

---

# TERAPIA GÉNICA: ¿REALIDAD O SÓLO UN SUEÑO DE PIPA?

JUAN MANUEL TORRES

---

ABSTRACT. The recurring failures in most gene therapy research protocols, in fact in almost all of them, move us to raise the following question: are such failures imputable only to biotechnological problems?, or are there other essential factors involved in this, up to now, unsuccessful process of medical research? In this contribution, we analyze, from an epistemological point of view, the role that the so-called *principle of essential indetermination of biological systems* can play in many failures, and also the ontological origin of such indetermination and its relation to biological evolution.

KEY WORDS. Basic science, applied science, technology, biotechnology, medical research, gene therapy, gene transference, evolution theory.

---

---

## I. INTRODUCCIÓN

Cuando reflexionamos sobre la ciencia y su historia, la expresión “sueño de pipa” admite al menos dos sentidos. Uno vinculado con la ensoñación de algún científico, durante la cual pudo vislumbrar la solución de un problema u ocurrírsele una idea fecunda. La narración sobre cómo intuyó Kekule la estructura de la molécula de benceno, mientras se adormecía contemplando las llamas de su hogar, nos habla de algo que podría considerarse el resultado de un sueño de pipa. Existe también un sentido peyorativo de la expresión *pipe's dream* que es usual en la lengua inglesa. Se trata de aquellas ideas fantasiosas, que a veces expresan los científicos y que sólo son condimentos para novelas y películas de ficción; ideas tales como viajes al pasado o la coexistencia de mundos paralelos. En 1967, el premio Nobel, Marshall Nirenberg, uno de los descubridores del código genético, decía:

My guess is that cells will be programmed with synthetic messages within twenty five years... the point that deserves special emphasis is that man will be

---

Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina. Centro de Filosofía de las Ciencias,  
Universidad de Lisboa, Portugal. / jmvtorres@yahoo.com.ar

able to program his own cells long before he will be able to assess adequately the long-term consequences of such alterations.

La primera frase resume lo que hoy es una realidad y se conoce como 'transferencia génica', la cual, cuando se aplica al hombre con propósitos terapéuticos, recibe el nombre de 'terapia génica'. Las restantes frases advierten sobre las implicancias de esas manipulaciones. Notemos que Nirenberg y otros adelantaron por aquel entonces la increíble idea de que podríamos programar los productos de los organismos mediante la inserción en su maquinaria celular de mensajes genéticos, antes de que tuviéramos la posibilidad técnica de identificar, aislar o componer secuencias genéticas y transferirlas a las células. La posterior idea, que de ese modo podrían curarse aquellas enfermedades —en general hereditarias— causadas por la ausencia de proteínas eficientes para el correcto funcionamiento de nuestra fisiología surgió inmediatamente, casi como surgen los teoremas de los axiomas en las teorías matemáticas.

Así tomó vida, a fines de los sesenta, el proyecto de la transferencia génica humana con propósitos terapéuticos o terapia génica. Pocos años después se pusieron en marcha los trabajos para dar realidad a esa idea tan teórica, en un colosal esfuerzo de investigación, que hoy está coronado con prácticamente novecientos protocolos de investigación clínica (Cavazzana-Calvo *et al.* 2004). Sin embargo, los resultados son demasiado exiguos si se tiene en cuenta los recursos humanos y económicos invertidos. Por ello una pregunta surge espontáneamente: la terapia génica es hasta ahora un sueño de pipa, ¿pero en cuál de los dos sentidos? Trataremos de explorar los aspectos generales del problema desde dos perspectivas: la epistemológica y la de la filosofía de la tecnología.

