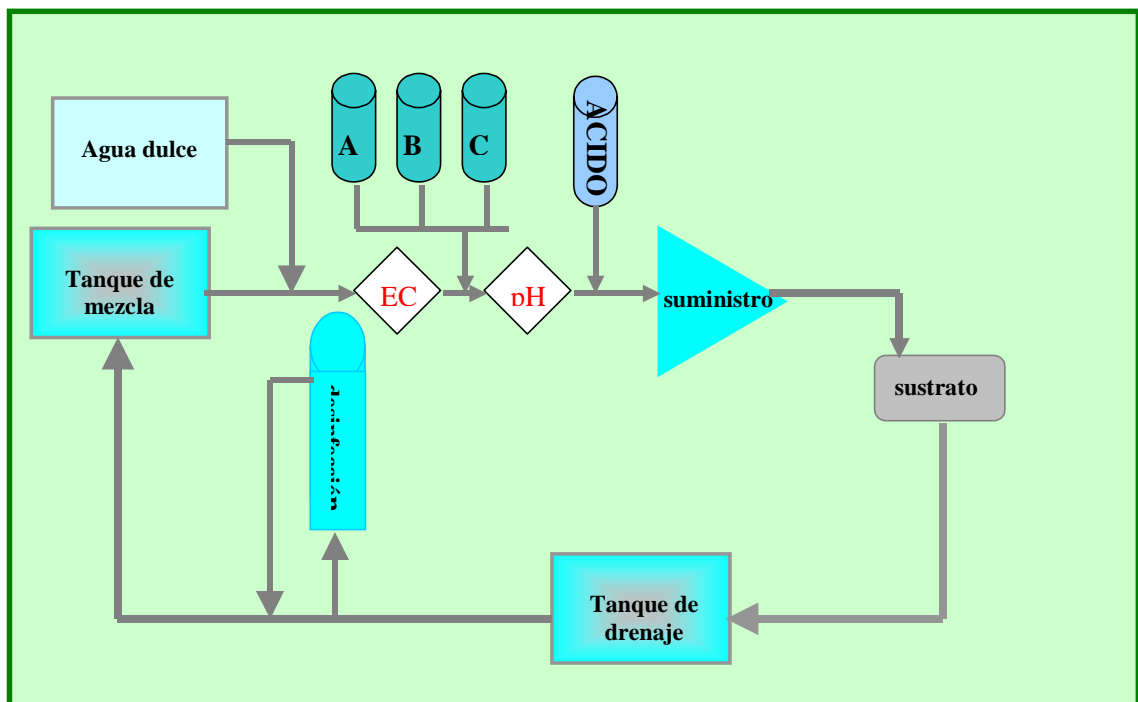
Como norma, debemos destacar que no pueden suministrarse riegos muy frecuentes y cortos ya que originarían una situación de hipoxia de la zona radicular, y una pérdida continua por lixiviación de agua y nutrientes. Las recomendaciones generales son de realizar riegos cuando la planta ha consumido aproximadamente entre un 25-30% del agua disponible (CRAD).

b) Sistemas de cultivo sin suelo (CSS): Por cultivo sin suelo se entienden aquellas técnicas de cultivo que utilizan un medio radicular diferente del suelo (Winsor *et al.*, 1990). Ya sean las que emplean medios radiculares acuosos, como puede ser la técnica clásica del Film Nutritivo (NFT), como los que emplean medios radiculares sólidos, que genéricamente se denominan sustratos (Marfà, 2000). Otra característica común a las técnicas de cultivo sin suelo es que en ellas se emplea, como ya se ha comentado, la fertirrigación, aplicando de forma continua solución nutritiva (SN).

Dentro de los sistemas de CSS nos centraremos en los más extendidos en el levante español, los cultivos en sustrato, ya sean perlita, lana de roca, fibra de coco, etc.

En el caso de lo CSS en sustrato, deben distinguirse dos tipos de sistemas, los denominados sistemas abiertos o cerrados.

Se entiende por sistema cerrado aquél que reutiliza los lixiviados originados como consecuencia de las dotaciones de riego (Figura 5).



**Figura 5. Esquema de un sistema de cultivo sin suelo (CSS) con recirculación de la solución nutritiva.**

Por el contrario el sistema abierto es aquel en el que los lixiviados se pierden y retornan a la red de drenaje natural.

Evidentemente, las secuencias de riego en ambos sistemas, deben determinarse de forma separada.

En los sistemas abiertos, el problema se presenta con los lixiviados que se pierden pues estos, no sólo pueden contaminar el suelo y los acuíferos de la zona, sino que además suponen un

despilfarro de agua y nutrientes. En la práctica, se acepta establecer el momento de riego cuando la planta ha consumido aproximadamente entre el 5-10 % del agua retenida en el sustrato (Cánovas, 1998). En los sistemas cerrados, el problema es mucho más simple ya que al poder recuperar el drenaje, se establecen secuencias de riego claramente superiores a la demanda.

#### 4.2. Automatismos de riego.

Los automatismos de riego más utilizados en la actualidad en los cultivos en sustrato son los denominados “sistemas de riego a la demanda” y los “sistemas de riego por radiación”.

Debido a la relación existente entre el nivel de radiación y la evapotranspiración, normalmente se utiliza el radiómetro como señal de riego. Conectando un autómatas al cabezal de riego, una vez fijado un porcentaje de drenaje, se determina la necesidad de riego cada vez que se acumula una cantidad determinada de W/h. La calibración del sistema es muy fácil pues basta con controlar el drenaje para modificar y corregir la integral de radiación necesaria. El radiómetro puede situarse tanto en el exterior del invernadero como en el interior por encima de la cubierta vegetal.

