



Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del
Medio Rural

Productividad y Manejo en Sistemas Agrícolas

Tema 3. Desarrollo

Valencia 2016

Jorge Cerezo Martínez



Índice

1. Crecimiento y Desarrollo Vegetal.....	2
2. Desarrollo y tiempo	5
3. Influencia de la temperatura y del fotoperiodo.....	11
4. Modelo de estimación del desarrollo	16

Jorge Cerezo Martínez

1. Crecimiento y Desarrollo Vegetal



Tema 2.3

Se puede realizar una clasificación de los cultivos en función de la secuencia con que se desarrolla la floración y desarrollo vegetativo de la planta.

En los **cultivos determinados** la *floración ocurre unos días después del cese del crecimiento vegetativo*. La floración supone la transformación de los meristemos apicales de los tallos en estructuras reproductoras.

En los **cultivos indeterminados** se *produce un solapamiento entre floración y el crecimiento vegetativo*, de modo que esta situación se puede prolongar en el tiempo durante meses. *El meristemo apical continúa creciendo y produciendo nuevas hojas y nuevos brotes, mientras que los meristemos axilares dan lugar a flores*.

Es propio de la especie, que algunos **órganos** tengan **crecimiento definido o determinado**.

Dentro de una misma especie se pueden encontrar **cultivares** con crecimiento determinado y variedades de crecimiento indeterminado. Un ejemplo podría ser el cultivo de tomate, en el que aparecen cultivares de crecimiento **definido** y de crecimiento **indefinido**.

Desde el punto de vista de la *adaptación de los cultivos y su manejo*, esta diferenciación entre cultivos determinados e indeterminados muestra un especial interés.

Los cultivares de tomate de *crecimiento indefinido* son interesantes en los **mercados de productos frescos**, puesto que, para un trasplante en el periodo de recolección se puede prolongar durante varios meses.

En cambio, en los **mercados de productos hortofrutícolas para industria** se utilizan cultivares de **crecimiento definido**, puesto que para rentabilizar el procesado industria se requiere una mayor concentración de la recolección del cultivo, de manera que resulta necesario utilizar cultivares y técnicas de cultivo que permitan agrupar la producción. En este caso, se programan distintas fechas de trasplante.

Las dos pautas de comportamiento frente a la floración presentan diferencias frente a condiciones de estrés.

La continua floración de los cultivos de **crecimiento indeterminado** permite compensar una pérdida de flores o falta de cuajado en los frutos como consecuencia de un estrés como puede ser el hídrico o las altas temperaturas.

En cambio, los cultivos de **crecimiento determinado** muestran una elevada sensibilidad a los estreses bióticos o abióticos, que tienen lugar durante la floración. En este caso, un estrés por temperatura (baja o elevada) puede afectar a la floración en

especies como los cereales y a la fase de formación del grano, independientemente de las condiciones del cultivo anteriores o posteriores al estrés.

Modificaciones del desarrollo. *La respuesta de la planta al déficit hídrico depende del tipo de desarrollo.*

Las plantas con **desarrollo indeterminado** con ritmo de **crecimiento continuo**, aprovechables por la biomasa total producida (especies **forrajeras**, especies **leñosas**, forestales, ...), *pueden tolerar situaciones deficitarias repetidas* y pueden reanudar cada vez el crecimiento. El **descenso del rendimiento** es proporcional al **déficit de agua**.

Los **efectos del estrés** sobre una fase del desarrollo son **independientes** de las otras:

$$\frac{Y}{Y_{max}} = \frac{\sum_{i=1}^n (ETR)_i}{\sum_{i=1}^n (ETP)_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (ETR)_i}{\sum_{i=1}^n (ETP)_i} = \frac{80 + 50 + 90}{80 + 100 + 120} = 0.73$$

En las especies de **desarrollo determinado** con un ciclo vegetativo se comprenden una serie de **fases del desarrollo**, dependientes unas de otras, que conducen, finalmente, a la formación de los órganos útiles a los efectos productivos (granos, frutos, ...).

Los **efectos del estrés** sobre una fase influyen sobre las fases sucesivas:

$$\frac{Y}{Y_{max}} = \frac{\prod_{i=1}^n (ETR)_i}{\prod_{i=1}^n (ETP)_i} \cdot \frac{\prod_{i=1}^n (ETR)_i}{\prod_{i=1}^n (ETP)_i} = \frac{80 \cdot 50 \cdot 90}{80 \cdot 100 \cdot 120} = 0.37$$

El **estrés sobre una sola fase compromete severamente el rendimiento final**. Por tanto, el **riego** toma su papel muy importante en el manejo del cultivo.

Los principales **procesos** que tienen lugar durante el desarrollo de las plantas son los siguientes:

- **Fotosíntesis:** Se producen hidratos de carbono
- **Respiración:** Se obtiene energía (ATP)
- **Transpiración:** Aumenta el vapor de agua
- **Nutrición mineral:** Se absorben nutrientes esenciales

Entre los principales **factores**, que *afectan al crecimiento y desarrollo* cabe destacar:

- **Endógenos**
 - Genotipo
 - Hormonas vegetales
- **Exógenos**
 - Disponibilidad de CO₂, H₂O, O₂ nutrientes minerales, etc...



