



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EL PRINCIPIO PRECAUTORIO APLICADO A LOS ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

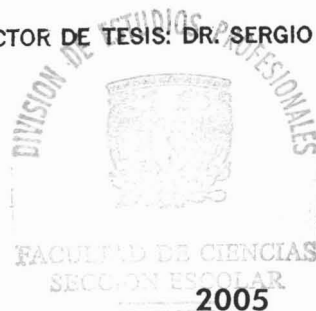
P R E S E N T A :

LEONORA MILAN FE

DIRECTOR DE TESIS: DR. SERGIO MARTINEZ MUÑOZ



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM



LEONORA MILAN FE  
08/06/05

[Handwritten signature]

m. 345084



ESTADO NACIONAL  
SANTO DOMINGO  
1977

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"El principio Precautorio aplicado a los  
organismos genéticamente modificados."

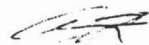
realizado por Leonora Milán Fe


con número de cuenta 40005093-5 , quien cubrió los créditos de la carrera de: **Biología**

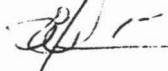
Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director

Propietario Dr. Sergio Martínez Muñoz 


Propietario Dra. Edna María Suárez Díaz 

Propietario M. en C. Irama Núñez Tancredi 

Suplente M. en C. María Alicia Villela González 

Suplente Biól. Vivette García Deister 

**Consejo Departamental de Biología**

  
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA  
DE BIOLOGÍA

**EL PRINCIPIO PRECAUTORIO**  
**APLICADO A LOS**  
**ORGANISMOS**  
**GENÉTICAMENTE MODIFICADOS**

*"Un hombre que va por la orilla del mar agitando enloquecidamente  
con el brazo extendido un farol, puede ser un loco.  
Pero si es de noche y entre las olas hay una barca perdida,  
ese mismo hombre es un salvador.  
La tierra en la que vivimos es un territorio fronterizo entre el cielo y el infierno.  
No hay ningún comportamiento que sea en sí mismo bueno o malo.  
Es su sitio dentro del orden de las cosas el que lo hace bueno o lo hace malo."*

**Milán Kundera, "La Broma"**



## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, al Dr. Sergio Martínez Muñoz, por su dedicación, tiempo y esfuerzos sin los cuáles la realización de esta tesis no hubiera sido posible; además, por todas las gentilezas y consideraciones que ha tenido conmigo, un agradecimiento enorme.

A mis sinodales: Edna Suárez, Irama Núñez, Alicia Villela y Vivette García, por sus valiosísimas correcciones; por meterle tanta velocidad a la lectura de la tesis incitadas por mí y mi urgencia de titulación (debo haber sido una pesadilla, lo siento muchísimo y mil gracias por todo). Con respecto a las correcciones, un agradecimiento especial a Vivette... ¡qué dedicación y amabilidad para escudriñar y corregir mi redacción hasta la última coma! Con respecto a las atenciones que ha tenido conmigo, un agradecimiento enorme a Edna, de verdad gracias por tenerme tan presente.

A mis padres; Marina, Sergio y Eduardo, por el apoyo, la comprensión, el amor, el ánimo y todo lo que son y han sido siempre para mí.

A Tania, por todo y más; a mi gang del alma: Martita, Marce, Ivanson, Osorio y André por todos los momentos tan chidos, el cariño, las risas y el apoyo durante tanto tiempo. En especial a Martha y Osorio, por haberme acompañado durante más de cinco años, y cada segundo de mi carrera, muchísimas gracias...

A Adina, Mariana, Carlitos, Tóshiko y Brenda, por los primeros semestres; a Carlitos, Ipozy, Perso, y sobre todo a Adriana por los últimos. Sin ustedes el estudiar Biología no hubiera tenido sentido. Todas y cada una de ustedes marcaron (y siguen marcando) mi vida. Gracias por todo.

A Chaiapas y a Tatjuana especialmente, pero también al resto de la banda que me acompañó en Isla Isabel, fue la mejor experiencia (aunque en momentos era demasiado campo).

A Rodrigo, David, Alex y Curtis, por el apoyo en esa última etapa. Gran propedéutico, ojalá y esto siga por dos (y muchos) años más.

A Aidee, por más de lo que ella se imagina.

Mención honorífica a Matthias Kaiser, ya que si nunca lo hubiera oído hablar nunca hubiera conocido al fantástico PP, y esta tesis no existiría.

A Nancy Contreras, por la fantástica idea de que el trabajo final de Naturaleza y Sociedad fuera un capítulo de nuestra tesis. Sin ese empujoncito, quién sabe cuándo hubiera empezado este trabajo.

A Ana Barahona y demás maestros del Taller de Problemas Históricos y Filosóficos de la Biología, por aceptarme a destiempo en el taller e inculcarme el interés y los conocimientos del área que hoy me impulsan a ir por más.

Por último, quiero agradecer a toda la gente que me ha acompañado en todas las etapas de mi vida: mis amigos del Piaget, donde crecí, toda la gente del Olinca que estuvo, está y seguirá estando conmigo, todas las personas que me acompañaron durante mi vida universitaria (UAM, UNAM, y propes de Bioética y Filos de la Ciencia), y todos aquellos que no entran en ninguna de estas categorías pero no por eso son menos importantes. Esta tesis es el resultado de un proceso, de una vida; sin todos ustedes yo no sería quien soy el día de hoy. Gracias por ayudarme a crecer y darme la fuerza y el cariño para hacerlo.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: EL PRINCIPIO PRECAUTORIO.....	6
1.1 Definiciones del Principio Precautorio.....	6
1.2 ¿Qué es el Principio Precautorio?.....	9
1.3 Interpretaciones del Principio Precautorio.....	10
1.4 Breve historia del Principio Precautorio.....	13
1.5 Estado actual del Principio Precautorio alrededor del mundo.....	15
1.6 Argumentos a favor del Principio Precautorio.....	18
1.7 Críticas al Principio Precautorio.....	19
1.8 Principio Precautorio e incertidumbre científica.....	22
1.9 Principio Precautorio y evaluación de riesgos.....	22
CAPÍTULO 2: LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS.....	25
2.1 ¿Qué son los organismos genéticamente modificados?.....	25
2.2 Proceso de creación de OGMs.....	27
2.3 Ingeniería genética vs. fitomejoramiento.....	32
2.4 Producción de OGMs a nivel mundial.....	34
2.5 Beneficios y controversias de los OGMs.....	36
2.6 Países en desarrollo y OGMs.....	46
2.7 Actitud del público en relación con los OGMs.....	47
2.8 ¿Por qué necesitamos ingeniería genética?.....	49
2.9 OGMs y fragilidad ambiental.....	50
Evaluación de la seguridad de los OGMs.....	52
CAPÍTULO 3: EL PRINCIPIO PRECAUTORIO Y LOS OGMs.....	58
3.1 Protocolo de Cartagena y Principio Precautorio.....	62
3.2 Postura de dos ONGs acerca de los OGMs.....	66
3.3 Principio Precautorio y enfoque precautorio.....	70
3.4 Principio Precautorio y modelo de análisis de riesgos.....	73
3.5 Principio Precautorio e incertidumbre en el caso de los OGMs.....	74
3.6 La precaución como generadora de riesgos.....	77
3.7 Marco práctico de aplicación del Principio Precautorio según sus elementos fundamentales.....	80

DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES: APLICACIÓN DEL PRINCIPIO	
PRECAUTORIO A LOS OGMS.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	96
GLOSARIO.....	100

## INTRODUCCIÓN

A una de las principales discusiones en del área de la ética ambiental subyace una pregunta de extrema importancia, a saber, ¿cuál es la naturaleza y la extensión de nuestras obligaciones para las generaciones futuras? (Van deVeer, 1998). Las teorías éticas antropocéntricas (que sostienen que únicamente el *Homo sapiens* posee un estatus moral) poco a poco van perdiendo fuerza conforme crece la conciencia humana de que no nos encontramos solos en este planeta, y que como tal tenemos una obligación moral con el resto de las especies con las que compartimos la Tierra, con la Tierra misma, y por supuesto, con el ser humano, pero ya sin creer que los humanos que poblamos el planeta en un momento determinado somos los únicos con importancia. La idea de que debemos tener un sentido de justicia intergeneracional (es decir, una preocupación y una responsabilidad para con las generaciones futuras), aunada a un apoyo creciente a las teorías biocentristas (que sostienen que todo ser viviente tiene un estatus moral) de la justicia, nos permite generar teorías y prácticas de conservación que parecen ser más justas que nuestro histórico antropocentrismo. La teoría de la justicia intergeneracional, hablando simple y llanamente, nos dice que si la generación que habita la Tierra en el presente tuvo la oportunidad de disfrutar el planeta en ciertas condiciones, tiene la obligación moral de asegurarse que las generaciones que le sigan reciban al planeta en condiciones iguales o mejores, nunca peores. Sin embargo, el esfuerzo para que se cumpla este principio de justicia ha sido casi nulo a lo largo de los años, en parte porque en el afán humano de llevar el desarrollo tecnológico al punto más alto posible, se han descuidado los efectos nocivos que este desarrollo puede tener. Varias tecnologías de punta, como los clorofluorocarbonos o el DDT, que presumían ventajas enormes para el ser humano, terminaron generando daños ambientales irreparables cuyos costos no pueden siquiera empezar a calcularse. La misión de nuestra generación, y de generaciones futuras, debe ser evitar que esto se repita y mantener una vigilancia estricta sobre la tecnología que, sin embargo, no signifique detener su desarrollo. Ciertas tecnologías, por sus consecuencias

potenciales, deben ser reguladas cuidadosamente para minimizar su impacto negativo lo más posible. Entre ellas, se encuentran los organismos genéticamente modificados.

