

## PARTE V. UNIDAD 2.

### Los tratamientos de los materiales plásticos



*El tratamiento de los plásticos tiene un gran interés para (i) el agricultor, puesto que los plásticos tratados ejercen una influencia positiva sobre el microclima del invernadero y (ii) para la industria que fabrica la materia prima, debido al volumen de ventas que moviliza el sector (consumo de filmes en España:  $\approx 50.000 t$  año<sup>-1</sup>). La importancia económica de este sector a escala mundial (250.000 ha de*

*invernaderos de plástico), explica que, para la industria de los plásticos, el desarrollo de tecnología propia y la obtención de nuevos polímeros sean temas de investigación prioritarios. La innovación tecnológica pasa por el desarrollo de nuevos filmes con aditivos específicos, más adaptados a las exigencias del cultivo. Esta Unidad presenta los principales tipos de aditivos para filmes plásticos, así como sus propiedades y su modo de acción.*

#### 1- INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años, la industria de los plásticos ha desarrollado y comercializado nuevos filmes con aditivos específicos, más adaptados a las exigencias:

- **Climáticas** de las principales zonas de cultivo.
- De **protección del medio ambiente** (filmes antiplagas).
- Del tipo de **cultivo** (filmes fluorescentes y filmes difusores).

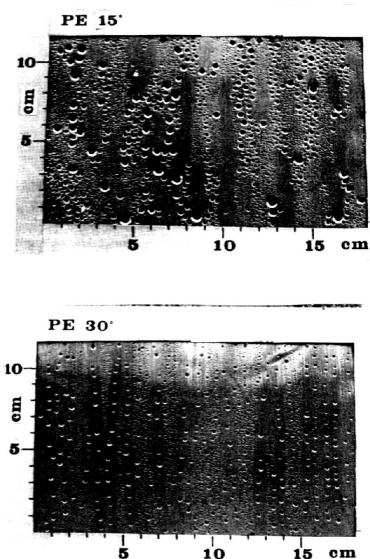
Son numerosos los aditivos que se utilizan en la industria de los plásticos para mejorar su comportamiento como materiales de cubierta de invernaderos. En general, se pueden clasificar según el objetivo que persigue su aplicación:

- (a)- Aditivos que permiten un mejor **control de la condensación**.
- (b)- Aditivos que permiten **prolongar la vida útil de los materiales de cubierta**.
- (c)- Aditivos que permiten **disminuir las pérdidas por radiación de longitud de onda larga**.

#### 2- ADITIVOS PARA MEJORAR EL CONTROL DE LA CONDENSACIÓN

La condensación sobre la pared de cubierta aparece formando gotas dispersas sobre la superficie del polímero. Las gotas al caer sobre la vegetación pueden acarrear problemas fitosanitarios graves (ej.: *Botrytis*). En invernaderos con calefacción, el agua, al evaporarse de nuevo, crea un ciclo de **condensación- evaporación** capaz de mantener una elevada humedad relativa. Además, el depósito de condensación en forma de gotas

aumenta la probabilidad de que se produzca la reflexión total de la luz, pudiendo llegar a una reducción de la transmisión importante (30 %, apartado 2.2).



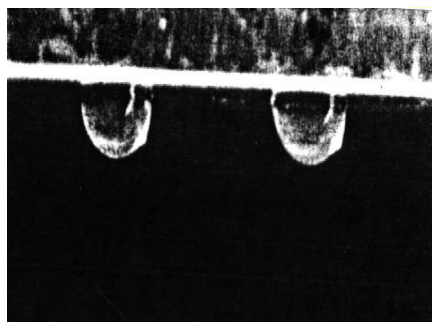
**Figura 1.** Influencia de la pendiente de la cubierta en el nivel de condensación sobre una pared de polietileno sin tratar, con pendiente de 15 y de 30 °.

Se puede facilitar la evacuación de la condensación, hacia canales internos de desagüe, con una elección adecuada de la pendiente de la cubierta. La Figura 1 muestra que el agua que se condensa sobre la pared se puede evacuar con mayor facilidad cuando la pendiente pasa de 15 a 30°. Sin embargo, cabe resaltar que la mayoría de invernaderos en España son de tipo “parral”, ya sea con techo plano

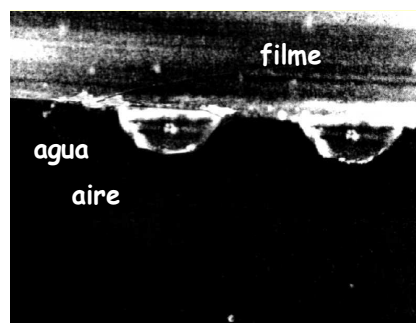
o pequeña pendiente <10 %, lo que dificulta la evacuación del agua condensada.

El tipo de material de cubierta también juega un papel importante en la evacuación de la condensación que depende, en parte, de la geometría de las gotas (Figura 2). En el caso del polietileno (Figura 2a) las gotas tienen mayor tendencia a aglomerarse, y a caer sobre la vegetación, que cuando la condensación se produce sobre una placa de polimetacrilato de metilo (PMM, Figura 2b).

(a) Condensación sobre una pared de polietileno (PE)



(b) Condensación sobre una pared de polimetacrilato de metilo (PMM)



**Figura 2.** Fotografías de la formación de gotas de condensación (volumen  $\approx 0.5 \mu\text{l}$ ) sobre la cara interna de: (a) un filme de polietileno y (b) una placa de polimetacrilato de metilo.

## 2.1- MODO DE ACCIÓN

### a) Influencia de la tensión superficial en la interfase filme-agua

Para analizar las diferencias de comportamiento, que se observan en la Figura 2, podemos tomar como punto de partida la posición de equilibrio de una gota de agua en

contacto con un filme. La tensión superficial a la que está sometida una gota tiene tres componentes:

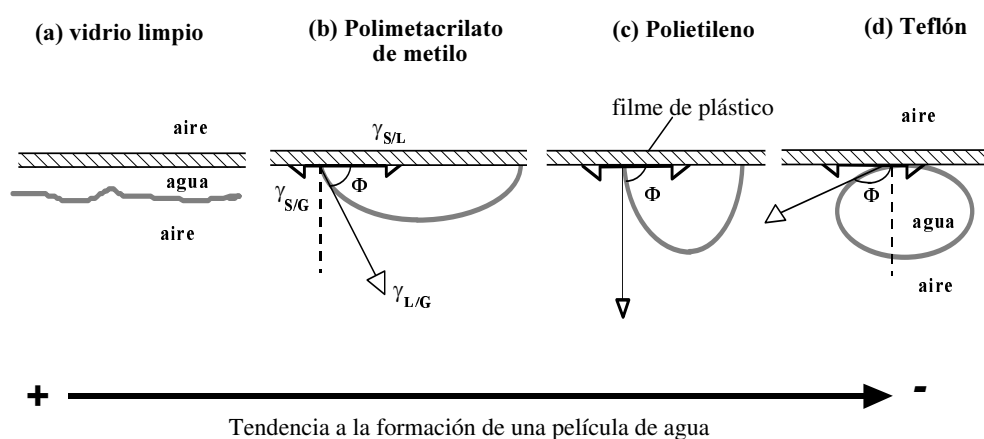
- La tensión líquido-gas,  $\gamma_{L/G}$
- La tensión sólido-gas,  $\gamma_{S/G}$
- La tensión sólido-líquido,  $\gamma_{S/L}$

Estas componentes están ligadas por la relación:

$$\gamma_{S/G} = \gamma_{S/L} + \gamma_{L/G} \cos \Phi \quad (1a)$$

siendo el ángulo  $\phi$  la resultante de las tensiones que se ejercen sobre la gota :

$$\cos \Phi = (\gamma_{S/G} - \gamma_{S/L}) / \gamma_{L/G} \quad (1b)$$



**Figura 3.** Formación de condensación en varios tipos de materiales. Tensiones superficiales ( $\gamma$ ) y ángulo ( $\phi$ ) que se forma en la interfase sólido-líquido-agua.

El ángulo  $\phi$  se considera como un indicador de la forma en la que se va a producir la condensación sobre una superficie. Cuanto más pequeño sea el ángulo, mayor será la tendencia a formar una lámina de agua. El caso ideal es el del vidrio (Figura 3a) que presenta un ángulo de contacto cercano de cero. A medida que aumenta el ángulo de contacto, aumenta la tendencia a la formación de gotas (Figuras 3b-d). Para valores de  $\phi$  superiores o iguales a 90° la condensación se depositará siempre en forma de gotas como ocurre con el PE y el teflón (Figuras 3 c y d, respectivamente). Por lo tanto, para cambiar la forma en la que se genera el depósito de agua, y favorecer la formación de una lámina de agua, será necesario disminuir el valor del ángulo  $\phi$ . La fórmula 1b indica que este objetivo se puede alcanzar disminuyendo la tensión superficial en la interfase sólido-líquido ( $\gamma_{S/L}$ ), siendo éste precisamente el modo de acción de los aditivos que se utilizan en la industria.

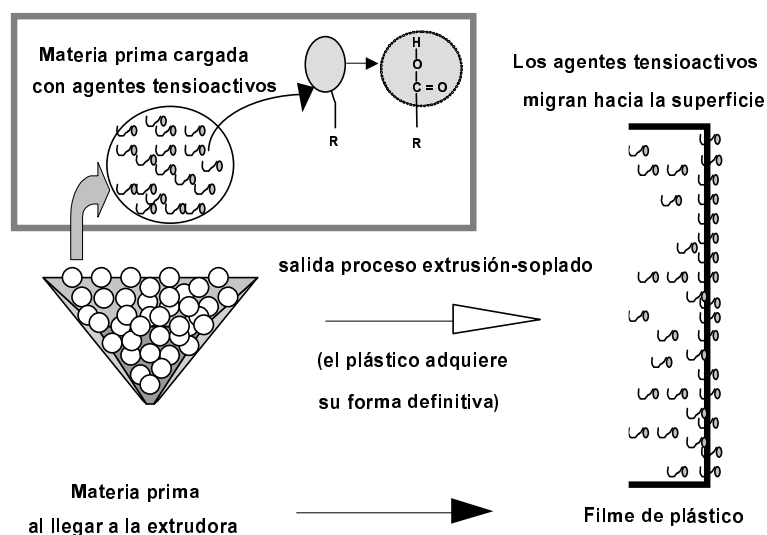
### b) Influencia de la naturaleza del polímero

Las diferencias de comportamiento que acabamos de observar en la Figura 3, entre diferentes filmes de plástico, se deben a la presencia en su estructura molecular ya sea de grupos hidrófilos (radicales -OH: caso del vidrio; radicales -COOH: caso del polimetacrilato de metilo) o bien de grupos hidrófobos (radicales C-H: polietileno, copolímeros EVA y teflón).

Para tener un mejor control del proceso de condensación, la industria de los plásticos utiliza aditivos (“antigoteo” o tensioactivos) que cambian la naturaleza hidrófoba de los grupos C-H. Los agentes tensioactivos más utilizados son en general ácidos grasos (o sus ésteres), que poseen en su estructura molecular radicales hidrófilos capaces de formar puentes de hidrógeno con el agua, disminuyendo la tensión superficial en la interfase sólido-líquido.

Los aditivos se aplican durante el proceso de fabricación de la materia prima (Figura 4) y, una vez que ésta adquiere su forma definitiva al someterla al proceso de extrusión-soplado (Unidad 1), los aditivos migran hacia la superficie del filme donde forman puentes de hidrógeno con el agua. La capacidad de migración de estos aditivos hacia la superficie del plástico determina en parte su eficiencia, que dependerá del tipo de aditivo y de su concentración.

La vida útil de los plásticos tratados con agentes tensioactivos dependerá además de las condiciones de utilización. Los ciclos frecuentes de condensación sobre la superficie del filme, seguidos de ciclos de evaporación, provocan con el tiempo un lavado de los aditivos, mermando su eficacia.



**Figura 4.** Representación esquemática de la materia prima cargada con agentes tensioactivos que, en este caso, comportan en la cadena molecular,  $R$ , radicales hidrófilos  $-COOH$ . La migración de estos aditivos, hacia la superficie del plástico, tiene lugar cuando la materia prima adquiere su forma definitiva después del proceso de extrusión-soplado.

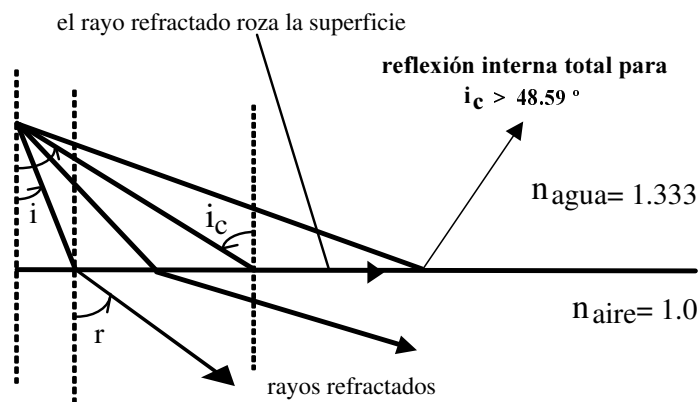
Este tipo de tratamientos no evita que se forme la condensación, puesto que el proceso viene determinado por la temperatura de equilibrio que alcanza la pared ( $T_p$ ) respecto a la temperatura de punto de rocío del aire ( $T_r$ ), formándose condensación siempre que  $T_p < T_r$ . En este sentido, el término comúnmente utilizado de plásticos “anti-condensación” es incorrecto.

