



Aspectos éticos de la modificación genética

John Bryant

“Existe la seria inquietud de que algunas de estas moléculas artificiales de ADN recombinante puedan ser biológicamente peligrosas.”
Paul Berg *et al.*, (1974)¹

Resumen

Este documento examina los orígenes y aplicaciones actuales de la modificación genética de plantas, animales y humanos. Se sopesan los aspectos éticos planteados tanto desde el ámbito secular como desde el religioso. Se concluye que a la humanidad se le ha delegado el ejercicio de la administración responsable de todos los recursos de la tierra, incluido el ADN, y que existen fuertes motivaciones teológicas para usar la modificación genética de manera sabia y para el beneficio de los demás.

Antecedentes

En 1972, Paul Berg, de la Universidad de Stanford, California, informó por primera vez de la construcción en tubo de ensayo de un ADN recombinante; esto es, una molécula de ADN creada por recombinación de trozos de moléculas preexistentes de ADN². Rápidamente, la metodología fue aplicada por otro científico de Stanford, Stanley Cohen, quien junto con Herbert Boyer (Universidad de California, San Francisco) y los colegas de ambos, demostraron que las moléculas de ADN recombinante podían transferirse de manera muy efectiva a células bacterianas en el laboratorio³. Estos primeros experimentos de modificación genética (MG) involucraban la transferencia de ADN recombinante a células de *Escherichia coli*, una especie bacteriana usada ampliamente como modelo en la investigación bioquímica y genética. Las moléculas de ADN recombinante no sólo se mantenían y replicaban en el interior de las células bacterianas, sino que además funcionaban normalmente.

Poco después de la invención de estas técnicas, aconteció algo sorprendente. Varios biólogos destacados, incluidos aquellos que habían desarrollado la tecnología del ADN recombinante, enviaron una carta a la prestigiosa revista estadounidense *Science*⁴. Los científicos planteaban su inquietud ante los posibles riesgos de algunas aplicaciones de esta tecnología, y sugerían que ciertos tipos de experimento no debían realizarse. Al principio, estas investigaciones eran autorreguladas; pero en 1975 la propia comunidad científica llamó a paralizar temporalmente el trabajo en ADN recombinante y realizó una conferencia sobre el tema en Asilomar, California⁵. Esta reunión fue aclamada ampliamente como un “hito de la responsabilidad social y autorregulación de los científicos”⁶ y condujo a la elaboración de directrices para la evaluación de riesgos y para la imposición de códigos de buenas prácticas de acuerdo con cada nivel de riesgo. Estas directrices de seguridad constituyeron la base de los marcos regulatorios para la realización del trabajo con ADN



Sobre el autor

John Bryant es catedrático emérito de Biología Celular y Molecular de la Universidad de Exeter; profesor visitante de Biología Molecular de la Universidad del Estado de Virginia Occidental (EE.UU.); presidente de Christians in Science y anteriormente presidente de la Sociedad para la Biología Experimental. El profesor Bryant introdujo uno de los primeros cursos de Bioética para estudiantes de Biología en una universidad británica, y es co-autor de *Life in Our Hands* (Inter-Varsity Press, 2004).

recombinante. Aunque modificados a la luz de la experiencia, estos marcos regulatorios permanecen vigentes en la actualidad.

Establecidos los marcos regulatorios, la tecnología del ADN recombinante/MG avanzó rápidamente. Un avance clave fue el uso de MG para la producción de fármacos tales como la insulina humana, una de las aplicaciones comerciales más rápidas del conocimiento biológico de que se tenga noticia, con un lapso de apenas unos pocos años entre el aislamiento del gen y el otorgamiento del permiso para usar el producto en terapia humana. Actualmente, la insulina no es más que uno de los cientos de productos terapéuticos creados por MG y utilizados en la industria farmacéutica para curar enfermedades en animales y humanos.

Poco después de demostrarse su aplicabilidad en bacterias, se hizo evidente que las técnicas de MG eran aplicables a una variedad mucho mayor de organismos: en 1976 se informaba de la primera MG de animales⁷ y ya era una práctica bien establecida a comienzos de los años ochenta del pasado siglo⁸; la MG de plantas se logró en 1983⁹. Actualmente no cabe duda de que por lo menos algunos miembros de todos los grupos principales pueden ser modificados genéticamente: bacterias, hongos (incluida la levadura), animales vertebrados e invertebrados y plantas unicelulares y multicelulares.