- Factores climáticos, luz, agua, temperatura, viento, etc..

Las **condiciones ambientales** determinan la respuesta de la planta a nivel de los *cambios estructurales y fisiológicos* que tienen lugar durante el desarrollo. Tanto la **temperatura** como el **fotoperiodo** condicionan en gran medida la iniciación de nuevos tejidos y órganos en las plantas.

En consecuencia, resulta conveniente conocer la **influencia de las condiciones ambientales en el desarrollo reproductivo** dado que las semillas y frutos determinan el **rendimiento económico** de los cultivos.

Para conseguir el máximo **rendimiento económico**, deberán cumplirse una serie de premisas, que básicamente estarán determinadas por la disponibilidad de los recursos necesarios para que tenga lugar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En este sentido, la **productividad** de los cultivos se encontrará restringida por la **limitación o restricción por algunos de los factores de la producción vegetal, clima, suelo y planta**, fundamentalmente. De lo contrario, los cultivos se verán sometidos a una serie de **estreses bióticos o abióticos** que condicionarán la respuesta productiva de las plantas. Además, **las plantas deberán adaptarse al ciclo de cultivo** propio para cada especie, puesto que las condiciones ambientales (**temperatura y fotoperiodo**) condicionan el desarrollo reproductivo de los cultivos.

Las plantas deberán adaptarse al ciclo de cultivo propio para cada especie, puesto que las condiciones ambientales (**temperatura y fotoperiodo**) condicionan el desarrollo reproductivo de los cultivos.

De este modo, cuando las **condiciones climáticas** son desfavorables para el cultivo (baja temperatura, baja radiación y fotoperiodos cortos) el rendimiento del cultivo disminuye, aunque los aportes de los elementos fertilizantes se ajusten, perfectamente, al plan de abonado determinado por el balance correspondiente.

Determinados ciclos de cultivo en algunas hortalizas, como son los de **otoño-invierno** (siembras en noviembre) son difíciles de llevar a cabo por la falta de condiciones climáticas adecuadas para el cultivo.

2. Desarrollo y tiempo

La **fenología** *estudia la secuenciación del desarrollo de un cultivo en función de las condiciones ambientales*. Fenología es la *disciplina que estudia los fenómenos periódicos de la vida de los vegetales y animales en relación con el clima*.

Estudia los ritmos paralelos clima-desarrollo vegetal. Desde el punto de vista fenológico, las **observaciones** más importantes en los vegetales son: Floración,



foliación, defoliación, maduración de los frutos, aparición de las espigas, recolección, etc.

El desarrollo de un cultivo se encuentra determinado por los **fenoestados**, que son fenómenos o momentos diferentes que aparecen durante el desarrollo. Como ejemplos de estas fases del desarrollo cabe señalar la germinación, nascencia, ahijado, encañado, iniciación florar, plena floración, caída de pétalos, etc.

La **tasa de desarrollo** es la velocidad de avance de los cambios estructurales y funcionales de cada una de las fases de desarrollo.

Se denomina **fase fenológica** a la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de las plantas. Normalmente se considera que tiene lugar cuando se presenta el 50-70% de las unidades. Esto es debido a:

- Las plantas individuales de un cultivo presentan diferentes **tasas de desarrollo** por diferencias en el genotipo
- Diferentes fases de una especie de cultivo se produce en fechas distintas según el clima de cada zona

El espacio comprendido entre dos fases sucesivas se denomina **etapa**.

Uniendo en un mapa todos los puntos en que se produce el comienzo de una fase fenológica en una fecha determinada se obtiene una **mapa fenológico**. Cada curva se denomina **isofena** o **isofana**. La **isofena de la floración** se denomina **isoante**.

En los diferentes cultivos la secuenciación de las fases fenológicas facilita la ejecución de **labores culturales** como la aplicación de herbicidas, insecticidas, fungicidas, fertilizantes, fitoreguladores, etc.

Loomis y Connor (2002): "*Una precisa sincronización solo ocurre, habitualmente con cultivares que tienen una base genética estrecha, como los híbridos F1 del maíz o las líneas puras homocigóticas de especies autógamas tales como el guisante o los cereales de invierno*".

Valor	Fenoestado
0	Germinación
1	Crecimiento de la plántula
2	Ahijado
3	Encañado
4	Zurrón
5	Emergencia de la espiga
6	Antesis
7	Grano lechoso
8	Grano pastoso
9	Madurez



La **escala extendida BBCH** es un sistema que permite una codificación uniforme de identificación fenológica de los distintos estadios de crecimiento para todas las especies (mono- y dicotiledóneas) (Hack et al., 1992).

Es el resultado de unos grupos de trabajo de varios centros de investigación. Está basado en el **código** desarrollado por **Zadoks** et al. (1974). La escala general es la base para todas las especies. Las escalas para cada especie se elaboran a partir de ella.

