**El genoma humano**

*Agustín López Munguía*

**Al llegar a la luna, el ser humano cambió radicalmente su visión sobre el planeta. Al explorar la estructura del núcleo de nuestras células, ocurrió algo similar pero hacia adentro: comprendimos las instrucciones básicas que definen la vida y dio inicio, quizás, una nueva era.**

Desde hace varias décadas me he venido preguntando cuándo empezó —si es que ya lo hizo— la famosa *era de acuario*. Mi curiosidad arrancó desde que escuchaba*Hair*, aquella famosa ópera rock de los años sesenta donde se daban algunas referencias basadas en la casa en la que se encontraba la Luna y la posición de Júpiter, y mi generación cantaba a coro:*“This is the dawning of the age of Aquarius*….”

La idea de la era de acuario me generaba una grata y doble ilusión: una por el simple hecho de vivir en ella, y la otra, porque siendo yo mismo del signo de acuario, pues alguna ventaja adicional habría de tener. Pero si tengo problemas con las referencias en el mundo real, la cosa no podía sino complicarse en el de la fantasía. No es que pensara que algún evento estelar fuese a cambiar el curso de las cosas en nuestro planeta, pero con tantos cambios sociales, políticos y culturales en los últimos tiempos, se me había metido en la cabeza que alguno de entre todos ellos, el más importante quizá, podría ser representativo del sueño de toda una generación por lograr una transformación en beneficio de la humanidad, digna de llevar un nombre que llegara hasta las constelaciones: ¿qué marca el inicio de la era de acuario? me preguntaba. Un amigo que usa turbante, asevera: “¡Depende de lo que tú creas!”. Como obviamente todo esto es parte del mundo de las ilusiones hasta la fecha aún me pregunto, y les pregunto: ¿y ustedes qué creen?, dentro de los episodios que nos ha tocado vivir ¿cuál podría señalarse como el que marca el inicio de una nueva era? Después de hacer una encuesta entre la gente que circula por mi laboratorio, y a pesar de los extraños gestos que mi pregunta generaba, obtuve consenso en dos respuestas, correspondientes a dos eventos que de acuerdo con esta muestra no representativa de terrícolas, yo incluido, podrían señalarse como radicales en el rumbo de la sociedad planetaria. El primero es la llegada del hombre al satélite que ha atestiguado el paso de todas las eras sobre la especie humana: la Luna. No tanto por las repercusiones que el evento tuvo en nuestro quehacer, sino más bien por su impacto en nuestra forma de vernos y de ver nuestra casa, el planeta Tierra. A partir de ese acontecimiento, quiero pensar, el ser humano toma conciencia de pertenencia global, ya no sólo a su Tierra, sino a su planeta; de su responsabilidad para con la gran morada azul y de la unidad de nuestras vidas como consecuencia de compartir la más bella casa, que es la de todos. El segundo, tiene que ver con la llegada del hombre al núcleo de sus células: el desciframiento del genoma humano. Ambos eventos son producto de largos viajes, impulsados por la curiosidad y el anhelo de conocimiento característico de nuestra especie, así como del deseo de participar en la construcción de un mundo mejor. Como puede verse, y por diferentes que parezcan, el paso de Neil Armstrong en la Luna, y el listado, una por una, de las más de 3 000 millones de bases que conforman el genoma humano, guardan en efecto grandes similitudes. Una de ellas es la visión que desde la Luna pudimos lograr de nuestra casa y la visión que ahora tenemos de la estructura del núcleo de nuestras células. Compartimos el planeta con todos los seres vivos, y compartimos también, de manera extraordinariamente exquisita, las estructuras e instrucciones básicas que definen la vida.

**Hacia afuera y hacia adentro**

Se inicia así “la era postgenómica”, y yo presiento que se trata de la señal que tanto buscaba. Se inició ya la era de acuario como consecuencia de mirar hacia afuera: la Luna concretamente; y mirar hacia adentro: nuestros genes. Como toda transformación de carácter universal, no podrá ubicarse en una fecha determinada del calendario. Es más, falta en el aspecto genómico lo más importante: comprender los mecanismos de expresión de esa información, lo que se denomina ya el *Metaboloma*y posteriormente el *Proteoma*, que corresponderá a la compresión de la síntesis, expresión y regulación de las proteínas en que se traduce el genoma. Y si me presionan un poco y para dar espacio a los verdes, también nos falta el *Ambientoma*, pues ya nadie duda del hecho de que somos mucho más que una secuencia de bases nucleotídicas.

El vivir en la época postgenómica se traduce además en el hecho de que, poco a poco, se conocerá también el genoma de toda especie viva en el planeta. De hecho, se conoce ya el de decenas de microorganismos, el de una planta y el de un animal. Pero así como no hubo un claro principio, tampoco veremos un impacto inmediato en la sociedad. Y sin embargo, éste empieza por la idea que tenemos sobre nosotros mismos, sobre nuestra relación con los demás y con todas las especies vivas en el planeta. De esta visión, nuestra actitud no puede seguir siendo la misma. Tampoco la de nuestra industria. Mucho se ha discutido sobre el impacto inmediato que todo esto traerá en la salud, empezando por la capacidad de actuar ante las más de 3 000 enfermedades de origen genético que afectan a la humanidad. De igual forma ha surgido una nueva disciplina producto de las consecuencias del conocimiento del genoma en la moral y ética públicas. Sin dejar de reconocer la importancia de estos aspectos de la nueva era, creo que poco se ha discutido sobre el impacto en el *quehacer*industrial.