La reciente secuenciación de los genomas de más de 250 especies (principalmente bacterias, pero también representantes de todos los grupos principales de seres vivos), que involucró la determinación del orden preciso de las bases (las “letras genéticas”) de ADN contenidas

¹ Berg, P. “Potential hazards of recombinant DNA molecules”, *Science* (1974) 185, 303.
² Jackson, D.A., Berg, P. y Symons, R.H. “Biochemical method for inserting new genetic information into DNA of simian virus 40: circular SV40 DNA molecules containing lambda phage genes and lactose operon of *Escherichia coli*”, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* (1972) 69, 2904-2908.
³ Cohen, S.N., Chang, A.C.Y., Boyer, H.W. y Helling, R.B. “Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*”, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* (1973) 70, 3240-3244.
⁴ Berg, *op. cit.*, (1).
⁵ Berg, P., Baltimore, D., Brenner, S., Roblin, R.O. y Singer, M.F. “Summary statement of Asilomar conference on recombinant DNA molecules”, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* (1975) 72, 1981-1984.
⁶ Barinaga, M. “Asilomar revisited: lessons for today?” *Science* (2000) 287, 1584-1585.

⁷ Jaenisch, R. “Germ line integration and Mendelian transmission of the exogenous Moloney leukemia virus”, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* (1976) 73, 1260-1264.
⁸ Por ejemplo: Gordon, J.W., Scangos, G.A., Plotkin, D.J., Barbosa, J.A. y Ruddle, F.H. “Genetic transformation of mouse embryos by microinjection of purified DNA”, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, (1980) 77, 7380-7384.
⁹ Herrera-Estrella, L., Depicker, A., van Montagu, M. y Schell, J. “Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector”, *Nature* (1983) 303, 209-213.

en un organismo individual, sólo ha sido posible gracias al uso de la tecnología de MG. El Proyecto Genoma Humano ya ha concluido exitosamente¹⁰, al igual que la secuenciación del ADN de otros mamíferos, entre ellos primates¹¹. La identificación en el ADN de mutaciones causantes de enfermedades humanas sigue expandiéndose rápidamente. En el último recuento, el diagnóstico basado en el ADN estaba disponible para 1033 enfermedades diferentes (un aumento de casi 600 desde el año 2002), con otras 296 en activa investigación y desarrollo¹².

Aspectos éticos generales

En los inicios de la tecnología de MG hubo un debate sorprendentemente limitado acerca de los aspectos éticos. Los comentaristas han llamado la atención acerca de la ausencia de profesionales expertos en ética en la conferencia de Asilomar (aunque sí asistieron algunos abogados). La filosofía moral propiamente dicha no entró en las discusiones, mientras que la posibilidad de objeciones intrínsecas a la MG apenas se mencionó. Por lo tanto, resultó más o menos inevitable que la base de la discusión ética fuera el consecuencialismo (“¿qué pasa si...?”), colocando a la seguridad como máxima preocupación. El énfasis estuvo en cómo debía usarse la tecnología, no en si dicha tecnología debiera usarse o no.

Con respecto a las implicaciones religiosas de este tema, a menudo se da por sentado que la religión en general se opone a la tecnología de MG. En realidad, esto no es así. La situación es bastante más compleja. Las posturas religiosas ante la MG se ocupan principalmente de lo que se hace con la tecnología y no tanto de si debiera usarse o no. De hecho, algunas aplicaciones específicas de la MG han tenido un fuerte apoyo de personas religiosas, especialmente de la tradición judeocristiana, quienes las consideran un uso positivo de los talentos otorgados por Dios a la humanidad para dar bienestar a los demás. El tema de la MG nos da un muy buen ejemplo de la interacción entre ciencia, tecnología y religión en un terreno en el cual las escrituras relevantes (por ejemplo, el Antiguo Testamento de la Biblia en la tradición judeocristiana y el Nuevo Testamento en la religión cristiana) no tienen nada *específico* que decir.