Agrios/Cítricos Agusti et al., 1995

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los agrios

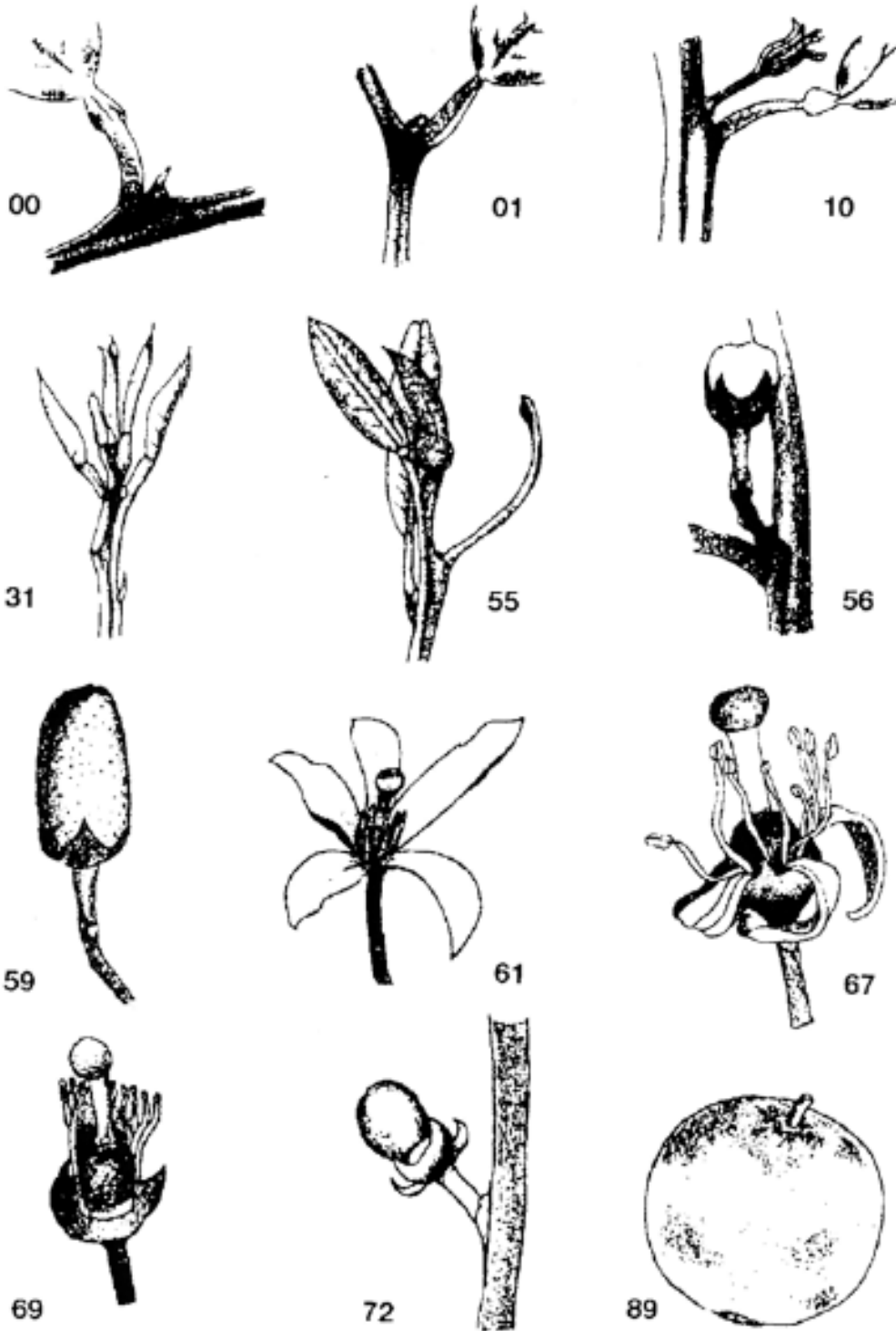
Código	Descripción
Estadio principal 6: Floración	
60	Se abren las primeras flores
61	Comienza la floración: alrededor del 10 % de las flores están abiertas
65	Plena floración: alrededor del 50 % de las flores están abiertas. Empiezan a caer los primeros pétalos.
67	Las flores se marchitan: la mayoría de los pétalos están cayendo
69	Fin de la floración: han caído todos los pétalos.
Estadio principal 7: Desarrollo del fruto	
71	Cuajado: el ovario empieza a crecer; se inicia la caída de frutos jóvenes.
72	El fruto, verde, está rodeado por los sépalos a modo de una corona
73	Algunos frutos amarillean: se inicia la caída fisiológica de frutos.
74	El fruto alcanza alrededor del 40% del tamaño final. Adquieren un color verde oscuro. Finaliza la caída fisiológica de frutos.
79	El fruto alcanza alrededor del 90 % de su tamaño final
Estadio principal 8: Maduración del fruto	
81	El fruto empieza a colorear (cambio de color)
83	El fruto está maduro para ser recolectado, aunque no ha adquirido todavía su color característico.
85	Maduración avanzada: se va incrementando el color característico de cada cultivar.
89	Fruto maduro y apto para el consumo: tiene su sabor y firmeza naturales; comienza la senescencia y la abscisión
Estadio principal 9: Comienzo del reposo vegetativo	
91	Las brotaciones han completado su desarrollo; hojas con su plena coloración verde
95	Las hojas verdes comienzan a caer
97	Reposo vegetativo