**Del laboratorio al mundo cotidiano**

Casi imperceptiblemente la genómica se fue colando en nuestras vidas. En la década de los años setenta se inició la manipulación genética de microorganismos, y con ella los productos derivados de éstos se volvieron cotidianos: medicamentos, alimentos y productos químicos. Para los ochenta la industria biotecnológica había adquirido ya otra dimensión. Un centenar de medicamentos se han desarrollado mediante la transformación genética de microorganismos, y el panorama se abre de manera espectacular ante la posibilidad por un lado de manipular sus vías metabólicas, la llamada “ingeniería metabólica”, haciendo posible la síntesis biológica de prácticamente cualquier producto, y por el otro aprovechar la biodiversidad del planeta en la búsqueda de genes con nuevas enzimas y nuevas propiedades de beneficio para la sociedad. Un ejemplo simple de esto es la producción de etanol empleando una bacteria como *Escherichia coli,*con genes que la naturaleza puso en otro lado, y empleando para ello materias primas —paja y bagazo de caña— que hace sólo algunos años seguíamos usando como el hombre de las cavernas: haciendo fuego.

Para los años noventa la ingeniería genética de aplicación industrial dio un brinco y pasó a las plantas. Después de diez años la sociedad sigue discutiendo el destino de esto que se ha llamado las *plantas transgénicas*y los alimentos *Frankenstein*, como si la genética no hubiera sido clave en el invento por el hombre de la agricultura y de muchas de las especies animales que hoy le sirven de alimento, de transporte, e incluso de diversión y compañía como los perros. Por simple lógica y necesidad, la modificación genética de plantas será un paso más de la humanidad en la era postgenómica. No necesariamente aquellas que han desarrollado las grandes compañías agroindustriales, pero sin duda sí aquellas que permiten producir más y mejores alimentos con un menor desgaste para el planeta: menos agroquímicos, mejor control de plagas y productos tóxicos. Pero no sólo eso. Las plantas serán también, vía la manipulación genética, una alternativa para sintetizar moléculas complejas, que el hombre imitó de la propia naturaleza, a un costo energético muy alto, y con desechos con los que la propia naturaleza tuvo que contender. Un ejemplo que ya anuncia la nueva era es la producción de plásticos biodegradables como el polihydroxibutirato, sintetizados en las hojas de las plantas. Eso cambiará no sólo la manera de producir plásticos, sino nuestra relación con ellos, y su infinita permanencia en el medio ambiente y nuestros paisajes. Es como haber ido del algodón a la fibra sintética y volver a regresar al algodón.

**Imitar a la perfección**

Y la cosa no para ahí. A nivel experimental existen ya granjas de producción, donde la manipulación genética de vacas, cabras y ovejas ha permitido expresar en su leche toda una gama de proteínas de muy compleja síntesis. La leche, siendo un fluido de alto contenido proteico, permite expresar más de 30 g/L de una determinada proteína, que en lugar de destinarse a las jóvenes crías, puede satisfacer las necesidades de medicamentos para enfermos de anemia, de hemofilia, de diabetes, etc. Si ya alguna vez el ser humano imitó lo que hacía la vaca en sus estómagos, para hacerse de gas a partir de residuos, ahora la ingeniería genética hará de sus glándulas mamarias verdaderos reactores.

El uso de microorganismos, silvestres o modificados, y más tarde el de plantas, también abrió una rama de aplicación industrial que se denominó biorremediación. El término conlleva una declaración de que la regamos. Que estropeamos agua y también el suelo, el aire y los mares; tanto con residuos de la actividad industrial, como por derrames de petróleo y de productos que se transportan de un sitio a otro. Vaya, hasta nuestra propia presencia altera al medio ambiente. Pienso que en la medida en que nos vayamos moviendo hacia una industria ecológica, definida como integrada al medio ambiente y que obedezca a una serie de principios básicos de equilibrio ambiental, nuestra relación con el planeta se hará más armónica. En esta nueva industria los reactores no serán sólo tanques de acero inoxidable, sino también plantas, animales y sobre todo fermentadores. Las zonas industriales podrán coexistir con las zonas de producción de alimentos e incluso de habitación. La velocidad a la que se depositen los residuos no podrá ser nunca superior a la capacidad —natural e industrial— para degradarlos. Las fuentes de energía, principalmente provenientes de la fotosíntesis, nos durarán lo que dure el Sol, cuyas reservas probadas, a diferencia del petróleo, son infinitas en la escala de nuestra existencia. En esta nueva bioindustria, como de manera bastante burda planteo, estarán involucradas todas las actividades del ser humano, por lo que poco a poco habremos de abandonar el término *tecnología*, que será sustituido por el de *biotecnología*, quedando el primero reservado para las actividades industriales más arcaicas. El conocimiento fundamental que permitirá esta transformación es el del genoma y su manipulación. De la responsabilidad con la que asumamos este reto dependerá que haya nuevas eras. Éste es el amanecer de la era de acuario.

Agustín López Munguía es investigador en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, autor de varios libros y múltiples artículos de divulgación de la ciencia, y miembro del Consejo Editorial de *¿Cómo ves?*

# Armas biológicas

*Miguel Ángel Cevallos*

**Si la Cuarta Guerra Mundial se librará con piedras y palos, en la tercera seguramente se usarán virus y bacterias.**

Lo que sucedió el 2 de abril de 1979 en Sverdlovsk, en la ex Unión Soviética, no fue más que una prueba de algo que se sospechaba desde hacía ya mucho tiempo: el armamento biológico de destrucción masiva es una realidad.