El tema de los organismos genéticamente modificados, u OGMs, ha sido discutido desde varios puntos de vista y distintos enfoques, de manera constante, a nivel internacional y local. Un tema central en estas discusiones gira alrededor de los pros y contras respecto a la generación, cultivo, comercialización y consumo de este tipo de organismos. La pregunta fundamental que hasta el día de hoy sigue sin respuesta es, ¿son sus beneficios superiores a sus riesgos? La discusión que implica el responder a esta interrogante, además de ser marcadamente biológica, involucra aspectos filosóficos y sociales de gran peso, habiendo una gran controversia en todas estas áreas.

Los organismos genéticamente modificados son todos aquellos que han sido creados mediante la manipulación de su componente genético, ya sea recibiendo un gen novedoso, bloqueando la función de o perdiendo un gen existente, o activando y sobreexpresando genes que normalmente no estarían activados. El tipo de OGM más polémico es el denominado "transgénico", en el que se transfiere información genética de un organismo hacia otro de una especie, familia, e incluso reino, diferente.

Debido a que se pretende que este tipo de organismos sea utilizado a escala mundial para la alimentación humana y animal, las cuestiones de su seguridad son el tema que más le preocupa al público. Existen muchos miedos relacionados con los OGMs, que van desde el desarrollo de resistencia a antibióticos debido al tipo de marcadores que se les inserta a los OGMs durante su proceso de creación, hasta una eventual pérdida de biodiversidad relacionada con su cultivo indiscriminado. A pesar de que muchos de los riesgos que plantean los críticos de los OGMs han sido exagerados, hay riesgos muy reales demostrados por experimentos científicos, como el de Quist y Chapela, que se describirá al inicio del tercer capítulo de este trabajo. La inquietud más grande con respecto a los OGMs es que algunos de los riesgos que presentan podrían ser irreversibles, y de una magnitud tal que hasta el día de hoy parece que no serían superados por los aparentes beneficios que este tipo de organismos podría ofrecer. Digo aparentes, porque los llamados OGMs de primera generación (que son los que se encuentran actualmente en el mercado) aún no presentan beneficios para el

consumidor, sino únicamente para los productores de las semillas de dichos organismos, y en ocasiones para aquellos que las cultivan. Sin embargo, los beneficios prometidos a largo plazo (por ejemplo, mayor valor nutricional, vacunas y suplementos vitamínicos agregados), son solamente eso, una promesa, para cuyo cumplimiento falta mucho todavía. Aunque los beneficios no sean para todos, los daños posibles sí lo son; sin embargo, al ser los riesgos potenciales principalmente a largo plazo, y de existencia difícil de comprobar, los proponentes y defensores de los OGMs los descartan a favor de sus beneficios. Es decir, la incertidumbre relacionada con los riesgos de los OGMs parece estar funcionando como un argumento para descartar la posibilidad de su ocurrencia. Sin embargo, la magnitud de los riesgos respecto a los cuales existe incertidumbre nos exige precisamente lo contrario: que se actúe a pesar de no tener certidumbre científica completa.

El elemento ético en la discusión acerca de los OGMs resulta claro, debido a que el conflicto se desarrolla alrededor de la distinción entre el bien y el mal, y la capacidad humana de reconocer la diferencia entre éstos para actuar de la mejor manera posible. Al ser un dilema ético, tiene sentido utilizar un principio ético para tratar de resolver la controversia acerca de si está bien o mal utilizar OGMs. Aquí es donde entra el Principio Precautorio, al que me referiré de ahora en adelante como PP. Dicho Principio ha sido incluido en una serie de tratados internacionales, y es la base de las políticas ambientales de una gran cantidad de países, incluidos los que componen la Comunidad Europea. Este Principio empezó a utilizarse de manera formal desde su aparición en la Declaración de Río sobre Medioambiente y Desarrollo de 1992 y que, según la definición postulada en dicha Declaración, se establece que cuando nos enfrentamos a riesgos graves provenientes de un desarrollo o tecnología, la incertidumbre científica que exista acerca de estos riesgos no debe evitar que tomemos medidas precautorias para prevenirlos. Por esta razón, parecería que el PP es una buena manera de lidiar con los riesgos inciertos que presentan los OGMs.

Sin embargo, si los OGMs son controversiales, el PP lo es igual o más. Esto se debe a que, a pesar de que el PP ha sido utilizado en decenas de tratados y leyes ambientales internacionales, hasta el día de hoy no se ha logrado articular una definición estándar de dicho Principio, sino meramente una serie de lineamientos que

funcionan como guías para su uso. Este es uno de los principales puntos de crítica para el Principio; también lo es el hecho de que hay quien cree que el PP es anti-científico, y que si hubiésemos detenido todo desarrollo científico o tecnológico meramente porque presentaba una posibilidad de riesgo a futuro, la ciencia no hubiera logrado avanzar hasta el punto al que ha llegado. Estas críticas serán respondidas dentro de esta tesis, además de mostrar los puntos a favor que dicho Principio presenta.

Existen varias razones por las que decidí realizar este trabajo. En primer lugar, porque pienso que el PP es una herramienta de regulación digna de explorarse, con un enorme potencial y un gran número de usos posibles. En segundo lugar, porque el tema de los OGMs me preocupa de manera especial, debido a los grandes riesgos que conlleva y a la falta de información objetiva que se encuentra disponible al público. Los OGMs son un problema creciente, y difícil de manejar debido a sus características particulares. Para evitar que dicho problema exceda nuestras capacidades de solución, los OGMs requieren de regulación efectiva y siempre buscando el nivel máximo de seguridad, que no es necesariamente la que se encuentra en estos momentos asociada con este tipo de organismos. Por ello, pienso que vale la pena explorar la posible utilización de un mecanismo de regulación como lo es el PP, cuyos beneficios en el caso de los OGMs podrían ser muy superiores que los de un método de regulación más tradicional.

De este modo, la hipótesis que planteo en este trabajo es la siguiente: el PP es una herramienta muy adecuada para la regulación de los organismos genéticamente modificados. Los objetivos que pretendo seguir para respaldar dicha hipótesis son los siguientes:

- 1) Analizar los aspectos fundamentales tanto del PP como de los organismos genéticamente modificados.
- 2) Tratar de demostrar que el PP puede ser aplicado como método para regular la producción, comercialización y uso de OGMs, debido a la incertidumbre que rodea a esta tecnología y los riesgos que puede generar.

Esta tesis está compuesta por tres capítulos; el primero describe al PP, tratando de aterrizar el concepto mediante la presentación de sus diversas definiciones y los



puntos en común que tienen todas ellas, así como un análisis de su estado actual en el mundo, y de sus críticas y puntos de apoyo. El segundo capítulo contiene una extensa descripción de los organismos genéticamente modificados: qué son, cómo se generan, los beneficios y controversias asociados con ellos, y los problemas existentes para su regulación. El tercer capítulo es el enlace entre los dos primeros; busca apoyar la aplicación del PP como herramienta regulatoria para los OGMs por sobre otros métodos de análisis y manejo de riesgos.

## **CAPÍTULO 1: EL PRINCIPIO PRECAUTORIO**

El Principio Precautorio es un fruto de la conciencia ambientalista que ha ido aumentando a partir de los años setenta. Responde a la creciente convicción de que la humanidad se encuentra en una situación en la que nuestra capacidad tecnológica y la escala potencial de nuestras acciones excede por mucho nuestro conocimiento predictivo; a pesar de que esto ha sido una constante dentro de la historia del desarrollo científico y tecnológico, ahora resulta más preocupante por la magnitud de las consecuencias que pueden tener nuestros actos (Van den Belt, 2003). El Principio se originó en respuesta a la inquietud existente acerca de las limitaciones de la ciencia y las políticas para lidiar adecuadamente con los riesgos crecientes, y para reconocer las severas consecuencias para la salud y la economía que puede tener el no tomar precauciones (Tickner, 2002).

El PP ha ido cobrando importancia gradual en los procesos de toma de decisiones y creación de políticas en las áreas de salud humana y protección ambiental. A pesar de lo complejo que es definir dicho Principio, éste ha sido incluido en una gran cantidad de tratados, acuerdos, declaraciones y manifiestos internacionales y es parte fundamental de las políticas internacionales que involucran el medio ambiente.