Los tanques lisimétricos (figura 6) son otro dispositivo de automatización del riego. Normalmente estos tanques constan de un depósito para almacenar el lixiviado proveniente de la unidad de cultivo instalada sobre el tanque, y de una manta capilar que se coloca en contacto con la unidad de cultivo y sumergida a su vez en el lixiviado, para de esta forma establecer la continuidad hidráulica entre el depósito y el sustrato de la unidad de cultivo; si el nivel del líquido alcanza el nivel establecido por la electrosonda, se origina una señal eléctrica que, recibida por el ordenador de riego, da orden de arranque del riego.



**Figura 6. Detalle de un tanque lisimétrico de los habitualmente utilizados en los sistemas de riego a la demanda. En la foto de la derecha pueden observarse las electrosondas y en la de la izquierda la manta capilar.**

En general, los controladores de riego actuales permiten o suelen utilizar de forma simultánea ambos tipos de automatismos de demanda (Figura 7). El radiómetro y el tanque lisimétrico actúan conjunta y simultáneamente para accionar el riego. De forma que cuando la dotación de riego, determinada por la radiación, no es suficiente para garantizar el grado previsto de humectación del sustrato-que se corresponde con la cota que fija la sonda del lisímetro-, tiene lugar un riego adicional hasta que se alcanza la humectación deseada del sustrato (Marfà *et al.*, 2000).



**Figura 7. Controlador de riego y cabezal de un sistema de cultivo sin suelo con recirculación.**

Estos sistemas de riego requieren un seguimiento y control de la solución nutritiva y drenaje. El controlador de riego permite, en general, determinar para cada riego el valor de Conductividad Eléctrica (CE) y pH de la Solución Nutritiva. Si el sistema de CSS es con recirculación también se determina de forma continua el pH y la CE del drenaje. En caso de tratarse de un sistema abierto debe realizarse un muestreo diario del drenaje y determinar el pH, CE y porcentaje. Finalmente, cada dos semanas deben recogerse muestras de SN y drenaje para realizar un análisis completo de ambas.

Estos controles deben permitir contrastar el buen funcionamiento de la fertirrigación y realizar, en caso de que sea necesario, las correcciones pertinentes.

## **5. Conclusión.**

El cultivo bajo invernadero en los países de la zona mediterránea tiende, claramente, hacia una tecnificación de los sistemas de cultivo que permitan un mejor control con el fin de optimizar los recursos y conseguir producciones rentables con un alto grado de calidad.

En este sentido, la introducción de la Norma Europea EN-13031-1 junto a la progresiva automatización de los sistemas de control de clima y riego, ha de permitir una optimización de las condiciones de cultivo que se reflejen en un sistema racional de uso de los recursos naturales (agua, fertilizantes, materiales plásticos, estructura, energía, pesticidas...), junto a un incremento en la producción y calidad del sistema que garanticen su rentabilidad.

## **6. Bibliografía.**

- Bailey, B.** 1998. Modelización de la gestión del clima en invernadero. "*Tecnología de Invernaderos II*" (Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía i Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA), Eds.), pp. 417-456. Junta de Andalucía. Consejería Agricultura i Pesca, Almería
- Cánovas, F.** 1998. Gestión de riegos y fertirrigación en invernadero. "*Tecnología de Invernaderos II*" (Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía i Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA), Eds.), pp. 237-252. Junta de Andalucía. Consejería Agricultura i Pesca, Almería
- Castilla, N.; Montero, J.; Antón, A.; Morales, M.; Escobar, I.; Soriano, T.; Quesada, F.; Hernández, J.** 2001. Mejora del nivel tecnológico de los invernaderos mediterráneos en España. *IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas*, Cáceres. Actas de Horticultura. 331-336.

- Marfà, O.** 2000. La recirculación en los cultivos sin suelo. Elementos básicos. “*Recirculación en cultivos sin suelo*” (O Marfà, Ed.), Vol. 14, pp. 21-29. Ediciones de Horticultura, Reus, Spain
- Marfà, O.; Biel, C.; Blanch, F.** 2000. Recirculación en flor cortada: el clavel. “*Recirculación en cultivos sin suelo*” (O Marfà, Ed.), Vol. 14, pp. 91-100. Ediciones de Horticultura, Reus, Spain
- Montero, J. I. y Antón, A.** 2002a. Greenhouse Characteristics and Microclimatic Conditions. *International ISHS Symposium on Product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate*, Ragusa, Italy. Acta Horticulturae.
- Montero, J. I. y Antón, A.** 2002b. Tomato response to a high light transmission film used as a covering material for greenhouses. *International ISHS Symposium on Product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate*, Ragusa, Italy. Acta Horticulturae.
- Rodríguez, F. y Berenguel, M.** 2001. Sistemas de control climático de invernaderos. I Sus efectos en el crecimiento del cultivo. *Riegos i drenajes XXI*, 116: 30-36.
- Tantau, H. J.** 1985. Greenhouse climate control using mathematical models. ISHS. Acta Horticulturae 174. 449-459.
- UNE-EN 13031-1.** 2002. Invernaderos, proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial. AENOR. Madrid. Spain.
- Winsor, G. W.; Bandoín, W. O.; Schwarz, M.** 1990. Soiless culture for horticultural crop production. FAO plant, production and protection paper. No. 101. 188 p. FAO, Roma, Italy.