En esa fecha, en el complejo militar número 19, hubo una explosión que accidentalmente liberó unos cuantos miligramos de esporas de Bacillus anthracis. Pocos días después, 96 personas enfermaron de ántrax; 69 de las cuales murieron. Ésta fue la peor epidemia de ántrax humano adquirido por inhalación de esporas registrada hasta la fecha. Durante años, las autoridades de la antigua Unión Soviética argumentaron que la epidemia fue originada por el consumo de carne contaminada con bacilos del ántrax, situación que muy de vez en cuanto sucede sobre todo en regiones en las que este bacilo habita naturalmente, como es el caso de Sverdlovsk (hoy Ekaterinburgo). Sin embargo, en mayo de 1992, Boris Yeltsin admitió que en Sverdlovsk se estaban desarrollando armas biológicas, el ántrax entre ellas. Ese mismo año emigró a los Estados Unidos el doctor Ken Alibek, quien fuera científico en jefe de 1988 a 1992 del "Biopreparat", la institución militar soviética encargada del desarrollo de las armas biológicas y confirmó que Rusia posee armas para una guerra biológica en gran escala. Este género de guerra no es nuevo y de hecho se ha usado en múltiples ocasiones desde la antigüedad. Los romanos arrojaban animales muertos en los suministros de agua de sus enemigos con el fin de contaminarlos. Los tártaros, en el siglo XIV, lanzaron con catapultas cadáveres infectados con peste, sobre las murallas de la ciudad de Kaffa, esperando así contagiar a sus habitantes. Durante la llamada guerra francoindia (ocurrida de 1754 a 1763 y en la que se enfrentaron Francia y Gran Bretaña por el dominio de territorios de parte de lo que hoy es Canadá y los Estados Unidos), el ejército británico obsequió a los indios americanos, aliados de los franceses, cobijas que habían sido usadas por personas enfermas de viruela, iniciando así una epidemia que diezmó a muchas tribus. Durante la década de los treinta, en la guerra chino-japonesa, los japoneses utilizaron la peste como arma, afortunadamente sin mucho éxito.

En la primera Guerra Mundial, Alemania usó el ántrax contra el ganado caballar y vacuno que aportaban a las fuerzas aliadas España, Noruega, Argentina, Rumania y —hasta antes de que se involucraran en la guerra, en 1917— los Estados Unidos. Se sospecha que durante la segunda Guerra Mundial, los rusos utilizaron la tularemia contra los alemanes durante el sitio de Stalingrado; esta enfermedad es producida por la bacteria Francisella tularensisy usualmente se transmite a través de picaduras de garrapatas, pero también se puede adquirir por beber agua contaminada o por estar en contacto con carne de mamíferos infectados (principalmente conejos); la tularemia se puede presentar de diversas formas, entre ellas un tipo de neumonía muy grave. En esta misma guerra, los japoneses hicieron uso de armamento biológico contra los chinos (otra vez sin mucho éxito) y además experimentaron con éste en prisioneros de guerra estadounidenses. Al terminar la guerra, el gobierno de los Estados Unidos pactó con los japoneses no someter a sus científicos a juicio por crímenes de guerra, ¡a cambio de compartir los resultados de tales experimentos! Los datos así obtenidos enriquecieron el programa de armas biológicas del gobierno estadounidense iniciado en 1942. En países como Canadá, la Unión Soviética, el Reino Unido y los Estados Unidos, los programas de armamento biológico se expandieron al finalizar la guerra y cobraron auge durante la guerra fría. Este crecimiento se detuvo, al menos oficialmente, con la firma del tratado surgido durante la Convención de Armas Tóxicas y Biológicas de 1972, en la cual se prohibe el uso y desarrollo de armas biológicas. Una de las debilidades del documento es que no se establece ningún mecanismo de verificación. A pesar de que este tratado fue firmado por 140 naciones, se sospecha que China, Vietnam, Laos, India, Bulgaria, Irak, Irán, Taiwan, Siria, Cuba, Corea del Norte, Egipto, Israel, Japón, Estados Unidos y algunos países del ex bloque soviético todavía tienen programas de desarrollo de armamento biológico e incluso, algunos de ellos cuentan con grandes cantidades almacenadas.

Lo que últimamente ha alarmado a las autoridades de muchos países es que ciertos grupos terroristas ya tienen acceso a armamento biológico. Por ejemplo, en 1995 se descubrió en Japón que el culto Aum Shinrikyo(Verdad suprema) responsable del ataque al metro de Tokio con el gas neurotóxico Sarín, también desarrolló armamento biológico e intentó usarlo en al menos ocho ocasiones. Incluso, se sabe que en octubre de 1992, su líder, Shoko Asahara, y otros 40 miembros viajaron a Zaire supuestamente para ayudar a las víctimas del ébola pero probablemente su objetivo fuera obtener muestras del letal virus. Sólo en 1997, en Estados Unidos se investigaron cerca de 100 amenazas terroristas en 50 las cuales se alegaba la participación de agentes biológicos.

## Asesinos diminutos

Para tratar de entender por qué han proliferado las armas biológicas, es útil que definamos qué se entiende por arma biológica y después cuáles son las ventajas y desventajas de su uso. Entendemos como guerra biológica el uso de enfermedades producidas por microorganismos o agentes bioactivos (toxinas) con el fin de dañar o aniquilar a las fuerzas militares del enemigo, sus poblaciones civiles o contaminar sus fuentes de agua o alimentación. Para fabricar un arma biológica teóricamente se puede utilizar cualquier microorganismo patogénico. Por ejemplo, en 1984 en Dallas (Oregon), la secta religiosaRajneeshicontaminó con la bacteria Salmonellalas barras de ensalada de una cadena de restaurantes. Como resultado, 751 personas tuvieron que ser hospitalizadas por malestares gastrointestinales más o menos severos; afortunadamente en esa ocasión nadie falleció. Pero desde el punto de vista práctico, sólo un pequeño número de microorganismos tienen la potencialidad de utilizarse efectivamente como armas biológicas. Hay que tomar en cuenta que el microorganismo elegido tiene que poder cultivarse en grandes cantidades y poder dispersarse con facilidad (de preferencia como aerosol); debe ser muy infeccioso y de preferencia que pueda contagiarse de persona a persona. Otro requisito es que con bajas dosis del organismo elegido se pueda iniciar la enfermedad, ya que muchas veces no basta para ese propósito que un solo virus o una bacteria infecte a una persona. Los microorganismos con potencialidad de ser utilizados como armas deben ser estables en el ambiente, para así asegurar su permanencia como agentes patogénicos y, por último, hay que tomar en cuenta la existencia o no de medidas preventivas o terapéuticas.