Agrios/Cítricos Agusti et al., 1995

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los agrios
(*Citrus spec.*)

Código	Descripción
Estadio principal 0: Desarrollo de las yemas	
00	Reposo: Yemas vegetativas y de inflorescencias indiferenciadas, cerradas y cubiertas de escamas
01	Comienzan a hincharse las yemas
03	Finaliza el hinchamiento de las yemas: las escamas verdes están ligeramente separadas
07	Empieza la apertura de las yemas
09	Los primordios foliares son visibles
Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas	
10	Las primeras hojas empiezan a separarse: las escamas verdes están ligeramente abiertas y las hojas emergiendo
11	Las primeras hojas son visibles ¹⁾
15	Se hacen visibles más hojas, pero sin alcanzar su tamaño final
19	Las hojas alcanzan su tamaño final
Estadio principal 3: Desarrollo de los brotes	
31	Empieza a crecer el brote: se hace visible su tallo
32	Los brotes alcanzan alrededor del 20% de su tamaño final.
39	Los brotes alcanzan alrededor del 90% de su tamaño final
Estadio principal 5: Desarrollo de las flores	
51	Las yemas se hinchan: están cerradas y se hacen visibles las escamas, ligeramente verdes
53	Las yemas revientan: las escamas se separan y se hacen visibles los primordios florales.
55	Las flores se hacen visibles: están todavía cerradas (botón verde) y se distribuyen aisladas o en racimos en inflorescencias con o sin hojas
56	Los pétalos crecen; los sépalos envuelven la mitad de la corola (botón blanco)
57	Los sépalos se abren: se hacen visibles los extremos de los pétalos, todavía cerrados, de color blanco o amoratado
59	La mayoría de las flores, con los pétalos cerrados, forman una bola hueca y alargada
<p>¹⁾ En los agrios el término visible sustituye a desplegado utilizado en otras especies frutales. Este último se produce muy prematuramente en los agrios.</p>	

Agrios (Citrus spec.)



It's product of Georgius Milián Academic all rights reserved ©©

Tasa de desarrollo

La tasa de desarrollo es definida como una **velocidad** de los cambios ocurridos durante el desarrollo, depende de las condiciones ambientales.

Variables climáticas como la **temperatura** o la **radiación** condicionan procesos fisiológicos de la planta como la fotosíntesis o la respiración. En consecuencia, el **suministro de fotoasimilados** puede variar en función de estas variables climáticas.

Por tanto, debe distinguirse entre tiempo fisiológico y tiempo cronológico. En la formación de hojas se distingue entre **plastocrono** (intervalo de tiempo entre la aparición de hojas sucesivas, **tiempo cronológico**) e **Índice de plastocrono** (número de hojas acumulado en cualquier momento, **tiempo fisiológico**).

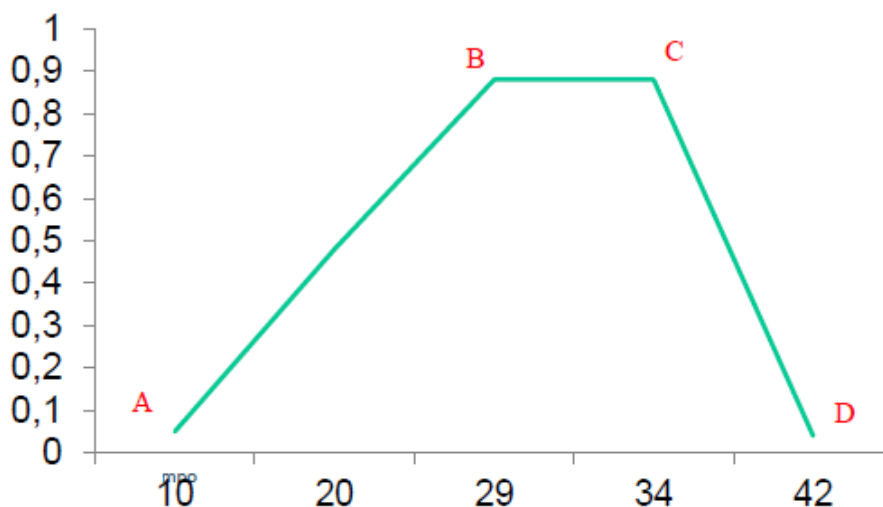
Influencia de la temperatura

La relación entre temperatura y los procesos fisiológicos no es lineal; si bien, pueden realizarse aproximaciones lineales para distintos rangos de temperatura con diferentes pendientes.

Varios autores han estudiado la relación entre tasa de crecimiento y desarrollo del maíz hasta la floración y la temperatura. La función resultante presenta diferentes partes y en concreto se diferencia tres rangos de temperatura.

