



*Capsicum chinense*  
El chile



¿Sabías que *C. chinense* es la planta con los frutos con más intensidad de sabor picante?

Este sabor picante proviene del compuesto químico, **capsaicina**, que es un metabolito\* especializado del género *Capsicum*.



[Dominio público](#) *Capsicum chinense*



## Información general de la especie que produce Capsaicina

La planta productora de capsaicina es *Capsicum chinense* Jacq.<sup>1</sup> Comúnmente conocida como Chile habanero. Es una planta perteneciente a la familia Solanaceae. Esta familia abarca otras especies utilizadas en alimentación, como el tomate, la patata y la berenjena. El sabor picante se cuantifica mediante unidades de Scoville de picor (SHU) y la mayoría de habaneros se encuentran en el rango superior de esta escala. La variedad con mayor sabor picante, catalogada en el libro Guinness de Récorde, fue el creado por una empresa estadounidense en 2013<sup>2</sup>.

### Ampliando la información sobre la Capsaicina...

La capsaicina es un **metabolito especializado** o secundario de plantas del género *Capsicum*. Es un compuesto irritante para los mamíferos (excepto para las aves), y por eso la mayoría de herbívoros evitan consumir esta especie. La capsaicina tiene diversos usos en la sociedad, como por ejemplo en la alimentación y en la producción de medicinas.

***Si quieres conocer los procesos fisiológicos que se esconden tras este record, avanza en el temario***



Dominio público Planta de *C. chinense* con frutos inmaduros. El fruto maduro es de color rojo

<sup>1</sup> The plant list. [consulta 09/03/2020]. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-2698475>

<sup>2</sup> Guinnessworldrecords.com. [consulta 09/03/2020]. Disponible en: <http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/hottest-chili>



Mediante esta planta record se van a abordar los siguientes procesos fisiológicos:

1. Metabolismo especializado o secundario

2. Respuesta de las plantas al estrés ambiental

3. El “lenguaje” de las plantas

## 1.

## Metabolismo especializado

1a. Conceptos básicos para entender el metabolismo

1b. Definición y comparación con metabolismo primario

1c. Clasificación de metabolitos secundarios

1d. Ejemplos de metabolitos secundarios

1.

# Metabolismo especializado

1e.

Importancia económica

1f.

Ejemplos de aplicaciones

1g.

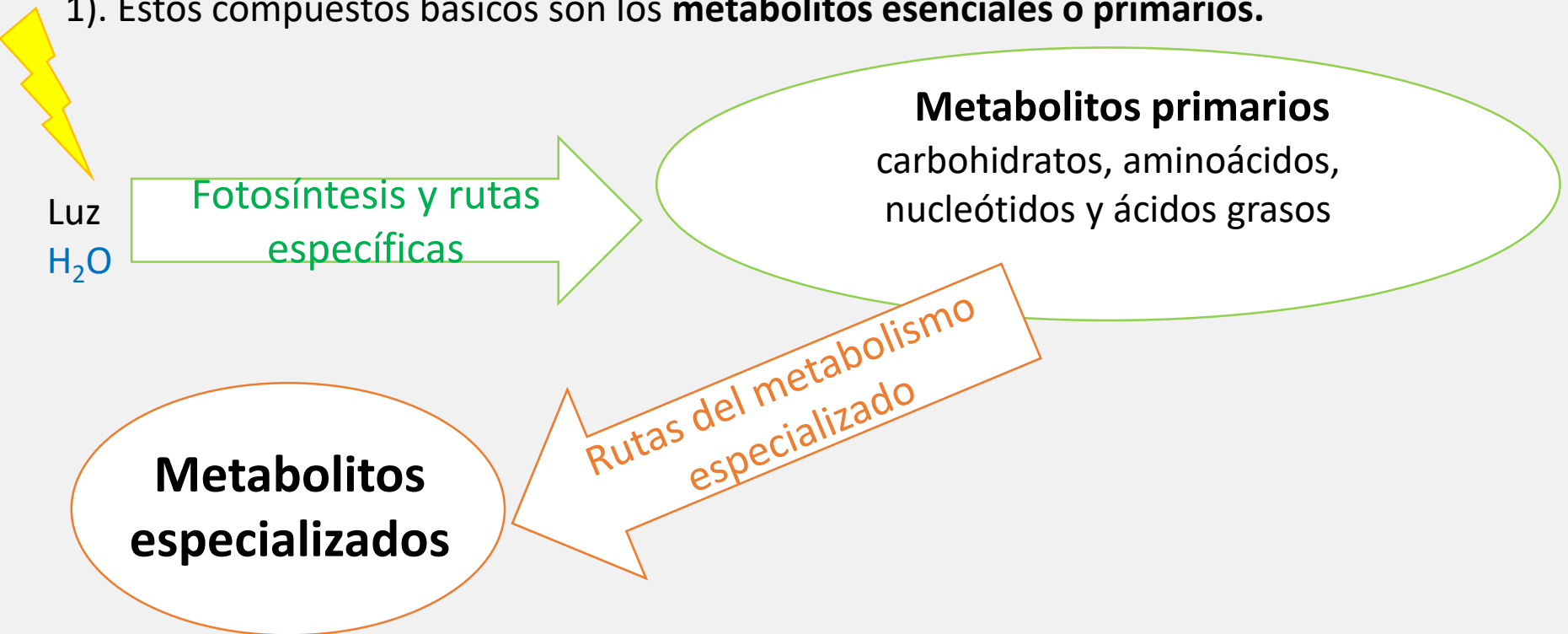
Funciones en las plantas

1h.