Pese a esta aceptación generalizada de la tecnología de MG, ha habido algunas voces opositoras. Hay personas, a menudo de posturas religiosas paganas o neopaganas, que tienen objeciones intrínsecas a la idea misma de trasladar genes. En argumentos enraizados en Aristóteles, existe la visión de que los genes de un organismo son parte de su naturaleza esencial, su *telos*¹³, y que la modificación genética distorsiona esa naturaleza esencial. Otros tienen una visión de la naturaleza que considera que el concepto de gen como una entidad móvil es excesivamente reduccionista; según esta visión, todo gen es parte de una red compleja de vida, y trasladarlo a otro organismo afectaría esa red y podría perturbar “el equilibrio de la naturaleza”¹⁴. Por último, están aquellos que simplemente consideran que tales actividades exceden los límites de lo permitido a la humanidad, una visión basada generalmente en visiones particulares de las relaciones entre los humanos y el mundo natural.

Dentro de la religión cristiana, hay una pequeña minoría que sugiere que trasladar genes desde un organismo a otro es una ofensa contra el concepto de Dios como creador de las “especies” (Génesis 1)¹⁵. En opinión del autor del presente texto, esta aseveración es insostenible. El descubrimiento de los microorganismos y de los genes ocurrió siglos después de que se escribiera el Nuevo Testamento, por no decir el Antiguo; tales temas son completamente ajenos al conocimiento de los autores bíblicos. Aunque indudablemente el autor de Génesis consideraba como especies los diferentes tipos de animales y plantas, es difícil hacer cuadrar esto con nuestra visión moderna de las especies. Las especies no son algo fijo y, de hecho, algunas tienen límites bien borrosos: en realidad, los biólogos tienen problemas para hallar una definición perfecta del término. Esto es así sobre todo en las

bacterias, muchas de las cuales dan rienda suelta al intercambio de genes, ocasionando una rápida evolución genética.

Sin embargo, la ausencia de prohibiciones específicas en las Escrituras no significa necesariamente que todo esté permitido. Es en tales situaciones cuando cobra importancia la aplicación de principios generales. Tanto en el Antiguo como en el Nuevo Testamento, así como en el Corán, se presenta el tema recurrente de que Dios es el creador y sustentador del universo; el mundo natural es suyo. Además, les ha otorgado a los humanos un lugar particular en él; tenemos la capacidad de usar el mundo natural, la curiosidad para averiguar más acerca de él y el ingenio y la inventiva para poner dicho conocimiento en práctica. Sin embargo, debemos usar estos dones como administradores del mundo de Dios. Dicha administración incluye tener una actitud adecuada hacia nuestros semejantes: amar a nuestro prójimo como a nosotros mismos. Así que, tal como ya se señaló, la seguridad y los riesgos serán preocupaciones tanto para científicos de fe judía o cristiana como para científicos no religiosos. ¿Acaso un grupo adecuadamente informado y cualificado de cristianos o judíos religiosos habría alcanzado conclusiones diferentes de las emanadas de Asilomar? Es casi seguro que no. Sin embargo, puede haber preocupaciones religiosas específicas sobre algunas aplicaciones de la tecnología de MG y de ellas nos ocuparemos ahora.

Modificación genética de plantas

Tal como se ha mencionado, la comunidad científica debió esperar diez años desde el primer informe de modificación genética en bacterias hasta el primer experimento exitoso de MG de plantas. Para los científicos de plantas, la belleza de la técnica era que, al igual que las técnicas desarrolladas originalmente para bacterias, dependían de un proceso natural en el cual una bacteria entrega ADN a los cromosomas de una planta hospedadora. Además, para los productores de semillas, tenía el potencial de transferir genes específicos a variedades selectas preexistentes. Para conocer los detalles técnicos, remito a los lectores interesados a Hughes y Bryant (2002)¹⁶. Para 1985, ya se habían iniciado algunos ensayos de campo a pequeña escala de MG en varios países y se habían obtenido los primeros éxitos en la regulación de la expresión de los genes “foráneos”. Sin embargo, pasaron otros diez años antes de que el primer cultivo genéticamente modificado, el tomate resistente al ablandamiento (y la pasta de tomate derivada de él) saliera al mercado.