El PP podría considerarse como un intento de los seres humanos de cambiar el *modus operandi* de la creación de los desarrollos tecnológicos hasta este momento: es un esfuerzo para ya no caer en el “hacer primero, corregir consecuencias después”, buscando evitar, desde el principio, que se den estas consecuencias. En lugar de tratar de reparar los daños generados sobre el medio ambiente y sobre todos los seres vivos debido a la acción humana, la utilización del PP procura evitar que estos daños ocurran. En lugar de buscar solucionar los problemas, busca que estos no se generen.

### **1.1 Definiciones del Principio Precautorio**

La Declaración de Río sobre Medioambiente y Desarrollo de 1992 define al PP de la siguiente manera:

“Con el propósito de proteger el medioambiente, el enfoque precautorio deberá ser ampliamente aplicado por los Estados, de acuerdo a sus capacidades. Donde existan amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de certidumbre científica total no debe usarse como razón para posponer la adopción de medidas costo-efectivas para prevenir el deterioro ambiental” (Tickner, 1999).

Esta es la caracterización del PP más conocida y utilizada; es lo más cercano a una definición estándar que existe, y sigue teniendo vigencia a pesar de que otras formulaciones ligeramente diferentes se han incluido en otros textos oficiales.

El PP es la base para la ley ambiental europea, según se establece en el Tratado de Maastricht sobre la Unión Europea (UE) de 1994:

“Las políticas comunitarias sobre el medioambiente... deberán basarse en el Principio Precautorio y en los principios que señalan que es necesario adoptar medidas preventivas; que el daño ambiental, como prioridad, debe ser rectificado en la fuente, y que quien contamina debe pagar”. (Tickner, 1999)

Sin embargo, en dicho tratado no se ofrece ninguna definición del Principio, ni tampoco en algún otro comunicado de la UE, ni siquiera en la Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas acerca del Principio Precautorio de febrero del 2000. Uno podría preguntarse si no resulta un poco absurdo el que el PP sea la base para la creación de políticas ambientales de la UE y que en ningún momento se haya dado una definición concreta para facilitar su uso; parecería ser que definirlo podría fomentar su utilización al eliminar la vaguedad que rodea al concepto. Lo que se hace en la Comunicación mencionada anteriormente es establecer una base de lineamientos y guías para el mejor uso del PP, mas nunca una formulación concreta. La Comunicación ofrece el siguiente indicador para su uso:

“El Principio Precautorio aplica cuando la evidencia científica es insuficiente, no concluyente o incierta, y la evaluación científica preeliminar indica que hay motivos razonables para pensar que los efectos potencialmente peligrosos en

el ambiente o en la salud humana, animal o vegetal puedan ser inconsistentes con los altos niveles de protección elegidos por la UE.” (Myers, 2000)

La razón por la que no existe una definición formal y completa que pueda utilizarse como estándar para todas las situaciones en las que busque aplicarse el PP es que los casos en los que este se usa son diferentes, y como tal, no puede recurrirse a una definición que, por ser estándar, resulte demasiado rígida, y por ello no se ajuste a las características particulares de cada uno de ellos. A lo que se recurre, entonces, es a utilizar interpretaciones variadas del Principio, de acuerdo con el caso que se está estudiando.

Es interesante resaltar que el uso del PP en políticas oficiales, y su inclusión en leyes ambientales, es algo casi exclusivamente europeo. En Estados Unidos, por ejemplo, no se menciona expresamente el PP en la legislación o en las políticas públicas a nivel nacional. Sin embargo, algunas leyes tienen un carácter precautorio, y el Principio subyace en buena parte de la legislación ambiental inicial en ese país. A pesar del apoyo de Estados Unidos al PP en los tratados internacionales y en otras declaraciones, poco se ha hecho para implementarlo en este país. El primer esfuerzo importante realizado en Estados Unidos para introducir al PP en la toma de decisiones cotidianas sobre medio ambiente y salud pública corresponde a una conferencia realizada en enero de 1998 por activistas, académicos, científicos y abogados en Wingspread, hogar de la Fundación Johnson, en Racine, Wisconsin. Convocados por la Red de Ciencia y Salud Ambiental (SEHN), los participantes analizaron los métodos de implementación del PP y las barreras que impiden esa implementación (Tickner, 1999). La definición del PP que se da, en enero de 1998, en la Declaración de Wingspread sobre el Principio Precautorio, es la siguiente:

“Cuando una actividad representa una amenaza para la salud humana o para el medio ambiente, deben tomarse medidas precautorias aún cuando algunas relaciones de causa y efecto no hayan sido totalmente determinadas de manera científica” (Tickner, 1999).

Enunciados como éstos plantean muchas interrogantes. ¿Existe la certidumbre científica completa? ¿Necesitamos un umbral mínimo de certidumbre científica o de plausibilidad antes de que podamos (o debamos) emprender acción preventiva? ¿Sabremos realmente cómo prevenir el daño si somos tan ignorantes acerca de las relaciones causa-efecto subyacentes? Las definiciones existentes actualmente no logran establecer las condiciones precisas que tienen que ser cumplidas antes de que el PP pueda ser invocado ni la naturaleza de la acción preventiva que debe realizarse (Van den Belt, 2003).

Hemos presentado aquí formulaciones del PP que a pesar de estar presentes en diversas declaraciones y tratados internacionales, no nos explican del todo qué es este Principio; por ello, trataré de aclararlo a continuación.

## **1.2 ¿Qué es el Principio Precautorio?**

El PP establece esencialmente que no necesita haber evidencia completa de riesgo para instituir medidas para proteger a los individuos y a la sociedad de ese riesgo (Wilson, 2003). Sin embargo, el que no deba existir “evidencia completa de riesgo” (especialmente al ser tan difícil establecer qué se quiere decir con “completa”) no implica que no se necesite evidencia alguna. El PP no está basado en mera imaginación de posibilidades remotas. El sólo pensar o especular que algo puede pasar no es el tipo de información que normalmente desencadene una acción precautoria, a menos que uno pretenda detener todo desarrollo e innovación. El PP, colocado en un contexto real de toma de decisiones, debe referirse a algún tipo de información científica relevante (Kaiser, 2002).

En vez de preguntar qué nivel de daño es aceptable, un enfoque precautorio pregunta: ¿Cuánta contaminación puede evitarse? ¿Cuáles son las alternativas para este producto o actividad? O incluso ¿Es realmente necesaria esta actividad? El PP obliga a quien inicia una actividad a plantearse cuestiones fundamentales respecto a cómo actuar con mayor sensibilidad medioambiental. El PP sirve también como un amortiguador de velocidad para las nuevas tecnologías, garantizando que las decisiones sobre nuevas actividades se adopten de forma meditada y a la luz de sus consecuencias potenciales (Tickner, 1999).

El Manifiesto Wingspread (o Declaración de Wingspread) acerca del PP enlista 4 componentes centrales del Principio:

1. Realizar acciones preventivas al encarar incertidumbre;
2. Transferir pesos a los proponentes de las actividades potencialmente dañinas;
3. Explorar un amplio rango de alternativas a acciones posiblemente dañinas; y
4. Aumentar la participación pública en la toma de decisiones (Tickner, 2002).

Hay autores, como Howard (1998), que buscan ampliar estos cuatro puntos (a ocho, en su caso particular), de manera que el PP sea menos débil y por lo tanto menos criticable. Sin embargo, los cuatro arriba mencionados son los más básicos, y serán discutidos con detalle a lo largo de este trabajo, debido a su importancia y al hecho de que la gran mayoría de las definiciones actuales del PP están formuladas alrededor de ellos. Además, se verá como Barrett (2000) lo ampliará a 5 puntos fundamentales y generará, a partir de ellos, un marco teórico de aplicación (al caso particular de los OGMs) que se describirá con detalle en el tercer capítulo de este trabajo.