Aclarando conceptos

# 1a. Conceptos básicos para entender el metabolismo

Las células vegetales producen carbohidratos, aminoácidos, nucleótidos y ácidos grasos y su polímeros derivados (polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos) mediante diversos procesos (fotosíntesis, glucolisis, ciclo ácidos tricarboxílicos...; ver Tema 1). Estos compuestos básicos son los **metabolitos esenciales o primarios**.



- Los **metabolitos especializados** derivan del metabolismo primario.
- Hay más de 2.000.000 **metabolitos especializados** descritos.
- El metabolismo especializado, también se le denomina metabolismo secundario.

## 1b. Definición y comparación con metabolismo primario

El **metabolismo especializado** es el conjunto de compuestos químicos orgánicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones fundamentales para la supervivencia vegetal, y que en principio no tienen función directa en el desarrollo y crecimiento vegetal (salvo excepciones).

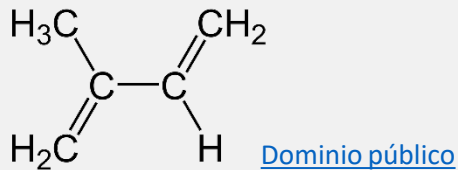
A continuación, se exponen algunas de las diferencias del metabolismo especializado, con el metabolismo primario o esencial.

	<b>METABOLISMO ESENCIAL</b>	<b>METABOLISMO ESPECIALIZADO</b>
<b>Función principal</b>	Metabolismo básico	Gran diversidad de funciones
<b>Producido por</b>	Todas las especies vegetales	Específico de grupos taxonómicos o especies
<b>Ocurre</b>	Todas las situaciones	Situaciones específicas
<b>Lo componen</b>	Carbohidratos, aminoácidos, nucleótidos y ácidos grasos y su polímeros derivados (polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos)	Gran heterogeneidad desde el punto de vista químico (más detalle apartado 1c)



## TERPENOS/ISOPRENOIDES

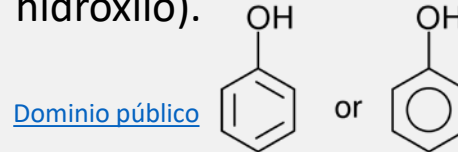
-Estructura química formada por unidades derivadas del isopreno (hidrocarburo de 5 átomos de carbono).



-Los isoprenoides se clasifican de acuerdo con el número de unidades teóricas de isopreno de que se componen: monoterpenos (2 unidades); sesquiterpenos (3 unidades)...  
-Insolubles en agua.  
-El grupo más amplio.

## COMPUESTOS FENÓLICOS

-Estructura química formada por un grupo fenol (anillo aromático + hidroxilo).



-El compuesto básico es el fenol. Sin embargo, estructura química heterogénea.

-La mayoría de los compuestos de este grupo son polifenoles.

-Se clasifican en base al el número de átomos de carbono de su estructura básica.

## COMPUESTOS NITROGENADOS

-Grupo heterogéneo con estructura química compleja pero comparten la presencia de nitrógeno.

-En general, potente efecto farmacológico y médico.  
-Compuestos con gran efecto disuasivo frente a los herbívoros

-El segundo grupo más amplio.

***Si quieres conocer más ejemplos de estos compuestos, avanza en el temario.***

## Isoprenoides: Carotenoides



Imagen propia: R. Esteban

Bosque de árboles caducifolios, en donde se pueden observar el color marrón y anaranjados de las hojas debido a los carotenoides.

Los carotenoides son los metabolitos responsables de la gama de colores amarillo-naranja. Estos colores se deben a las propiedades físico-químicas de estos compuestos. Los carotenoides se pueden encontrar en las hojas, frutos, flores y tegumentos de animales.

## Isoprenoides: Latex



Imagen propia: R. Esteban

Diente de león, planta productora de látex

La especie *Taraxacum officinale* (diente de león) produce látex (indicado por una flecha), producto ampliamente usado comercialmente. El látex, que es un isoprenoide, es producido por todas especies laticíferas (ej. *Euphorbia* sp, *Ficus* sp ...).

## Isoprenoides: Resinas



Imagen propia: R. Esteban

Resina excretada por un árbol

Las resinas son excretadas, generalmente, por árboles. Tienen función ecológica, pero además son valoradas por sus propiedades comerciales, relacionadas con la producción de barnices y perfumes.

