

# Innovación en la mecanización de la gestión del clima de invernaderos

La implantación del uso de máquinas o aparatos para la gestión del clima del invernadero está siguiendo dos líneas de innovación tecnológica: de una parte están surgiendo nuevos sensores bioclimáticos y de otra aparecen sistemas electrónicos de control climático cada vez más sofisticados. Con estas nuevas técnicas se busca una mayor eficiencia desde el punto de vista energético y productivo.

F. Molina, D.L. Valera y A. Álvarez. Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.



Debe ir dirigida a la mejora de la eficiencia con pequeñas innovaciones que no exijan grandes inversiones

Debido a los procesos de globalización de los mercados y de los sistemas productivos, los agricultores españoles deben adoptar técnicas innovadoras para mantener su capacidad productiva y comercializadora. Se ha producido un cambio en las necesidades y exigencias de los consumidores que, además de demandar mayor calidad en los productos, reclaman un respeto al medio ambiente. Para ello, es necesario conocer mejor el sistema de producción constituido por el invernadero y las plantas cultivadas en su interior, sujeto a un gran número de restricciones climáticas, medioambientales y económicas, que además son muy variables en el tiempo a di-

ferentes escalas. Así, las variables climáticas cambian en cuestión de minutos, los precios varían en cuestión de días y las exigencias medioambientales o productivas evolucionan de una campaña a la siguiente.

Como consecuencia de todo esto, es necesario optimizar la gestión de la producción en invernadero para tomar decisiones y actuar de la manera más apropiada ante cada variación del entorno productivo. Actualmente, están surgiendo nuevas técnicas, muchas de ellas aún a nivel semiexperimental, para poder predecir con un cierto grado de exactitud las situaciones futuras (condiciones climáticas, estado de las plantas o precios de mercado) en las que se con-

textualizará la producción del cultivo.

## Nuevos sensores bioclimáticos

En muchos de los invernaderos actuales ya existe un gran número de sensores electrónicos que permiten medir la temperatura, humedad, o la concentración de CO<sub>2</sub> dentro del invernadero; y la radiación solar, velocidad y dirección del viento en el exterior (Valera y col., 2003). La mejora en la gestión del control ambiental hace necesario conocer los efectos que producen las variables climáticas sobre las plantas que en último término son el elemento productivo cuya capacidad se pretende potenciar con cualquier actuación dentro de un invernadero.

En esta línea están surgiendo nuevos equipos de medida de variables microclimáticas como los anemómetros de hilo caliente o sónicos que permiten estudiar el efecto de la ventilación sobre la zona ocupada por el cultivo. A partir de las medidas de velocidad a través de las plantas se pueden conocer variables como la resistencia estomática de las hojas, directamente implicadas en procesos fisiológicos como la transpiración o la absorción de CO<sub>2</sub> necesaria para la fotosíntesis. Del mismo modo, la innovación tecnológica está posibilitando la aparición de sensores capaces de medir variables de comportamiento del cultivo que permiten evaluar de forma más precisa y eficiente los

Foto 1. Termómetro de infrarrojos.

efectos que produce la gestión del clima en el bienestar de las plantas.

A continuación se describen algunos de los sensores que permiten medir parámetros relacionados con el microclima en el entorno del cultivo o incluso con el propio comportamiento fisiológico de las plantas. Aunque en la actualidad estos equipos tienen un elevado precio, poco asequible para los pequeños y medianos agricultores, no es descartable que en un futuro no muy lejano su utilización se extienda a gran parte de las explotaciones.

**Sensor de crecimiento de frutos**

Este sensor permite medir el crecimiento progresivo de los frutos del cultivo, así como las variaciones momentáneas de su diámetro a una escala de décimas de milímetros. Existen dos fenómenos que afectan al comportamiento diario del diámetro de los fru-

tos: su crecimiento estacional y el balance hídrico de la planta en cada instante. Aunque normalmente predomina el componente de crecimiento, algunos frutos pueden perder agua o disminuir su crecimiento como consecuencia del estrés hídrico o falta de luz. Mediante este sensor se puede estudiar la respuesta del crecimiento de los frutos y de su estado hídrico frente a las actuaciones sobre el microclima del invernadero.

