

[ INSTALACIONES AGRARIAS ]

# La climatización en los grandes invernaderos especiales



**M. Domínguez**

**C. García**

Instituto del Frío .C.S.I.C. Madrid

Se analizan los diversos sistemas de climatización para los tipos de invernaderos más empleados de grandes capacidades, así como los principales problemas que presentan, en función de los productos que se deseen cultivar en ellos, prestándose atención a sus costos, a los consumos energéticos y a los gastos de explotación, comparándose con sus posibles beneficios. Asimismo, se presentan diversas soluciones para algunos nuevos cultivos y se analiza la posibilidad de introducir los acumuladores de cambio de fase.

La agricultura ha evolucionado mucho en los últimos años por el uso de nuevas tecnologías, una de las cuales ha sido el uso de los invernaderos, las limitaciones las ha encontrado: en el costo inicial y en su mantenimiento o de explotación, sobre todo, lo relacionado con: el agua, la energía y la mano de obra.

En función del clima, localización y el tipo de explotación, se han ido desarrollando diversos tipos de invernaderos, con dimensiones y materiales muy diversos. En estos momentos se está pasando en muchas regiones, del invernadero de plástico al de cristal y en éste se tiende cada vez a dimensiones más grandes y por tanto más costosas inicialmente y con más riesgo financiero.

El tamaño de la empresa y su forma de explotación, tiene que ser en un futuro muy diferente y se debe tener presente que las explotaciones agrícolas se están pareciendo cada vez más a las industriales debiendo adoptarse criterios de concepción y de explotación similares. El problema ya no es construir más y más, sino sacar a lo invertido los mayores intereses.

Es curioso como la cadena alimenticia se esta transformando, perdiendo protagonismo la del frío, en cuanto al posible alargamiento del tiempo de estancia en frigoríficos de los productos hortofrutícolas refrigerados y a la cantidad de ellos, que se le aplica la maduración acelerada, por poder obtener en la época deseada, el producto que el mercado demanda.

El problema energético, cada vez es más complejo y cuando se le junta al de la escasez del agua, es sumamente complicado, requiriendo su tratamiento mucho cuidado. En cada caso particular se deben buscar sus soluciones. Hay algunas muy interesantes que están por desarrollar, como es el unir, la generación de la electricidad a través de los residuos de la agricultura o el empleo de la biomasa y aprovechar los calores residuales para la climatización de invernaderos, así como, potenciar zonas pantanosas de aguas saladas, cultivando productos como son ciertas algas de gran valor.

Se debe tener presente de partida, que la tecnología puede aportar soluciones para todos los problemas y si están bien planificados, se puede lle-

gar a soluciones económicamente viables e interesantes.

Por otro lado, se ha visto, en el estudio de las aplicaciones de los materiales de cambio de fase (MCF), grandes posibilidades para la acumulación de calor y la posibilidad de provocar movimientos favorables de grandes masas de aire, pudiendo aprovechar su poder de climatización, así como las grandes propiedades de obtener frío con sistemas evaporativos y mezclando ambos principios, obtener sistemas de climatización económicos.

Todos estos condicionantes nos han llevado a este trabajo, en que se quiere dar una visión amplia de las posibilidades que se ven en el desarrollo de nuevos sistemas de climatización de los invernaderos, que esperamos se desarrollen en un futuro próximo.

### Bases de diseño de un invernadero

Antes del diseño de un nuevo tipo de invernadero, el proyectista debe establecer las bases de diseño, que deben recoger todo lo indicado en la introducción, lo cual puede resumirse en lo siguiente: productos de cultivo y sus producciones; localización; instalaciones relacionadas, en particular las energéticas, costos de la energía y su disponibilidad; disponibilidad de agua y tipo de ella; condicionantes, sociológicos y culturales, de la empresa, del entorno y de las autoridades.