## Fenoles: Lignina



La lignina es la segunda sustancia orgánica más abundante en las plantas. Les proporciona soporte, formando parte de la pared celular vegetal. Su importancia radica en que es, junto con la celulosa (polisacárido), el componente mayoritario de la madera.

Tronco cortado de un árbol  
Imagen propia: R. Esteban

## Fenoles: Quercetina

La quercetina es un flavonoide (grupo de compuestos que junto con los carotenoides son los responsables de los colores de flores y frutos). La cebolla roja es rica en este compuesto. Además, la quercetina se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza. Los flavonoides se han relacionado con beneficios en la salud humana.



Manojo de cebollas [Imagen de Dominio Público](#)

## Fenoles: Taninos



Imagen propia: R. Esteban  
Copa de vino tinto. Los taninos son los responsables de la sensación de amargor y aspereza del vino.

Los taninos pertenecen al grupo de los fenoles. En concreto son flavonoides polimerizados (ver descripción en el apartado de fenoles). Suelen tener un olor característico y un sabor amargo. A pesar de su importancia en la industria del vino, son compuestos en general, poco digeribles, incluso tóxicos, y por eso son componentes clave de la defensa de las plantas ante los herbívoros.



# 1d. Ejemplos de metabolitos secundarios

## Compuestos nitrogenados: Cafeína

La cafeína es un alcaloide, que actúa como estimulante del sistema nervioso en humanos. Los alcaloides son un grupo de metabolitos secundarios pertenecientes a los compuestos nitrogenados, que tienen acción fisiológica intensa. Otras bebidas como el té, también presentan alcaloides.



Imagen propia: R. Esteban

Taza de café, bebida con cafeína

## Compuestos nitrogenados: Teobromina

La teobromina es un alcaloide con sabor amargo procedente del árbol del cacao, y por lo tanto, está presente en el chocolate.

Árbol y frutos del árbol del cacao. De estos frutos se obtiene el chocolate



[Dominio público](#)

## Compuestos nitrogenados: Glucosinolatos

Son compuestos responsables del olor y sabor de los vegetales de la familia de las Brassicáceas. A esta familia pertenecen vegetales como el brócoli, el repollo y las coles de Bruselas. Estos compuestos se han relacionado con efectos beneficiosos en nuestra salud.

El brócoli es productor de glucosinolatos



[Dominio Público](#)

## 1e. Importancia económica de los metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios producidos por plantas tienen gran importancia para la sociedad actual, tal y como se ha ido mostrando en las diapositivas anteriores. Pero además, han desempeñado un papel clave en la civilización y historia humana. De hecho, actualmente, existe una rama de biotecnología ambiental, que se basa en la producción de metabolitos secundarios de gran valor comercial.

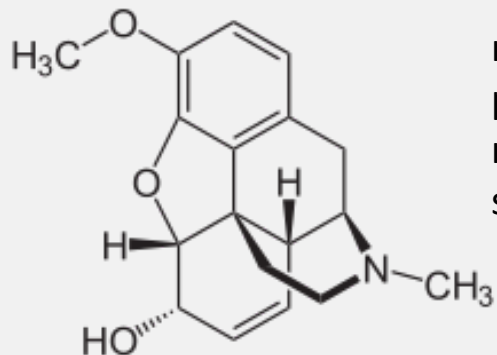
A continuación, se especifican algunos **usos actuales**. Como el uso de los siguientes compuestos:

- Aceites esenciales (son en general terpenos).
- Polifenoles, que contribuyen al sabor, el aroma y el color de alimentos y bebidas.
- Colorantes naturales, como el licopeno (metabolito rojo del tomate) o la curcumina (metabolito amarillo de la cúrcuma).
- Medicamentos, venenos, tranquilizantes y estimulantes provenientes de los metabolitos secundarios.
- Pesticidas derivados de productos del metabolismo secundario.

*Si quieres conocer ejemplos concretos en la sociedad, avanza en el temario.*

## Medicinas

Ej. Codeína (jarabe tos)



Es un alcaloide (compuesto nitrogenado) producido en la planta de opio. Tiene usos médicos como analgésico, sedante y antitusígeno.

Fórmula química de la codeína

[Dominio Público](#)

## Perfumes

Ej. linalool

Es un terpeno volátil común en plantas aromáticas (por ejemplo la lavanda). Ampliamente utilizado para perfumar productos domésticos (ej. jabones, champús...).



Planta de Lavanda productora de linalool

Imagen propia: R. Esteban

## Aditivos alimenticios

Ej. Curcumina

Compuesto purificado aislado a partir de las raíces y los tallos de la planta de la cúrcuma. La curcumina es un compuesto fenólico. Proporciona el color amarillo y es ampliamente utilizado como aditivo alimenticio en la elaboración de la mostaza comercial. Se cataloga con el código alimentario de E 100.

Planta de cúrcuma (izquierda) productora de curcumina (derecha)



[Dominio público](#)

Imagen propia: R. Esteban



## ***Insecticidas y pesticidas***

Ej. piretrinas

Compuesto que se encuentran de modo natural en las flores de plantas del género *Chrysanthemum*. Las piretrinas tienen actividad insecticida y poca persistencia ambiental. Un ejemplo de su uso son los productos comerciales para tratar los piojos.

