



En 1828 los estudiantes alemanes Posselt y Reimann publicaron un estudio escrito en latín, cuyo título era “*De Nicotiniana*” (“Sobre la planta de tabaco”) que analizaba el ingrediente activo en las hojas de tabaco: la 3-(1-metil-2-pirrolidinil)-piridina, mejor conocida como nicotina. Esta planta, de la familia de las solanáceas, que por cierto también florece maravillosamente en Europa, es originaria de América. Fue en el Siglo XVI cuando Jean Nicot la llevó a la corte francesa. Su apellido no sólo sirvió de inspiración para el nombre botánico del tabaco, *Nicotiana*

nervioso autónomo y libera catecolaminas (adrenalina, entre otras) a través de la médula suprarrenal. En Europa central, la planta de tabaco se utilizó en un primer momento con fines medicinales, pero más tarde se puso de moda como estimulante.

La planta utiliza la nicotina como sustancia de defensa para no quedar a merced de los herbívoros, ya que echa raíces en el suelo y no puede huir de sus enemigos. Los metabolitos tóxicos reducen la palatabilidad y por lo tanto, actúan como protección ante la herbi-

## Glotonería controlada

### Cómo las plantas engañan a sus plagas

*tabacum*, sino también para la nicotina, el principal ingrediente activo, que es una de las toxinas vegetales más potentes y es producida en las raíces de la planta. Desde allí, es transportada hasta las hojas. La dosis letal para los seres humanos es de 1 mg por kg de masa corporal. Al fumar, este valor no se alcanza, porque el hígado descompone la nicotina muy rápidamente. Sin embargo, si se ingiriera de una sola vez la cantidad contenida en un cigarrillo, la consecuencia sería una grave intoxicación. En pequeñas dosis, la nicotina estimula los ganglios del sistema

voría. La producción de toxinas es “cosa de familia” dentro de las solanáceas: la belladona, la dulcamara y el beleño pertenecen a ella. Otro ejemplo son las umbelíferas; en la antigüedad, se ejecutaba a los criminales con una poción obtenida de los frutos de la cicuta (*Conium maculatum*). Una víctima emblemática fue el filósofo griego Sócrates. En un envenenamiento, la conina presente en los frutos hace que una parálisis ascienda desde los pies por la médula espinal, conduciendo eventualmente a la muerte por parálisis res-



A

El gusano cornudo del tabaco, *Manduca sexta*.



© Instituto Max Planck de Ecología Química, Jena

nicotina es parte de las **defensas directas**: cuando mamíferos como conejos mastican las hojas, la planta incrementa rápidamente la producción de nicotina en respuesta a esta lesión.

Sin embargo, este aumento en la síntesis de la nicotina en *Nicotiana attenuata* insume muchos recursos y desacelera su desarrollo (ver Biomax 7). Por otra parte, los insectos herbívoros logran adaptarse muy rápidamente a los mecanismos de defensa química, alterando los metabolitos secundarios vegetales en favor de su propia protección. Los gusanos cornudos del tabaco, *Manduca sexta*, (Fig. A) han logrado adaptarse bioquímicamente a la toxicidad de la planta huésped: guardan la nicotina en la hemolinfa (su líquido circulatorio), para así protegerse de la avispa endoparásita *Cotesia congregata*, cuyas larvas ya no podrán desarrollarse.

### ESTRATEGIAS DE DISUASIÓN INTELIGENTES

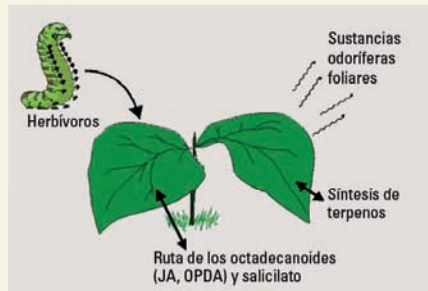
Las larvas de escarabajos de la hoja (crisomélidos) que, por ejemplo, viven en álamos y sauces, seleccionan de su alimento vegetal determinados precursores unidos a azúcares (enlaces glucosídicos) convirtiéndolos en compuestos tóxicos que almacenan en glándulas de defensa (salicilaldehído e iridoides). En caso de amenaza, el insecto deja salir las secreciones venenosas de un par de glándulas dorsales para disuadir a los agresores. Una vez desaparecido el peligro, las preciadas gotas son reabsorbidas al interior de la glándula de defensa. Proteínas de transporte infiltran los glucósidos vegetales a través del intestino y de la membrana que la recubre. Entre la hemolinfa y la glándula, la concentración se incrementa unas 500 veces.