El manual de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) menciona 31 organismos con una potencialidad real de ser usados como armas. La lista incluye la viruela, el ántrax, la peste, el botulismo, la tularemia, el tifus, la fiebre Q, la encefalitis equina venezolana, el ébola y la influenza. Recordemos que esta última enfermedad mató a cerca de 25 millones de personas alrededor del mundo en 1918. De estos 31 organismos, la viruela y el ántrax son los que más fácilmente se pueden convertir en armas biológicas de alta eficiencia.

## La amenaza de la viruela

La viruela es una enfermedad viral infecciosa muy grave; de cada 100 personas que la contraen 30 mueren, pero se sabe que en algunas poblaciones la mortalidad ha llegado a ser del 90%. Los sobrevivientes pueden quedar ciegos o con la vista nublada, y con horribles cicatrices que les recordarán la terrible enfermedad el resto de sus días. Gracias a una campaña muy intensa de vacunación a nivel mundial, ya no se han reportado nuevos casos desde 1978. El último caso mortal del que se tiene noticia ocurrió ese año, en uno de los cinco laboratorios de alta seguridad que tenían muestras del virus. En 1980 la Organización Mundial de la Salud declaró que la viruela era la primera enfermedad humana completamente erradicada de la faz de la Tierra. Sin embargo, existen todavía dos muestras del letal virus en dos laboratorios de alta seguridad. Uno de ellos se encuentra en las instalaciones Vector, en Novosibirsk, Rusia y el otro en el Centro de Control de Enfermedades (CDC) en Atlanta, Estados Unidos. Supuestamente estas muestras tenían que haberse destruido en junio de 1999; sin embargo, tanto Rusia como los Estados Unidos cambiaron de opinión a última hora y se negaron a hacerlo. La decisión de ambos países obedece a que cada uno sospecha que el otro tiene almacenado este virus en cantidad suficiente para utilizarlo como arma biológica. También se teme que los rusos hayan facilitado muestras de viruela a Corea del Norte. En pocas palabras, se han conservado estas muestras exclusivamente por su potencialidad bélica.

Utilizar la viruela como arma causaría estragos en la población, puesto que al ser considerada una enfermedad erradicada, los esquemas de vacunación ya no la contemplan. Es muy probable que hoy en día todos los menores de 20 años no estén vacunados. Lo que es peor, ya no hay quien produzca esta vacuna a escala industrial, ni existe en almacén en cantidades suficientes como para enfrentar un brote por pequeño que sea. Para apreciar la magnitud del problema, basta mencionar que en 1947 aparecieron en Nueva York ocho casos de viruela; a fin de detener la incipiente epidemia fue necesario aplicar seis millones de vacunas en una semana. Si el problema se presentara hoy, no habría manera de enfrentarlo. Afortunadamente, conseguir el virus de la viruela es extremadamente difícil, por lo que provocar con éste una epidemia queda prácticamente fuera del alcance de los grupos terroristas, a menos que estén apoyados por un gobierno que cuente con el virus.

## El terrible ántrax

A diferencia de la viruela, la bacteria Bacillus anthracis,agente causal del ántrax, se encuentra naturalmente en muchas regiones del mundo que incluyen Centro y Sudamérica, el Caribe, África, Oriente Medio y algunas regiones de Europa. Esto permite que cualquier grupo militar o terrorista pueda recolectar y almacenar sin mucha dificultad esta bacteria. Saddam Hussein tomó un camino más simple: compró los agentes patogénicos a una compañía biotecnológica de los Estados Unidos.

El ántrax es una enfermedad propia de animales de sangre caliente, pero cuando afecta al ser humano es especialmente maligna. Esta enfermedad se considera como ocupacional, ya que sólo la adquieren aquellas personas que están expuestas a animales muertos o sus productos.

En el ser humano se puede presentar en tres formas: como ántrax cutáneo, gastrointestinal o pulmonar. El cutáneo se presenta cuando el bacilo o sus esporas caen en una herida abierta o en los ojos de su víctima; en esa forma es una enfermedad agresiva pero se puede tratar con antibióticos y raramente es mortal. El ántrax gastrointestinal se adquiere cuando se consumen alimentos contaminados con el bacilo o sus esporas; se caracteriza por una severa inflamación del intestino, náusea, vómito sanguinolento, diarreas fuertes y llega a ser un afección mortal hasta en un 60% de los casos. El ántrax pulmonar se adquiere inhalando esporas del bacilo que son lo suficientemente pequeñas como para penetrar muy adentro en los pulmones. Al principio, la enfermedad tiene síntomas parecidos a los de una gripe severa: tos, dolor muscular, de cabeza y de pecho; luego la enfermedad se torna más severa, hasta producir un estado de shocken el cual muere el 95% de los afectados. La enfermedad sólo puede controlarse si se empieza un tratamiento drástico con antibióticos dentro de las primeras 48 horas de iniciarse los síntomas. Sin embargo, debido a que en sus primeras etapas la enfermedad es difícil de diagnosticar, generalmente los afectados pocas veces reciben el tratamiento oportuno.