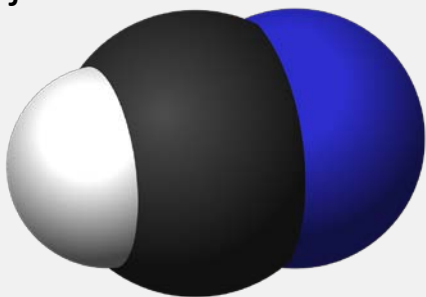


[Dominio público](#)

Plantas de crisantemos

## ***Venenos***

Ej. Cianuro



[Dominio público](#)

El cianuro es un potente veneno procedente de plantas. Está presente en forma natural en algunos alimentos como las almendras. Es utilizado en el ámbito industrial y minero (ej. uso en la producción de plásticos). Es muy tóxico y potencialmente mortal.

Modelo de molécula de cianuro

## ***Vitaminas***

Ej.  $\alpha$ -tocoferol-Vitamina E

El  $\alpha$ -tocoferol es un isoprenoide con función antioxidante, tanto en plantas como en mamíferos.

Muchos de los isoprenoides en plantas, son nuestras vitaminas. El  $\alpha$ -tocoferol es nuestra vitamina E. El aceite de oliva es rico en  $\alpha$ -tocoferol, y por lo tanto en vitamina E.



Imagen propia: R. Esteban

Botella con aceite de oliva

A continuación, se especifican algunas de las funciones generales de los metabolitos especializados en las plantas.

### ECOLÓGICA

- Atracción de polinizadores para la dispersión de polen y semillas.
- Inhibidores del crecimiento de otros organismos vegetales (mediante sustancias alelopáticas).
- Sistema de defensa frente al ataque de patógenos.
- Protección frente a patógenos.

### FISIOLÓGICA

- Señalización y regulación del crecimiento.
- Captación de energía para realizar la fotosíntesis.
- Estabilización de las membranas celulares.
- Defensa de las plantas ante estreses ambientales (**ver apartado 2**)
- Soporte mecánico.
- Absorción radiación ultravioleta.

### OTRAS

- Comunicación planta-planta, comunicación planta-microorganismo, comunicación planta-animal (más detalle en el **apartado 3**).



Mariposa monarca atraída por una inflorescencia

Imagen propia: R. Esteban

*Si quieres conocer más sobre las funciones en los vegetales, avanza en el temario a los apartados 2 y 3.*

- **¿Por qué se llaman compuestos secundarios si son compuestos importantes?**

Los compuestos secundarios se llaman secundarios porque no son necesarios para todo el metabolismo básico. Sin embargo son importantes y fundamentales para las plantas y para todos los organismos vivos. Por eso se adoptó el nombre de compuestos especializados, ya que su función como compuestos secundarios quedó desfasada. En resumen, los productos secundarios, son cualquier cosa, menos secundarios en importancia.

- **¿Son las plantas ricas en compuestos bioquímicos?**

Sí. Las plantas poseen un importante arsenal bioquímico. En este tema sólo se han expuesto algunos ejemplos.

- **¿Es el metabolismo secundario exclusivo de las plantas?**

No. Otros organismos como los hongos, bacterias, protistas y algunos invertebrados también lo poseen.

- **¿Por qué producen metabolitos secundarios las plantas?**

Para cumplir las funciones que se muestran en el apartado 1g. Es decir, las plantas producen estos compuestos como solución a sus problemas, y no para solucionar los problemas de los humanos. Nosotros nos hemos beneficiado de estos productos.