## 2.2- INFLUENCIA DE LA CONDENSACIÓN EN LA TRANSMISIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Cuando un rayo pasa de un medio más refringente a un medio menos refringente (Figura 5), el índice de refracción relativo,  $n_r$ , es inferior a 1. Si tomamos como ejemplo el paso de un rayo desde el agua (índice de refracción  $n = 1.333$ ) al aire (índice de refracción  $n = 1$ ):  $n_r = n_{\text{aire}}/n_{\text{agua}} = 0.750$ . Para valores de  $n_r < 1$ , la ley de Snell indica que el ángulo de incidencia  $i$  es menor que el ángulo de refracción  $r$ :

$$\sin(i)/\sin(r) = n_r$$

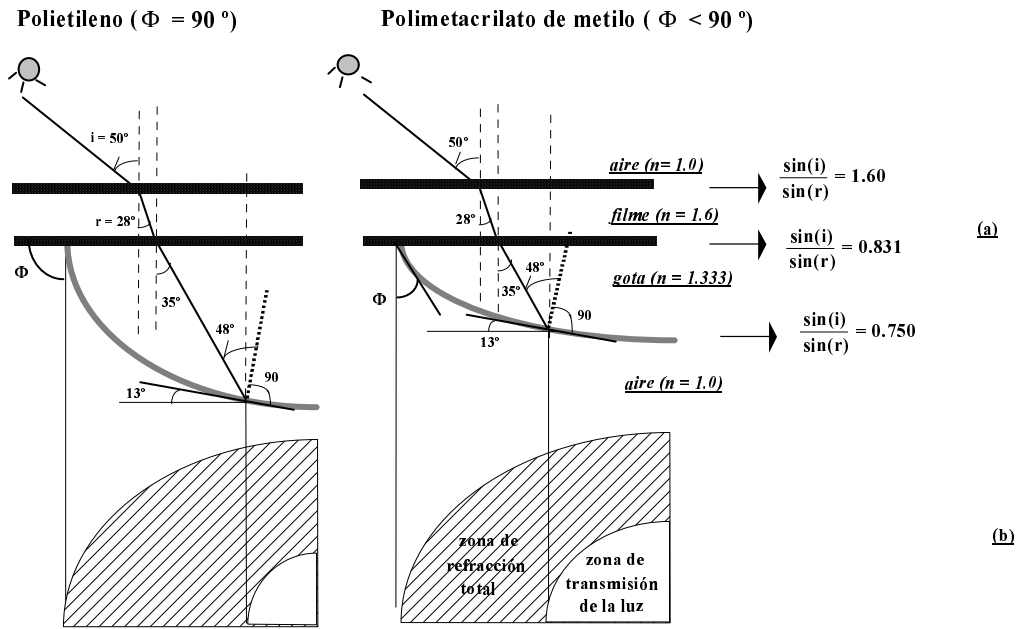
En este caso, cuando el seno de  $i$  se aproxima a  $n_r$ , el seno de  $r$  se acerca a la unidad y el ángulo de refracción  $r$  tiende a  $90^\circ$ . Bajo estas condiciones, el rayo refractado roza la superficie. Por lo tanto, para ángulos de incidencia mayores a un valor crítico  $i_c$  para el cual  $\sin(i_c) = n_r$  no habrá rayo refractado y el rayo incidente sufrirá la reflexión total interna. Para el paso del rayo del agua al aire, esta condición se cumple cuando  $i_c > 48.59$  grados.



**Figura 5.** Representación esquemática de la reflexión total cuando un rayo pasa de un medio más refringente a un medio menos refringente.

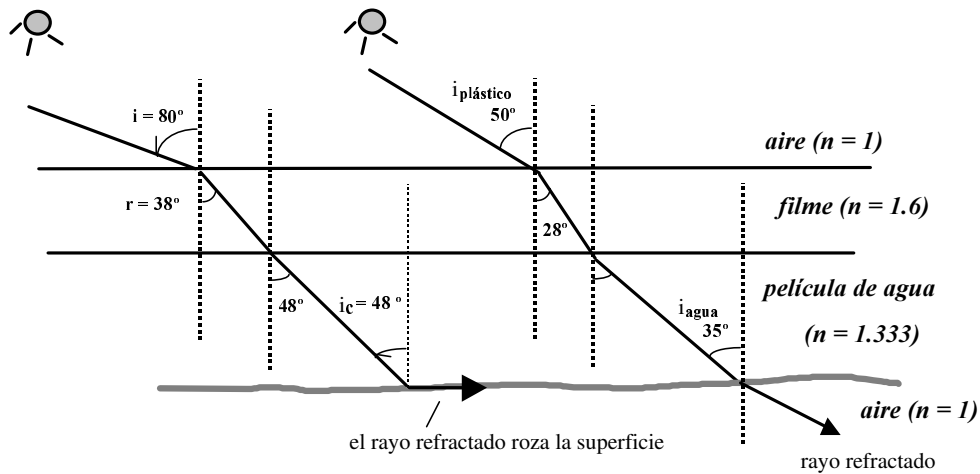
A partir de la ley de Snell se pueden explicar las pérdidas de luz que inducen las gotas de condensación. Si aplicamos esta ley, a lo largo del recorrido de los rayos, a las gotas que se generan sobre dos filmes (p.e. PE y PMM), podemos observar en la Figura 6 que, por ejemplo, para un ángulo de incidencia  $i$  sobre el plástico de 50 grados se produce la reflexión total de la luz. Es decir, se produce la reflexión total cuando la pendiente de la envoltura de la gota, respecto a un plano horizontal, en el punto de impacto de los rayos es igual o superior a 13 grados. En este caso, el ángulo crítico  $i_c$  ( $= 48^\circ$ ) es igual al ángulo de refracción en la interfase filme-agua ( $= 35^\circ$ ) más la pendiente ( $= 13^\circ$ ).