Una explotación agrícola en una zona, puede ser un gran negocio o no, en función de muchos factores: unos humanos, otros sociológicos y otros políticos. Cuando en Israel se empezaron los cultivos de invernadero, se encontraron muchos problemas y se corrieron grandes riesgos, lo mismo sucedió en la zona de Almería, en ambos casos, se aprendió mucho, se minimizaron los costos iniciales y se creó riqueza para las zonas, para los países y se ganó dinero. En otras zonas y mentalidades, como en Holanda, se potenció sin embargo el invernadero más caro inicialmente, y con equipamientos más tecnificados y su desarrollo fue más lento pero más equilibrado y posiblemente más prolongado.

El invernadero de plástico y la mano de obra barata, puede ganar la partida durante un tiempo al invernadero de cristal y sistemas más tecnificados en cuanto a los medios de control, pero puede perderlo, cuando: la mano de obra suba, los productos de invernadero se generalicen y bajen sus cotizaciones. Es muy posible que, el encontrar un equilibrio entre ambos sistemas, sea una solución. Lo que se considera seguro es que se debe tecnificar más los invernaderos, optimizando: productos, tamaños, sistemas de producción de energía a utilizar y de control y sobre todo de gestión, así como encontrar su adecuada localización y el tamaño de la empresa de explotación y la preparación de sus empleados.



### Exigencias de los productos

En invernaderos, se pueden cultivar: semillas, flores, plantones, frutas, hortalizas, biomasa y hasta algas. Las exigencias son muy diferentes en cuanto a los parámetros fundamentales: temperatura, máxima, mínima; radiación luminosa, intensidad y horas diarias; humedad; necesidades de  $\text{CO}_2$ ; nutrientes; insecticidas, bactericidas; tipo de agua y su pH.

En los sistemas de climatización de los invernaderos, se tiende a que sean de bajo consumo energético y cos-

to, no requiriendo un mantenimiento caro. La energía primaria, que aporta temperatura y **radiación luminosa**, procede del sol, con las limitaciones naturales imponderables, sobre todo decidida la ubicación del invernadero, la variación a lo largo del día es muy grande así como a lo largo del año, que es previsible, lo que no es tanto es la nubosidad y las precipitaciones, salvo en zonas muy localizadas. Los excesos de radiación puntual para algunas especies o en algunas épocas, es relativamente fácil de controlar, con el empleo de sistemas de sombreado, que puede ser interior o por el exterior; lo contrario se puede hacer con sistemas artificiales, a base de lámparas especiales lo que encarece grandemente a los invernaderos.

Con respecto a la **temperatura**, es posible que se necesite calor o frío en algunas épocas del año o del día. Como elementos de aporte se tiene para la **calefacción**: las calderas y circuitos de agua y los quemadores de combustibles fósiles y para el **frío**, el "gratis del aire" o renovaciones de éste, aprovechando el calor sensible o el de evaporación del agua, en el segundo de los casos, se produce un aumento de la humedad relativa, lo que limita su empleo; el empleo de instalaciones de frío clásicas o bombas de calor, dado los costos, es una técnica poco generalizada. Entre los aportes de frío se debería considerar, la evaporación de las plantas y las propias del terreno, máxime si son cultivos hidropónicos o en balsas.

En general las plantas es sabido que producen  $\text{O}_2$  por el día y lo consumen por la noche, necesitando cantidades grandes de  $\text{CO}_2$ , que puede aportarse a través del aire de renovación o directamente.

El empleo del aire de renovación, como elemento de control térmico, conlleva un problema práctico, al estar relacionado con: la humedad y con el equilibrio gaseoso tan necesario en las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{O}_2$ . El aire contiene el primero en proporciones del 300 al 400 ppm. y en los invernaderos conviene que se alcancen valores de 1100 a 1200 ppm.

La entrada de aire conlleva una problemática adicional de entrada de bacterias e insectos, que debe te-



**El empleo de las fuentes de frío mecánico, en grandes instalaciones, no está nada claro**

nerse en cuenta, repercutiendo también en la estratificación o no, de la temperatura, de la humedad y hasta de las concentraciones gaseosas.