## 2. Respuesta de las plantas al estrés ambiental

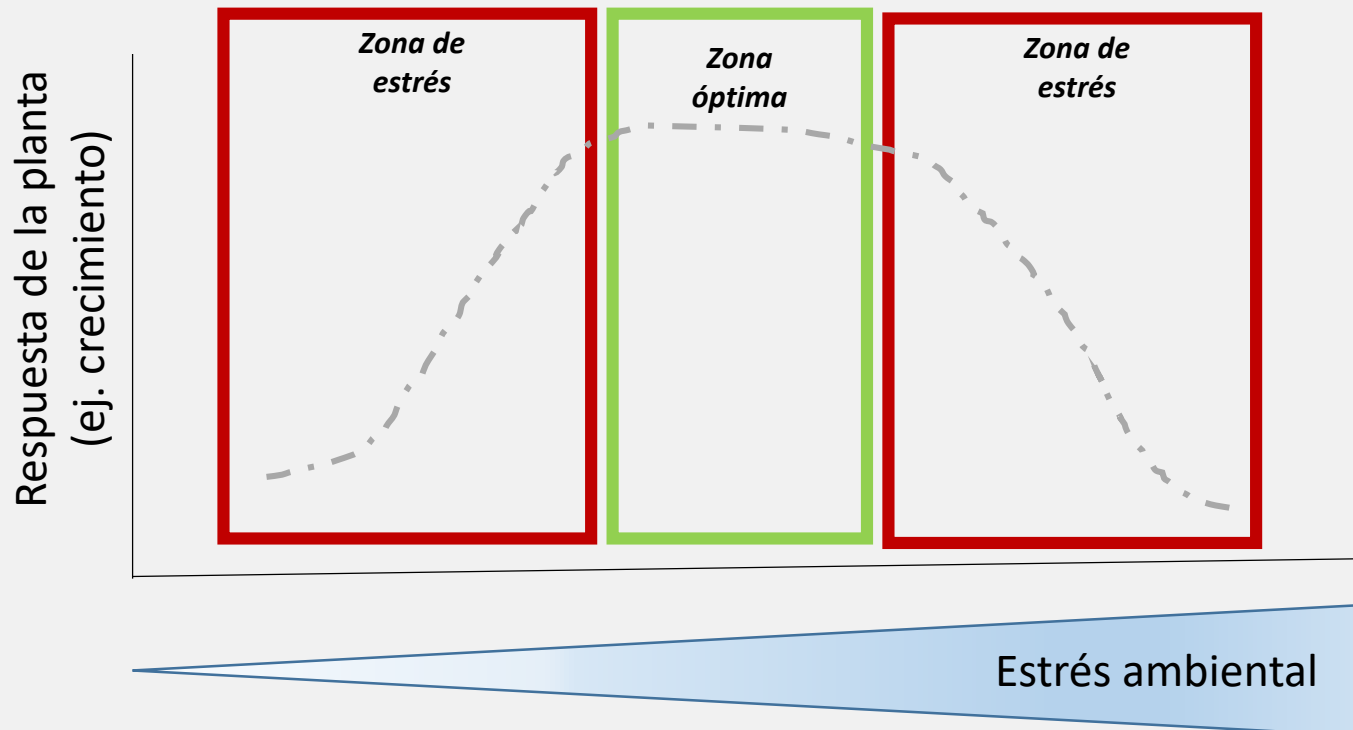
2a.

Definición de estrés vegetal

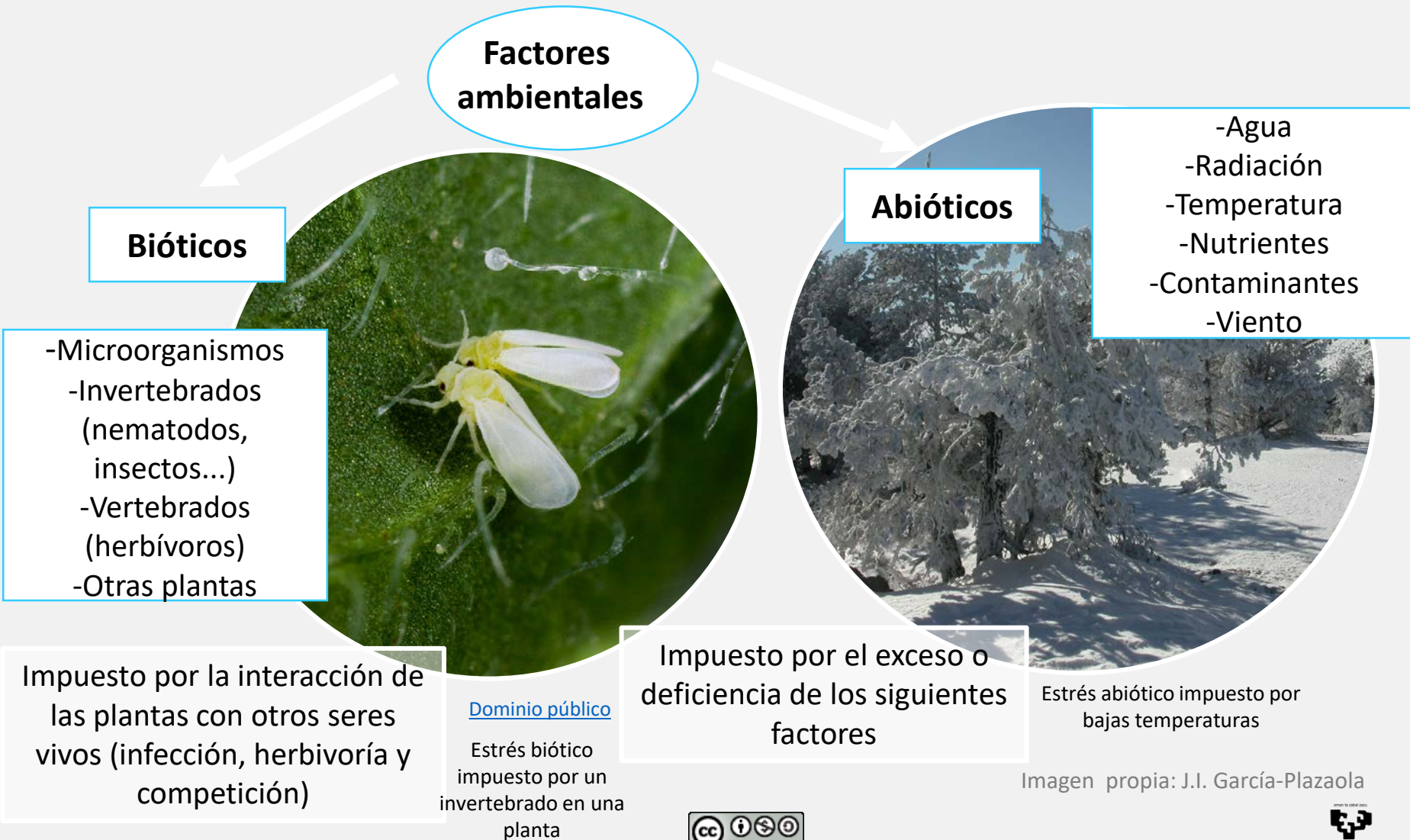
2b.