## II. CIENCIA BÁSICA Y APLICADA

Comenzaremos por una breve exposición de las clásicas nociones de *ciencia básica* y *ciencia aplicada*, tal como ellas son normalmente usadas en la comunidad científica. Por ciencia básica entendemos cualquier hipótesis, ley o teoría —suficientemente confirmada— que expresa las relaciones existentes entre entidades, propiedades o procesos de una región claramente delimitada de la realidad. Esta región o *sistema* es parcialmente una abstracción o producto de nuestra actividad intelectual, que considera la realidad empírica tomando en cuenta sólo algunos precisos aspectos de ella, con el propósito de establecer sus mutuas relaciones, como dependencia causal, sucesión o simultaneidad. Las llamadas 'leyes de Newton' constituyeron para su tiempo un buen ejemplo de lo que la ciencia básica es. Ellas expresaban cómo suponemos que se comportan los cuerpos con relación a ciertas propiedades específicas, tales como masa, posición o

fuerza. Como cualquier otro conocimiento acerca del mundo, la ciencia básica es conjetural, aunque Newton y los científicos de la modernidad no lo hubieran considerado así, ya que creían que las leyes de la mecánica, lejos de ser hipótesis bien fundadas, eran verdades universales que estaban más allá de toda duda razonable. A través de generalizaciones basadas en la redundancia del mundo, esto es, en la repetición de fenómenos de una misma clase, la ciencia básica intenta explicar cómo discurren los fenómenos en un sistema, el cual asumimos que es un modelo de lo que las hipótesis afirman. Naturalmente, tales generalizaciones son los fundamentos a partir de los cuales la ciencia trata de explicar y predecir.

Además de sus propósitos de conocimiento, la ciencia tiene también finalidades prácticas. Del conocimiento de las regularidades que tienen lugar en un sistema o parcela del mundo, nosotros podríamos iniciar, interrumpir o modificar procesos, dominando de este modo parcelas del mundo natural y aun de la vida social. En este último sentido, es conveniente recordar el concepto popperiano de *ingeniería social*. Justamente, la ciencia aplicada es el producto de la investigación orientada a establecer normas o reglas fundadas en ciencia básica, que nos permiten alcanzar determinados fines. La ley física que expresa: "Si la temperatura de un cuerpo magnetizado alcanza su punto de Curie, entonces perderá su estado de magnetización", nos provee de un excelente ejemplo de una hipótesis general de la ciencia básica, la cual, a su vez, es fundamento para el siguiente enunciado nomopragmático: 'Si calentamos un cuerpo magnetizado hasta su punto de Curie, entonces perderá su estado de magnetización'. Aunque ambos enunciados tienen la misma estructura y dicen prácticamente lo mismo, el último se refiere a una acción humana que descansa sobre un conocimiento básico. Del mismo modo, sobre la base de nuestros conocimientos actuales de genética clásica y molecular, podemos emprender muchas acciones destinadas a mejorar la calidad o rendimiento de muchos productos que son elaborados por bacterias y organismos vegetales o animales. De esta manera, la relación entre ciencia básica y aplicada puede ser entendida como la relación entre conocimientos generales, por un lado, y enunciados nomopragmáticos construidos sobre ellos y que indican operaciones a realizar, por el otro (Bunge 1966 y 1973; Mitchan 1994).

Ciertamente, puede haber desarrollos tecnológicos exitosos y, sin embargo, ausencia de los conocimientos sobre los cuales tales éxitos descansan. Desde la antigüedad se ha trabajado con éxito en el mejoramiento de razas animales o en la elaboración de vino, a pesar de que se desconocían las leyes genéticas y la química de los azúcares. En este sentido, las relaciones entre ciencia aplicada y su dependencia de la ciencia básica que explicamos más arriba, expresan un cierto ideal de complementariedad. A veces, se parte de éxitos en aplicación y luego se inquiere la razón o base

teórica en que descansan los mismos. Otras, se parte de teorías y leyes para buscar posteriormente sus aplicaciones.

### III. REQUERIMIENTOS PARA APLICACIONES EXITOSAS

A pesar de lo dicho, es bien conocido que las leyes e hipótesis científicas y sus correspondientes enunciados nomopragmáticos —cuando éstos son posibles— no son suficientes para asegurarnos un dominio del curso de los fenómenos de un campo. Esta es la razón por la cual el esquema con que frecuentemente vemos que se representa la ciencia y su poder de transformación en textos de divulgación, a saber: '*ciencia básica* → *ciencia aplicada* → *dominio tecnológico*' puede ser acusada con razón de ser una grave simplificación. De hecho, es una idea popular que ignora muchos problemas que están asociados a la última etapa.