A parte de estos problemas los invernaderos presentan problemas de seguridad estructural por vientos etc., que complican las aperturas o controles de las renovaciones del aire. Estas pueden ser naturales o artificiales, a base de sistemas mecánicos, es decir, empleo de ventiladores, con su empleo se pueden tener los invernaderos a presión ambiente o en sobrepresión.

Todas estas variables indicadas, influyen grandemente en el diseño, tanto en su construcción, como en las instalaciones de climatización y control.

**Problemática de algunos tipos de invernaderos**

En grandes invernaderos, las medidas de los diversos parámetros bioclimáticos, se realizan de forma automática y se puede actuar a través de programas de control sobre los sistemas de producción que corrijan los valores con respecto a los deseados, reduciendo al mínimo la mano de obra. En algunas explotaciones se puede automatizar la recogida de producto, como en el caso de ciertas algas y hasta introducir captadores de calor o de humedad en el terreno. Se puede con la robótica, la informática y el ingenio humano, controlar lo que se requiera. Lo que se necesita pues son: financiación, información, energía, agua, sol, ilusión.

En la **Figura 1** se puede ver un esquema de principio de la relación de los parámetros indicados, en función de cómo están relacionados, que facilitará la comprensión de lo dicho anteriormente y en la **Figura 2**, un invernadero tipo, con los elementos básicos que se deben tener presentes de forma genérica. Se

debe tener en cuenta que no son todos necesarios simultáneamente de instalar. En la **Figura 3** se ha representado, un esquema base para la posible preparación de un programa de control. Los dos bloques de la derecha, corresponden a las fuentes de frío y de calor. La magnitud principal de control es la temperatura del ambiente interior. Se piensa que la actuación, tanto en frío

como en calor, se debería hacer, procurando que el costo de mantenimiento sea mínimo.

**Cálculo de cargas**

El cálculo de cargas térmicas de un invernadero es complejo, pues debe realizarse en régimen variable, por ello los programas de simulación se pueden realizar con ciertas limitaciones por la complejidad de las transmisiones de calor y de masa que se producen e interaccionan.

En el apartado Q11 (otros), pueden considerarse, las cortinas, las lámparas de iluminación, los equipos auxiliares, como: bombas, productores de CO<sub>2</sub>, etc.

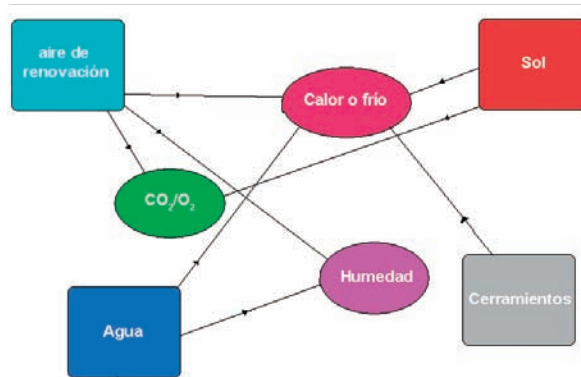
En la **Tabla 1** se puede ver un resumen de la estimación de cargas. Se han representado en rojo las ganancias de calor, en azul las pérdidas o producciones de frío y en negro las indefinidas o variables, pueden ser entradas o salidas a lo largo del día o del año.

En invierno las ganancias solares 116 w/m<sup>2</sup> pueden cubrir las pérdidas 34.5 por paredes, ventilando lo mínimo a las horas calientes del día. En verano, a las horas centrales del día, las ganancias solares de 349, habrá que contrarrestarlas con entradas de aire moderadas 200, con evaporación alta - 550. En casos muy extremos, las fuentes de calor serán convenientes y las de frío evaporativo. El empleo de las fuentes de frío mecánico, en grandes instalaciones, no esta nada claro.