Inicialmente la correlación entre crecimiento y la temperatura es positiva. A continuación, el crecimiento es constante, y a partir de un umbral de temperatura la pendiente es negativa.

La tasa de crecimiento y desarrollo del maíz hasta la floración en función de la temperatura





Zona BC: Óptima. Las temperaturas A, B, C y D consideradas como cardinales, varían según la especie y el cultivar en cada fenofase.

3. Influencia de la temperatura y del fotoperiodo en el desarrollo

La temperatura y el fotoperiodo son responsables de los cambios que pueden sufrir los meristemas, pasando de la iniciación de hojas a flores.

Por una parte, la **temperatura** y el **fotoperiodo** permiten el **cambio de una yema vegetativa a una yema de flor**, y en consecuencia, muestran la capacidad de inducir a floración a las yemas de las plantas; Además, son factores importantes en la **adaptación a determinados ambientes**.

Fotoperiodo: Control de la floración

El **fotoperiodismo** es la respuesta a la longitud del día de las plantas que se manifiesta en la floración.

Esta es una **respuesta fotomorfológica** como pueden ser otros procesos como la tuberización o la bulbificación, importantes en cultivos como la **patata** o la **cebolla**.

Las plantas se pueden clasificar según su respuesta a la floración en plantas de día largo (**PDL**), de día corto (**PDC**) o día neutro (**PDN**) (indiferentes al fotoperiodo).

Las PDL y PDC pueden presentar **respuestas fotoperiódicas facultativas**, de modo que la *floración es promovida por fotoperiodos cambiantes pero se produce con cualquier fotoperiodo*.

Otras plantas presentan **respuestas fotoperiódicas obligadas**, puesto que *hay duraciones del día por encima (PDC) o por debajo (PDL) de las cuales no florecen*.

Otro criterio de clasificación de las plantas frente al fotoperiodo, permite clasificar las **respuestas al fotoperiodo** en **cuantitativas** o **cualitativas**.

En el primer caso, la mayoría de las plantas responden a longitud del día dentro de un intervalo finito. En cambio, en algunas especies el intervalo dentro del que se produce la respuesta es tan pequeño que, prácticamente, se puede expresar por un solo valor.

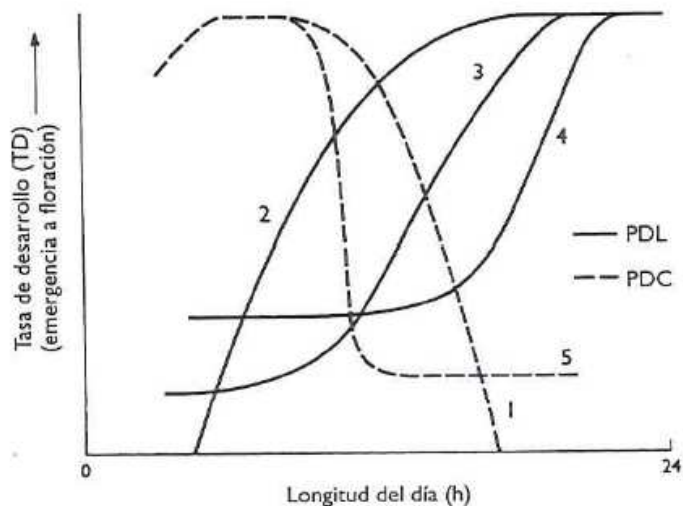


Figura 1. Variación de la tasa de desarrollo (TD) (o emergencia a floración en función de la longitud del día (h).

La respuesta de los cultivares al fotoperiodo debe quedar definida en los programas de mejora vegetal, y para predecir el desarrollo del cultivo en campo.

Se define la sensibilidad fotoperiódica como la pendiente de la tasa de desarrollo frente a la duración del día dentro del intervalo de variación de la respuesta. En las plantas de alta sensibilidad fotoperiódica, los fotoperiodos crítico y umbral coinciden y el intervalo de respuesta a la longitud del día se aproximan a cero.

Dentro de una misma especie pueden encontrarse cultivares con sensibilidades fotoperiódicas diferentes. La consideración de este parámetro resulta muy necesaria en los programas de mejora vegetal para la obtención de nuevos cultivares.