La reflexión total de la luz puede intervenir en una gota independientemente del ángulo de incidencia de los rayos, afectando una mayor o menor parte de su envoltura. En el caso del PMM, la superficie afectada por la reflexión total es menor debido a que en este plástico se generan gotas con una menor pendiente. El proceso de reflexión total se traduce por la presencia sobre el filme de zonas opacas (gotas) que inducen, respecto a un plástico seco, pérdidas importantes de luz.



**Figura 6.** (a) Representación esquemática del trayecto de los rayos a través de las interfaces aire-filme, filme-agua y agua-aire. (b) Efecto de sombreado que inducen las gotas de condensación en función del ángulo de contacto de la gota con la superficie del filme ( $\Phi$ ).

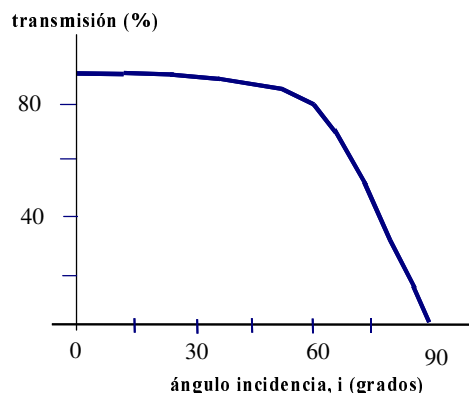
Si aplicamos ahora la misma ley cuando la condensación se produce formando una lámina de agua (caso del vidrio limpio, Figura 7), podemos observar que la reflexión total solamente interviene para valores de ángulo de incidencia superiores a  $80^\circ$ . Es decir, para una altura angular del sol menor o igual a  $10^\circ$ , lo que corresponde en periodo de invierno a las primeras horas de la mañana.



**Figura 7.** Representación de la reflexión total en un filme con depósito de agua por condensación formando una lámina.

Además, para el rango de valores de  $i$  en los que no se produce reflexión total ( $0-80^\circ$ ), el ángulo de incidencia de los rayos sobre la superficie del agua es siempre inferior al ángulo de incidencia sobre el plástico. Por consiguiente, el coeficiente de transmisión de un filme con película de agua debe ser superior al de un filme seco para valores de  $i <$

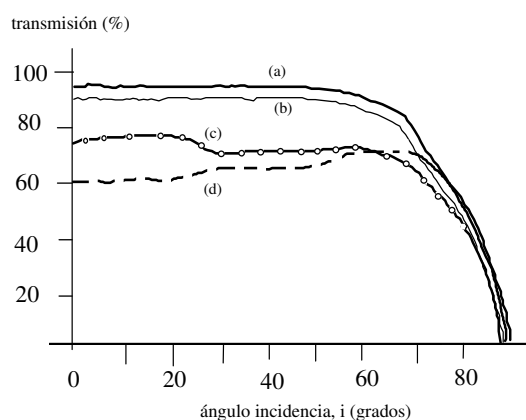
80, puesto que la transmisión aumenta cuando disminuye el ángulo de incidencia (Ley de Beer-Lambert, Figura 8).



**Figura 8.** Variación del coeficiente de transmisión de un material de cubierta con el ángulo de incidencia.

Se puede concluir entonces que las pérdidas de luz dependerán del ángulo de incidencia de los rayos solares y del tipo de condensación (lámina de agua o gotas) como lo demuestra la Figura 9.

**Figura 9.** Evolución del coeficiente de transmisión de un filme de polietileno: (a) con depósito de condensación formando una lámina, (b) seco, y con depósito de condensación formando gotas con un ángulo de contacto de (c) 60° y (d) 90°, respectivamente.



### 3- ADITIVOS PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL

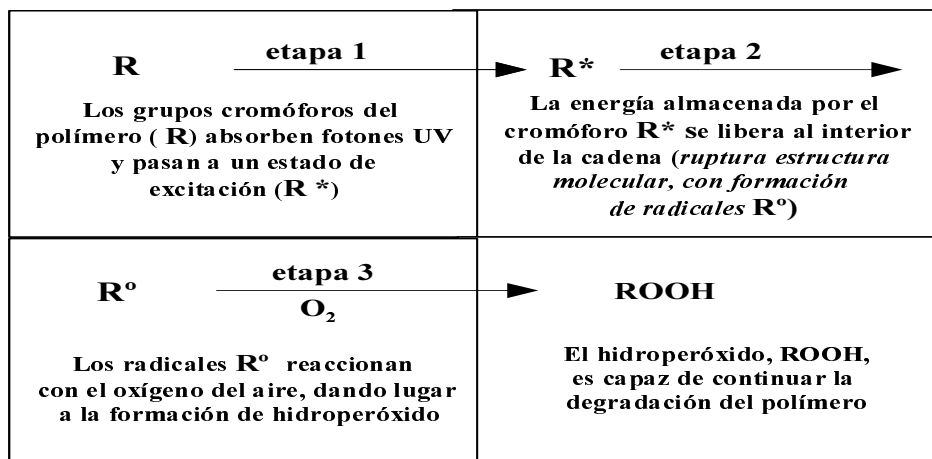
Algunos plásticos como el PE ordinario, los poliésteres y el etileno vinil acetato (EVA), son muy sensibles a la acción de los rayos ultravioletas. Este tipo de plásticos quedan fuera de uso al cabo de 4 o 6 meses cuando se exponen a la luz de forma prolongada si no se someten a un tratamiento específico. Esta alteración se debe, en gran parte, a un proceso de fotodegradación inducido por los rayos ultravioleta (UV).

#### 3.1- MODO DE ACCIÓN

En teoría, los plásticos exentos de impurezas no presentan en su estructura grupos capaces de absorber la radiación UV. Sin embargo, en la práctica, es imposible obtener un material plástico puro. Las impurezas (o defectos de cadena) se generan, durante el proceso térmico de fabricación de la materia prima. Se deben a los catalizadores de polimerización (presencia de residuos metálicos), o a grupos oxidados que se forman durante el proceso térmico de fabricación del plástico. Estos actúan absorbiendo los rayos UV y desencadenando una reacción de oxidación del polímero que provoca el envejecimiento prematuro del plástico.

La acción de la luz sobre los defectos de cadena conlleva la formación de radicales libres que reaccionan con el oxígeno (formación de grupos hidroperóxido), propagando la reacción de oxidación en cadena. Este proceso conduce a la ruptura de las cadenas macromoleculares a nivel de los eslabones frágiles. La ruptura se propaga, a través de

reacciones físico-químicas complejas, llegando a fragmentar completamente la estructura macromolecular en cadenas cada vez más cortas. La Figura 10 presenta un esquema simplificado de las etapas que conducen a la formación de radicales libres y a la ruptura de la cadena.