▲ Después de los incendios en los desiertos del sudoeste de Estados Unidos, el tabaco silvestre aparece en grandes poblaciones. Señales químicas en el humo activan la germinación de sus semillas, que poseen una viabilidad prolongada. Esto conduce a un rápido crecimiento sobre los suelos enriquecidos con el nitrógeno contenido en las cenizas.

→ pirataria. La víctima permanece plenamente consciente mientras muere asfixiada.

Todas estas sustancias tóxicas son productos del **metabolismo secundario de las plantas** (el primario proporciona los metabolitos esenciales como aminoácidos, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos). Éste produce una serie de compuestos químicamente muy diferentes cuya función, hasta ahora, pudo ser probada sólo en algunos casos (sustancias de defensa, de señal, fotoreceptores o fitohormonas). Actualmente se conocen más de 100 mil **sustancias naturales** diferentes; los investigadores estiman que el número real excede las 500 mil. La búsqueda de nuevos compuestos es impulsada por la diversidad de posibles aplicaciones en farmacéutica, medicina y agricultura. Tanto la aspirina para la medicina, como las piretrinas en agricultura, son ejemplos del éxito en la aplicación de sustancias naturales (o productos derivados de ellas) a nivel mundial. Por cierto, casi 2000 años atrás, los chinos ya usaban un polvo de flores de crisantemo disecadas para el control de insectos. El ingrediente activo era la piretrina.

El tabaco silvestre, *Nicotiana attenuata*, es objeto de investigaciones en el Instituto Max Planck de Ecología Química en Jena. Aparece esporádicamente en grandes poblaciones, después de los incendios en desiertos del sudoeste de Estados Unidos (Fig. B). Como planta pionera en la sucesión primaria de este ambiente, tiene que defenderse de numerosos agentes patógenos (por ejemplo, hongos) y de herbívoros. La producción de



© Instituto Max Planck de Ecología Química, Jena

► **Recolección de sustancias odoríferas:** en *Nicotiana attenuata*, las sustancias odoríferas vienen de al menos tres cadenas de reacciones bioquímicas. Además de las fragancias foliares volátiles, se encuentran terpenoides y un grupo de sustancias odoríferas, dentro de las cuales está el salicilato de metilo.

¿Posee la planta de tabaco otras estrategias para preservarse de una plaga especializada como *Manduca sexta*? A mediados de 1990, investigadores americanos demostraron que, mediante señales aromáticas, las plantas de maíz dañadas por insectos herbívoros atraían a avispas parásitas que depositan sus larvas sobre éstos, ocasionando su muerte antes de que generen daños significativos a la planta (véase Biomax 7). La liberación de compuestos volátiles en respuesta a la herbivoría, es uno de los mecanismos que los investigadores definen como **defensa indirecta**. Así, las plantas afectadas indican el camino hacia los insectos plaga, brindando una ayuda a sus enemigos (depredadores o parásitos) en la búsqueda de su presa.