### **1.3 Interpretaciones del Principio Precautorio**

La palabra “Principio” tiene un amplio número de usos, pero todos están relacionados con reglas, leyes, estándares, verdades fundamentales o la esencia de algo. La “Precaución” es una medida tomada anticipatoriamente para evitar un peligro o un evento indeseable. Por lo tanto, si buscamos generar una definición textual del PP, debemos referirnos a una regla o ley general relacionada con el evitar los peligros. Esto, sin embargo, es una caracterización muy incompleta, ya que es difícil pensar en una regla general que nos ayude a evitar todo peligro. Más bien habría que reinterpretar esta definición, y esto puede hacerse de dos maneras. Puede ser mediante la aplicación del sentido común, o “mira antes de saltar”, o bien, si buscamos ser más estrictos y establecer una verdadera regla general, tendría que ser una que fuera aplicada para evitar hasta la más remota posibilidad de peligro cuando se postula una nueva relación de elementos de riesgo y daño. Julian Morris (2000) llama a estos dos acercamientos amplios al PP el “PP Débil” y el “PP Fuerte”. El PP Débil dice que la falta de certidumbre completa no es una justificación para no evitar que se realice una acción que puede resultar dañina. El PP Fuerte dice que no debe realizarse una acción a

menos que se esté seguro de que ésta no va a causar ningún daño. Fuera de esta descripción general, no hay ninguna definición universalmente aceptada del PP, pero las muchas versiones que existen pueden dividirse en tres categorías:

- a) Definición 1 del PP: Los reguladores (es decir, aquellos evalúan la seguridad de una nueva tecnología, y en base a ello toman las decisiones acerca del futuro de dicha tecnología) que se enfrentan a la existencia de incertidumbre científica acerca de un riesgo tienen la justificación de actuar para prevenirlo. Esta versión permite actuar al enfrentarse a la incertidumbre y puede ser descrita como una versión Débil.
- b) Definición 2 del PP: Los reguladores que se enfrentan a la existencia de incertidumbre científica acerca de un riesgo deben actuar para prevenirlo. Esta versión obliga a que exista una acción y puede ser descrita como una versión Fuerte.
- c) Definición 3 del PP: Los reguladores que se enfrentan a la existencia de incertidumbre científica acerca de un riesgo deben pedirle a su generador (el proponente de la acción involucrando al riesgo que se está considerando) que demuestre que el nivel de riesgo es aceptable o justificable, mediante procedimientos de manejo de riesgos, antes de que la actividad sea aprobada. Esta versión transfiere la responsabilidad de las pruebas relacionadas con los niveles aceptables de riesgo del regulador al generador de riesgos, es decir, revierte el peso o la carga de las pruebas. (Rogers, 2003)

La primera definición es de naturaleza pasiva, mientras que las otras dos definiciones son de naturaleza activa. Ninguna menciona qué tipo de medida de manejo de riesgos debe seguir a la invocación del PP. Por esta razón, Rogers (2003) dice que lo que genera polémicas no es el PP en sí, sino la acción precautoria que le sigue. La cuestión del posible mal uso del PP, según este autor, está directamente relacionada con el que la acción precautoria tomada sea apropiada o proporcional al riesgo dado.

Para clarificar la situación del uso correcto del PP, la Comisión Europea publicó una Comunicación acerca del PP en febrero de 2000. Esta Comisión describió al PP de

manera tal que encaja entre las Definiciones 1 y 2 mencionadas arriba. Esto es porque la Definición 3 transfiere a su proponente la responsabilidad de proveer de la evidencia necesaria para la toma de decisiones pertinentes acerca del riesgo que presenta el producto. La Comunicación acepta que habrá casos en los que se requiera esta reversión del peso de las pruebas, pero insiste en que éste no es un requisito general del PP. El fundamento de la Comunicación es que recurrir al PP presupone que se han identificado efectos peligrosos potenciales derivados de un fenómeno, producto o proceso (el riesgo), y que el grado de daño que este riesgo puede generar no puede ser determinado con suficiente certeza mediante evaluación científica. Si este es el caso, entonces la implementación de una acción basada en el PP debe ser respaldada por una evaluación científica, lo más completa que pueda lograrse, y, si es posible, ir identificando en cada etapa de la evaluación y de la toma de decisiones, el grado de incertidumbre científica existente. Aquellos que toman las decisiones, al enfrentarse a un riesgo potencialmente serio, a la incertidumbre científica y a la preocupación pública, tienen la responsabilidad de decidirse por un plan de acción enfocado al bien común. Hay un amplio rango de acciones precautorias disponibles, y en algunos casos, la decisión óptima puede ser la de no actuar en absoluto. Sin importar qué medida se decide tomar, el proceso de toma de decisiones debe ser transparente, y debe involucrar, en un grado razonable, a todas las partes interesadas lo más temprano posible en el proceso. También según la Comunicación, las medidas tomadas basándose en el PP deben mantenerse sólo mientras la información científica sea incompleta o inconclusa, y mientras el grado de riesgo posible siga considerándose demasiado alto para imponérsele a la sociedad. Consecuentemente, las medidas deben ser revisadas periódicamente, y corregidas si es necesario (Rogers, 2003).

En sus formulaciones más “fuertes”, puede interpretarse que el PP pide pruebas absolutas de seguridad antes de permitir la adopción de nuevas tecnologías. Por ejemplo, el Estatuto Mundial por la Naturaleza (1982) declara que “cuando los efectos adversos potenciales no sean comprendidos completamente, las actividades no deben proceder”. Si esto se interpretase literalmente, casi ninguna tecnología nueva sería aprobada; este tipo de formulaciones es una de las razones por las que el PP ha sido ampliamente criticado.



Otras caracterizaciones del PP abren la puerta a un análisis de costo-beneficio. Por ejemplo, la Declaración de Río (1992) dice que “la falta de certeza científica absoluta no será utilizada como una razón para posponer medidas costo-efectivas para prevenir la degradación ambiental”. Otras formulaciones piden que se tomen decisiones aún en ausencia de evidencia científica: una declaración de 1990 acerca de la protección del Mar del Norte pide que se actúe aún si no hay “ninguna evidencia científica que muestre una relación causal entre las emisiones de desechos en las aguas oceánicas y los efectos observados” (Foster, 2000). Como se ve en estas formulaciones, el PP se interpreta de acuerdo al caso particular que se está estudiando, sea la protección ambiental o las emisiones de desechos, y sus características serán definidas de acuerdo con las características del caso de estudio.

Teniendo un poco más claro qué es el PP, es pertinente explorar un poco su historia, cómo surge, a partir de qué, y dónde ha sido utilizado a lo largo de los años.

#### **1.4 Breve historia del Principio Precautorio**

El PP alienta el uso de políticas que protegen a la salud humana y al medio ambiente frente a riesgos inciertos. En este sentido amplio, no es un concepto nuevo. La precaución es un elemento central en las teorías y prácticas médicas y de salud pública desde hace siglos. La precaución se encuentra embebida, por ejemplo, en el principio de “no hagas daño” de la medicina (Tickner, 2002).

El PP surge a partir del movimiento ambiental europeo de los años 70 y tiene sus raíces en el concepto alemán de *vorsorge* o previsión, presente en las políticas gubernamentales alemanas de esa década. Este concepto contenía los siguientes elementos:

1. Una planeación socializada y una gran influencia estatal;
2. Medidas participatorias, activas y a largo plazo para evitar el daño;
3. Medidas para estimular la economía mediante el reemplazo de tecnologías contaminantes con alternativas “verdes”;
4. Decisiones basadas en varios criterios, como “ciencia fuerte” para buscar metas complementarias sin ser acusados de irracionalidad, y la consideración de daños sociales y políticos además de los ambientales;

##### 5. Una conciencia moral fuerte para evitar los daños.

El *Vorsorgeprinzip* se convirtió en un principio fundamental de la legislación ambiental alemana y fue invocado, en esa nación, para justificar la implementación de políticas firmes contra la lluvia ácida, el calentamiento global y la contaminación del Mar del Norte. La intención primaria de las aplicaciones tempranas del Principio era el prevenir proactivamente la introducción de medidas que podían, teóricamente, causar daño ambiental, siendo esto lo opuesto a responder al daño ambiental después de que este hubiera ocurrido (Wilson, 2003, Puttagunta, 2001, Tickner, 1999).

El PP, como tal, fue introducido por primera vez en 1984 en la Primera Conferencia Internacional sobre Protección del Mar del Norte, en un tratado que prohibía el desecho de sustancias tóxicas en las aguas de este mar. Luego de esta conferencia se le incluyó en varias convenciones y acuerdos internacionales, incluyendo la Declaración de Bergen sobre Desarrollo Sustentable, la Declaración de Río, la Convención de Barcelona y la Convención sobre Cambio Climático Global, por mencionar algunas (Tickner, 1999).

El PP también ha sido utilizado en varias ocasiones en asuntos de litigación. Algunos estados han recurrido al PP al presentar su caso a la Corte Internacional de Justicia, por ejemplo. Nueva Zelanda, por mencionar uno, utilizó el Principio en el caso de las pruebas nucleares francesas. Nueva Zelanda manifestó que Francia estaba obligada, antes de llevar a cabo sus pruebas nucleares, a brindar evidencia de que dichas pruebas no iban a resultar en la introducción de material radioactivo en el medio ambiente, de acuerdo con el PP. También se utilizó en el “caso NIREX”, donde Irlanda cuestionó la posibilidad de que material radioactivo proveniente del Reino Unido entrara al medio ambiente marino. El gobierno irlandés argumentó que el peso de demostrar ausencia de riesgo caía sobre el Reino Unido, mientras que Irlanda sólo debía resaltar la “mera posibilidad de riesgo”. Al invocar el PP, Nueva Zelanda e Irlanda trataron de mostrar que había peligros potenciales en la realización de ciertas actividades, mientras ponían la responsabilidad de comprobar la seguridad de dichas actividades sobre los países que pretendían llevarlas a cabo (Puttagunta, 2001).

## **1.5 Estado actual del Principio Precautorio alrededor del mundo**

La situación actual del PP alrededor del mundo es muy variada. Hay países que buscan incorporar dicho Principio a sus leyes ambientales a nivel nacional, otros solo lo han conseguido a nivel estatal y otros se encuentran completamente reacios a incorporarlo o no han tenido aún las discusiones pertinentes acerca de si deben o no adoptar al PP como parte de su sistema legislativo.