**Sensor de diámetro del tallo**

El sensor de diámetro del tallo permite detectar las variaciones del diámetro del tallo a una escala micrométrica. El diámetro del tallo también depende del crecimiento de las plantas y de su estado hídrico. El crecimiento depende del estado de desarrollo del cultivo y su evolución es apreciable a medio plazo, es decir, en períodos de días o semanas. La respuesta de los tejidos a la falta de agua o el exceso de temperatura es apreciable en un plazo de tiempo mucho más corto de varias horas. Este dispositivo de medida permite registrar tanto la amplitud de la contracción diaria del tallo como el valor máximo diario que representa la tendencia de crecimiento del cultivo. Normalmente el ciclo de transpiración diario produce una reducción temporal del contenido de agua en las plantas, que se manifiesta en la reducción proporcional del diámetro del tallo. En caso de producirse estrés hídrico, se puede observar un aumento de la amplitud de su contracción diaria. Al mismo tiempo, un considerable déficit hídrico puede dificultar el reabastecimiento de las reservas de agua en la planta durante la noche, resultando una disminución de los valores máximos del diámetro.

**Sensor de temperatura foliar por contacto**

Diseñado para la medida de la temperatura absoluta de las hojas, este sensor dispone de un termistor y de una pinza especial para sujetarlo directamente a la hoja que se pretende estudiar.

Existen dos requisitos básicos para una correcta medida de la temperatura de la hoja: una mínima alteración sobre la temperatura de la hoja y un máximo contacto térmico entre la hoja y el sensor.

El hilo conductor de pequeño tamaño (termistor), cuya resistencia eléctrica varía mucho su valor en función de la temperatura, está recubierto por una fina capa vítrea. La conductancia térmica del cuerpo del termistor es pequeña, aunque no despreciable, por lo que la diferencia entre la temperatura de la hoja y del aire puede causar una desviación sistemática, que se puede estimar como un 10% de la diferencia de temperatura hoja-aire. La medida de la temperatura absoluta de las hojas puede ser utilizada para estudiar los gradientes térmicos dentro del dosel vegetal y determinar la eficacia de los sistemas de control climático.

**Termómetro de infrarrojos**

La temperatura del cultivo también se puede medir de forma puntual con un termómetro de infrarrojos (foto 1). Los radiotermómetros determinan la temperatura de la superficie de las hojas interceptando y midiendo la radiación infrarroja que emiten, sin necesidad de contacto físico entre el sensor y las hojas. El funcionamiento de los pirómetros de ra-

diación infrarroja se basa en el principio físico por el que los objetos a temperaturas cercanas a la del ambiente emiten la máxima energía radiante para longitudes de onda correspondientes a la región infrarroja del espectro de radiación electromagnética (de 0,7 a 20 μm). Un termómetro de radiación consiste en un sistema óptico que focaliza la energía emitida por un objeto hacia un detector, que es sensible a la radiación. La señal eléctrica que aporta el detector es proporcional a la cantidad de energía radiante emitida por el objeto enfocado (menos la cantidad absorbida por el sistema óptico) y a la respuesta del detector a la longitud de onda de la radiación específica.

En algunos casos el sensor permite la introducción de la emisividad de la superficie que se pretende medir, mientras que en otros la emisividad del aparato está fijada a un valor, normalmente 0,95, por lo que las temperaturas se deben corregir en función de la emisividad de cada superficie. En el caso de las plantas esto no es necesario, ya que las hojas suelen tener un valor de emisividad próxima a 0,95.

Mediante este tipo de termómetros manuales se pueden realizar medidas de temperatura del cultivo en diferentes zonas del invernadero, lo que permite detectar deficiencias en la homogeneidad del microclima.

**Sensor de flujo de savia**

Este sensor permite observar las variaciones diarias en el movimiento de la savia en el tallo de las plantas. El funcionamiento del sensor se basa en un suministro de calor mediante un pequeño calentador que eleva la temperatura del tallo unos 2-3°C por encima de la del aire. La disposición simétrica de las dos uniones de una termopila, situadas a la misma distancia por encima y por debajo del calentador, permite determinar el paso de flujo a través del tallo. Si no hay flujo en el interior del tallo, la distribución de temperatura es simétrica, y por consiguiente la señal de la termo-

Existen sensores que permiten conocer el comportamiento fisiológico de las plantas y no se descarta que su uso se extienda a muchas explotaciones



Foto 2 (arriba). Componentes electrónicos de un controlador climático.