Puntualicemos algunos de los problemas que se interponen entre los enunciados nomopragmáticos y el *efectivo* dominio de los fenómenos. En primer lugar, debemos mencionar aquellos aspectos relacionados con la *capacidad tecnológica* para aplicar lo que la regla o enunciado nomopragmático dice. Entre ellos, tener a la mano los materiales necesarios, instrumentos de ejecución, cálculos y otros. En nuestro ejemplo, la capacidad está atada a la posibilidad de hacer que un cuerpo alcance su punto de Curie y, al mismo tiempo, monitorear su propiedad de magnetización a cualquier temperatura dada. Ambos requerimientos no son difíciles de cumplimentar, pero conocemos incontables casos en los cuales los requerimientos tecnológicos son de una extraordinaria complejidad, aunque los principios sobre los cuales descansan las operaciones pueden ser de una gran simplicidad. La decisiva importancia de los recursos tecnológicos para hacer efectivas las reglas nomopragmáticas nos advierte que estas últimas constituyen una condición necesaria, pero no suficiente, para la aplicación de la ciencia en orden a obtener un exitoso dominio de los fenómenos de un campo.

La otra barrera que se interpone entre la ciencia y el efectivo dominio de los fenómenos de un sistema son los límites bajo las cuales opera la ley que vale en un campo, por hablar así. Con relación a los enunciados nomopragmáticos, la cuestión de los límites es equivalente al de las condiciones bajo las cuales el principio puede ser operativo. El ejemplo provisto por la ley, que establece que todos los cuerpos caen a la misma velocidad sobre la superficie terrestre, nos ayuda a ilustrar este punto. Como es bien conocido, esta ley vale solamente si los cuerpos caen en el vacío y, además, si no hay fuerzas relevantes afectando su movimiento. ¿Es posible para nosotros identificar esos límites bajo los cuales esta ley trabaja y, por tanto, tenerlos en cuenta en orden a hacer uso del corres-

pondiente principio nomopragmático? En la enseñanza elemental, todos hemos sido testigos de que eso es posible.

Aunque los límites o condiciones bajo las cuales una ley o hipótesis se cumple deberían ser incluidos en su enunciación, normalmente esto no sucede. Como dice Küppers (1990), "Frequently, the scientist proceeds by freeing the material behavior to be analyzed as far as possible from the complexities of its natural constraints in order to gain access to deeper-lying regularities". Con relación a esto, pensamos que dejar en un segundo plano los límites dentro de los cuales el principio es operativo, es responsable de un crucial olvido. A saber: que las limitaciones de las leyes e hipótesis generales tienen un diferente peso en física y química que en biología. Con relación a las primeras, es posible en muchos casos identificar los límites y, por tanto, ser capaz de enunciar la regla nomopragmática de un modo apropiado, de tal modo que sea útil para producir el efecto buscado. Sin embargo, en el mundo de los sistemas biológicos y los principios que se refieren a él, las cosas son muy diferentes. Aquí nos encontramos con el principio de *esencial indeterminación*, el cual se refiere a la cantidad de requerimientos bajo los cuales trabajan, por usar el lenguaje informal, las leyes o regularidades biológicas. Las leyes de Mendel constituyen un buen ejemplo de esta situación por las importantes excepciones que ellas admiten, especialmente la denominada *ley de segregación independiente*. Es de gran importancia reparar en la relación que las excepciones a una ley guardan con sus condiciones o límites de validez. En general se puede decir que mientras las excepciones a una ley constituyen la *ratio cognoscendi* de sus límites de cumplimiento, tales límites son la *ratio essendi* o causa de sus excepciones.

Los principios biológicos trabajan en total acuerdo con los físicos y químicos o, dicho de otra manera, son consistentes con ellos. Sin embargo, son extremadamente exigentes en lo que respecta a la cantidad de condiciones bajo las cuales se cumplen plenamente. Tal exigencia deriva de la extrema complejidad de los organismos. Las bacterias, una de las formas vivientes más primitivas, ya nos ofrecen una inconcebible complejidad en la organización de sus variados elementos, para no hablar de las células de los organismos superiores. En realidad, ni siquiera es necesario confiar en nuestra visión intuitiva de la complejidad de los vivientes. Pensemos en una proteína o en los genes que la codifican. En ambos casos se trata de elementos ordenados y cuyo orden puede ser matemáticamente calculado. Aun para las proteínas o genes más sencillos la complejidad es tan extrema que muchos consideran imposible que se puedan haber formado por azar, incluso suponiendo el rol orientador y depurador de la selección natural, como sostienen los neodarwinistas (Meyer 2005).