Actualmente, el uso de cultivos MG varía ampliamente entre las distintas zonas del planeta. Aunque dentro de la Unión Europea sólo seis países han adoptado estos cultivos, el uso en el resto del mundo crece año a año. En 1996, se cultivaron 2 millones de hectáreas, casi todas en EEUU, donde 1,7 millones estuvieron dedicadas al principal cultivo, la soja resistente a herbicidas. En 2006, los cultivos MG ocupaban 102 millones de hectáreas en 22 países diferentes¹⁷. Los principales países involucrados, en orden descendente según el área cultivada, son EEUU, Argentina, Brasil, Canadá, India, China, Paraguay y Sudáfrica, y los cultivos principales son soja (58,6 millones de hectáreas), maíz, algodón y canola. Alrededor del 90% (9,3 millones) de quienes cultivan estos productos MG son agricultores de escasos recursos que trabajan en pequeñas granjas; 6,8 millones de ellos se encuentran en China y hay cantidades considerables en India y Sudáfrica. La primera producción comercial de arroz MG tuvo lugar en Irán en 2005, y se están llevando a cabo amplios ensayos de campo en China, donde se espera una pronta aprobación de su cultivo comercial a gran escala. La importancia del arroz en la economía alimentaria mundial es tal que probablemente habrá un rápido incremento en la superficie dedicada al cultivo de variedades MG.

Antecedentes para el debate ético sobre plantas

Los primeros pasos de la modificación genética de plantas en 1983 recibieron poca atención pública en aquel entonces, una situación que con el tiempo cambiaría dramáticamente. De hecho, la aplicación de la MG a plantas de cultivos comerciales a mediados de los años noventa del pasado siglo llevó a que muchas personas se pusieran en alerta y se enteraran por primera vez de la existencia misma de las técnicas de MG, aun cuando éstas ya se habían estado usando en otros contextos desde mediados de los años setenta, iniciándose un acalorado debate

¹⁰ Véase, por ejemplo, <http://genome.wellcome.ac.uk/node30075.html> (último acceso: 22/11/2006).

¹¹ Dennis, C. “Chimp genome: branching out”, *Nature* (2005), 437, 17-19.

¹² <http://www.genetests.org> (último acceso: 23/11/2006).

¹³ Tal como comenta Hauskeller, M. “Telos: The revival of an Aristotelian concept in present day ethics”, *Inquiry* (2005) 48, 62-75.

¹⁴ Véase, por ejemplo, <http://www.i-sis.org.uk/gaia.php> (último acceso: 24/11/2006).

¹⁵ N. del T.: John Bryant usa aquí la palabra “kind” (tipo, categoría o especie), que figura en las traducciones de la Biblia al inglés, para contrastarla más adelante con el moderno término biológico de “species” (especie). Sin embargo, las traducciones del Génesis al español usan siempre “especie” (en algunos se usa “género”, pero esto también es confuso porque es utilizado en la biología moderna como un término técnico).

¹⁶ Hughes, S. y Bryant, J. “GM crops and food: a scientific perspective”, En Bryant, J., Baggott la Velle, L. y Searle, J. (eds.) *Bioethics for Scientists*, Chichester: John Wiley & Sons (2002), págs. 115-140.

¹⁷ ISAAA, “Global status of commercialised biotech/GM crops, 2006”, *ISAAA Briefs* (2006), 35. Disponible en www.isaaa.org (último acceso: 07/03/2007).

ético que persiste hasta hoy. En el Reino Unido y otros países de la Unión Europea, este debate ha sido en gran parte hostil a los cultivos MG, mientras que la reacción en muchas otras partes del mundo ha sido más favorable, tal como lo sugieren las estadísticas citadas anteriormente. ¿Por qué es diferente en Europa? Las razones son complejas¹⁸, pero incluyen la idea de que no “necesitamos” la MG cuando ya producimos demasiado alimento y una sospecha hacia la ciencia que tiene sus raíces en el postmodernismo. Dichas preocupaciones no son tan visibles en EE.UU., con sus actitudes más pragmáticas y positivas hacia la introducción de nuevas tecnologías.

Ética, riesgos y seguridad

Tal como se ha señalado, para las técnicas de MG en general se expresaron muy pocas objeciones intrínsecas a la tecnología (es decir, la idea de que estas técnicas sean de por sí incorrectas), aunque algunos de los que se oponen al uso de cultivos MG en la agricultura sí han expresado opiniones de este tipo. Las objeciones principales generalmente han caído dentro de otras dos categorías. La primera de ellas se refiere a los riesgos y la seguridad, y la segunda se refiere a temas que surgen no de la tecnología en sí, sino de las formas en las cuales se comercializa. Estas formas incluyen la obtención de patentes genéticas, la concentración de la propiedad de la tecnología y sus productos en un pequeño número de organizaciones comerciales, la posible explotación abusiva de países menos desarrollados y la relación entre los económicamente fuertes y los económicamente débiles. Son todos temas inmensamente importantes que merecen un análisis exhaustivo desde puntos de vista éticos, pero el espacio disponible aquí no permite más que esta fugaz mención.