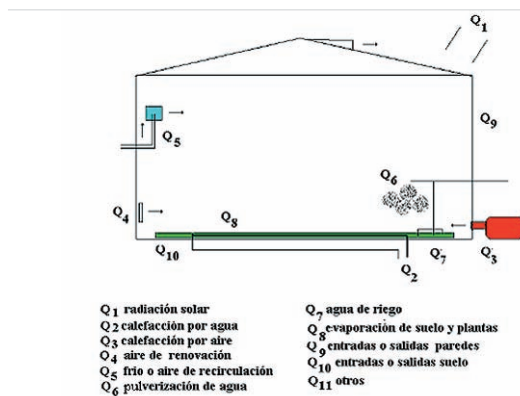
La inercia térmica del terreno y de los elementos internos del invernadero siempre será interesante y reducirá la potencia de las fuentes térmicas auxiliares.

Pueden verse algunos de los tipos de invernaderos, formas, materiales, etc., en las **Fotos 1 y 2**.

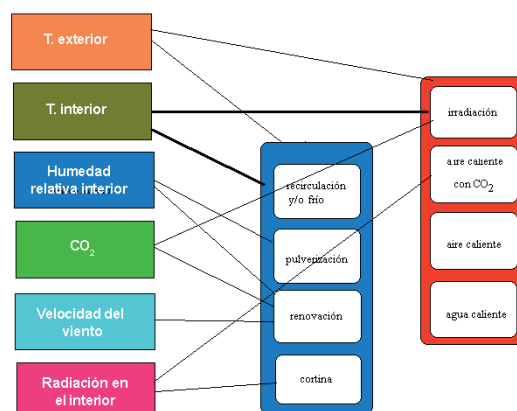
**Figura 1**



**Figura 2:** Invernadero tipo, con los elementos básicos que se deben tener presentes de forma genérica



**Figura 3:** Preparación de un programa de control



**Tabla 1**

Fuente térmica	Mínimo W/m <sup>2</sup>	Máximo W/m <sup>2</sup>	Medio W/m <sup>2</sup>
<b>Calor</b>			
Q1	116	349	232.5
Q2		696	696
Q3	33.5	335	184.3
<b>Frío</b>			
Q5		-186	-186
Q6	-144	-1440	-792
Q8		-4.65	-4.65
<b>Calor o Frío</b>			
Q4	33.5	335	0
Q7		0.09	0
Q8		34.5	0
Q10		3.4	0
Q11	-90	+20	0

En la **Tabla 2** se han recogido para los invernaderos de grandes volúmenes, los precios orientativos, en función del tipo y de los accesorios principales que se indican.

La altura de los invernaderos, las luces entre columnas, las mesas o cultivo a ras del suelo, los sistemas mecánicos auxiliares, los tamaños y profundidades de las balsas, en el caso de cultivos en el agua, el movimiento de ésta y hasta la incorporación de los nutrientes, dosificación de riegos, son factores muy importantes, que el diseñador de un invernadero debe tener muy en cuenta, así como las limitaciones de las presiones de los ventiladores, tanto de recirculación, si los instala, como los de renovación de aire.

Los números mágicos de las renovaciones de aire por producto, que se encuentran en algunas referencias,

deben de analizarse en función del tamaño de los invernaderos. Pensar en el empleo de grandes ventiladores centrífugos, con presiones dinámicas muy altas, para poder mover el aire, nos llevarían en los grandes invernaderos, a costos elevados de instalación y de consumo energético, que en este trabajo, no se han tenido en cuenta. Por último se debe tener presente que las fechas máximas de los ventiladores helicoidales no podrán superarse y la localización de las tomas y salidas de aire, deberán estar de acuerdo con ellas.