La Unión Europea es donde el PP se encuentra más establecido. Cada estado de la UE acepta a la precaución como el principio general de su política ambiental. La Agencia de Protección Ambiental Danesa, por ejemplo, sostuvo una conferencia nacional en 1998 para examinar cómo debía implementarse el Principio. Los gobiernos Británico, Escocés y Sueco están llevando a cabo ejercicios similares (Tickner, 2000). La Regulación de la Ley General de Alimentos de la UE provee los principios, definiciones y requerimientos generales sobre los que debe basarse toda ley de alimentos en la UE, e incorpora al PP. Esta Regulación establece que el PP sólo puede ser considerado cuando:

- a) Hay efectos potenciales peligrosos identificados que se derivan de un fenómeno, producto o proceso,
- b) La evaluación científica no permite que el riesgo se determine con la suficiente certidumbre, por lo que debe haber una evaluación objetiva de toda la información científica disponible antes de que se tome cualquier decisión de invocar al PP. Este Principio no es un comodín que pueda jugarse en cualquier momento como una excusa de medidas injustificadas.

Esta regulación sirve para asegurar que las medidas precautorias “serán proporcionales y no restringirán el comercio más de lo requerido para alcanzar el alto nivel de protección de la salud elegido en la UE, tomando en cuenta la plausibilidad económica y técnica y otros factores legítimos del tema en consideración”. Estas medidas, o ausencia de medidas, serán revisadas en un periodo razonable, dependiendo de la naturaleza del riesgo identificado y del tipo de información científica necesaria para clarificar la incertidumbre científica y para llevar a cabo una evaluación de riesgos más concluyente (Van der Haegen, 2003).

Pero no sólo la UE se está esforzando para incorporar al PP en su sistema legislativo, sino que otros países, como Hungría y Brasil, han adoptado la precaución como su principio guía (Tickner, 2000). Sin embargo, Estados Unidos no ha incorporado a la precaución como una base explícita para su política ambiental, a pesar de que este país ratificó la Declaración de Río sobre Medioambiente y Desarrollo, que obliga a las naciones a ejercer el PP. Sin embargo, la precaución se ha mencionado en algunas leyes ambientales estadounidenses, así como en el Consejo sobre Desarrollo Sustentable del Presidente de los Estados Unidos, en un manifiesto de 1996 de principios guía para el desarrollo sustentable. Ha habido poco debate público o gubernamental acerca del PP en esta nación, pero eso está cambiando. Esto se debe a que mientras el PP va cobrando fuerza en la arena internacional, y mientras los activistas ambientales y los académicos reciben al Principio con entusiasmo creciente, los participantes en la toma de decisiones de E.U. se ven forzados a reconocer al Principio y su significado. Sin embargo, hasta la fecha, las respuestas de dichos participantes han sido negativas. Lo interesante es que la mayor cantidad de dichas respuestas no viene de agencias con responsabilidad directa sobre asuntos ambientales y de salud pública, sino del Departamento de Estado, los Representantes del Comercio y el Departamento de Comercio de Estados Unidos, que representan (al menos estos dos últimos) intereses económicos e industriales principalmente. Las instancias más competentes para hablar acerca de temas ambientales y de salud – la Agencia de Protección Ambiental, la Administración Ocupacional de Seguridad y Salud, y el Departamento de Salud y Servicios Humanos- han permanecido básicamente en silencio. Esto se debe, en parte, a que la World Trade Organization (WTO) y otras instituciones económicas internacionales, como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional (FMI), están tomando un papel cada vez más importante en definir las políticas ambientales alrededor del mundo. Al establecer las bases para la toma de decisiones ambientales (en términos de evaluación cuantitativa de riesgos), las reglas de la WTO sirven para limitar la amplitud de las discusiones internacionales sobre el PP y la habilidad de los países de tomar medidas precautorias. Las reglas de la WTO señalan que los países que toman medidas de protección ambiental o de la salud que puedan interferir con el comercio sólo pueden hacerlo basándose en una evaluación de

riesgos cuantitativa y mientras que estas medidas sean consistentes con estándares internacionales establecidos por organismos como el Codex Alimentarius. Cualquier estándar más estricto corre el riesgo de ser interpretado, por otro país, como una barrera para el comercio (Tickner, 2000).

Es hasta cierto punto lógico que la precaución se implemente de manera diferente en países diferentes. En los Estados Unidos, implementar un principio tan global va a ser especialmente complicado por varias razones: porque la industria tiene un gran poder sobre la toma de decisiones, porque los que toman las decisiones dependen de la ciencia para cuantificar las amenazas ambientales, y por la naturaleza inflexible y comúnmente normativa del sistema de regulación ambiental estadounidense. Implementar el PP probablemente resulte más sencillo en Europa, donde hay una mayor flexibilidad en las leyes y en la política. En la UE hay más libertad para tomar decisiones políticas, aunque haya incertidumbre científica, sin necesidad de cuantificar efectos, hay un menor análisis judicial de decisiones, y hay una menor influencia de los intereses económicos (Tickner, 2000).

Contrariamente a lo expuesto por Tickner, hay autores como Van der Haegen (2003) que piensan que la idea convencional de que la UE adopta al PP y busca regular los riesgos proactivamente, mientras que Estados Unidos está en contra del PP y basa su regulación en evaluaciones de riesgos y espera hasta que haya evidencia de daño para regular, es una falacia. Van der Haegen piensa que la realidad es mucho más compleja, y que ninguna de las partes puede afirmar ser más precautoria que la otra. Europa, para este autor, parece ser más precautoria que EU en temas como los OGMs, las hormonas en la carne, las sustancias tóxicas, el cambio climático, etc. Por otro lado, EU parece ser más precautorio que Europa en cuestiones como la aprobación de nuevos medicamentos, la encefalitis espongiforme bovina, la energía nuclear, el diesel, el plomo en la gasolina, los CFCs, etc. (Van der Haegen, 2003).

El hecho de que el PP no haya sido establecido como parte de las leyes ambientales de todos los países, y de que varias naciones continúen escépticas, se debe a que hay una gran polémica acerca de las ventajas y desventajas del PP, que analizaré a continuación.

## **1.6 Argumentos a favor del Principio Precautorio**

Un argumento clave a favor del PP es que, cuando hay incertidumbre científica, los seres humanos tienden a posponer sus acciones hasta encontrar más pruebas. Sin embargo, en numerosas ocasiones esta espera es demasiado larga y las consecuencias que puede tener son grandes. Por ejemplo, se sospechaba que el fumar era causa de cáncer pulmonar aún antes de que se estableciera esta relación de manera concluyente, pero al no haber pruebas científicas suficientes, no se tomaron medidas preventivas hasta mucho después, cuando ya había fallecido una gran cantidad de fumadores debido al cáncer pulmonar. Sin embargo, otras personas, valiéndose de la sospecha de la relación entre el tabaquismo y el cáncer, dejaron de fumar, y al hacerlo estaban ejerciendo una forma de precaución a pesar de la existencia de incertidumbre científica (SEHN, 1998). Esto es precisamente lo que fomenta el PP: que a pesar de la incertidumbre científica se ejerzan medidas de precaución, sin esperar a que el daño ocurra; que se tomen acciones y se busquen soluciones antes de que se genere el problema. Sin embargo, cabe mencionar que a pesar de que no se requiera una certidumbre científica completa, sí necesita tenerse evidencia científica sustancial que demuestre que puede existir un riesgo. El tema del PP y la incertidumbre se tratará más a fondo en la sección 1.8.

El PP, además, fomenta la exploración de alternativas –maneras más baratas, seguras y efectivas de hacer las cosas- y el desarrollo de productos y tecnologías más “limpias”. Una buena alternativa, por ejemplo, consiste simplemente en disminuir la velocidad de creación de un desarrollo para así aprender más acerca del daño potencial que puede tener ese producto o tecnología (SEHN, 1998).

También, el PP transfiere el peso de las pruebas del público al proponente de la nueva tecnología o producto. Los proponentes tienen que demostrar, mediante un proceso abierto, que una nueva tecnología es segura o necesaria y que no existen mejores alternativas (SEHN, 1998). Esto, sin embargo, puede prestarse a manipulación de evidencias por parte del proponente. Habría que establecer lineamientos de revisión de dichas pruebas para aumentar la certeza de las pruebas de seguridad de las tecnologías.

A pesar de que estos argumentos a favor parecen pocos y no necesariamente decisivos, al analizar las críticas al PP y responderlas, dichas respuestas funcionan también como argumentos que lo respaldan.