La *teoría neodarwinista* de la evolución, conocida como *teoría sintética*, nos puede ayudar a dar una respuesta general sobre el carácter singular de las

formas vivientes, carácter que se añade al de su complejidad. Que la teoría sintética sea capaz de proveernos de un principio de respuesta sobre tal singularidad, no prejuzga que otras teorías de la evolución, como la teoría de la autorganización o la simbiótica no sean también capaces de hacerlo. Si nos referimos al neodarwinismo es porque es la teoría que hoy concita más consenso en la comunidad científica.

De acuerdo a la *actual* teoría neodarwinista, los seres vivos, su anatomía y fisiología, son el resultado de incontables variaciones genéticas azarasas —por tanto, hereditarias— con leves y favorables efectos fenotípicos, siendo esta la razón por la cual tales variaciones y, por tanto, sus efectos han sido preservados por la selección natural. Ésta no se reduce a la acción negativa de eliminar lo no adaptativo, pues también hace posible la conservación y acumulación de variaciones favorables. Mientras que la variación, producto en última instancia de la mutación genética, provee el material de la evolución, la selección natural conduce a la adaptación (Ayala 1985). En virtud de su origen azaroso, las características de los organismos —a pesar de ser el resultado de un proceso de necesidad, esto es, el trabajo de la selección natural sobre el efecto de las mutaciones— deben ser consideradas, desde un punto de vista epistemológico, como impredecibles. Al menos, tan impredecibles como fueron los nichos ecológicos que decretaron qué formas vivientes sobrevivirían o, lo que es lo mismo, serían adaptativas. En otras palabras, la *contingencia* del medio, entendido éste como el conjunto de elementos a los que hay que adecuarse para sobrevivir, contamina las formas vivientes ya que es su con-causa.

Lo anterior avala la afirmación que las formas biológicas son *sui generis* y también, aunque en menor medida, los individuos contenidos en cada especie; esta afirmación constituye un eslabón crucial en el desarrollo del argumento que aquí se presenta y debemos precisarla aún más. Debe ser claro el que no se trata de sostener que no haya elementos —estructuras y procesos— comunes a las diversas especies. Cualquiera puede apreciar la similitud entre los mamíferos con respecto a sus sistemas, sus tejidos o su fisiología. Tampoco se trata de afirmar que Juan no es tan hombre como Pedro. Más bien se trata de enfatizar el hecho que cada individuo es único y que, a pesar de las similitudes, las especies son únicas. Ciertamente, decir que cada especie es única y que cada individuo también lo es, constituye una cierta tautología o *truismo*, por usar un neologismo. Lo que nos interesa aquí es el rol que juega esta situación con respecto al problema del, hasta hoy, fracaso de la terapia génica. Por el momento importa señalar que esta situación de unicidad de las entidades que encontramos en el mundo de la vida nos ayuda a entender la dificultad de encontrar auténticos principios biológicos universales, por un lado, y por otro, que se cumplan sin excepción.

Dicho de otro modo, lo expresado más arriba nos ayuda a comprender el origen de la conocida dificultad de acceder a principios biológicos que de alguna manera no estén atados a la peculiaridad de esta o aquella especie. Y, a su vez, por qué, con relación al *efectivo* dominio de los procesos de la vida solemos erigir una peculiar cuestión cuando enfrentamos fracasos; una situación bastante común en la investigación médica: ¿estamos frente a problemas puramente técnicos o el fracaso es debido al carácter *sui generis* de la especie o de las peculiaridades del individuo? Quizás pueda parecer problemática o trivial la afirmación de que cada individuo es único y, al mismo tiempo, similar a otros de la misma especie. Pero piénsese, al respecto, en el genoma. Es en virtud de éste que Juan y Pedro son humanos, pero también es en virtud de éste que son distintos, por ejemplo, con un futuro en salud que seguramente será muy diferente para ambos. Notemos que los procesos microevolutivos —que según la teoría neodarwiniana son los únicos implicados en la evolución— dan cuenta de la variedad entre individuos, razas y subespecies, algo que tiene una importancia crucial en la medicina de las patologías de origen genético. Luego volveremos sobre la cuestión de la unicidad.