De este modo, la atención vuelve a concentrarse en los riesgos y la seguridad. Entre aquellos que hacen campaña contra la comercialización de cultivos MG, ésta ha sido una de las preocupaciones más importantes. Es posible distinguir tres temas. Primero, la incorporación de un gen foráneo es intrínsecamente peligrosa porque los efectos a largo plazo son completamente impredecibles. Segundo, el metabolismo de las plantas puede verse alterado de tal modo que implique riesgos para los consumidores. Tercero, los cultivos MG pueden acarrear riesgos ambientales al convertirse en “supermalezas” o cruzarse con parientes silvestres de modo que éstos se conviertan en supermalezas o al afectar la biodiversidad de algún otro modo.

Quienes defienden la tecnología sostienen que estas preocupaciones son infundadas. En primer lugar, los genomas de las plantas no se desestabilizan por la adición de genes exógenos; de hecho, la incorporación de material genético foráneo ha sido, y probablemente aún siga siendo, parte de la evolución de las plantas. Además, en aquellos cultivos en los cuales se han introducido genes foráneos a través de técnicas de fitomejoramiento “convencionales”, no ha habido problemas. En segundo lugar, la introducción de un gen foráneo, a menos que éste sea elegido específicamente para producir un efecto a nivel bioquímico, no conduce por sí sola a cambios en el metabolismo. De hecho, se argumenta que el cruce de dos cepas, aunque sean del mismo cultivo, tiene las mismas probabilidades de alterar el metabolismo que la MG. Además, los partidarios de la tecnología de MG señalan que cualquier compañía de alimentos que lance al mercado un producto sin saber si es seguro va camino al desastre comercial. En tercer lugar, las variedades creadas por medio de las técnicas de MG no tienen mayores ni menores probabilidades de transformarse en supermalezas, de cruzarse con parientes silvestres o tener otros efectos sobre el medioambiente en comparación con los cultivos mejorados convencionalmente. Esto quedó ilustrado con las exhaustivas evaluaciones a pequeña escala realizadas en el Reino Unido, en las cuales se pretendía examinar los efectos de los cultivos MG sobre la biodiversidad, pero que en realidad mostraron cómo el crecimiento de un cultivo portador del rasgo específico de tolerancia a los herbicidas afecta la biodiversidad¹⁹. Desde luego, en estos ensayos, dicho rasgo había sido insertado con técnicas de MG, pero en la práctica el método de fitomejoramiento no fue evaluado. Si dicho rasgo hubiera sido introducido en el mismo cultivo a través de fitomejoramiento convencional, muy probablemente se habrían obtenido los mismos resultados, es decir, una reducción de la biodiversidad.

¹⁸ Véase Barnes, B. “The public evaluation of science and technology”, En Bryant, J., Baggott la Velle, L. y Searle, J. (eds.), *Bioethics for Scientists*, Chichester: John Wiley and Sons (2002), págs. 19-36.

¹⁹ Comentado en Bryant, J., Baggott la Velle, L. y Searle, J. *Introduction to Bioethics*, Chichester: John Wiley and Sons (2005), págs. 93-98.

Encauzando el debate

También es necesario señalar que ningún bando sale airoso de este polarizado debate. Ambos han presentado propaganda engañosa y en algunos casos lisa y llanamente falsa²⁰, y han tergiversado al otro bando, dificultando así la realización de un genuino debate²¹. No obstante, en el Reino Unido aún existe una mayoría que no desea ver la introducción de cultivos MG, y esta oposición casi se ha vuelto parte del pensamiento liberal “políticamente correcto”.

Actitudes religiosas hacia los cultivos genéticamente modificados

En ausencia de instrucciones específicas en las Sagradas Escrituras, las religiones abrahámicas centran su atención, una vez más, en principios más generales. Es interesante que un estado islámico como Irán haya adoptado el arroz MG, y que el Consejo Islámico de Indonesia, la nación musulmana más populosa del mundo, ha aprobado el consumo de cultivos MG y sus productos. Sin embargo, los musulmanes británicos generalmente han sido más cautos, lo que tal vez refleje las visiones del público británico en general. En el judaísmo, la enseñanza rabínica actual indica que la tecnología de MG es un uso aceptable de los dones de Dios para la humanidad y que los cultivos MG son compatibles con las leyes de la alimentación kosher.