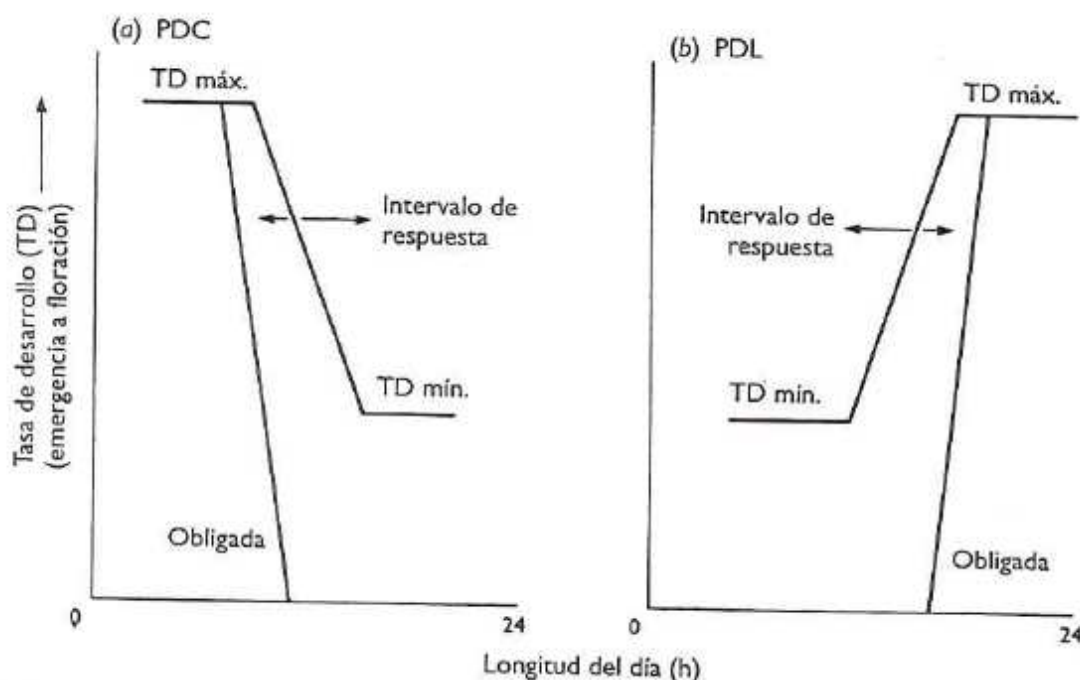


Figura 2. Modelos lineales de respuestas fotoperiódicas obligadas y facultativas de plantas de día corto y de día largo.

Distribución geográfica de las respuestas fenológicas

En líneas generales, se puede indicar que las plantas que provienen de **regiones tropicales** son PDN o bien PDC sin necesidad de vernalización. En cambio, las plantas procedentes de las **latitudes más altas** son PDL o PDL, en ocasiones con respuesta a la vernalización.

A esta regla general, hay excepciones como el **fresón** o el **girasol**, que presenta cultivares de PDL, PDC y PDN, encontrándose en latitudes medias. Son especies muy extendidas.

Vernalización

Es un proceso en el que determinadas respuestas en la planta se encuentran estimuladas o aceleradas por la exposición prolongada a temperaturas bajas de hasta -4°C . Estas respuestas pueden ser la **germinación de las semillas**, la **iniciación de la floración** o la **brotación de las yemas**.

Muchas especies (**anuales**, **bianuales** o **perennes**) presentan necesidades de vernalización para florecer. Esta respuesta a la vernalización puede ser **facultativa** o **absoluta**.

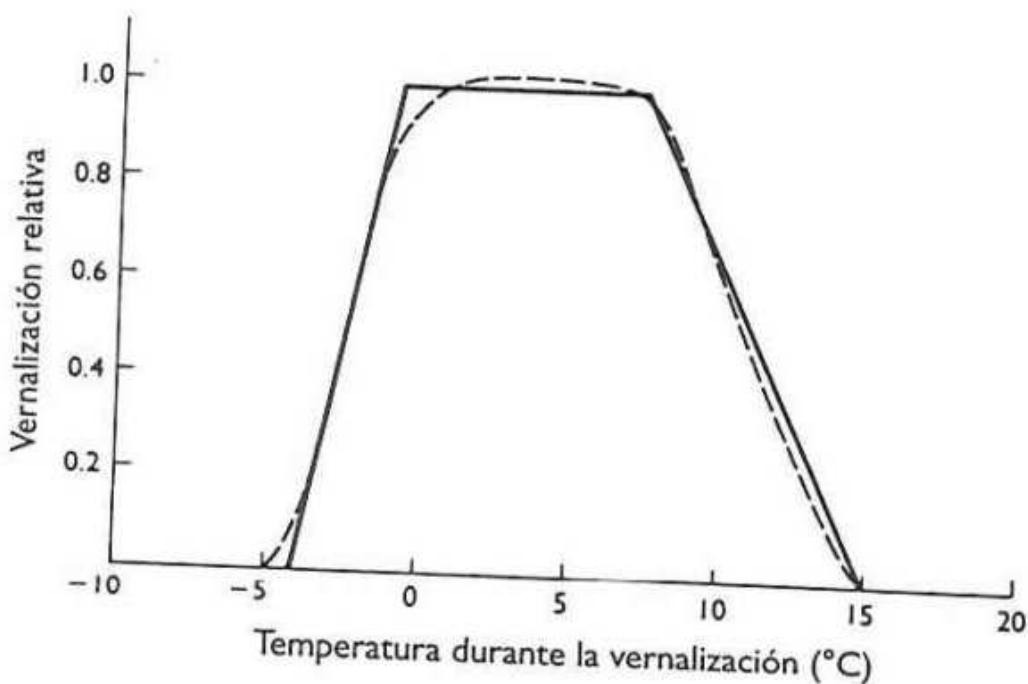
En algunas **plantas bianuales** que se cultivan como anuales, puede producirse una **floración prematura**, depreciando la calidad comercial del producto. En condiciones

del litoral mediterráneo, la producción de col china en los meses de diciembre y marzo requiere la utilización de cubiertas flotantes de Polipropileno (PP) como sistema de protección climática.