Otra de las características que hacen apetecible a esta bacteria como arma biológica, es que puede cultivarse fácilmente y a bajo costo. Lo que tiene realmente valor militar es que las esporas de ántrax son muy resistentes a las agresiones del medio ambiente y pueden permanecer viables por muchas décadas; además, las esporas son lo suficientemente pequeñas como para que algún grupo militar intente liberarlas al ambiente en forma de aerosol. Por fortuna, fabricar aerosoles con esporas de ántrax es técnicamente muy difícil ya que éstas tienden a agregarse, lo cual complica su dispersión. El equipo que se necesita para producir ántrax como bioarmamento no requiere de mucho espacio, ni equipo demasiado sofisticado: bastaría con el equipo que se encuentra comúnmente en un laboratorio de investigación farmacéutico o de biotecnología. La única diferencia es que para producir armamento biológico se tendrían que extremar las condiciones de seguridad para evitar el contagio del personal que manipule el bacilo. Los laboratorios de este tipo son más o menos fáciles de ocultar, ya que, en general, son pequeños y no tienen equipo demasiado especializado que delate su existencia. Un laboratorio de bioarmamento se puede confundir fácilmente con un laboratorio farmacéutico de investigación. Por esta razón es muy difícil establecer mecanismos de verificación que impidan que se desarrolle armamento biológico con ántrax.

Utilizar ántrax como arma biológica puede ser devastador. La Organización Mundial de la Salud ha estimado que la liberación de 50 kg de esporas de ántrax, en un frente de 2 km, sobre una ciudad de 500 000 habitantes, produciría la muerte de 95 000 personas. En el caso de un ataque terrorista, digamos en un estadio de fútbol, esconder una ampolleta con un concentrado de esporas de ántrax es mucho mas fácil que esconder un artefacto explosivo, aunque quizá desde el punto de vista propagandístico sea mas espectacular una explosión. Los efectos de una infección de ántrax se empezarían a notar algunos días después, lo que permitiría al perpetrador escapar más fácilmente.

El costo de "devastar" con ántrax un kilómetro cuadrado de territorio, es aproximadamente de un dólar, y de 2 000 dólares si se utilizan armas convencionales. Por esta razón hay quien dice que el armamento biológico es la "bomba atómica" de los países pobres.

Dado el peligro real de una guerra bacteriológica en la que seguramente el ántrax sería uno de los elementos importantes en juego, el gobierno de los Estados Unidos decidió, en diciembre de 1997, vacunar contra el bacilo a 1.4 millones de elementos activos de su ejército.

Por otra parte, una de las grandes desventajas del armamento biológico es que su uso puede representar una amenaza para el propio agresor; por ejemplo, si al rociar al enemigo con un agente patogénico cambia la dirección del viento, resultarán afectadas las propias tropas. Además, las regiones atacadas con armas biológicas pueden quedar inutilizadas, dada la dificultad de descontaminarlas eficazmente.

El gobierno de los Estados Unidos ha asignado en el último año un presupuesto importante para desarrollar un mecanismo eficiente que permita prevenir, detectar y combatir ataques con bioarmamento en su territorio. México, un país pacifista por vocación, debe seguir apoyando, o incluso encabezar, cualquier iniciativa internacional que detenga la proliferación del armamento biológico. Esto no descarta la conveniencia de tener en nuestro país un equipo médico bien entrenado, que sepa reconocer y actuar para detener posibles agresiones con armamento biológico.

Si la cuarta Guerra Mundial se librará con piedras y palos, en la tercera, estoy seguro, se usarán ampolletas.

## La bioseguridad

Independientemente de la peligrosidad de su uso potencial como armas de destrucción masiva, los microorganismos patógenos, en tanto objetos de estudio, también constituyen un riesgo para los seres humanos y el medio ambiente. Con el fin de mantener bajo control esta amenaza, existe una serie de medidas preventivas para proteger de posibles enfermedades tanto a las personas que manejan dicho material biológico como a su entorno. Estas medidas conforman la bioseguridad, que se aplica en hospitales, empresas farmacéuticas y, sobre todo, laboratorios donde se trabaja con parásitos, bacterias o virus.

La bioseguridad implica seguir ciertas reglas de protección, que se aplicarán en el laboratorio desde la recepción hasta el desecho de agentes o muestras biológicas, pasando por su manipulación y las cuales dependerán del tipo y cantidad de éstos y los procedimientos empleados para su manejo. Y es que, por ejemplo, no es lo mismo trabajar —por cantidad— con una muestra para diagnóstico que con agentes o cepas para la elaboración de una vacuna.

En cuanto a las prácticas de bioseguridad dentro del laboratorio, muchas de ellas son de sentido común, otras no tanto. Para empezar, el acceso debe estar restringido, sobre todo durante el tiempo de trabajo, y la puerta perfectamente cerrada. El personal debe lavarse las manos antes y después de manipular el material biológico; no comer, beber, fumar, manejar lentes de contacto o aplicarse cosméticos; ni "pipetear" con la boca, sino utilizar los instrumentos adecuados para ello: propipetas, pipetas automáticas y bulbos de seguridad, así como evitar crear aerosoles o derrames. La superficie de trabajo debe desinfectarse antes y después de usarla, sobre todo si se presentó algún derrame.

Además, todo cultivo o material biológico debe ser tratado por métodos como la esterilización antes de ser descartado, y debe existir un programa de control de insectos y roedores. La señal gráfica de riesgo biológico debe estar colocada a la vista en el acceso y acompañada de los datos del jefe de laboratorio y los requisitos para entrar en el lugar. En ocasiones, debe existir un programa de vacunación y toma de muestras de suero (pruebas de sangre) del personal que labora en el área. Es indispensable, asimismo, un manual y un reglamento de bioseguridad que debe conocer y seguir dicho personal, así como programas de entrenamiento constante en la materia. Adicionalmente, debe tenerse extremo cuidado con el manejo y eliminación de agujas, portaobjetos, pipetas, tubos capilares, entre otros, colocándolos en contenedores especiales y cuando sea posible sustituirlos por materiales de plástico desechables.