Entre los cristianos, las visiones son diversas. Varios escritores cristianos han concluido que la modificación genética de cultivos es en sí misma un conjunto aceptable de tecnologías, siempre y cuando se use con el debido cuidado²²; otros han sido más neutrales²³, mientras que algunos han expresado claramente su oposición²⁴. Sin embargo, lo que todos estos escritores tienen en común, junto con los escritores musulmanes y judíos, son sus preocupaciones sobre los asuntos relacionados con la comercialización de los cultivos MG, en un reflejo de las palabras del profeta judío Miqueas: “Oh hombre, él te ha declarado lo que es bueno, y qué pide Jehová de ti: solamente hacer justicia, y amar misericordia, y humillarte ante tu Dios” (Miqueas 6:8)²⁵. Una pregunta crucial a plantear es: “¿A quién beneficiará realmente la nueva tecnología, a los pobres y necesitados? ¿O será usada para depositar aún más poder en las manos de los ricos?”. Cada caso debe ser juzgado por sus propios méritos, pero ésta es la pregunta bíblica clave, tan importante para la MG como para la aplicación de cualquier otra nueva tecnología.

Modificación genética de animales

La modificación genética de mamíferos es considerada actualmente un procedimiento de rutina, aunque con niveles de éxito relativamente bajos. Hay dos métodos básicos por los cuales puede lograrse esta MG en mamíferos no humanos²⁶. El procedimiento usado más comúnmente es la introducción de un ADN foráneo en un huevo recién fertilizado²⁷ (después de una fertilización *in vitro*, FIV). El embrión, que ahora porta genes “foráneos” (exógenos) integrados aleatoriamente en su ADN, es introducido en el útero de una madre potencial adecuada. Si el embarazo se establece exitosamente (y debe señalarse que el índice de éxito para los embriones MG es significativamente inferior al de los embriones no MG), entonces nacerá un mamífero transgénico (modificado genéticamente); éste, además, le pasará el nuevo gen a las siguientes generaciones. La segunda estrategia principal, usada más frecuentemente para alterar algún gen existente en ratones con fines de investigación, es insertar el gen en células madre (generadas a partir de un embrión normal) a través de un proceso conocido como recombinación homóloga. Las células modificadas son devueltas al embrión, el cual es luego introducido en el útero para completar su período de gestación. El gen foráneo es traspasado a la siguiente generación a través de las células germinales. Aunque en general no es aplicable a animales grandes,

²⁰ Bryant y cols., *op.cit.*, (18).

²¹ Bryant, J. y Searle, J. *Life in Our Hands*, Leicester: Inter-Varsity Press (2004) págs. 82-86.

²² Por ejemplo, Perry, J.N. “Genetically modified crops”, *Science and Christian Belief* (2003) 15, 141-163 y págs. 78-107.

²³ Por ejemplo, Deane-Drummond, C.E. *Biology and Theology Today*, Londres: SCM (2001).

²⁴ Por ejemplo, Christian Ecology Link: GM crops briefing paper (2003). Disponible en: www.christian-ecology.org.uk/GM-Crops.rtf (último acceso: 23/11/2006).

²⁵ Esta cita bíblica se ha tomado de la versión de *La Santa Biblia* de Reina-Valera (1960).

²⁶ Maclean, N. (ed.) *Animals with Novel Genes*, Cambridge: Cambridge University Press (1994), págs. 4-7.

²⁷ Esto suele denominarse “inyección pronuclear”. En esta temprana etapa, los materiales genéticos del espermio y el huevo no se han mezclado, sino que aún están ubicados dentro de la célula huevo en estructuras individuales denominadas pronúcleos. El ADN “foráneo”, en realidad, se inyecta en uno de los pronúcleos.

tales como ovejas y vacas, es un procedimiento alternativo útil para animales con períodos de generación cortos, como los ratones.