### “TIENE QUE HABER QUÍMICA”

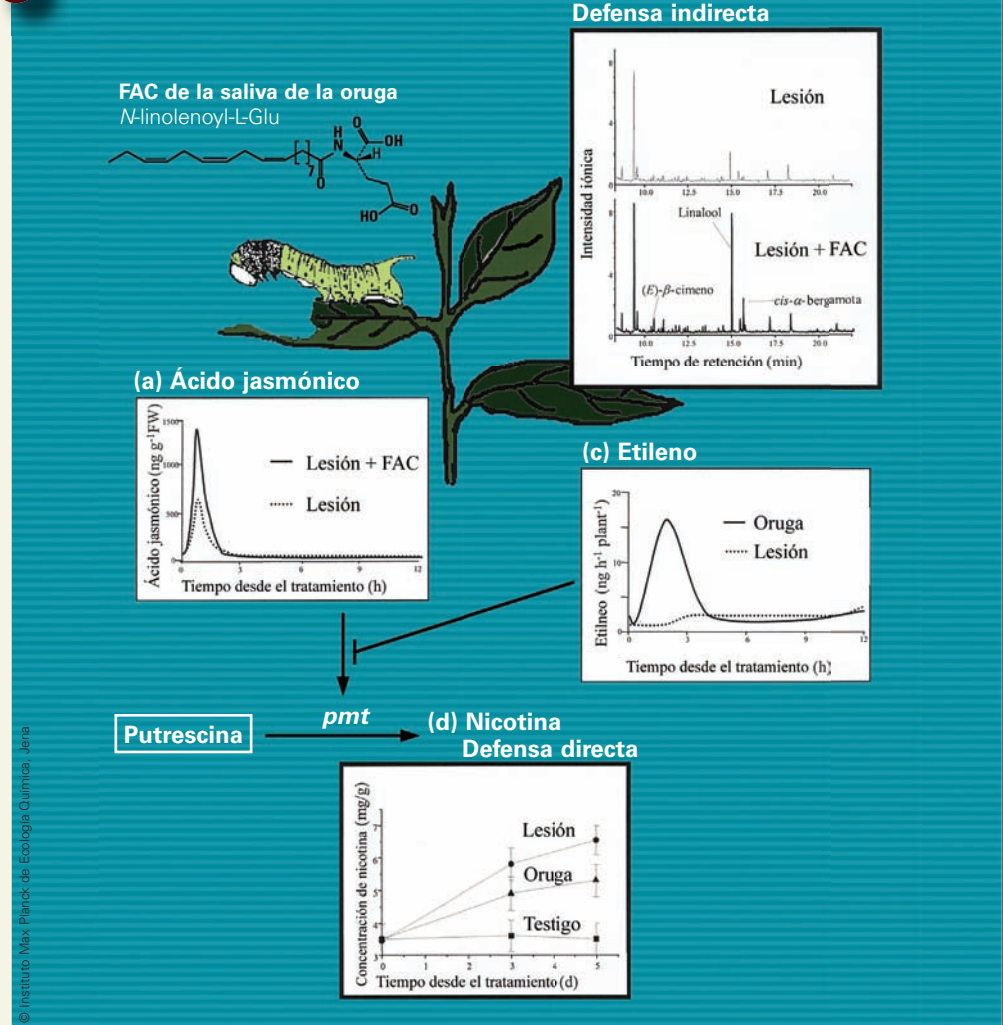
Para actuar como señal que oriente a los depredadores en busca de alimento, las sustancias odoríferas deben proporcionar información fidedigna sobre la actividad, presencia y tipo de plagas. Los científicos de Jena analizaron varias de esas sustancias en diferentes especies vegetales y encontraron que, junto a una serie de sustancias convencionales, había otras específicamente relacionadas a ciertas especies de insectos herbívoros (Fig. C). En *Nicotiana attenuata*, las sustancias odoríferas provienen de al menos tres cadenas de reacciones bioquímicas. Además de las llamadas fragancias foliares (alcoholes y aldehídos C6), se encuentran terpenoides y un grupo de sustancias odoríferas, dentro del cual está el salicilato de metilo.

Mientras que después de un daño mecánico, la liberación de las fragancias foliares en seguida aumenta de forma temporal y local, los terpenoides y el salicilato de metilo son entregados recién unas horas después (suponiendo que un herbívoro ha dañado el tejido de la planta o la saliva de éste se aplicó a



▲ La respuesta inmune específica de las plantas es provocada por sustancias salivales de la oruga. Para el análisis en el laboratorio basta con una gota de esta secreción, que se absorbe con un pequeño tubo capilar.