### **1.7 Críticas al Principio Precautorio**

Debido a que el PP plantea una idea de progreso lento, analizando las nuevas tecnologías de manera que su salida al mercado sea más cuidadosa o que incluso ciertas tecnologías nunca logren ser comercializadas, hay quienes lo critican por volver a los países que lo adoptan menos competitivos en el mercado. Sin embargo, el PP pretende fomentar la creación de tecnologías más limpias y seguras, y evitar la producción y utilización de sustancias peligrosas. Si esto se logra, podría significar que estas nuevas tecnologías generarían beneficios económicos a largo plazo y a la larga una mayor competitividad. Esto se debe a que, por ejemplo, países primer-mundistas con leyes ambientales más fuertes, como Alemania y Suecia han desarrollado, con el PP en mente, tecnologías más seguras a pesar de los costos más altos, y ahora las exportan. El no querer hacer lo mismo pone a un país en riesgo de quedarse atrás en el mercado, por tener tecnologías inseguras que rápidamente se vuelven anticuadas (SEHN, 1998).

Otra crítica al PP es que es vago y tiene definiciones conflictivas. A pesar de que algunas de las definiciones del PP son más detalladas que otras, no existen conflictos importantes entre ellas. En la base de cada definición se encuentra la idea de que hay que realizar acciones para prevenir daño al ambiente y a la salud humana, aún si la evidencia científica no es concluyente. El Principio casi siempre abarca tres ideas, además de la del daño y la incertidumbre científica:

- 1) La noción de buscar alternativas a tecnologías dañinas;
- 2) La idea de darles a los proponentes de una tecnología la responsabilidad de demostrar que es segura; y
- 3) La meta de la transparencia y la democracia en la toma de decisiones acerca de las tecnologías.

Juntos, estos conceptos proveen una fuerte base para la toma de decisiones acerca de productos, tecnologías y otras actividades humanas que pueden impactar a la salud o a

la tecnología (Myers, 2000). Además, la flexibilidad de la definición del PP le permite ajustarse a cada caso de estudio, volviéndolo más útil.

También es común la creencia de que si la precaución se utilizara en todos los casos, se detendría todo el desarrollo tecnológico. Esto es erróneo, porque la acción precautoria no implica siempre establecer una prohibición ni parar algo en seco. Puede también significar imponer una moratoria mientras se realizan posteriores investigaciones, monitorear tecnologías y productos que ya se están utilizando, adoptar alternativas más seguras, etc. El hacer que la incertidumbre sea explícita, considerar alternativas y aumentar la transparencia y la responsabilidad de los proponentes y manufacturers de demostrar seguridad va a llevarnos a tener productos y métodos de producción más limpios (Myers, 2000).

Una crítica más es la de que la precaución exige que haya “cero riesgos”, y esto es imposible de lograr. Sin embargo, la meta verdadera del PP es imponer menos riesgos y menos daño al ambiente y a la salud humana de los que les hemos impuesto en el pasado. A veces tiene sentido, incluso, eliminar riesgos cuestionables si es fácil hacerlo. Por ejemplo, la mayoría de las aerolíneas le prohíben a los pasajeros utilizar aparatos electrónicos durante el despegue y el aterrizaje, aún cuando no hay estudios que confirmen que esto es peligroso (Myers, 2000).

Otra crítica es la de que la precaución, en sí, es riesgosa, y puede evitar que adoptemos tecnologías que son más seguras. Esto ya está considerado dentro del PP. Las alternativas actuales y prospectivas a las tecnologías dañinas (como la modificación genética para reducir el uso de pesticidas) tienen que ser analizadas con tanto cuidado como lo son las tecnologías a las que pretenden reemplazar. No tendría sentido reemplazar una serie de daños con otros (Myers, 2000).

Una de las críticas más comunes es la de que el PP es anti-científico. Por el contrario, el PP necesita que haya más y mejor ciencia, especialmente investigaciones de interacciones complejas a lo largo de períodos extensos. La creencia de que el PP es anti-científico se basa en las siguientes suposiciones erróneas:

- a) Aquellos que exigen precaución piden que se realicen acciones basándose en miedos vagos, aun cuando no hay evidencia científica que respalde sus miedos. La mayoría de las definiciones del PP dicen



que éste aplica cuando hay razón para creer que puede ocurrir algún tipo de daño serio o irreversible. Estas razones se basan en evidencia científica de varios tipos: estudios, observaciones, precedentes, experiencia y juicios profesionales, entre otras. Se basan en lo que sabemos acerca de cómo funcionan los procesos y cómo pueden ser afectados por una tecnología. Sin embargo, las decisiones precautorias también consideran lo que no sabemos.

- b) El tomar medidas antes de tener pruebas científicas completas socava a la ciencia. Esperar a que se compruebe que una tecnología es dañina para tomar medidas precautorias puede significar permitir que ocurran daños irreversibles. Los seres humanos y el ambiente se convierten, involuntariamente, en los campos de pruebas para estas tecnologías. La precaución dice que esto ya no es aceptable; sin embargo, el PP no fomenta el actuar basándonos en mera especulación (ver el punto anterior).
- c) La valoración de riesgos cuantitativa es más científica que cualquier otro tipo de evaluación. La valoración de riesgos es sólo un método de evaluación más, y sólo provee respuestas parciales, no toma en cuenta muchas cosas desconocidas y muy pocas veces considera interacciones complejas (Myers, 2000).

Otra crítica es la de que el PP solamente encubre la existencia de un proteccionismo del comercio. Representantes norteamericanos y argentinos, entre otros, le han lanzado esta acusación a la Unión Europea en respuesta a la medida de la UE contra la carne que contiene hormonas de crecimiento y contra los alimentos y cultivos genéticamente modificados. Sin embargo, el PP fue creado para proteger la salud pública y al medio ambiente, no para restringir al comercio. El punto no es el que exista o no un proteccionismo, sino el que una nación tenga el derecho de imponer estándares propios que excedan los estándares de los regímenes internacionales. La Comunicación de la UE acerca del PP y el Protocolo de Bioseguridad de Cartagena hacen valer ese derecho (Myers, 2000).

### **1.8 Principio Precautorio e incertidumbre científica**

Algo muy importante que tiene que comprenderse para que la utilización del PP tenga sentido es que la ciencia no tiene todas las respuestas. La ciencia es limitada, y en ocasiones no nos permite predecir con exactitud las consecuencias que alguna actividad podría tener a largo plazo. Estas limitaciones para responder preguntas acerca de causa y efecto son parte de las bases fundamentales del PP (Tickner, 1998).

Hay ciertos problemas que tienen un alcance demasiado grande, causas demasiado diversas o efectos que son demasiado a largo plazo como para estudiarse, por ejemplo, en un laboratorio; es decir, hay una gran cantidad de problemas que en definitiva es muy difícil examinar mediante experimentos científicos. Por esta razón, tenemos que analizarlos mediante modelos, predicciones o simples observaciones (SEHN, 1998). Tomando en cuenta este tipo de problemas, y las limitaciones propias de la ciencia, cobra sentido el PP, que favorece la acción aún habiendo incertidumbre científica, ya que esperar a tener una certidumbre científica completa es un proceso lento que pocas veces se concreta. Además, si un producto sale al mercado mientras se espera encontrar evidencias completas acerca de si es o no riesgoso, y resulta, en efecto, serlo, nos estaríamos exponiendo a problemas que desde un principio, gracias al PP, pudimos haber evitado. La incertidumbre científica, de acuerdo con el PP, no debe ser una excusa, y si hay amenaza de riesgo, se deben tomar medidas precautorias.

### **1.9 Principio Precautorio y evaluación de riesgos**

El riesgo (en su connotación más amplia) es la probabilidad de que un daño específico ocurra como resultado de la exposición a un peligro. Un peligro (también llamado, en ocasiones, riesgo) es una situación, actividad o proceso que representa una amenaza potencial a la salud humana, a la actividad humana o al ambiente. Un daño es un evento adverso o un perjuicio a individuos, organizaciones o ambiente; es un resultado adverso posible de la exposición a un peligro (Rogers, 2003).

La evaluación, valoración o análisis de riesgos es la identificación de los pares [Riesgo-Daño] relevantes de una situación dada, y la determinación de la relación entre

la intensidad o grado de exposición a un riesgo dado y el grado probabilístico de realización del daño por cada uno de los pares [R-D] considerados. En otras palabras, la valoración de riesgos determina la probabilidad de la realización de un daño como resultado de la exposición a un peligro dado. A la valoración de riesgos le sigue el manejo de riesgos, con un establecimiento de estándares reguladores para proteger la salud humana, las organizaciones o el ambiente del riesgo que se está considerando (Rogers, 2003).

La evaluación de riesgos es la herramienta más utilizada para la toma de decisiones acerca de las nuevas tecnologías y productos. Sus proponentes afirman que al haber dentro de la valoración de riesgos evaluaciones muy conservadoras, ésta es lo suficientemente precautoria como para utilizarla por sí sola (Myers, 2000). Con demasiada frecuencia, sin embargo, la evaluación de riesgos ha sido utilizada para postergar la acción precautoria: las personas encargadas de la toma de decisiones esperan hasta obtener suficiente información y luego pretenden manejar, en lugar de prevenir, los riesgos. La valoración de riesgos no es necesariamente inconsistente con el PP, pero ya que omite ciertos requerimientos básicos del proceso de toma de decisiones, sólo es útil en un momento determinado del proceso, cuando el producto o la tecnología y sus alternativas ya están bien desarrollados, probados, y ya que hay una cantidad sustancial de información al respecto. Como consecuencia, el PP se utiliza en condiciones de certeza relativamente altas, y generalmente sólo para evaluar las alternativas a las tecnologías dañinas, para elegir la mejor, menos riesgosa y menos dañina. Por lo tanto, la evaluación de riesgos no debe sustituir al PP (ni viceversa), sino que debe buscarse la manera de utilizar ambos complementariamente.