Foto 3 (derecha). Ventanas laterales con accionamiento automatizado mediante un controlador de clima.



pila es próxima a cero. Como resultado de un flujo en el xilema, la temperatura incrementa en la dirección del flujo y disminuye en la dirección contraria y, en este caso, la salida de la termopila sigue el gradiente de temperatura. Este sensor sólo suministra una medida relativa de la tasa de flujo de savia.

Se pueden distinguir dos componentes en la tasa de flujo de savia: la cantidad de agua que pasa a través de la planta para transpiración y la cantidad de agua utilizada para reponer la pérdida diurna de contenido de agua en las plantas. El último componente se puede manifestar en un flujo continuo de savia durante la noche.

El análisis del comportamiento diurno de la tasa de flujo de savia con respecto al déficit de presión de vapor o la evapotranspiración potencial (si se dispone de ella) es un método muy efectivo para estudiar los factores limitantes de la transpiración.

#### Monitor de fotosíntesis

Este sensor permite observar el intercambio a largo plazo de CO<sub>2</sub> de varias hojas simultáneamente dentro de un dosel vegetal. El sistema está constituido por varias cámaras de aislamiento individuales, con un sistema de autopinzado, que no perturban el desarrollo de las hojas en condiciones naturales. El sis-

tema trabaja con varias cámaras de tal forma que se cierran secuencialmente durante unos minutos, aislando la hoja para medir la absorción de CO<sub>2</sub>, y permanecen abiertas hasta que empieza el siguiente ciclo de medida. La duración del período de medida está limitada por el envejecimiento natural de las hojas bajo estudio, ya que el problema del efecto físico de la cámara está resuelto por el sistema de fijación. En cada cámara se evalúa la actividad fotosintética a partir del consumo de CO<sub>2</sub> medido por un analizador de infrarrojos.

#### Controladores climáticos

Actualmente existe un amplio espectro de sistemas electrónicos de control climático (foto 2) que van desde los más sencillos autómatas programables, que controlan un solo equipo de climatización, hasta los sistemas de gestión global que permiten controlar todos los equipos de climatización que se pueden instalar dentro de un invernadero. Además, se están desarrollando sistemas de control predictivos capaces de anticipar los resultados que se obtendrán con una determinada estrategia de control climático (Valera y col., 2003).

#### Controladores climáticos específicos

Estos equipos actúan de forma específica sobre los sistemas de ventilación, de calefacción o sobre las pantallas térmicas. Se pueden utilizar controladores de calefacción tanto para sistemas con generadores de aire como para calderas de agua caliente. En este caso, el controlador se conecta con la válvula de mezcla y la bomba de recirculación y con sensores de temperatura colocados dentro de las tuberías de agua caliente. Un sistema de seguridad garantiza que la bomba de recirculación y la válvula de mezclado se encienden al menos una vez al día para evitar obstrucciones. El controlador del sistema de calefacción suele disponer de una alarma que desconecta el equipo cuando la temperatura desciende por debajo del valor mínimo o sube por encima del máximo. En este caso es necesario que un operario reactive el sistema una vez comprobado que no existe un problema de importancia en la instalación.

También se comercializan controladores de ventilación que abren o cierran las ventanas (foto 3) en función de la temperatura del aire interior y de la consigna

de ventilación. Normalmente el controlador actúa en combinación con un temporizador, permitiendo así variar las consignas de temperaturas entre el período nocturno y el diurno. La regulación se puede realizar en porcentaje de apertura de las ventanas hasta un valor máximo o por intervalos de tiempo con zona muerta. Generalmente permiten introducir un valor de velocidad del viento de seguridad para que cierren las ventanas en caso de tormenta. También se puede utilizar un control de seguridad de lluvia que cierra las ventanas al comenzar a llover.

Del mismo modo, existen controladores para la gestión de mallas de sombreado (que cierran la malla cuando el nivel de radiación supera el nivel de consigna), pantallas térmicas de ahorro energético (desplegando la pantalla cuando la temperatura exterior disminuye por debajo de un valor de control) o pantallas de oscurecimiento (trabajando por tiempo o de forma manual). Las mallas se despliegan gradualmente para prevenir cambios bruscos de temperatura, y si la temperatura del aire varía demasiado, se puede consignar un valor de apertura de un hueco entre las mallas (opcional).

propano  
**bp gas**



# Cierre el mejor negocio del año. **Apuesta por Propano BP Gas.**

BP Gas pone a su disposición un conjunto de soluciones para dotar a su actividad de la energía que necesita para su desarrollo.