El equipo e instalaciones para efectos de bioseguridad también dependerán de la peligrosidad y características del microorganismo que se maneje. Por ejemplo, para algunos es necesario utilizar trampas de doble puerta para evitar la contaminación tanto del espacio interior como del medio externo; en otros casos, se utilizan gabinetes de bioseguridad, de los cuales hay de varios tipos: abiertos o totalmente cerrados, para proteger al material o a las personas y el medio ambiente, con o sin guantes integrados, pero todos ellos dotados de complejos sistemas de filtración de aire. De cualquier manera, el equipo personal mínimo se integra de bata, guantes, gogglesy mascarillas.

Las instalaciones deben estar construidas para su fácil aseo y desinfección; disponer de lavamanos y lavaojos; tener paredes, piso y techos resistentes a la humedad y de fácil limpieza. Las mesas deben ser resistentes a solventes, ácidos y calor moderado, y los muebles sencillos y colocados con la separación suficiente entre ellos para permitir el aseo. Las ventanas deben estar selladas y las que se abren contar con mosquitero. Por último, hay que mencionar que tanto el equipo como las instalaciones del laboratorio en general deben recibir mantenimiento y desinfectarse periódicamente.

He aquí tan sólo algunas de las medidas que recomienda esa gran amiga de quienes trabajan con los no tan amigables microorganismos patógenos: la bioseguridad.

Luis Felipe Brice

Agradecemos la información proporcionada por la doctora Celia González Bonilla, jefa de Aseguramiento de la Calidad del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos de la Secretaría de Salud

Miguel Ángel Cevallos es doctor en investigación biomédica básica. Actualmente trabaja en el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno (UNAM).

# Las plantas transgénicas

*Jaime Padilla*

**¿Panacea o amenaza?**

**Cultivos que producen su propio insecticida, jitomates que conservan su frescura y sabor durante varias semanas, capullos donde crece algodón de colores, son algunos ejemplos de lo que la biotecnología ha logrado a través de las llamadas plantas transgénicas, un campo de investigación y desarrollo tan fascinante como polémico.**

Las plantas transgénicas forman parte del grupo de los llamados organismos modificados genéticamente y son el resultado del avance de las técnicas de la biología experimental, así como de la búsqueda de soluciones a diversos problemas de la producción agroindustrial. Muchos de los conceptos y procedimientos necesarios para obtenerlas se desarrollaron durante los últimos veinte años; sin embargo, sus aplicaciones comerciales sólo pudieron ser financiadas por las grandes compañías que hoy dominan el mercado de la agrobiotecnología.

Lo que distingue a las plantas transgénicas es que poseen una o más características que no fueron heredadas de sus antecesores. En cada una de sus células llevan genes "añadidos" artificialmente, es decir, fragmentos adicionales de ácido desoxirribonucleico (ADN) provenientes de otra especie de planta, un virus, una bacteria o un hongo; estos genes contribuyen a producir nuevas sustancias, a modificar el ritmo del desarrollo de la planta o, bien, a aumentar su capacidad de defensa contra factores adversos.

El interés en el desarrollo de plantas transgénicas es el de mejorar la calidad y productividad de los cultivos; además, estas plantas constituyen una poderosa herramienta de investigación.

## La ensalada transgénica

El aspecto de una planta transgénica no es, en general, sorprendente; no se trata de calabazas gigantes, ni de limones con formas extrañas, ni papas que saben a jitomate. A primera vista, una planta transgénica es semejante a las que no han sido transformadas. El cambio lo llevan en su interior y éste sí es asombroso: ya es posible adquirir semillas para cultivar plantas de varias especies que producen un bioinsecticida (cultivos Bt), lo que ha reducido significativamente la aplicación de pesticidas químicos; otras plantas son resistentes a un tipo de herbicida, lo cual permite que el combate de malezas o "malas yerbas" sea más efectivo pues los cultivos no resultan dañados. En particular, destaca una variedad de jitomate diseñada para tener una maduración retrasada en sus frutos que hace posible que éstos permanezcan más tiempo frescos en color, textura y sabor. En algunos países existen ya en el mercado productos derivados de plantas transgénicas de soya, algodón, papa, maíz y jitomate, principalmente. Y quizá pronto se sumen otros a la lista; actualmente se realizan pruebas de campo y de tipo sanitario de variedades de calabacita que pueden evitar el ataque de ciertos virus, de oleaginosas como la colza (canola), que contienen una proporción más saludable para el consumidor de aceites en sus semillas, y también de papayas y otros frutales que pueden tolerar el aluminio tóxico de suelos ácidos y absorben mejor el fósforo disponible. Se investiga, además, la posibilidad de desarrollar plantas que puedan ser vehículos de vacunación: se trata de que la propia planta produzca la vacuna y ésta sea administrada con el alimento mismo, digamos un plátano; otras posibilidades son plantas que produzcan anticuerpos, diversos fármacos e incluso plásticos biodegradables.

Una muestra del potencial comercial de las plantas transgénicas es el hecho de que en los Estados Unidos se estén probando actualmente cultivos de este tipo usando casi 100 genes distintos, introducidos en por lo menos 35 especies vegetales diferentes.

## La modificación genética

¿De dónde surge una planta transgénica? Para conocer la respuesta es preciso recordar que los genes son partes o regiones definidas del ADN, esa larga molécula informativa que poseemos todos los seres vivos —nuestro genoma— y que está formada por combinaciones enormes de cuatro "letras" moleculares denominadas bases nitrogenadas. Cada gene contiene una instrucción específica para la fabricación de una proteína, la cual se"dobla" en una forma característica para funcionar ya sea como enzima, fibra muscular, hormona o toxina. Así, cada proteína participa en alguna parte de las numerosas estructuras y actividades de la célula. Normalmente conocemos la función de los genes a través de la proteína que codifican (y viceversa). En años recientes, ha crecido el interés por conocer mejor cuáles son los genes importantes para el crecimiento, la nutrición y aquéllos relacionados con la susceptibilidad a las enfermedades o la resistencia a los parásitos, para poder incidir en los factores que hacen que las plantas que cultivamos sean productivas, saludables y más resistentes, o que aumenten su valor nutricional.