Ejemplo de metabolitos especializados en respuesta al estrés ambiental

- Las plantas son organismo sésiles (no puede escapar huyendo), y por lo tanto, están expuestos a los **factores ambientales**.
- Estos factores ambientales imponen condiciones desfavorables para las plantas cuando están fuera del rango óptimo (rectángulo verde), y por lo tanto influyen negativamente en el funcionamiento y desarrollo óptimo vegetal (desviación de zona óptima; rectángulos rojos). A este concepto se le denomina **ESTRÉS VEGETAL**.
- Las plantas casi nunca están en condiciones o intensidades óptimas. Curiosamente, la situación de zona óptima es una excepción (ver Tema 4)

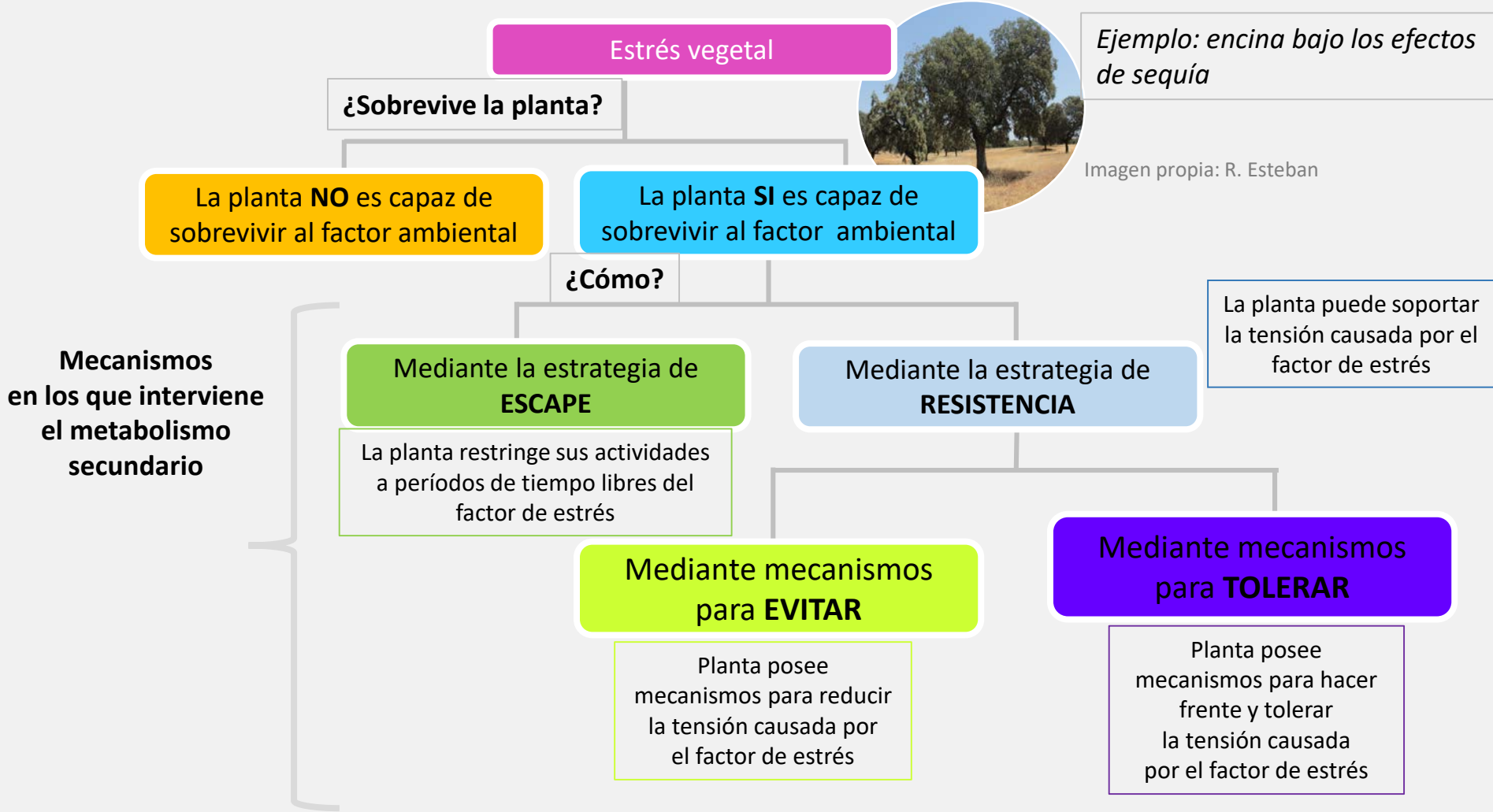


El **ESTRÉS VEGETAL** se produce por los factores ambientales, que pueden ser bióticos o abióticos.