El PP requiere que se examine un rango más amplio de daños – incluyendo los sociales y los económicos- de lo que el análisis de riesgos tradicional hace. El Principio resalta la necesidad de examinar no sólo los riesgos individuales y lineales, sino también las complejas interacciones entre múltiples factores (Myers, 2000).

Lo que no es consistente con el PP es algo que la evaluación de riesgos tradicional implica con frecuencia: que pueden asignarse números precisos a la posibilidad de daño, que estos son una base suficiente para decidir si la sustancia o tecnología es “segura”, y que la falta de números significa que no hay razón alguna

para actuar. Además, los componentes de la evaluación de riesgos –qué riesgos se evalúan y cómo se hacen las comparaciones- son fácilmente manipuladas por aquellos que tienen algo en juego con lo que se está evaluando (Myers, 2000). Este es un punto importante que debe discutirse: resulta muy sencillo para el proponente de una tecnología el manipular la evidencia (no sólo hablando de evaluación de riesgos, sino de toda evidencia de la seguridad de un producto o tecnología) de manera que parezca que su producto es completamente seguro. Me parece que sería importante que las pruebas de seguridad que el proponente realiza fuesen revisadas para determinar si son concluyentes, pero si esto sucede, ¿quién es el encargado de hacerlo?

El tema del PP y la evaluación de riesgos, que se expuso en este capítulo meramente como algo teórico, se explorará más a fondo en la sección 3.4 de esta tesis, aplicado al caso de los organismos genéticamente modificados. Pero antes, desarrollaré qué son este tipo de organismos y trataré de brindar toda la información necesaria para analizar su relación con el PP.

## **CAPÍTULO 2: LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS**

Debido a que la ciencia se ha vuelto cada vez más especializada y compleja, y por ello más distante para la mayoría de la población, la sociedad se encuentra frecuentemente sorprendida por los descubrimientos resultantes del trabajo científico, y encuentra difícil juzgar el impacto probable de dichos descubrimientos sobre los individuos o sus implicaciones más amplias (Atkinson, 1998). Como se mencionó al principio del capítulo anterior, nos encontramos en un punto en el que nuestra capacidad tecnológica excede por mucho a nuestra capacidad predictiva. Los avances tecnológicos y científicos son de una magnitud sin precedentes, y por esto resulta difícil para la sociedad asimilarlos. Es muy difícil para el ciudadano común pensar en las consecuencias a largo plazo que podrían tener dichos avances, ya que en ocasiones entender el mismo avance es complicado. A nivel del individuo, ciertos descubrimientos y desarrollos tecnológicos pueden tener pocos resultados evidentes, pero otros tienen consecuencias más claras. La ingeniería genética cae dentro de esta última categoría, por la escala y el impacto de sus posibles efectos, y porque usar la habilidad para manipular la heredabilidad y el código genético se acerca mucho a alterar los elementos centrales de la vida (Atkinson, 1998).

Este capítulo pretende dar una introducción a lo que son los organismos genéticamente modificados, su proceso de creación, las controversias relacionadas con este tipo de organismos, su situación actual alrededor del mundo, y aspectos de la evaluación de su seguridad. Este último punto es especialmente importante, ya que el PP entra en juego en el tema de los organismos genéticamente modificados precisamente por las dudas que se tiene acerca de la seguridad de los mismos.

### **2.1 ¿Qué son los Organismos Genéticamente Modificados?**

La mayoría de las culturas ha desarrollado muchas técnicas de modificación de organismos que continúan utilizando y adaptando. Algunas, como la manipulación de microorganismos en la fermentación para hacer pan o vino, han sido ampliamente documentadas (FAO, 2001); incluso antes de ser utilizado el término "biotecnología", el

ser humano había utilizado procedimientos que ahora llamamos biotecnológicos dentro de su vida diaria.

A pesar de que los términos “biotecnología” y “modificación genética” son usados de manera indistinta en ocasiones, la modificación genética (GM, por sus siglas en inglés) consiste en manipular y alterar la composición genética de organismos vivos tales como animales, plantas o bacterias, al introducir o eliminar genes específicos mediante técnicas modernas de biología molecular. El término más general, “biotecnología”, se refiere a la utilización de organismos vivos o sus componentes, como las enzimas, para la fabricación de productos (HGPI, 2003; FAO, 2001).

La ingeniería genética es un conjunto de técnicas bioquímicas que permiten aislar material genético (secuencias de DNA y RNA), extraerlo e insertarlo dentro del genoma de otro organismo. Dicho con otras palabras, los ingenieros genéticos pueden “recortar y pegar” genes, alterando así artificialmente los genomas de diferentes organismos. A los productos de estas manipulaciones se les llama comúnmente *organismos genéticamente modificados* (Riechmann, 2002).

Hay quien define a los OGMs de un modo más específico; Atkinson (1998) se refiere a los OGMs como organismos que han sido modificados mediante el movimiento de genes entre especies (interespecífico, a diferencia del movimiento genético entre individuos de la misma especie, o intraespecífico, que de cierto modo se practica desde tiempos muy remotos mediante las cruza tradicionales de seres vivos). La tecnología OGM según Atkinson (1998), por lo tanto, nos permite añadir, sustraer, alterar o intercambiar un gen individual o un grupo de genes que se sabe que influyen a una cierta característica, entre especies. Existe otra definición, sin embargo, que establece que si el material genético es transferido entre especies o reinos diferentes, el organismo resultante es llamado *transgénico*. Por ello, no todos los organismos genéticamente modificados son transgénicos; por ejemplo, el tomate Flavr Savr (del que se hablará en la sección 2.4) fue desarrollado desactivando un gen ya contenido en el tomate (Barrett y Flora, 2000).

Para Donna Haraway (1996), el problema con los transgénicos parte desde la raíz misma del término: los productos de la ingeniería genética son “trans”. Estos productos cruzan la línea entre lo natural y lo artificial: los organismos transgénicos

forman parte de los discursos taxonómicos y evolutivos bien establecidos y al mismo tiempo rompen con los límites naturales ampliamente comprendidos. Lo que antes era distante y no relacionado ahora se convierte en íntimo (Haraway, 1996).

En este trabajo se utilizarán de manera indistinta los términos *organismos genéticamente modificados* (OGMs) y *transgénicos*, para referirnos a aquellos organismos vivos cuyo material genético ha sido alterado artificialmente, especialmente con información genética proveniente de organismos de diferentes especies. Además, de manera general, a menos que se especifique lo contrario, nos referiremos a plantas GM al hablar de OGMs, ya que éstas son las que se ven principalmente afectadas por controversias y alrededor de las cuales giran la mayor parte de las discusiones.

La Unión Europea define a los OGMs, de la siguiente manera:

"Los organismos genéticamente modificados (GMOs) y los microorganismos (GMMs) pueden ser definidos como organismos (y microorganismos) en los que el material genético (DNA) ha sido alterado de maneras tales que no ocurren naturalmente mediante apareamiento o recombinación natural. El uso de la "tecnología de DNA recombinante" o "ingeniería genética" permite que ciertos genes individuales sean transferidos de un organismo a otro, algunas veces incluso entre especies no relacionadas." (UE, 2000)

Según dicho memorando, al igual que el resto de los organismos vivos, los OGMs no son inherentemente peligrosos o seguros. Su grado de peligrosidad o seguridad depende de las características del gen (o genes) insertado, el organismo final que es producido y la aplicación que se le da a dicho organismo (UE, 2000).

## **2.2 Proceso de creación de OGMs**

Los OGMs son muy importantes para el estudio de la biología celular, ya que la alteración de células y organismos de modos extremadamente específicos nos permite discernir el efecto de un cambio producido por una proteína individual que ha sido mutada intencionalmente. Sin embargo, las consecuencias de la ingeniería genética son mucho más amplias. Por ejemplo, las plantas pueden ser alteradas de manera tal que se modifique su valor como cultivo alimenticio. Las bacterias, levaduras o células

de mamíferos pueden modificarse para que sinteticen cualquier proteína en grandes cantidades, haciendo posible que se analice la estructura y función de la proteína en detalle, o para usar dicha proteína como una droga o una vacuna para uso médico. También, los mamíferos transgénicos nos han servido para obtener información importante acerca de cómo es que son regulados los genes de los mamíferos, y cómo ciertos genes alterados (llamados oncogenes) producen cáncer. Sin embargo, no sólo pueden producirse mamíferos transgénicos, sino que otros tipos de animales pueden ser genéticamente modificados también. Por ejemplo, se han creado moscas de la fruta transgénicas, en las que copias individuales de un gen se insertan al azar en el genoma de *Drosophila* (Alberts, 1994).