La idea central de la modificación genética, en este caso de la creación de plantas transgénicas, es que si un gene tiene influencia directa en alguna propiedad de un organismo determinado, es muy posible que el mismo gene afecte esa propiedad en otros organismos. Y esto se ha comprobado: la adición de genes específicos en varios organismos produce —gracias a la proteína que estos genes originan— algunos cambios significativos, heredables y frecuentemente útiles.

En el caso particular de las plantas, como se pueden regenerar plantas completas a partir de células individuales o grupos de ellas, una célula a la que se le ha insertado un gene de otro organismo puede dar origen a plantas completas con copias del gene adicional en el tallo, las hojas, la raíz, las flores o el fruto.

La ingeniería genética de plantas para usos agrícolas se nutre también de estrategias basadas en el conocimiento del modo en que varios organismos aprovechan su medio ambiente. Se sabe que diversos patógenos tienen formas de evitar la acción de sus propias toxinas o que muchos insectos tiene enemigos que los atacan de modo muy específico. Como existen genes involucrados en este tipo de capacidades, su inserción en el ADN de las plantas puede darle a éstas formas especiales de tolerancia o defensa ante plagas y enfermedades. Por ejemplo, existe un grupo de bacterias del suelo (Bacillus thuringensis), que produce una proteína insecticida que no es tóxica a muchas especies útiles. Durante casi dos décadas, extractos de este organismo se han rociado en los cultivos para protegerlos, pero hace cuatro o cinco años se logró introducir en diversas especies de plantas el gene bacteriano responsable de la toxina, de modo que ahora ellas mismas producen el insecticida.

## Los riesgos y la polémica

En la aplicación comercial de las plantas transgénicas se han considerado varios riesgos potenciales que pudieran reducir su efectividad o, lo que es peor, que generen problemas de salud, agronómicos o ecológicos en el futuro.

En primer lugar, la posibilidad de que los procesos de transformación y regeneración de las plantas produzcan en ellas alteraciones no deseadas (por ejemplo en su tamaño, coloración o rendimiento) se descarta por medio de pruebas que se realizan en invernaderos y en el campo. Sin embargo, es posible que se presenten efectos en el ambiente en una extensión o en un plazo más largos. Al reproducirse las plantas transgénicas, su polen puede contribuir a que los transgenes sean diseminados en otras plantas compatibles (de la misma especie pero de distinta variedad), en las especies silvestres (que a veces son malezas) o en especies ancestrales de las formas cultivadas, generando problemas ecológicos, comerciales y legales. Éste es todavía un aspecto que debe evaluarse, considerando el tipo de reproducción de las especies en cuestión. En México existe preocupación por el maíz y otros cultivos (jitomate, chile, calabaza), ya que nuestro país es fuente primordial de riqueza en biodiversidad de tales especies.

Se considera también que las variedades transgénicas diseñadas para producir nuevas toxinas contra plagas (por ejemplo, el algodón Bt) podrían tener efectos nocivos en organismos benéficos como abejas y catarinas, o bien, que esas toxinas se acumulen en las cadenas alimenticias e incluso promuevan la resistencia de las plagas. Se han planteado ya diversas estrategias para el manejo agrícola y una reglamentación que disminuyan algunos de estos riesgos. Una de esas estrategias, por ejemplo, es destinar una parte del terreno de cultivo a la siembra de plantas no transgénicas, a fin de conservar el equilibrio en la población de plagas y evitar que aquellas que desarrollen resistencia a la toxina se multipliquen.

Otra preocupación importante se refiere a la posibilidad de un impacto negativo en la nutrición y la salud humanas; este riesgo es muy bajo dadas las pruebas y controles sanitarios a los que se somete cualquier producto nuevo destinado al consumo humano. Un punto más de la discusión es el derecho, tanto de los consumidores como de cada nación, a comprar o no productos transgénicos; para ejercer este derecho es preciso que los productos se comercialicen por separado, no mezclados junto con los convencionales, y que sean fácilmente identificables. En este sentido, hay posturas encontradas entre los Estados Unidos, que se oponen a etiquetar sus productos, y sus socios de la Unión Europea, que exigen el etiquetado.

La situación se ha complicado, además, por la necesidad de que la regulación de diversos aspectos sobre el uso de los productos derivados de plantas transgénicas a nivel mundial sea compatible con los acuerdos internacionales de comercio.

Hasta el momento prevalece una falta de consenso entre los países sobre cómo regular la producción, distribución y venta no sólo de plantas transgénicas y sus derivados, también de otros organismos modificados genéticamente. Un esfuerzo importante pero que no resolvió la cuestión fue la reunión mundial celebrada el pasado mes de febrero en Cartagena de Indias, Colombia, convocada para aprobar el llamado Protocolo de Bioseguridad.

Desde el punto de vista sanitario, se ha constatado que las variedades transgénicas ya comercializadas no son distintas de las convencionales; otras están todavía pendientes de aprobación. Con respecto a los efectos en el ambiente, hay cierto acuerdo en que es necesaria más investigación, tanto de las empresas de agrobiotecnología como de instituciones académicas y organismos públicos.

De cualquier manera, la perspectiva de una agricultura complementada con el cultivo de plantas transgénicas es aún muy promisoria y una de nuestras mejores opciones para satisfacer la demanda de alimentos de una población humana en continuo crecimiento.