#### IV. LA REGLA PARA LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS Y LA MEDICINA GÉNICA

Llamamos *regla para la producción de proteína* (RPP) a la operación de introducir un segmento codificante de DNA en una célula, de tal manera que ésta produzca el poliaminoácido codificado en la secuencia de DNA introducida. El enunciado nomopragmático contenido en la RPP no se deriva de un conocimiento sino de varios. Entre los más importantes se pueden mencionar que el DNA es una sustancia codificante, que el código genético relaciona específicos grupos de nucleótidos o codones con específicos aminoácidos y otros bien corroborados acerca de la peculiar estructura y función de la maquinaria celular.

La RPP constituye la base para uno de los más importantes proyectos del siglo veinte, aunque tiene otras utilidades. Como fue expresado al comienzo, este proyecto es la medicina de transferencia génica, también conocida como *terapia génica* (en adelante TG). Aunque podría parecer que exageramos su importancia, tan pronto precisemos su naturaleza y fines, quedarán claras las razones de nuestra insistencia en su trascendencia. Brevemente definida, la TG consiste en la inserción de genes con valor terapéutico en células de organismos humanos para curar enfermedades o atenuar sus efectos. Un objetivo central TG, aunque no el único, son las enfermedades hereditarias, esto es, las patologías originadas en los efectos negativos provenientes de genes deletéreos que los individuos reciben de sus progenitores. Debido a la presencia de genes deletéreos en los cromosomas

somas celulares, las células de los diferentes tejidos son incapaces de producir las sustancias requeridas por nuestra fisiología. En estos casos, la estrategia de la TG es insertar *genes sanos* en las células del tejido involucrado. De esta manera, las células modificadas por los genes transferidos serán capaces, a partir de la ahora correcta información, de producir la proteína —usualmente, una enzima— que el organismo naturalmente requiere.

El siguiente ejemplo ilustra con claridad el concepto de TG. La fibrosis quística —una patología con alta incidencia en las poblaciones de origen caucásico (1/2 500 nacidos vivos)— es una enfermedad causada por la incapacidad de las células de producir la proteína CFTR en aquellos tejidos donde esta proteína debe estar presente, o dicho más técnicamente *expresarse*, como los pulmones o el páncreas. La proteína CFTR está encargada del transporte de cloro y su ausencia es responsable, entre otras cosas, de la imposibilidad de las células pulmonares de extraer el oxígeno del aire que inhalamos. Los resultados son problemas respiratorios, una muy pobre calidad de vida y una muerte prematura. El protocolo de TG para esta patología consiste en introducir el gen codificante de la proteína CFTR en las células afectadas de tal manera que ellas puedan producir por sí mismas la vital proteína.

Si prestamos atención al hecho que hoy se conocen ya más de 3 500 patologías hereditarias y que constituyen la más importante causa de muerte o discapacidad en los países desarrollados, entonces la importancia atribuida al proyecto de la TG está plenamente justificada. Como puede apreciarse, el proyecto intenta hacer realidad lo que era ficción o *un sueño de pipa* hasta hace pocos años: curar de raíz, esto es, en sus propias causas, las enfermedades hereditarias normalizando la dotación genética de las células allí donde ello es necesario. Más aún: la TG no está limitada al remplazo de genes deletéreos por genes correctos. También es una promesa en la lucha contra el cáncer de tumores sólidos. Por ejemplo, hay protocolos diseñados para la introducción de genes en células malignas y que permitirían su destrucción. Otros han sido diseñados para la protección de células sanas de los conocidos efectos letales de las drogas anticancerosas, introduciendo en las primeras genes que elevarán su resistencia a los letales agentes quimioterapéuticos (Torres 1997).