Frente al estrés ambiental hay una **respuesta** por parte de la planta



2b.

## Ejemplo de metabolitos especializados en respuesta al estrés ambiental

### *Isoprenoides-Carotenoides*

Proteger frente al exceso de luz (estrés abiótico)



Las plantas reciben más luz de las que son capaces de absorber, lo cual puede conllevar a la acumulación de especies reactivas de oxígeno y dañar por lo tanto las células vegetales. En este sentido, los carotenoides están implicados en los mecanismos para RESISTIR este estrés generado por la alta irradiación. Esta protección es clave en la supervivencia vegetal.

Plantas de diente de león expuestas a alta irradiación. La foto es una imagen de 180°, obtenida con un objetivo de ojo de pez  
Imagen propia: R. Esteban

### *Compuestos fenólicos-Flavonoides*

Proteger frente a la radiación UV y además protección microbiana.

Doble función

Estos compuestos se acumulan en la primera capa de células y componen la primera defensa frente a los microorganismos. Actúan como agentes antimicrobianos. Además, absorben la radiación UV-B, previniendo que alcance el interior de la célula, evitando que dañe el DNA. En este sentido, los compuestos fenólicos de la superficie de las hojas son como las gafas de sol de las plantas o la crema de sol vegetal.



Planta herbácea con compuestos fenólicos en sus hojas

Imagen propia: JI Garcia- Plazaola

## Ejemplo de metabolitos especializados en respuesta al estrés ambiental

### ***Compuestos nitrogenados-Alcaloides***

Proteger frente al ataque de herbívoros (estrés biótico)



[Dominio Público](#)

Herbívoro alimentándose

Los alcaloides tienen efectos fisiológicos dramáticos en animales y por eso son una defensa anti-herbívoros. El objetivo de estos alcaloides es evitar el estrés biótico. Curiosamente, estos componentes químicos se pueden incluso sintetizar tras el daño inicial provocado por herbívoros, fortificando la planta contra el ataque posterior. Por ejemplo, *Nicotiana attenuata*, un tabaco silvestre, produce niveles más altos de nicotina (alcaloide) después del primer ataque de herbívoros.

### ***Isoprenoides-Hormonas***

Proteger frente a la sequía (estrés abiótico)

Los estomas son los responsables del intercambio de gases de la fotosíntesis (más información tema 1). Sin embargo, debido a la transpiración (tema 2), la planta pierde parte del agua absorbida por las raíces. En situaciones de estrés hídrico la planta cierra los estomas para evitar las pérdidas de agua. Es decir, comienza una estrategia conservadora, para evitar el estrés. En este cierre estomático, participa la fitohormona del ácido abscísico (tema 1), que es un isoprenoide. Esta hormona, participa en otros estreses tanto bióticos como abióticos.

# 3. El “lenguaje” de las plantas

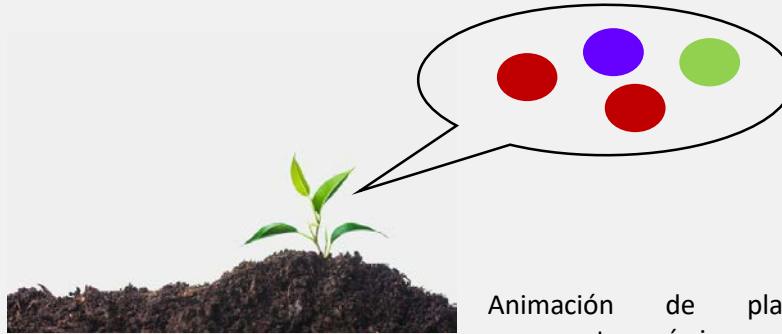
3a.

Definición de “lenguaje” de las plantas

3b.

Ejemplo de metabolitos secundarios que participan en el “lenguaje” de las plantas

Como hemos visto en las secciones anteriores, el metabolismo especializado es todo “un mundo” de señales químicas. Estas señales químicas permiten a las plantas comunicarse con su entorno. Debemos entender la comunicación o el “lenguaje” de las plantas como una **comunicación química**, en la que un emisor (la planta) emite señales (metabolitos secundarios) que aportan información a un receptor (ej. otra planta, invertebrados, microorganismos). Cada especie de planta es capaz de sintetizar un conjunto único de compuestos químicos para establecer con éxito la comunicación.