**Figura 10.** Representación esquemática simplificada del proceso de foto-oxidación

Para paliar estos inconvenientes, se utilizan en la industria diferentes tipos de aditivos:

- **Absorbentes.** Pertenecen al grupo de las benzofenonas. Actúan absorbiendo los rayos UV y frenando la etapa 1 de la reacción. Este tipo de aditivos no son eficientes cuando se aplican a plásticos de pequeño espesor (ver en lo que sigue).
- **Desactivadores** (Nickel Quenchers). Actúan desactivando los grupos cromóforos una vez excitados, lo que favorece que los grupos vuelvan a un estado estable frenando la etapa 2. Los plásticos tratados con este tipo de aditivos adquieren un color amarillo verdoso que reduce la transmisión de la radiación solar. Debido a problemas de impacto ambiental, no se utilizan en la actualidad.
- **Bloqueadores.** Interrumpen el proceso de oxidación bloqueando los radicales libres y frenando la etapa 3. Los plásticos tratados con bloqueadores presentan una buena transmisión a la radiación solar. Sin embargo, son sensibles a los pesticidas.

Los absorbentes no son muy eficientes cuando se aplican a filmes de plástico de pequeño espesor. Las limitaciones que presentan este tipo de aditivos se pueden explicar a través de la ley de absorción de Beer que se expresa a partir de la relación:

$$A = 1 - e^{-keC} \quad (2)$$

donde:

- A = absorción.
- k = coeficiente de extinción de la radiación al atravesar el plástico ( $m^2 \mu mol^{-1}$ ).
- e = espesor del plástico (m).
- C = concentración del producto ( $\mu mol m^{-3}$ ).



Por lo tanto, la eficiencia de absorción de estos aditivos es tanto más elevada cuanto mayor sea el espesor del plástico y cuanto mayor sea la concentración utilizada. Sin embargo, debido a problemas de compatibilidad con el plástico, su concentración no puede sobrepasar 0.5-0.6 %. Esto explica que tengan que emplearse junto con otros aditivos, por ejemplo, desactivadores y bloqueadores, que utilizan un mecanismo de estabilización diferente.

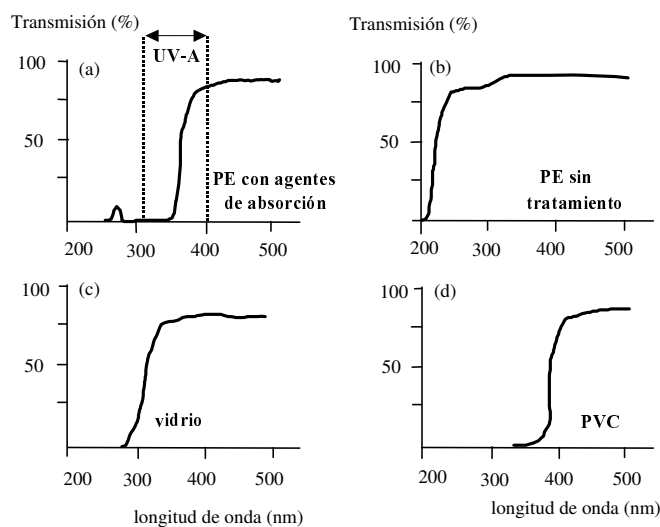
## 2.2- INFLUENCIA SOBRE LA TRANSMISIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Todos los tratamientos en uso para alargar la vida útil de los plásticos reducen la radiación ultravioleta bajo invernadero. El comportamiento que deben de tener los plásticos respecto a la radiación UV deriva de la acción que ésta ejerce sobre las plantas y su entorno. La radiación UV representa un pequeño porcentaje de la radiación global solar (aproximadamente entre un 5 y un 7 %) y se divide en tres gamas: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La gama UV-A es la que se recibe a nivel de la superficie terrestre y representa el porcentaje más elevado de la radiación UV (88%). Ejerce una influencia importante sobre la calidad organoléptica de las plantas. También influencia la morfología de los vegetales (elongación de entrenudos), la coloración de muchas plantas ornamentales, así como el proceso de esporulación de los hongos (p.e.: *botrytis*) y el comportamiento de los insectos polinizadores.

El tratamiento del PE con agentes antioxidantes y estabilizantes previene el proceso de degradación, pero no evita que este filme presente una buena transparencia a los rayos ultravioleta, como lo muestra la Figura 11a. Este comportamiento puede compararse con el de otros materiales de cubierta, por ejemplo:

- El polietileno sin tratar, que es completamente transparente a la radiación UV, Figura 11b.
- El vidrio, que deja pasar parte de la radiación UV-A, Figura 11c.

Los productos vinílicos dejan pasar la radiación UV solamente a partir de 340 nm, como el caso del policloruro de vinilo Figura 11d.



**Figura 11.** Espectro de transmisión en la gama 200-500 nm: (a) del polietileno (PE) con agentes de absorción, (b) del PE sin tratamiento, (c) del vidrio (c) y (d) del policloruro de vinilo (PVC).

#### 4- ADITIVOS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Minimizar las pérdidas por *radiación de longitud de onda larga* es un objetivo esencial para los industriales que fabrican cubiertas de plástico para invernadero. Las *pérdidas por radiación* de la pared de cubierta son un componente importante de las pérdidas térmicas totales del invernadero.

##### 4.1- MODO DE ACCIÓN DE LOS ADITIVOS

La *eficiencia de una pared* de cubierta como barrera térmica se puede definir como la capacidad que posee para retener la radiación de longitud de onda larga que emiten los cuerpos que protege (por ejemplo las plantas y el suelo). Esta capacidad depende de las propiedades ópticas de la pared en la gama de longitud de onda  $\lambda > 3 \mu\text{m}$ ):

- **Coefficiente de emisividad.** *Cuanto menor sea el coeficiente de emisividad de la pared, menor será la energía emitida por la pared hacia la atmósfera, lo que implica que mayor será su temperatura de equilibrio.*
- **Coefficiente de transmisión.** *Cuanto menor sea el coeficiente de transmisión de la pared, mayor será su capacidad para frenar la energía que pierden los elementos del invernadero.*