Por un lado, es una alternativa energética limpia, eficiente y económica. Por otro, integra un conjunto de servicios diseñados para responder a las demandas específicas de su empresa gracias a sus múltiples aplicaciones en sectores tan diversos como la industria, la agricultura, el comercio o los servicios. El gas propano de BP es, sin duda, la opción más completa para su negocio.



**Soluciones para su negocio//la forma más profesional de suministrar energía**



**ENTREGAS  
GARANTIZADAS**



**ATENCIÓN AL CLIENTE  
SERVICIO PERSONALIZADO  
901 300 200**



**24H  
SERVICIO EMERGENCIA  
901 116 458**



**INSTALACIÓN  
RÁPIDA Y SEGURA**



**INSPECCIONES  
DE SEGURIDAD**



**WWW  
bpgas.com.es**

**Controladores climáticos globales**

Los controladores globales permiten automatizar el manejo de todos los elementos de control climático a través de su conexión a un PC y un programa informático (foto 4), controlando la ventilación natural, los ventiladores desestratificadores, la calefacción, pantallas térmicas y/o sombreo, humidificación e inyección de CO<sub>2</sub>. Pueden controlar diversos compartimentos independientes y programar varios períodos de ventilación o calefacción, gestionando distintos actuadores dentro de cada bloque. Utilizan sondas de temperatura y de humedad tanto dentro como fuera del invernadero, sensores de CO<sub>2</sub> interiores, una estación meteorológica con sonda de radiación solar, velocidad y dirección del viento y sonda de lluvia. El programa informático de gestión permite almacenar el estado de cada uno de los actuadores y de las diferentes variables recogidas por los sensores en bases de datos.

Con estos equipos se pueden controlar las ventanas tanto por temperatura como por velocidad del viento. La calefacción se suele controlar en base a la temperatura del aire dentro del invernadero, al igual que los sistemas de ventilación forzada. Los sistemas de nebulización también se controlan en función de la humedad interior y las pantallas térmicas tanto por temperatura como por radiación solar.

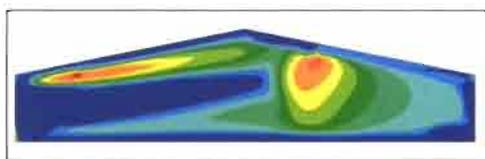
**Controladores predictivos**

Los controladores predictivos permiten calcular los valores óptimos de las variables de control del clima (apertura de las ventanas, despliegue de las pantallas térmicas o temperatura del agua de calefacción) que se implementan en el sistema de control climático que se encarga de gestionar los diferentes actuadores disponibles en el invernadero (mоторreductores de las ventanas, quemador de combustible, bombas de impulsión, etc). Estos sistemas utilizan un programa informático que emplea datos meteorológicos para predecir las condiciones climáticas, calculando la posición de los actuadores que dan lugar a la estrategia más económica.

A partir de los valores de las señales de control enviadas a los actuadores, las variables climáticas medidas por una estación meteorológica en el exterior (cada minuto) y el valor actual de las variables climáticas en el interior, se

**FIGURA 1**

Simulación de la temperatura dentro de un invernadero.



Los programas CFD constituyen una poderosa herramienta de simulación del clima en el interior del invernadero

realiza una corrección de las estimaciones previas.

Programas de simulación del clima

Otra innovación en materia de gestión del clima en invernaderos son los programas de simulación que permiten estudiar el efecto de diferentes condiciones climáticas en un invernadero o evaluar distintos equipos de control climático antes de su incorporación al invernadero. Los programas de dinámica de fluidos computacional (CFD) constituyen una poderosa herramienta de simulación

que se está utilizando como instrumento de diseño de sistemas de control microclimático (aún a nivel de investigación). Estos programas resuelven las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento, de masa y de energía, permitiendo determinar los campos escalares y vectoriales que intervienen en el flujo del aire. Así, se puede simular el efecto que produce la ventilación sobre el movimiento de aire en el invernadero obteniendo la dirección y magnitud de la velocidad y la temperatura del aire dentro de todo el invernadero (Molina-Aiz y col., 2004).