**El posible empleo de los acumuladores de cambio de fase**

En algunos trabajos que hemos realizado sobre el empleo de los acumuladores de cambio de fase (MCF), se ha visto, que el aprovechamiento del calor del cambio de fase, que es muy grande, puede ser interesante, cuando se dispongan de fuentes de calor muy variables con el tiempo, lo que ocurre en los invernaderos. Calor que puede emplearse como tal o como propulsor de movimiento de masas de aire, por el cambio de la densidad del mismo. También se considera que usándolos conjuntamente con el enfriamiento evaporativo, se pueden sacar grandes provechos.

Se puede también investigar la posibilidad de hacer invernaderos convectivos, colocando los acumuladores dentro de depósitos transparentes, tal como se indica en la **Figura 4**.

La cogeneración y en particular las grandes instalaciones de **ciclo combinado**, permiten tener electricidad y como subproductos calor, a dos niveles: media



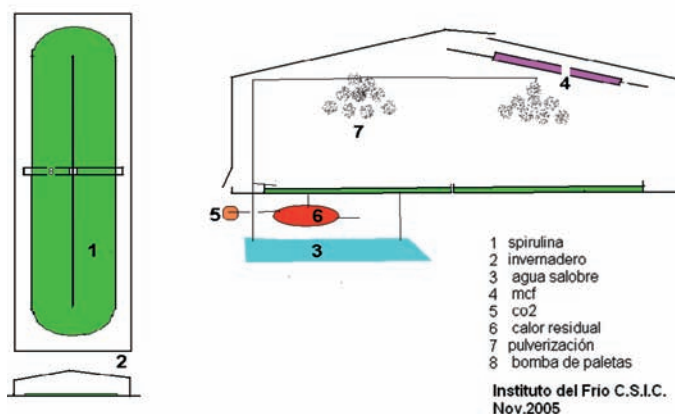
temperatura 40 a 50° C y relativamente alta 80 a 90° C., junto o separado de los sistemas de adsorción, que permiten obtener frío, con focos de calor. A parte se encuentran las aplicaciones más clásicas de incorporar los en los circuitos de frío de las instalaciones de climatización o en los de recuperadores y tratamientos del aire.

**Invernadero de climas muy fríos**

En climas muy fríos, como suelen ser en los continentes, al sobrepasar alturas de 1200 m, se requieren invernaderos para plantones de fresas y para el cultivo de ciertas coníferas ornamentales, las exigencias de temperaturas del ambiente no son tan altas como las normales de invernadero indicadas en la **Tabla 1** y se pueden ir a invernaderos con muchas menores exigencias de temperatura, a cambio, se requiere menos control y más seguridad de funcionamiento y hasta sería conveniente que no necesitasen grandes consumos de electricidad, para poder obtenerla por fuentes alternati-



**Figura 4**



**Tabla 2:**  
**Precios de los invernaderos por m<sup>2</sup>**

Parral		básico	nebulización	ventilación	pantalla térmica	calf. Aire		otros
total	pts	1200	150	150	850	300		895
	pts	1200	1350	1500	2350	2650		3545
total	€	7,19	0,90	0,90	5,10	1,80		
	€	7,19	8,09	8,99	14,09	15,89		
multitúnel		básico	nebulización	ventilación	pantalla térmica	calf. Aire	calf. Agua	otros
total	pts	2500	150	150	850	300	2200	895
	pts	2500	2650	2800	3650	3950	6150	7045
total	€	7,19	0,90	0,90	5,10	1,80	13,19	5,37
	€	7,19	8,09	8,99	14,09	15,89	27,28	42,24
cristal								
total	pts							10.000
	€							59,95

vas, como puede ser la solar fotovoltaica o la eólica.

### Invernaderos en zonas pantanosas salobres

Otra aplicación que se considera muy atractiva, son los invernaderos en las marismas y lagos interiores salados, que encontramos en amplias zonas del planeta, que concuerdan con economías muy pobres, en ellas se podrían producir importantes producciones de alimentos o de alguno de sus componentes, cuya demanda mundial es muy grande, alcanzando precios interesantísimos, así como aportes para piscifactorías y ampliar la cadena alimenticia, en el control se podrían introducir otros parámetros como pH y salinidad. En la **Tabla 3** se indican algunos de estos productos, junto a sus producciones y sus precios. Hasta se podría aprovechar los humos de las calderas de biomasa para obtener el CO<sub>2</sub>, que requieren las plantas en los invernaderos.