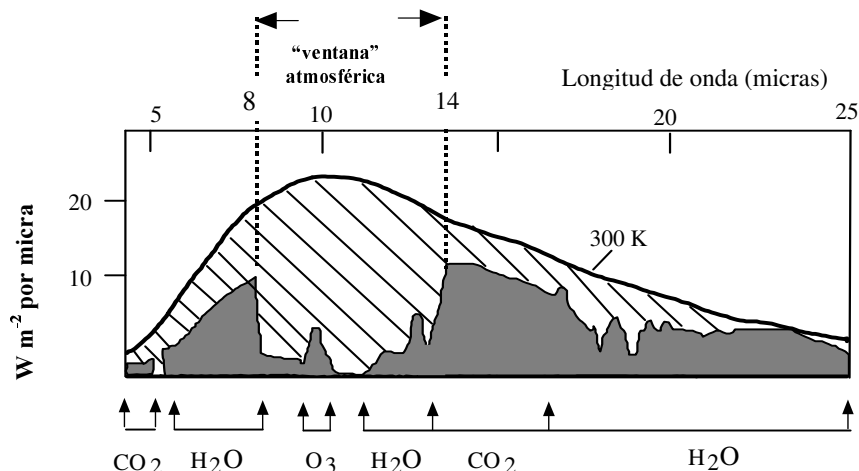
Los materiales de cubierta que presentan, en la gama de longitud de onda larga, un coeficiente de transmisión cercano de cero (*caso del vidrio*) reducen las pérdidas por radiación, con las consecuencias siguientes:

- Ahorro de energía (invernaderos con calefacción).
- Disminución de la tasa de condensación, debido a que la pared alcanza una temperatura de equilibrio superior
- Temperatura resultante de la vegetación superior en período nocturno a la que se observa bajo invernaderos con cubierta de plástico que no es opaca a la longitud de onda larga.

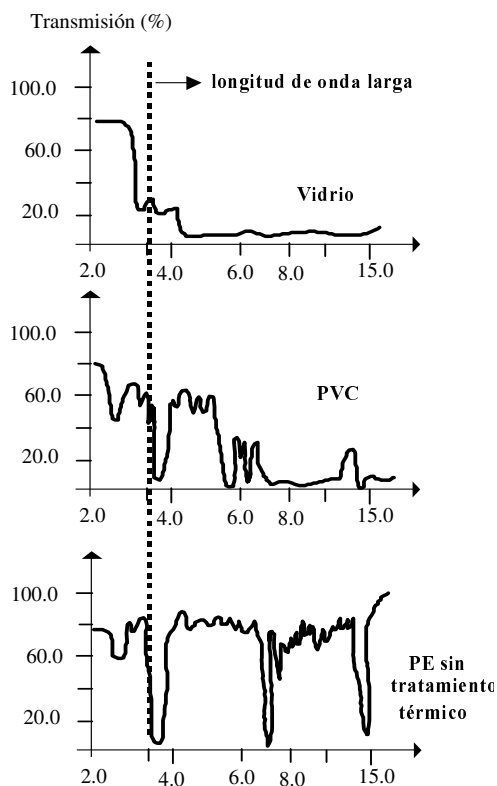
La evaluación del “efecto térmico” de un plástico tratado (es decir, con bajo coeficiente de transmisión en la longitud de onda larga) se puede basar en *las pérdidas netas por radiación* de la pared (= diferencia entre la energía radiante que pierde y la que recibe de la atmósfera), utilizando dos leyes básicas de física:

- La ley de Planck. Ley que permite determinar la distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro.
- La ley de desplazamiento de Wien. Ley que permite determinar la longitud de onda máxima de emisión de un cuerpo a la temperatura T.

La aplicación de estas leyes a la radiación de un cuerpo terrestre y a la radiación atmosférica (ver Parte IV, Unidad 1) da como resultado los espectros de emisión representados en la Figura 12. La curva con línea continua es la distribución espectral de un cuerpo negro a 300 K (por ejemplo, una pared de cubierta).



**Figura 12.** Distribución espectral de un cuerpo negro a una temperatura de 300 K (27 °C) y de la emisión de los gases de la atmósfera. La superficie gris indica la radiación emitida por los gases de la atmósfera. La línea continua representa la radiación emitida por el cuerpo a 300 K. La superficie rayada representa las pérdidas netas por radiación del cuerpo negro a 300 K.



**Figura 13.** Espectro de transmisión en la longitud de onda larga del vidrio ordinario, del policloruro de vinilo (PVC) y del polietileno (PE) sin tratamiento térmico.

Es un hecho conocido que los radicales C=O frenan la longitud de onda larga. Algunas materias plásticas poseen en su estructura este tipo de radicales que les confieren la propiedad de bloquear la radiación de longitud de onda larga. Es el caso del PVC (Figura 13), del PMM y del policarbonato. Sin embargo, una gran parte de los plásticos

utilizados como materiales de cubierta carecen de ellos y son, por lo tanto, transparentes a las longitudes de onda larga (caso del PE, sin tratamiento térmico, Figura 13).

Los tratamientos industriales, aplicados a los plásticos, tienen como objetivo reducir las pérdidas por longitud de onda larga, en la gama de longitud de ondas entre 8-14 micras, donde se sitúa la ventana atmosférica. Esta reducción se puede llevar a cabo, actuando sobre:

- El coeficiente de emisividad del material. Por ejemplo, aplicación superficial de una capa de óxidos metálicos, que se utiliza en el caso del vidrio.
- El coeficiente de transmisión. Por ejemplo, aplicación de aditivos dentro del polímero: cargas minerales o partículas con radicales  $C=O$ .

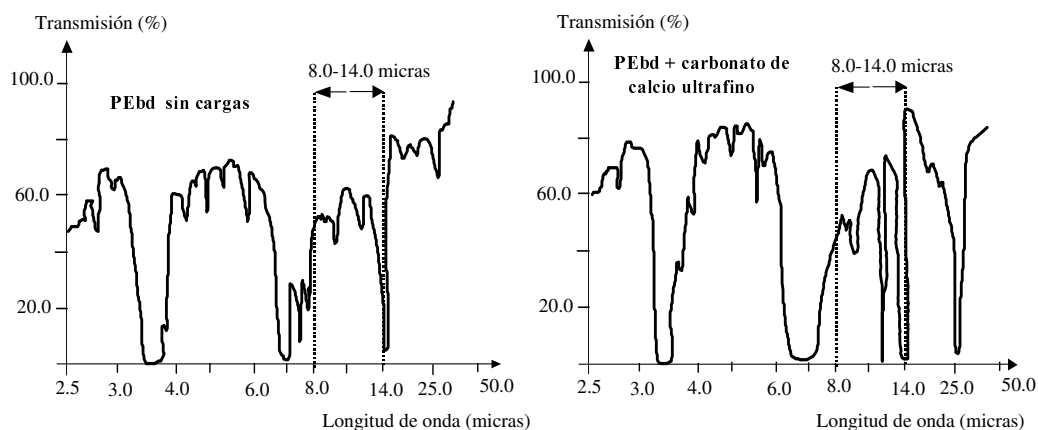
*La Normativa Europea establece que un plástico puede considerarse como “térmico” cuando su coeficiente de transmisión es inferior a 20 %).*