E



▲ Una lesión causada por la actividad alimenticia de larvas de *Manduca sexta*, conduce a un aumento en la concentración de ácido jasmónico, una fitohormona reparadora (a), e incluso mucho más de lo que una lesión mecánica de tejidos causaría, provocando la formación de sustancias odoríferas que atraen a los depredadores (b). Además, las secreciones salivales de la oruga generan un fuerte aumento del etileno (c), que retrasa la producción de nicotina inducida por el ácido jasmónico (comparación entre plantas con lesión mecánica, por herbivoría y el testigo (d)), ya que la transcripción del gen PMT, un importante paso en la síntesis de nicotina, está suprimida.

la lesión). El “mix aromático” que la planta produce, depende del tipo de herbívoro. Por ejemplo se puede diferenciar la mezcla de sustancias odoríferas solo por la proporción de las sustancias. Los investigadores alteraron componentes individuales de la señal odorífera de *Nicotiana attenuata*: sólo las sustancias odoríferas auténticas de la planta atrajeron al predador *Geocoris pallens* o chinche asesina. Ella es responsable de cerca del 95% de la mortalidad del gusano del tabaco, e incluso ataca otras plagas del tabaco silvestre como hemípteros herbívoros y alticinos. La especificidad de la señal se basa en el tipo de daño sufrido por un herbívoro en particular. Con gran perspicacia, el director del Instituto de Jena, Ian Baldwin, y sus colaboradores, buscaron identificar a los desencadenantes químicos (elicitores): la

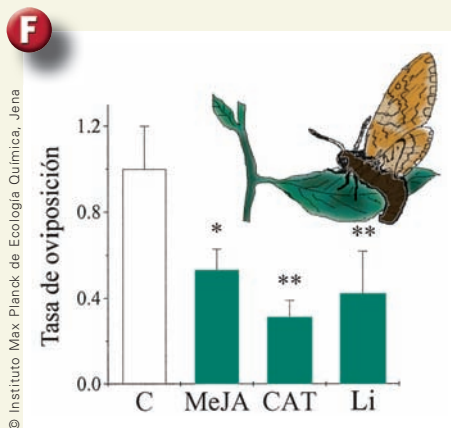
oruga es estimulada mediante una suave presión de pinza, para que entregue una gota de líquido que es recogida con un tubo capilar (Fig. D). Para los bioquímicos es suficiente con apenas un microlitro de secreción, gracias a la sensibilidad de la técnica analítica. De esta gota, los investigadores aislaron los denominados amino-ácidos-grasos (FAC, por su sigla en alemán). Si se los retira de la secreción, la planta no reacciona con el suministro habitual de compuestos volátiles específicos. Pero si se los incorpora nuevamente, puede restaurarse el efecto de la saliva.

En un experimento, los científicos simulaban una infestación del gusano cornudo del tabaco, *Manduca sexta*, mediante la aplicación de las secreciones salivales sobre una lesión del tejido foliar y observaron los cambios →

→ químicos en la planta: en primer lugar aumenta la concentración del ácido jasmónico, una fitohormona reparadora, e incluso mucho más de lo que una lesión mecánica de tejidos causaría. Luego la planta produce sustancias odoríferas. Además, las secreciones salivales generan un fuerte aumento del etileno que, a su vez, retrasa la producción de nicotina inducida por el ácido jasmónico. Sucede que el etileno reduce la tasa de transcripción de genes importantes para la síntesis de nicotina (Fig. E).

Entonces, como respuesta a un ataque del gusano del tabaco, las plantas regulan su defensa directa (la nicotina tóxica) hacia abajo, mientras que activan la defensa indirecta (emisión de una señal odorífera). El resultado: la larva de *Manduca sexta* es más palatable para los depredadores, debido a que disminuyó la concentración de nicotina en la hemolinfa, y además, es más fácil de localizar, gracias a la emisión de sustancias odoríferas. Efectivamente, la chinche asesina *Geocoris pallens* ataca a los huevos de *Manduca sexta* y sus primeros estadios larvales de 5 a 7 veces más, si la planta en su ambiente natural fue tratada con sustancias odoríferas específicas. Debido a que *Geocoris pallens* ataca a las larvas del gusano del tabaco en su desarrollo temprano, es decir, antes de que las plantas puedan sufrir un daño significativo, la **mejora en el valor adaptativo** de la planta es considerable. Por otro lado, al producir inhibidores que desactivan las enzimas digestivas de la larva, la planta reduce el valor adaptativo de la plaga.