## Herramientas de investigación

En el Instituto de Biotecnología de la UNAM se realizan investigaciones sobre la localización, estructura y función de varios genes vegetales. Para ello se utilizan frecuentemente plantas transgénicas como una herramienta experimental que permite estudiar más directamente la acción de algunos genes. Entre otros, aquellos que inciden en la capacidad de asociación con otros organismos, la tolerancia a la sequía, el desarrollo de raíces, la síntesis de pigmentos y las respuestas a los daños que sufre la planta. Normalmente se utilizan especies de fácil transformación y regeneración como el tabaco, la leguminosa Lotuso bien, una plantita de la familia de las crucíferas llamada Arabidopsis thaliana. Estas plantas deben cultivarse en condiciones controladas, es decir, cámaras de crecimiento donde se determina de antemano la temperatura, la cantidad de luz y la duración del ciclo iluminación-oscuridad. Otras plantas como el frijol o el maíz, por su tamaño, se cultivan en invernaderos, donde están sujetas a cambios más parecidos a los que tendrían en el campo. En cualquier caso, esto permite desarrollar muchas de ellas de manera aislada, hasta que producen flores y semillas.

También se busca localizar y "etiquetar" otros genes con efectos en el metabolismo, el desarrollo y la interacción con el ambiente utilizando técnicas de "barrido genómico" (genome scanning); esta labor puede contribuir a conocer y preservar mejor nuestra diversidad biológica y a generar variedades de diversos cultivos adaptados a nuestros recursos y necesidades.

Jaime Padilla es biólogo e investigador-docente. Trabaja en el Instituto de Biotecnología de la UNAM y coordina el área de Bioquímica y Biología Molecular en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Morelos.

**LA HISTORIA DE LA OVEJA DOLLY**

Publicado el [18 enero, 2014](http://revistacmc.jgcalleja.es/?p=364) por [Marta Duarte García de Celis](http://revistacmc.jgcalleja.es/?author=48)

La oveja Dolly  fue el primer mamífero clonado a partir de una célula adulta. Sus creadores fueron los científicos del Instituto Roslin de Edimburgo (Escocia), Ian Wilmut y Keith Campbel. Su nacimiento no fue anunciado hasta siete meses después, el 23 de febrero de 1997.

LA HISTORIA DE DOLLY:

Dolly fue en realidad una oveja resultado de una combinación nuclear desde una célula donante diferenciada a un óvulo no fecundado y anucleado (*sin núcleo*). La célula de la que venía *Dolly* era una ya diferenciada o especializada, procedente de un tejido concreto, la glándula mamaria, de un animal adulto (una oveja Fin Dorset de seis años), lo cual suponía una novedad. Hasta ese momento se creía que sólo se podían obtener clones de una célula embrionaria, es decir, no especializada. Cinco meses después nacía Dolly, que fue el único cordero resultante de 277 fusiones de óvulos anucleados con núcleos de células mamarias. Dolly vivió siempre en el Instituto Roslin. Allí fue cruzada con un macho Welsh Mountain para producir seis crías en total. De su primer parto nace "Bonnie", en abril de 1998. Al año siguiente, Dolly produce mellizos: "Sally" & "Rosie", y en el siguiente parto trillizos: "Lucy", "Darcy" & "Cotton". En el otoño de 2001, a los cinco años, Dolly desarrollaartritis comenzando a caminar dolorosamente.

En 1996 se hizo popular la historia de la oveja Dolly, el primer mamífero de gran tamaño en ser clonado, pero muchos creen que fue el primer animal producto de esta tecnología y distan de estar en lo correcto.

Un renacuajo fue el primer animal clonado,en 1952. Le siguió una carpa en los años setenta y un ratón. Durante la década de los ochenta, la comunidad científica experimentó con ganado y ovejas, utilizando diferentes técnicas que varían mucho entre sí; desde reemplazar el núcleo de un embrión recién formado por uno ya desarrollado hasta la división de células en desarrollo que luego son implantadas en úteros diferentes.

Pero Dolly fue producto de una técnica llamada transferencia nuclear de células somáticas*;* que consiste en introducir el material genético de la célula a clonar en un ovocito de la misma especie previamente enucleado sin su propio material genético.

A partir de el éxito obtenido con Dolly, los avances en materia de clonación pueden medirse exponencialmente, gracias a la tecnología y conocimientos disponibles. Aunque la cuestión de clonación humana y animal es un asunto delicado, pues cuestiones bioéticas, algunos científicos miran al futuro con ánimo y la esperanza de poder utilizar estas técnicas para ayudar a la conservación de especies.



  LA MUERTE DE DOLLY:

El 14 de febrero de 2003, Dolly fue sacrificada debido a una enfermedad progresiva     pulmonar que padecía. Dolly vivió 6 años y medio mientras la tasa de mortalidad de su   raza sería de 11/12 años. La necropsia mostró que tenía una forma de cáncer  de pulmón llamada Jaagsiekte. Los técnicos de Roslin no han podido certificar que haya conexión entre esa muerte prematura y el ser clon, pues otras ovejas de la misma manada sufrieron y murieron de la misma enfermedad. Tales enfermedades pulmonares son un particular peligro en las estabulaciones internas, como fue la de Dolly por razones de seguridad.

Sin embargo, algunos han especulado que era parapléjica, debido a sus pezuñas torcidas. Había un factor agravante al deceso de Dolly y era que tenía una edad genética de seis años, la misma edad de la oveja de la cual fue clonada. Una base para esta idea fue el hallazgo de sus telóremos cortos, que son generalmente el resultado del proceso de envejecimiento. Sin embargo, el Roslin Institute ha establecido que los controles intensivos de su salud no revelaron ninguna anormalidad en Dolly que pudieran pensar en envejecimiento prematuro. Los restos disecados de Dolly están expuestos en el museo real de Escocia.

La OVEJA POLLY  es la primera oveja clónica y transgénica a la vez. El nacimiento de dicha oveja se llevó a cabo también en el instituto Rosling de Edimburgo, en el año 1997, cinco meses después del nacimiento de la oveja Dolly y por el mismo equipo de investigadores.

En este caso el proceso se llevó a cabo insertando un gen humano de valor terapéutico en células fetales de oveja y aplicaron el procedimiento habitual ya realizado con éxito en la oveja Dolly.