#### 4.2- INFLUENCIA SOBRE LAS PÉRDIDAS POR RADIACIÓN

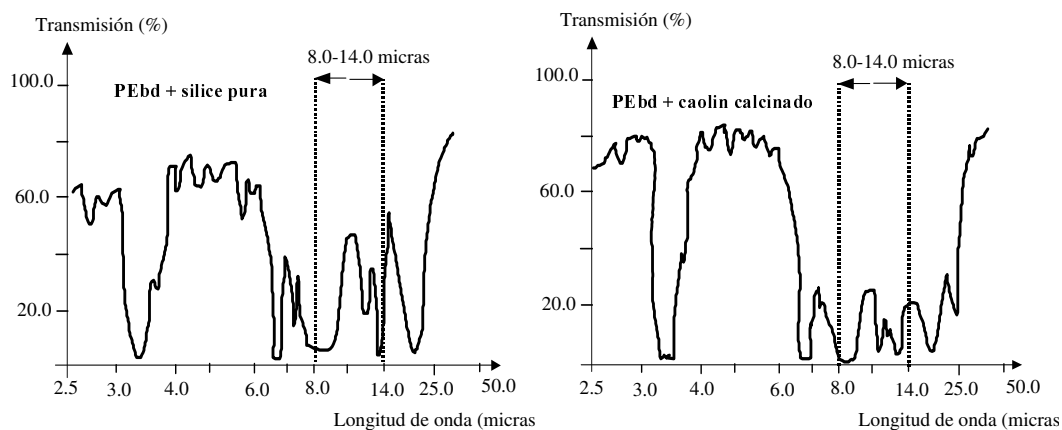
Los aditivos que se utilizan en la industria para dotar a un filme (por ejemplo, el PE) de mayor opacidad a la radiación de longitud de onda larga son esencialmente tres:

- **Cargas minerales** (carbonato de calcio, sílice, silicatos).
- **Acetato de vinilo** (copolímeros EVA).
- **Cargas minerales + acetato de vinilo**.

El espectro de absorción final de un material tratado con cargas minerales dependerá de las características ópticas que le confieren las cargas (Figura 14a-b-c).



**Figura 14a.** Espectro de transmisión del polietileno baja densidad (PEbd) sin tratar y tratado con un 10 % en peso de diferentes cargas minerales



**Figura 14b.** Espectro de transmisión del polietileno baja densidad (PEbd) sin tratar y tratado con un 10 % en peso de diferentes cargas minerales

Cabe resaltar que muchas cargas minerales poseen un espectro de transmisión que tiene poco interés para aplicaciones hortícolas (caso del carbonato de calcio, Figura 14a). La sílice pura (Figura 14 b) es más eficiente que el carbonato de calcio. Sin embargo, una de las cargas minerales más eficientes es el caolín calcinado (arcilla calcinada a 500 °C, Figura 14c) ya que absorbe la mayor parte de la radiación en la gama crítica de longitud de onda larga, por lo que presenta una buena “barrera” térmica a las pérdidas por radiación.

La mezcla de polietileno con acetato de vinilo (EVA) también le confiere la propiedad de limitar las pérdidas térmicas. Se añade al filme un cierto porcentaje (entre 10 a 20%) de acetato de vinilo, lo que permite aumentar ligeramente la opacidad.

Los tratamientos industriales utilizados para reducir las pérdidas por radiación (cargas minerales, acetato de vinilo) tienen por ahora bastantes limitaciones. Por ejemplo:

- Cuando aumenta la concentración de cargas minerales se disminuye la transmisión global de la radiación visible.
- Cuando se utilizan concentraciones de acetato de vinilo superiores a un 18% disminuyen la resistencia del filme al alargamiento. Además este tipo de tratamientos incrementa la acumulación del polvo.

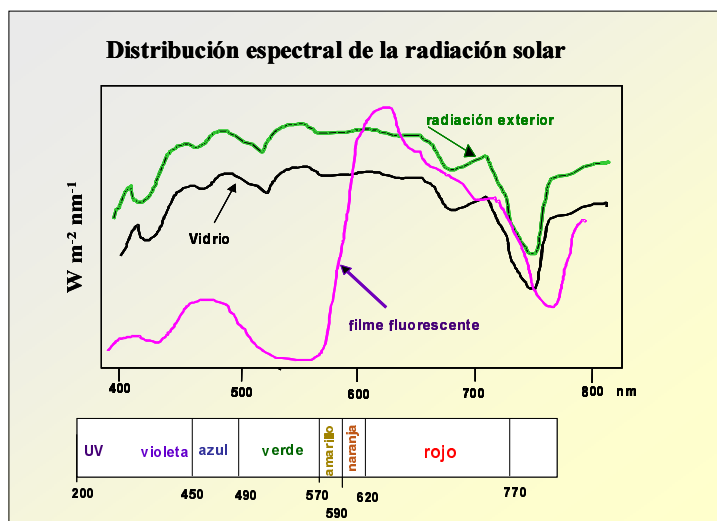
Actualmente los industriales trabajan en la aplicación de nuevas cargas minerales que podrán utilizarse para reducir las pérdidas por radiación y para aumentar el poder difusor de la luz. Es un hecho conocido que la radiación difusa, al disminuir el efecto de sombreo mutuo entre las hojas, es interceptada con mayor eficiencia por el cultivo. El reto es encontrar aditivos que aumenten la proporción de radiación difusa bajo invernadero sin reducir la radiación global solar.

## 5- FILTROS SELECTIVOS

La aplicación de aditivos colorantes y filtros selectivos en los materiales plásticos tiene como finalidad modificar sus propiedades ópticas, generalmente, en la gama de longitud de onda corta. El objetivo que se busca con este tipo de tratamientos es:

- Modular bajo invernadero la distribución espectral de la luz, con el fin de privilegiar aquellas gamas de longitud de onda capaces de optimizar un proceso fisiológico (fotosíntesis, morfogénesis),
- Modificar el ciclo de agentes patógenos (hongos),
- Limitar ciertas gamas del espectro que contribuyen esencialmente a aumentar la temperatura de la superficie foliar (por ejemplo, el infrarrojo de origen solar).