No obstante, la planta no puede controlar quiénes utilizan la información aromática,



▲ El Jasmonato de metilo (MeJA), el tratamiento con Linalool (Li) y los daños causados por herbívoros (CAT), reducen la tasa de oviposición de polillas adultas de gusano del tomate en comparación con el testigo (C).

## ATRAYENTES QUÍMICOS UTILIZADOS BAJO TIERRA



• Que las plantas sean capaces de atraer a los enemigos de sus enemigos mediante mensajeros químicos, no sólo rige por encima del nivel del suelo, sino que también vale bajo tierra, como señalan estudios recientes realizados por científicos del Instituto Max Planck de Jena junto con colegas suizos. El foco de las investigaciones se puso en el maíz y en una de sus plagas: el gusano de la raíz del maíz, *Ditylenchus dipsaci* (delante en la foto), y el, a simple vista, apenas perceptible nematodo *Heterorhabditis megidis*, que vive bajo tierra (pequeños y detrás en la foto). En la zona maicera de Europa central, el gusano de la raíz del maíz ha causado pérdidas de rendimiento significativas.



• Para sus experimentos, el equipo de investigación construyó un denominado "olfatómetro" de seis brazos: miles de nematodos especialmente criados fueron liberados en el medio del aparato y luego eligieron un determinado "rastreo químico" hacia uno de los seis brazos. El "olfatómetro" reveló cuál variedad de maíz fue capaz de atraer la ayuda de nematodos ante ataques de larvas de gusano de la raíz del maíz. Mediante mediciones de espectrometría de masa, se pudo identificar al (E)-beta-cariofileno como el componente activo. Esta sustancia actúa en forma pura: al aplicarlo en uno de los brazos, atrajo con éxito a los útiles gusanos, tanto como una raíz roída. Emisiones de sustancias, como las descritas encima del suelo en hojas atacadas por insectos, evidentemente también pueden tener lugar bajo tierra, a través de las raíces.

ni con qué propósito. Para tener una ventaja adaptativa, obviamente deberán ser atraídos más depredadores que herbívoros. El gusano del tomate, *Manduca quinquemaculata*, una de las plagas más importantes de tabaco silvestre, sabe cómo sacar provecho de las señales odoríferas: al buscar un lugar adecuado para oviponer, la polilla adulta evita las plantas de tabaco que ya fueron dañadas por orugas de la misma especie (Fig. F).

### OVIPOSICIÓN CON PREVISIÓN

El evitar plantas dañadas es ventajoso para las polillas: una sola oruga del género *Manduca* tiene que comer de dos a tres plantas de tabaco para alcanzar el estadio de pupa. La puesta sobre una planta ya ocupada por otra oruga sería fatal para los huevos recién depositados. Las larvas que eclosionen no encontrarán suficiente alimento para alcanzar un tamaño que les permita llegar a una planta vecina. Este comportamiento no sólo reduce la **presión de depredación** sobre la descendencia, sino también la fuerte **competencia intraespecífica**.

De todos modos, para la planta de tabaco es útil. La señal odorífera sirve como un arma doble: atrae a los depredadores y disuade la oviposición de la plaga, sirviendo al control de tipo "top-down" y "bottom-up" de la población plaga. A partir de estos hallazgos acerca de las interacciones entre plantas, herbívoros y sus depredadores, posiblemente se puedan derivar nuevos enfoques para el manejo de adversidades en la agricultura.

### PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Traducción: Ing. Agr. Roberto Neuwald

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.



SIEMENS

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst Servicio Alemán de Intercambio Académico