[Planta Diseñada por freepik](#)

Animación de planta emitiendo compuestos químicos.

Estos mecanismos de comunicación química son relativamente recientes, y están bajo investigación activa. Hay muchas preguntas sin resolver.

***Si quieres conocer casos concretos, avanza en el temario.***

3b.

## Ejemplo de metabolitos secundarios que participan en el “lenguaje” de las plantas

### ***Polinización—compuestos volátiles (olor), flavonoides y terpenos (color)***

#### Las flores avisan a los polinizadores

Las plantas emiten compuestos volátiles biogénicos (BVOCs) para atraer a los polinizadores. Además, tanto los terpenos, como los flavonoides (que proporcionan color a las flores), ayudan en esta función de atracción. Los BVOCs son compuestos de metabolitos secundarios químicamente diversos. En la actualidad se han identificado cerca de 2000 moléculas diferentes, pero esta lista crece continuamente con el aumento del número de especies que se examinan, junto con el desarrollo de métodos analíticos más precisos. La importancia general de los BVOCs para el rendimiento de la planta es evidente; de hecho, se ha estimado que alrededor del 10% del carbono fijado durante la fotosíntesis se dirige hacia su síntesis, lo que implica que tiene gran importancia en el funcionamiento de la planta.



Mariposa atraída por la flor

Imagen propia: R. Esteban



3b.

## Ejemplo de metabolitos secundarios que participan en el “lenguaje” de las plantas

### ***Alelopatías- compuestos volátiles***

#### Las plantas evitan a los competidores

La competencia con las plantas vecinas por recursos como la luz, el agua y los nutrientes, es uno de los estreses más comunes que una planta tiene que enfrentar. Los compuestos volátiles cumplen un papel importante en la comunicación planta-planta, ya que los BVOCs pueden actuar como aleloquímicos y también como señales de detección vecinas, proporcionando información sobre competidores potenciales. Un ejemplo es la encina que emite  $\alpha$ -pineno (BVOCs) en la rizosfera y suelo cercano a sus raíces, inhibiendo la germinación de otras especies vecinas, y asegurándose los recursos.



Encina de la dehesa extremeña.

Imagen propia: R. Esteban

3b.

## Ejemplo de metabolitos secundarios que participan en el “lenguaje” de las plantas

### ***Interacción planta-microorganismos beneficiosos***

Las plantas establecen cuando quieren establecer relaciones beneficiosas (simbiosis) con microorganismos mediante flavonoides

El establecimiento de una simbiosis entre microorganismo y raíz de una planta es la relación positiva que se da para ambas partes. En este sentido, muchas plantas leguminosas (ej. guisante, alubia...) establecen simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, para así poder utilizar el nitrógeno atmosférico. Para que ocurra este proceso las raíces de las leguminosas liberan flavonoides (compuestos fenólicos) que activan todo el proceso para la formación de los nódulos (prominencia en las raíces) y comience la simbiosis.



Raíces de una planta leguminosa  
Imagen propia: R. Esteban

### ***Aviso de estrés ambiental mediante BVOCs***

Las plantas avisan a sus vecinas del estrés abiótico

Algunos BVOCS también pueden proteger las plantas contra el estrés abiótico, como la luz alta, la temperatura o el estrés oxidativo. De esta manera, las otras plantas tienen tiempo de activar sus mecanismos para protegerse frente a ese estrés.



Señal de peligro [Dominio público](#)

## Lista de verificación: ¿he alcanzado los resultados de aprendizaje?

Mediante la planta del Chile habanero se ha abordado el tema de la producción de los metabolitos secundarios en el mundo vegetal, así como su función en las plantas. Comprueba la siguiente lista de verificación. Si eres capaz de contestar a las preguntas, puedes **comenzar con los ejercicios**. Si no eres capaz, **debes volver a repasar el temario**, antes de realizar los ejercicios propuestos:



[Dominio público](#)

- ¿Qué son los metabolitos secundarios o especializados? (sección 1a).
- ¿En qué se diferencia el metabolismo básico del especializado? (sección 1b).
- ¿Cuáles son los tres grupos de metabolitos secundarios? (sección 1c).
- ¿Podrías indicar un ejemplo de cada uno de los grupos de metabolitos secundarios?(sección 1d).
- ¿Tienen estos compuestos usos aplicados en la sociedad? (sección 1e).
- ¿Podrías indicar un ejemplo de uso para cada tipo de metabolito secundario? (sección 1f).

- ¿Cuáles son las funciones de estos compuestos en las plantas? (sección 1g).
- ¿Cuál es la relación de los metabolitos secundarios y el estrés vegetal? (sección 2).
- ¿Qué es el estrés vegetal? (sección 2a).
- ¿Podrías indicar un ejemplo ? (sección 2b).
- ¿Cuál es la relación de los metabolitos secundarios y la comunicación? (sección 3).
- ¿Qué es la comunicación de las plantas? (sección 3a).
- ¿Podrías indicar un ejemplo de esta comunicación? (sección 3b).