Existe una amplia gama de filtros selectivos, que se pueden aplicar a los plásticos agrícolas, entre los que cabe destacar los filtros fluorescentes (Figura 15). Estos pueden utilizarse en la fabricación de materiales de cubierta para modificar la composición espectral de la luz, debido a que tienen la capacidad de absorber la luz en una determinada longitud de onda y de restituirla en una gama de longitud de onda superior. Este proceso de fluorescencia permite manejar la calidad del espectro solar bajo invernadero, basándose en criterios fisiológicos. Sin embargo, por ahora, los aditivos empleados reducen la transmisión de la radiación visible. Por lo tanto, el desafío tecnológico será encontrar aditivos, que no encarezcan demasiado el precio de coste del plástico y que no reduzcan mucho la radiación visible.



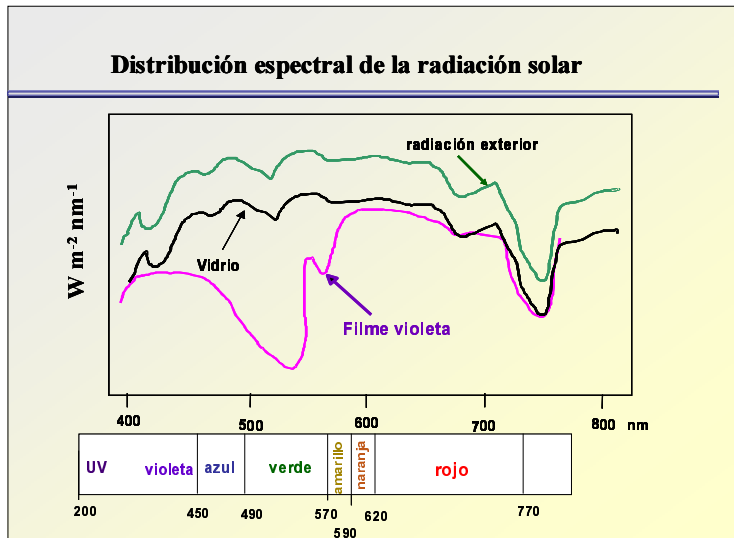
**Figura 15.** Distribución espectral de la radiación solar: al exterior, bajo un invernadero de vidrio y bajo un invernadero con filme fluorescente.

La composición espectral de la luz es un factor determinante de los procesos de fotosíntesis y de morfogénesis. En el primer caso, el sistema pigmentario responsable de la absorción de la luz (la clorofila) tiene una absorción preferente dentro de las gamas de 400-500 nm y de 600-700 nm, en las que presenta dos marcados picos de absorción a 420 y 660 nm respectivamente. En el segundo caso, el pigmento fitocromo, que juega un papel importante en los procesos de elongación de los tallos y de las hojas, presenta dos formas de absorción espectral, una en el rojo claro (entre 600-700 nm) y otra en el rojo oscuro (entre 700-800 nm).

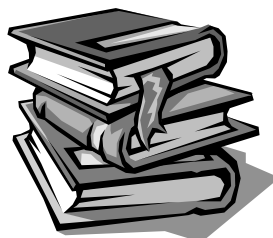
El objetivo de una aplicación de filtros fluorescentes a los plásticos debe ser el generar una composición espectral compatible con las necesidades de los fotoactivadores (clorofila y fitocromo). Los filtros fluorescentes pueden actuar, por ejemplo, absorbiendo la gama de longitudes de onda en la que la clorofila presenta un bajo nivel de absorción (la gama del verde, entre 500-600 nm) para reemitirla en la zona de

máxima absorción (el rojo, entre 600-700 m) con el fin de favorecer el proceso fotosintético.

En cuanto a los filmes de color hay que tener en cuenta que reducen mucho la radiación visible (Figura 16). Por lo tanto, no deben de recomendarse excepto en casos muy especiales en los que se necesite generar bajo invernadero una distribución espectral determinada de la radiación solar. La reducción de la transmisión se efectúa por absorción del color complementario (p.e., un filme naranja absorbe la radiación azul), lo que contribuye al calentamiento del filme y, por lo tanto del aire del invernadero.



**Figura 16.** Distribución espectral de la radiación solar: al exterior, bajo un invernadero de vidrio y bajo un invernadero con filme de color violeta.



## Referencias bibliográficas

### Parte V. Los materiales plásticos y sus tratamientos

**CIPA, 1992.** Actas del XII Congreso de Internacional de Plásticos en Agricultura, 1992, *Granada, España.*

**COBOS DÍAZ J. J., LÓPEZ J.C., 1998.** Los Filmes Plásticos como material de cubierta de invernadero. En *“Tecnología de Invernaderos II”*. Eds. Pérez Parra J, Cuadrado Gómez I.M. FIAPA, Almería, 143-160.

**Comité de Plásticos en Agricultura, 1997.** Los Plásticos y la Agricultura. *Ediciones de Horticultura, 583 pp.*

**DÍAZ T. y col., 2003.** Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. *Ed. Mundi-Prensa, 320 pp.*

**DOGNIAUX M., NISEN A., 1975.** Traité de l'éclairage naturel des serres et abris pour végétaux. *IRM, Ed. Duculot, Bruxelles.*

**ESPÍ E. SALMERÓN A., CATALINA F, 2000.** Revista de plásticos modernos, 80, 305-306.

**KITTAS C., BAILLE A., 1998.** Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response. *J. Agric. Engng Res., 71, 193-202.*

**KITTAS C., BAILLE A., 1999.** Influence of cover material and shading on the spectral distribution of light under greenhouse *J. Agric. Engng Res., 73, 341-351.*

**NIJSKENS y col., 1985.** Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology, 35: 229-242.*

**NISEN A., 1976.** Functional photometric properties of the covering material for ground or greenhouses. *Plasticulture, 32: 16-32.*

**REPSOL, 2001.** Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa.

**ROBLEDO DE PEDRO F., 1992.** Estado actual de las aplicaciones de plásticos en la agricultura española: *Actas del XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura, 3-8 Mayo 1992, Granada, España., 92-104*

**SALMERÓN A., ESPÍ E., FONTECHA A. GARCÍA-ALONSO Y., 2001.** Filmes Agrícolas Avanzados. Un campo abierto. *1er Symposium Internacional de Plasticultura. Valencia.*

**WALKER J.N., SLACK D.C., 1970.** Properties of greenhouse materials. *Trans. ASAE. 13, 682-684.*

**ZARKA A., 1990.** New PVC fluorescent films for cladding greenhouses: the results from three years' trials. *Plasticulture, nº 85, 6-16.*