Esta técnica permite un estudio sistemático de la influencia del diseño del invernadero y los sistemas de climatización en el flujo de aire interior y la distribu-

ción de temperatura, una vez definidas tanto las características constructivas de la estructura (dimensiones y simetrías) y las ventanas (posición, tamaño y grado de apertura) como los parámetros climáticos exteriores (temperatura, velocidad y dirección del viento). De esta forma se puede evaluar la homogeneidad del microclima dentro del invernadero (figura 1) para poder actuar sobre los diferentes factores de diseño de forma que se mejore la situación en aquellas zonas más desfavorables para el cultivo (con mayores temperaturas y bajas velocidades del aire).

El sector de los cultivos protegidos ha alcanzado un elevado nivel tecnológico en los últimos años. Una gran parte del esfuerzo en materia de control climático se está desarrollando en la búsqueda de nuevas técnicas de climatización más eficientes desde el punto de vista energético y productivo. Pese a ser necesaria para el sector hortofrutícola, la innovación está centrada en la búsqueda de equipos eficientes energéticamente, estructuras y materiales concebidos para su aplicación en la construcción de nuevos invernaderos o en la modificación de los existentes con un elevado coste de inversión, inabordable para la mayoría de los pequeños agricultores. Es necesario un esfuerzo por enfocar la innovación tecnológica hacia la mejora de la eficiencia de los invernaderos existentes con pequeñas modificaciones que no exijan grandes inversiones. ■

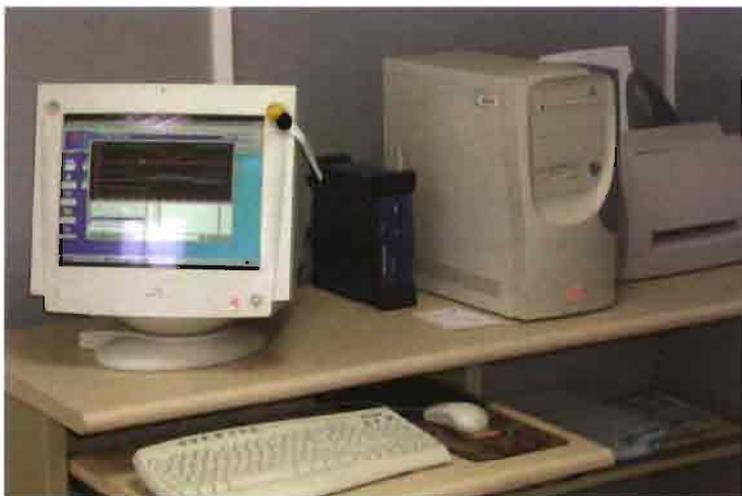


Foto 4. Sistema de control climático global a través de un programa informático.

**Bibliografía**

Valera D. L., Madueño A., Molina-Aiz F.D. y Álvarez A.J.: "Controles electrónicos en invernaderos". Vida Rural, 179, 2003; pp. 58-61.

Molina-Aiz F. D., Valera D. L., Gil J., Peña A. y Álvarez A. J.: "Nuevas tecnologías aplicadas a sistemas de control climático". Vida Rural, 199, 2004; pp. 54-59.



**Guillermo García**

distribuidor de ventas y servicios nº 102810



**tecniagri**

[agnicola y forestal, s.l.]

902 22 00 77 - <http://www.ggm.es>

91 446 21 02 - <http://www.tecniagri.com>

# TRIUNFE CON NUESTRO SISTEMA INTEGRAL DE RECOLECCIÓN

unidos para conseguir el éxito  
en la recolección de su cosecha



**Bobcat®**

**MANTOR®**

Buggi integral  
en una bobcat T300



una magnífica solución para plantaciones intensivas de árboles de 1 tronco

El sistema de orugas de la T300 permite trabajar en  
terrenos blandos o embarrados.

Cuenta con una gran variedad de implementos  
de cambio rápido.

máxima seguridad a la hora de operar  
alto caudal 151,4 l/min.

abanico plano de 4, 5, 6 y 7 m de diámetro  
ciclo medio recolección/árbol inferior a 60 seg.  
altura de agarre del vibrador al tronco 25 cms.  
altura máxima de descarga 3,3 m.