En los trasplantes de diciembre pueden alcanzarse temperaturas inferiores a los 10°C durante los primeros estadios, que inducen la subida a floración prematura. Algunas especies, en semilleros presentan floración prematura. También depende de la duración del periodo de bajas temperaturas. En post-recolección continua el crecimiento del talamo floral.

Cereales de invierno

Las plantas son inducidas a floración por la acción de las bajas temperaturas. La exposición a altas temperaturas (>30°C en trigo) intervienen el proceso (**desvernalización**)



Respuesta a la vernalización de la floración de los cereales de invierno.

Interacción entre el fotoperiodo y la vernalización

Las necesidades de vernalización son variables entre diferentes especies de cereales como el trigo, cebada, avena y centeno. Los cultivares de trigo (PDL) se pueden clasificar en:

- Cultivares de invierno
- Cultivares de primavera
- Cultivares intermedios (alternativos)

Trigos de invierno: Presentan una necesidad absoluta de vernalización antes de desarrollarse la fase vegetativa. Estos cultivares se utilizan en climas continentales con inviernos moderados, cuyas temperaturas no limitan su crecimiento. La siembra se realiza en otoño.

Trigos de primavera: No tienen necesidad de vernalización. El desarrollo reproductivo se produce como respuesta a la temperatura y al fotoperiodo. La siembra tienen lugar en primavera, en aquellas regiones donde las temperaturas de invierno son muy bajas. También, pueden sembrarse en primavera en aquellas zonas con inviernos más benignos.

Trigos indiferentes: Se caracterizan por presentar un amplio rango de respuesta facultativa a la vernalización. El desarrollo reproductivo no se encuentra condicionado por la exposición a las bajas temperaturas.

Tipo	Fenofase			
	S-E	E-I	I-A	A-M
Invierno	T	FT, V	FT	T
Intermedio	T	FT, V	FT	T
Primavera	T	FT	FT	T

Respuesta térmica (T), fototérmica (FT) y a la vernalización (V) de los distintos tipos de cultivares de trigo. Todas las respuestas son facultativas excepto la respuesta a la vernalización del trigo en invierno. S-E: Siembra de emergencia, E-I: Emergencia e iniciación floral; I-A: Iniciación floral a antesis; A-M: Antesis a madurez.

El conocimiento de estas respuestas al fotoperiodo y la vernalización resultan necesarias para desarrollar los programas de mejora vegetal y conocer el comportamiento de los cultivares en campo.

	PDC	PDN	PDL
Obligada	Soja	Soja	Avena
Respuesta fotoperiódica	Arroz	Algodón	Ballico
	Judía	Patata	Alpiste
	Maíz	Arroz	Trébol
	Café	Girasol	Fleco
		Tabaco	Espinaca
			Rábano
Facultativa	Soja		Repollo
Respuesta fotoperiódica	Algodón		Cebada de p.
	Caña de azúcar		Trigo de p.
	Arroz		Patata
	Patata		Girasol
	Girasol		
Positiva	Cebolla	Cebolla	Avena de i.
Necesidad de vernalización		Zanahoria	Cebada de i.
		Haba	Ballico
			Trigo de i.
			Remolacha

Respuestas fotoperiódicas

4. Modelo de estimación del desarrollo

Para la **programación de cultivos** resulta conveniente disponer de herramientas de cálculo o estimación que permitan relacionar las variables climáticas con la tasa de desarrollo o de crecimiento de un cultivo.

En este sentido, se utilizan **modelos matemáticos** que relacionan el desarrollo fisiológico con variables como la temperatura. Algunos de estos modelos, como la **integral térmica**, se han utilizado en la **programación de cultivo**, si bien encuentran limitaciones en su aplicación, debidas, fundamentalmente, al error que cometen, lo que reduce el número de cultivos que se adaptan a este modelo.