### Discusión

El precio de la construcción del invernadero se ha visto, que varía mucho con el tipo y con los elementos que se vayan incorporando, en lo indicado no se tuvieron en cuenta los posibles ventiladores de recirculación, los sistemas de riego y los de CO<sub>2</sub> y plaguicidas, carretillas o medios de transporte, iluminación si se les dotara y sobre todo los equipos de medida y control. Así como, el costo del terreno, las acometidas de luz y la red de saneamiento. Y en el caso de

tierras no cultivable, su preparación o reconversión. Y en el caso de balsas, el de estas y sus sistemas de agitación y posible recogida. Todo lo cual tiene una gran incidencia que se deberá tener presente en cada estudio concreto. Donde se debe tener en cuenta los factores que afectan más al costo del producto a obtener, que son: precios de las instalaciones; consumos energéticos, que van a depender de la ubicación del invernadero y de los productos escogidos y calidad y rendimientos.

Las condiciones ambientales que requieren los distintos productos no deben condicionar al sistema de construcción, salvo que se decida el uso de balsas, lo que les hace más específicos. En climas cálidos se debe prestar gran atención a los sistemas de climatización y en los muy fríos a los de calefacción, pero se pueden usar invernaderos en la actualidad, en cualquier clima y lugar del mundo, que se disponga del agua necesaria. La evolución y optimización progresiva es muy importante, en España ha costado 25 años de desarrollo y esfuerzo el llegar a las 50.000 ha que se tienen y ganar el mercado tan exigente del norte de Europa. La

**Tabla 3**

	Precio/peso	Producción	Precio
	€/kg	kg/m <sup>2</sup> /año	€/m <sup>2</sup> /año
Verduras y Hortalizas	0.5	6	3
Flores	5	4	20
Spirulina	10	2.4	24
B-carotenos	30	70	2100

competencia del norte de África en cuanto a mano de obra, dado que el clima para el cultivo de invernadero es similar. Por lo que se deberá pensar en evolucionar a sistemas más tecnificados y a otros productos de mayor valor, como pueden ser ciertas flores y algunos tipos de algas.

Dado que estos tipos de invernaderos tendrán más gastos energéticos y como la crisis de la energía no se le ve de fácil y rápida solución, las medidas de eficiencia energética, algunas de las cuales se han apuntado, pueden ser importantes.

Los estudios de optimización empresarial no son fáciles, por todas las variables indicadas, es muy posible que invernaderos de entre cuatro a diez ha, de alta tecnología, incorporando el adecuado equipo de control y de gestión, sean en estos momentos un gran negocio, si se escogen los productos adecuados y se realiza una buena comercialización.

### Conclusiones

Se considera que en los próximos años el cultivo en invernaderos tiene un potencial de desarrollo grande, sobre todo los muy tecnificados de un volumen alto y los especializados, para zonas muy calientes y salobres, y en general donde se disponga de energía térmica barata, por ser subproductos de instalaciones de: ciclo combinado, calderas de biomasa o centrales térmicas, así como, en los de zonas muy frías, con tamaños más pequeños.

Los aprovechamientos energéticos totales, racionalizando las producciones a las demandas, que cada vez es más sencillo de conseguir, gracias a los sistemas de control más inteligentes, a la preparación mejor de los técnicos y a la conciencia ecológica-social de las nuevas generaciones.

### Referencias

Quedan a disposición del lector en: [dominguez@if.csic.es](mailto:dominguez@if.csic.es) y [redaccion@editorialagricola.com](mailto:redaccion@editorialagricola.com) •