Además, los genes foráneos introducidos en mamíferos pueden regularse para confinar la expresión del gen a células o tejidos particulares o a fases específicas del crecimiento y desarrollo. Sin embargo, aún existen problemas con el nivel de expresión de los genes foráneos (es decir, cuán bien funciona el gen foráneo) y no es probable que éstos se superen hasta que se haga posible insertar el o los genes en sitios específicos de los cromosomas animales. No obstante, los roedores MG que portan genes humanos mutados causantes de enfermedades como la fibrosis quística o genes que cuando se activan producen cáncer (oncogenes) se usan rutinariamente en la investigación médica. Según las cifras del Ministerio del Interior (el cual regula la investigación con animales en el Reino Unido), en 2005 hubo 957.000 procedimientos regulados que involucraron animales MG, 96% de los cuales eran ratones. Sólo un tercio de los procedimientos involucró ensayos experimentales directos, mientras que la mayoría estaban asociados a la crianza de los animales. Otras aplicaciones incluyen la modificación de ovejas para que produzcan proteínas farmacéuticas en su leche, mientras que se investiga activamente en la modificación genética de cerdos orientada a cambiar su constitución inmunológica para que sus órganos puedan ser usados en trasplantes a humanos. Por otro lado, intentos por aumentar el rendimiento en el ganado mayor no han tenido éxito debido a las anomalías en el crecimiento y aberraciones esqueléticas producidas como efecto colateral de la modificación genética.

MG y bienestar animal

No hay duda de que la creación y posterior utilización de animales MG, ya sea en investigación médica o en la producción farmacéutica, está basada en una visión instrumental de los animales: éstos son usados para servir a las necesidades de la especie humana. En ese aspecto, la MG de animales no plantea problemas que no hayan sido planteados anteriormente a raíz de nuestro uso de los animales en otros contextos. En general, las respuestas éticas a la MG de animales varían ampliamente entre las personas con y sin fe religiosa, y van desde una oposición total, tal como la expresó el teólogo británico Andrew Linzey²⁸, a una aceptación general aunque a menudo condicionada. Para cristianos, judíos y musulmanes, no existe en sus Escrituras una prohibición del uso de animales. Jesús mismo usó un asno como bestia de carga y también comió carne. Sin embargo, esto debe verse en el contexto del respeto por los animales domésticos manifestado en la ley judía y el tema bíblico general de que Dios se preocupa por su creación, la cual incluye los animales salvajes y aves. Temas similares también aparecen en el Corán. Esto implica que, aunque los animales sean usados instrumentalmente, dicho uso debe estar matizado lo más posible por la consideración de su bienestar. En el Reino Unido, dicho bienestar está consagrado en los estrictísimos reglamentos del Ministerio del Interior que gobiernan el uso de todos los animales en investigación, incluyendo las investigaciones que involucran MG.

MG en humanos

En el Reino Unido hay una experiencia de trabajo de casi treinta años con embriones humanos *in vitro*, gracias a la FIV. La selección genética de embriones para parejas que están en riesgo de tener un hijo con una condición genética grave ha estado disponible desde hace varios años. Así que, si se lograra superar las dificultades técnicas, ¿habría alguna razón para no proceder con la MG de humanos, es decir, cambiar la constitución genética de un futuro ser humano de tal modo que el cambio sea heredable? La “Human Fertilisation and Embryology Act” (Ley de Fertilización y Embriología Humana) de 1990, aunque permite la experimentación genética en embriones tempranos, prohíbe el uso de embriones MG para el establecimiento de

un embarazo. Sin embargo, tal como lo ha demostrado la experiencia en la investigación con células madre, los términos de la Ley pueden alterarse si el Parlamento lo estima apropiado. Además, el experto cristiano en ética, Robin Gill²⁹, no está solo cuando sugiere que la MG de humanos sería aceptable si estuviera dirigida a corregir una enfermedad genética, un proceso conocido como *terapia génica* de células germinales. Sin embargo, también hay algunos dispuestos a ir más allá. El filósofo ateo John Harris equipara el *mejoramiento* genético con pagar por recibir instrucción musical o clases de ballet³⁰, mientras que Gregory Stock, director del Programa sobre Medicina, Tecnología y Sociedad de la Universidad de California (UCLA), quien se confiesa “relativamente permisivo acerca de estas tecnologías”, sugiere que es sólo una cuestión de tiempo y dinero: debería dejarse en manos del mercado³¹. Dadas estas visiones, sumadas al desarrollo técnico actualmente en curso, no es de sorprenderse que el médico cristiano Gareth Jones crea que la MG en humanos es inevitable³².