Sin embargo, la TG todavía pertenece al mundo de la medicina de investigación. Los protocolos de la TG, aunque son promesas fascinantes, no son efectivos, puesto casi ninguno de ellos es exitoso o, dicho en un lenguaje más llano, ninguno *cura*. Ellos son sólo protocolos de investigación, con la excepción de dos protocolos referidos a dos severas patologías del sistema inmune, a saber SCIDS y SCIF-X (Aluti *et al.* 2002; Gaspar *et al.* 2004). Este hecho podría tomarse como auspicioso, si no fuera porque hoy la mayoría de los intentos con la TG y, por tanto las expectativas, están encaminados a la lucha contra los diversos tipos de cáncer (71 por ciento

de los protocolos). Contrariamente, sólo un 10 por ciento de los ensayos está dirigido al combate de las enfermedades monogenéticas, como son las dos citadas (sobre el estado actual de la investigación en TG, ver Crofts and Krimsky 2005). Este estado de cosas ha causado un extendido sentimiento de frustración en la comunidad, especialmente cuando se consideran los millones de dólares y horas de investigación gastados por laboratorios, agencias y centros académicos.

Con relación a este sentimiento de frustración que se erige a partir de la falta de éxito, dos cosas deben ser puntualizadas. En primer lugar, gran responsable de esta sensación de frustración son los medios periodísticos, que con sus usuales exageraciones anunciaban como seguros los que no eran sino dudosos éxitos. También responsables son a veces los investigadores mismos. Éstos, en orden de conseguir dinero y, a veces, prestigio, hablan frecuentemente de posibles resultados como si fueran probables y, lo que es peor, de probables como si fueran realidades. En segundo, no se suele recordar que las hoy convencionales estrategias en los tratamientos contra el cáncer, que muchas veces entrañan frustrantes resultados, en su día fueron anunciadas sonoramente como soluciones, tal como el caso de la radiación para el tratamiento del cáncer.

De acuerdo con lo que venimos diciendo, parecería que con relación al fracaso de la TG sólo enfrentamos problemas biotecnológicos y un mal periodismo, que dio por hecho lo que aún está por hacerse. Aparentemente, estamos en una etapa de la historia de la ciencia en la cual hay sólo problemas técnicos para ir de la teoría al efectivo dominio de los fenómenos. Sin embargo, también cabe la posibilidad que no todo sea debido a problemas de capacidades técnicas sino también que haya algo mal con respecto a la regla RPP. En apoyo de esto último, se puede argüir lo siguiente: En los llamados *modelos animales*, esto es, ensayos *in vivo* con otras especies, los protocolos de TG son frecuentemente exitosos (recordemos que estos ensayos con animales son pasos obligatorios anteriores a los ensayos con humanos). Pero, desafortunadamente, tan pronto se pasa de los modelos animales a la gente enferma, las fallas aparecen. Revistas líderes como *Human Gene Therapy* y *Gene Therapy* están llenas de reportes de exitosos ensayos sobre animales o células humanas *in vitro*. Pero los investigadores expertos y realistas saben bien que esos reportes científicos podrían significar poco para los pacientes. También debería prestarse atención al hecho que varios de los protocolos presuntamente exitosos en animales se relacionan con enfermedades producidas por tumores que no se originan naturalmente sino que son provocados intencionalmente. Esto es importante para comprender por qué algunas proclamadas curas del cáncer no deben ser anticipadamente celebradas como triunfos.

Naturalmente, existen otros problemas, además de las diferencias entre lo que resulta para animales y lo que debería resultar para humanos y de

aquello que ocurre *in vitro* y lo que debería ocurrir *in vivo*. Estos problemas no se refieren a diferencias entre especies o el medio en que se desarrolla el ensayo (*in vivo* e *in vitro*), sino a lo que al comienzo denominamos *capacidades tecnológicas*. Por ejemplo, hay muchos problemas asociados con la eficiencia de los vectores virales, los cuales son el medio más común para la introducción en las células de los genes terapéuticos. Existe el consenso generalizado de que una de las grandes dificultades es encontrar vectores virales de alto poder infectivo. Sin embargo, la fisiología es un factor fundamental y si tomamos en cuenta el *estatus sui generis* de cada especie y las diferencias que hay de individuo a individuo, entonces la siguiente hipótesis aparece plausible: usualmente la RPP funcionará sólo para cada especie y sus particularidades.