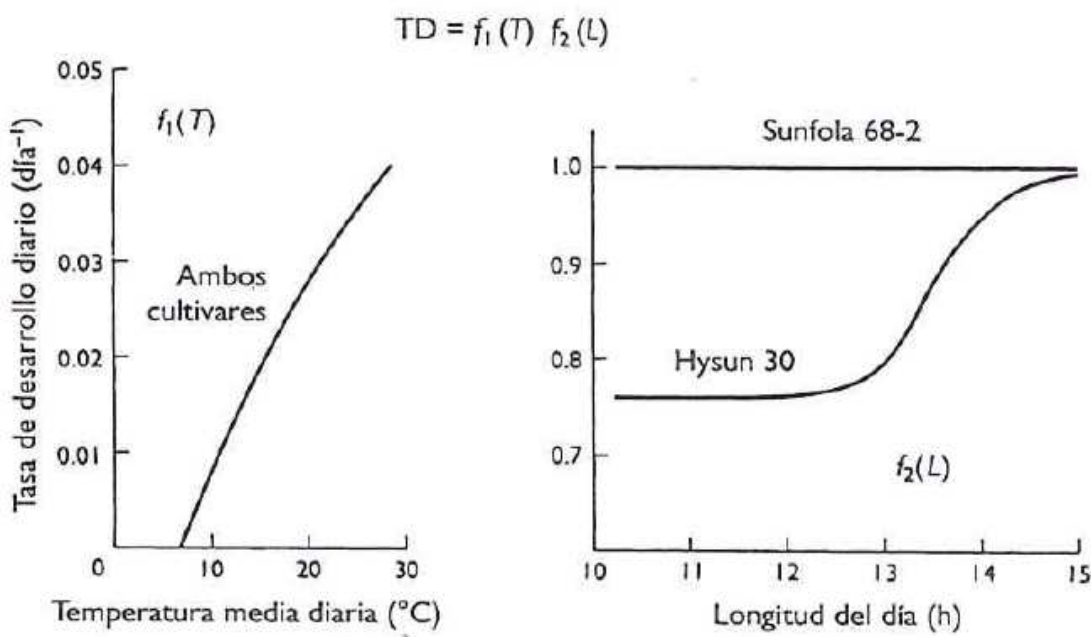
Robertson (1973) estableció una **función multiplicativa** para relacionar la **tasa de desarrollo** (TD) y variables como la **temperatura** (T), la **vernalización** (V) y la **longitud del día** (L).

$$TD = f_1(T) \cdot f_2(V) \cdot f_3(L)$$

Donde:

- $f_1(T)$ función de la temperatura
- $f_2(V)$ función de la vernalización
- $f_3(L)$ función de la longitud del día

Las unidades de la TD son d^{-1} . La fase se completa después de d días, cuando el sumatorio de la tasa de desarrollo es igual a 1.



Tasa de desarrollo diario (TD) de dos cultivares de girasol desde la emergencia hasta la aparición del capítulo en función de la temperatura (T) y de la longitud del día (L).

Reaumer en 1735 estableció un **modelo lineal** para estudiar el desarrollo de las plantas en función de la temperatura.

Este es un modelo térmico que se ha utilizado en la programación de la siembra en los cultivos herbáceos. Este primer estudio relaciona la TD como una función de la temperatura:

$$TD = f_1(T) = (T_d - T_0)/UT$$

Donde:

- T_d : Es la temperatura media diaria
- T_0 : Es el vero de vegetación o temperatura base
- UT : Es el **tiempo térmico o integral térmica**

Si $T_d < T_0$ no hay acumulación de tiempo térmico. La UT son unidades de calor ($^{\circ}\text{C d}$) necesarias para completar la fenofase.

Otro índice fenológico de interés es la integral fototérmica (UFT), que presenta interés para conocer el desarrollo fenológico de las plantas de día largo. Este modelo estima la tasa de desarrollo (TD) en función de la temperatura y de la longitud del día, como una función multiplicativa de dos funciones; de modo, que la TD es el producto de la temperatura media diaria (T_d) y de la duración del día (L) por encima de unos valores de referencia, T_0 y L_0 , respectivamente:

$$TD = f_1(T) \cdot f_3(L) = (T_d - T_0) \cdot (L - L_0)/UFT$$

En esta función no hay acumulación de tiempo fototérmico cuando $T_d < T_0$ ó $L < L_0$

La UT y UFT se determinan de forma empírica utilizando datos obtenidos en el campo y/o laboratorio. Ambas unidades, pueden integrarse en el estudio del desarrollo fisiológico de los cultivos.

Fenofase	Integral	Valor	$T_0(^{\circ}\text{C})$	$L_0(\text{h})$
S-EM	UT	78 $^{\circ}\text{C d}$	3	-
S-EN	UT	315 $^{\circ}\text{C d}$	4	-
EN-Z	UFT	6600 $^{\circ}\text{C d h}$	4	0
S-A	UFT	6846 $^{\circ}\text{C d h}$	2	6
A-M	UT	416 $^{\circ}\text{C d}$	8	-



Integral térmica (UT) y fototérmica (UFT) del desarrollo del cultivar de trigo de primavera Olympic. (S: Siembra; EM: Emergencia; EN: Encañado; Z:Zurrón; A: Antesis; M:Madurez).

En líneas generales, se considera que la UFT *se utiliza para cuantificar los efectos positivos de los incrementos de la temperatura y la longitud del día* en el desarrollo de las **plantas de día largo y de día corto**. Kiniry et al. (1983) estudiaron el desarrollo de algunos **cultivares de maíz** y la respuesta de uno de ellos *desde la emergencia hasta la iniciación de la inflorescencia masculina* se puede expresar de acuerdo con la siguiente función:

$$TD = f_1(T) = (T_d - 8)/290 \quad (10 < L \leq 12.5)$$

$$TD = f_1(T) \cdot f_3(L) = ((T_d - 8)/290) \cdot (1 - 0.074(L - 12.5)) \quad (12.5 < L \leq 17.5)$$

Jorge Cerezo Martínez