En la evaluación de estos asuntos, es necesario considerar varios aspectos. En primer lugar, no debe exagerarse el poder de los genes. Los humanos somos mucho más que nuestros genes, aun cuando se reconozca que éstos sí tienen alguna influencia en parte de nuestro comportamiento³³. En segundo lugar, aunque se apruebe la terapia génica, la distinción entre terapia y mejoramiento es difícil. En tercer lugar, la abundante experiencia con FIV indica que no es probable que la MG de humanos se convierta en una tecnología masiva ni a corto ni a medio plazo. La FIV no es un procedimiento fácil ni agradable para la mujer. Las parejas que opten por la MG de embriones necesitarían estar extremadamente motivadas, sean cuales fueren sus razones. En cuarto lugar, el advenimiento del diagnóstico preimplantacional, que involucra FIV y la detección de enfermedades genéticas en los embriones en la muy temprana fase de 8 células, seguida por la implantación exclusiva de los embriones “saludables” en la madre, hace innecesaria la modificación de las células germinales para la corrección de anomalías genéticas. Quinto, aunque sea posible imaginar que la terapia génica de células germinales pueda estar disponible a través de servicios de salud públicos o seguros médicos (como sí ocurre con la terapia génica de células somáticas), cualquier manipulación que involucre el mejoramiento genético probablemente será una actividad comercial. Esto plantea la posibilidad de que pequeñas cantidades de personas adineradas compren mejoramientos para sus hijos, pero es necesario que haya realismo respecto a lo que es y no posible. La complejidad de atributos como el talento musical o las proezas deportivas los hacen objetivos inadecuados para la modificación genética, al menos en el futuro previsible.

Conclusiones

Dios le ha dado a la humanidad el mandato de cuidar de la tierra y sus recursos, utilizándolos siempre que sea posible para el bien de los demás. Esta administración se extiende al ADN tanto como a cualquier otro recurso. Por lo tanto, hay fuertes motivaciones teológicas para usar la MG de manera positiva y sabia. Al mismo tiempo, la teología aporta recursos éticos para definir los límites de lo aceptable, e inyecta una nota de realismo para contrarrestar las visiones exageradas acerca de los posibles beneficios de la MG para la humanidad.

²⁸ Linzey, A. *Animal Theology*, Londres: SCM (1994), esp. p. 143; véase también: Compassion in World Farming: www.ciwf.org.uk/campaigns/other_campaigns/genetic.html (último acceso: 23/11/2006).

²⁹ Gill, R. *Moral Communities: The 1992 Bishop John Prideaux Lectures*, Exeter: Exeter University Press (1992).

³⁰ Harris, J. *Clones, Genes and Immortality*, Oxford: Oxford University Press (1998), esp. p. 194.

³¹ Stock, G. *Redesigning Humans: Choosing our Children's Genes*, Londres: Profile Books (2002) y “Unnatural birth”, *RSA Journal* (2003) abril, 34-37.

³² Jones, D.G. *Designers of the Future*, Oxford: Monarch Books (2005).

³³ Nuffield Council on Bioethics, *Genetics and Human Behaviour*, Londres: Nuffield Council on Bioethics (2002).

Los Documentos Faraday

Los Documentos Faraday son publicados por el Faraday Institute for Science and Religion (Instituto Faraday para la Ciencia y la Religión), St Edmund's College, Cambridge, CB3 0BN, UK, una organización no lucrativa para la educación y la investigación (www.faraday-institute.org). Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente representan los puntos de vista del Instituto. Los Documentos Faraday abarcan un amplio abanico de temas relacionados con las interacciones entre ciencia y religión. La lista completa de los Documentos Faraday puede verse en www.faraday-institute.org de donde pueden descargarse copias gratuitas en formato pdf. Este artículo ha sido traducido por Felipe Elgueta Frontier. Una edición impresa bilingüe (inglés-español) de los Documentos Faraday ha sido publicada por la Fundación Federico Fliedner, C/. Bravo Murillo 85, 28003 Madrid, España (www.fliedner.es). Para más información consultar www.cienciayfe.es (donde también se pueden descargar los documentos individuales en formato pdf en ambos idiomas).

Fecha de publicación: Abril 2007. Fecha de traducción: Enero 2012. © The Faraday Institute for Science and Religion.