En otras palabras, las condiciones bajo las cuales la regla RPP es operativa depende a menudo de numerosos y desconocidos detalles. Ella está atada a cuestiones de *sensibilidad de contexto*, de tal manera que no es posible esperar sin más un éxito obtenido en una especie o en situaciones artificiales, y un éxito en otra o en situaciones naturales. Más aún, cuanto más distantes sean las especies, es menos probable que el éxito pueda ser transferido. Al respecto, es importante recordar que modelos animales para TG con chimpancés u otros monos superiores no están permitidos. Ciertamente, los límites de aplicación de la RPP en cada caso podrían ser sistemáticamente identificados utilizando la conocida metodología de *ensayo y error*. Pero se debe recordar que estos procedimientos ni están permitidos ni son admisibles con respecto a seres humanos, lo que pone a la TG en inmensa desventaja con respecto a otras biotecnologías que involucran transferencia de material genético y han resultado plenamente exitosas, como es evidente en los organismos transgénicos.

#### V. CONCLUSIONES

Con respecto al dominio de los fenómenos de un campo, la filosofía de la tecnología no ayuda a distinguir entre problemas relacionados con nuestras posibilidades tecnológicas y problemas originados en el conocimiento de las condiciones bajo las cuales un principio es operativo. Con respecto a la TG, esta distinción es fundamental porque ayuda a distinguir las fuentes a las cuales los recurrentes fracasos pueden ser adjudicados y mostrar que no se trata invariablemente de nuestras incapacidades tecnológicas. Como fue expresado, las metodologías de ensayo y error son de gran valor para conocer bajo qué condiciones una determinada hipótesis se cumple. Sin embargo, esta posibilidad es inaccesible en la investigación clínica con pacientes, esto es, fuera de los ensayos con modelos animales o *in vitro*. Se trata de los límites éticos y legales pautados por los *Points to Consider* del *National Institute of Health* y de la *Food and Drug Administration*

de Estados Unidos para los ensayos de TG, documentos que también han servido de modelo para otras legislaciones de investigación en TG fuera de los Estados Unidos de América.

Un punto crucial para ver el futuro desde las generalísimas perspectivas en que nos hemos situado es atender a los dos protocolos mencionados de enfermedades al sistema inmune, que se han revelado exitosos, a pesar de la escasa importancia social que tienen debido al reducido número de personas afectadas por dichas patologías. Lo que esos protocolos demuestran es que el principio general sobre el que descansa la terapia génica, esto es, la RPP en contextos terapéuticos, funciona. En otras palabras, la TG no es un sueño de pipa en sentido peyorativo. Esto ilumina la esperanza de que finalmente sea posible para la humanidad contar con efectivas terapias para la mayoría de las enfermedades hereditarias y los diversos tipos de cáncer. Pero sobre la base de nuestra argumentación, es entendible por qué será un progreso muy lento alcanzar éxitos terapéuticos, además de las dificultades atribuibles a problemas puramente tecnológicos.

REFERENCIAS

- Aluti, A., Slavin, S., Aker, M. *et al.* (2002), "Correction of ADA-SCID by stem cell gene therapy combined with nonmyeloablative conditioning," *Science* 296: 2187.
- Ayala, F. (1985), *Evolución y origen del hombre*. Madrid: Alianza Editorial.
- Bunge, M. (1966), "Technology as applied science," *Technology and Culture* 7 (3): 329-347.
- Bunge, M. (1973), *La investigación científica*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Cavazzana-Calvo, M., Thrasher, A. Y Mavilio, F. (2004), "The future of gene therapy," *Nature* 427: 779-781.
- Crofts, C. and Krimsky, S. (2005), "Emergence of a scientific and commercial R&D infrastructure of human gene therapy," *Human Gene Therapy* 16(2): 169-177.
- Gaspar, H. B., Parsley, K. I., Howe, S. *et al.* (2004), "Gene therapy of X-linked severe combined immunodeficiency by use of pseudotyped gammaretroviral vector," *The Lancet* 364: 2181-2187.
- Küppers, B-O. (1990), *Information and the Origin of Life*. The MIT Press.
- Meyer, S. (2005), "Intelligent design: the origin of biological information and the higher taxonomic categories," *Proceedings of the Biological Society of Washington* 117 (2): 213-239.
- Mitchan, C. (1994), *Thinking Through Technology*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Nirenberg, M. (1967), "Will society be prepared?," *Science* 157: 633.
- Torres, J. M. (1997), "On the limits of enhancement in human gene transfer: Drawing the line," *The Journal of Medicine and Philosophy* 22: 34-53.