Los beneficios para la biología celular no vienen sólo por la creación de animales transgénicos. La habilidad de producir plantas transgénicas ha acelerado grandemente el progreso en varias áreas del estudio de la biología de las células vegetales. Ha jugado un papel importante, por ejemplo, en el aislamiento de receptores para reguladores del crecimiento y en el análisis de la morfogénesis y de la expresión génica en las plantas. También ha dado lugar a la apertura de muchas nuevas posibilidades en la agricultura, por ejemplo, la de modificar el contenido de grasas, almidón y proteínas almacenadas en las semillas, para impartirle a las plantas resistencia a virus y plagas, y para crear plantas modificadas que toleran hábitats extremos, con mucha salinidad, por ejemplo (Alberts, 2004).

Es relativamente sencillo integrar DNA "extranjero" de manera azarosa al genoma de un organismo vivo. En mamíferos, por ejemplo, los fragmentos de DNA lineal que se introducen a las células son ligados rápidamente extremo con extremo, gracias a enzimas intracelulares, para formar largos arreglos en tándem, los cuáles son generalmente integrados a un cromosoma en un sitio aparentemente azaroso. Los animales que han sido alterados permanentemente de esta manera se denominan *animales transgénicos*, y el gen "extranjero" se conoce como *transgen* (en plantas, el gen extraño se denomina de la misma manera). Ya que el gen normal generalmente permanece presente, solo se manifestarán los efectos dominantes de la alteración. Si la célula utilizada para esta transferencia de genes es un huevo fertilizado (o en el caso de las plantas, una célula vegetal totipotencial) en cultivo, pueden producirse organismos



transgénicos que expresan el gen mutante y que tienen la capacidad de pasarlo a sus descendientes (Alberts, 1994).

El localizar los genes que codifican para los rasgos importantes (como aquellos que confieren resistencia a los insectos o que le brindan a la planta los nutrientes deseados) es uno de los pasos más limitantes del proceso. Sin embargo, la secuenciación de genomas de organismos diferentes está generando mapas detallados junto con tecnologías de análisis de datos que sirven para entenderlos y poder utilizarlos (HGPI, 2003).

En el caso de las plantas, cuando una sufre un daño, puede repararse comúnmente mediante un proceso en el que las células maduras diferenciadas se "desdiferencian", proliferan y vuelven a diferenciarse en otros tipos celulares. En algunas circunstancias, las células desdiferenciadas pueden formar, incluso, un meristemo apical, que tiene la capacidad de dar lugar a una nueva planta completa. Esta gran plasticidad de las células vegetales puede ser explotada para generar plantas transgénicas a partir de células que crecen en cultivo. Cuando una pieza de tejido vegetal es cultivada en un medio estéril que contiene los nutrientes y reguladores del crecimiento apropiados, muchas de las células son estimuladas para proliferar indefinidamente de manera desordenada, produciendo una masa de células relativamente no diferenciadas denominada *callus*. Si los nutrientes y los reguladores del crecimiento son manipulados cuidadosamente, se puede inducir la formación de un brote y posteriormente de meristemos apicales de la raíz dentro del callus, y en muchas especies, puede llegar a generarse una planta completa. Los cultivos del callus pueden ser también mecánicamente disociados en células individuales, que pueden crecer y dividirse una vez más en cultivo. En un gran número de plantas (incluyendo al tabaco, petunias, zanahorias, papas y *Arabidopsis*) una célula individual de dichos cultivos puede crecer hasta formar un clon a partir del cual puede generarse una planta completa. Así como los ratones mutantes pueden ser obtenidos mediante la manipulación genética de células madre embrionarias en cultivo, también pueden generarse plantas transgénicas a partir de células vegetales individuales a las que se les ha introducido DNA extraño en cultivo (Alberts, 1994).

El proceso de ingeniería genética mediante el cual se producen organismos genéticamente modificados comienza con la identificación del gen (o genes) responsable de una característica de interés. Una vez identificado y aislado el gen, puede ser insertado en una célula –por ejemplo, en una célula vegetal en cultivo– usando una de varias técnicas. Tal vez la técnica más conocida es la que consiste en “disparar” el gen usando una “pistola de genes”, dispositivo que usa estallidos de helio para impulsar directamente en la célula receptora partículas microscópicas recubiertas con muchas copias del gen que se busca transferir. En otra técnica usada con frecuencia para la creación de plantas transgénicas, se emplea una bacteria llamada *Agrobacterium tumefaciens* como vector viviente (Feldmann, 2000).

Cualquiera que sea el método de transformación utilizado, el gen extraño es insertado en forma aleatoria en uno o más cromosomas de la célula receptora. Como no todas las células reciben una copia del gen insertado, es necesario identificar las que sí la recibieron cultivando las células receptoras en una serie de medios especiales de cultivo y luego en medios que las inducen a formar plántulas (en el caso de las plantas GM). Muchas de estas plántulas con el tiempo se desarrollan normalmente y son sometidas a una selección para determinar si está presente el gen extraño y si funciona adecuadamente. Una vez insertado un gen en una planta, la manera más fácil de trasladarlo a otras plantas es mediante las técnicas tradicionales del fitomejoramiento, cruzando esta planta transgénica resultante con una planta silvestre de la misma especie (Feldmann, 2000).

Para ejemplificar la producción de un OGM utilizaremos el proceso de creación de una planta GM. En la transformación, se inserta el transgen en una célula de la planta que se pretende modificar. Las tecnologías empleadas en la actualidad involucran la inserción al azar de los genes extraños en el genoma huésped, el control de estos transgenes mediante promotores virales (los nuevos genes insertados no funcionarán a menos que se inserte con ellos un promotor, una especie de “interruptor génico” para activarlos), y el uso generalizado de la resistencia a antibióticos o herbicidas para permitir la selección de las células que han de ser regeneradas (Riechmann, 2002). Resumido punto por punto, el proceso de creación de una planta GM podría presentarse de la siguiente manera:

1. Identificación de un organismo que contiene el gen deseado.
2. Aislamiento del gen deseado a partir de dicho organismo.
3. Creación de una secuencia genética modificada mediante la fusión del gen deseado, una secuencia promotora que controla el funcionamiento del gen y un gen marcador, como podría ser una proteína fluorescente o un factor de resistencia a antibióticos, que permite que la presencia del gen sea detectada aun cuando el gen objetivo no está siendo expresado activamente.
4. Multiplicación de la secuencia recombinante, generalmente en bacterias, para producir copias múltiples.
5. Inserción de las copias del gen deseado al organismo que va a ser modificado.
6. Selección de aquellos organismos que han asimilado exitosamente el gen deseado utilizando una prueba de selección que sólo reconoce organismos que han adoptado el gen marcador.
7. Multiplicación de las plantas modificadas.

Para generar animales transgénicos el proceso es similar, a pesar de que los detalles varían de manera significativa. Por ejemplo, el paso 5 normalmente se lleva a cabo inyectando DNA en el núcleo de una célula animal (Atkinson, 1998).

Con más detalle, el proceso de producción de una planta transgénica (utilizando, a manera de ejemplo, un vector biológico para la introducción del transgen) podría ser descrito de la siguiente manera. Se corta un disco de una hoja de una planta y se incuba en cultivo junto con una bacteria, por ejemplo, *Agrobacterium* (ya mencionada anteriormente), que porta un plásmido recombinante con un marcador seleccionable y el transgen deseado. El plásmido que porta *Agrobacterium* y que contiene el transgen debe ser preparado previamente. Esto se logra modificando el plásmido normal que porta una secuencia de T-DNA substituyendo un marcador seleccionable (como el gen de la resistencia a la kanamicina) y el transgen deseado entre las repeticiones de 25 pares de nucleótidos del T-DNA. Cuando *Agrobacterium* reconoce una célula vegetal, le transfiere una hebra de DNA que lleva estas secuencias a la célula vegetal, utilizando la maquinaria especial que normalmente transfiere la secuencia de T-DNA del plásmido. Las células lastimadas a la orilla del disco liberan sustancias que atraen a las *Agrobacterium* y que hacen que éstas inyecten DNA a estas células. Sólo las células

vegetales que incorporan el DNA adecuado y que expresan al gen del marcador seleccionable sobreviven para proliferar y formar el callus. La manipulación de los factores de crecimiento que se le suministran al callus lo inducen a formar brotes que subsecuentemente echan raíz y que crecen para convertirse en plantas adultas portadoras del transgen (Alberts, 1994).

Al hablar de desarrollo de cultivos transgénicos tenemos que considerar, también, el proceso mediante el cual los transgénicos producidos llegan al mercado. Comúnmente es asumido que este proceso es rápido y predecible, pero la verdad de las cosas es que, tal como en otros tipos de programas de reproducción vegetal, puede ser largo y en muchas ocasiones no exitoso. El éxito depende de la identificación de una planta transgénica cuya progenie, ya sea producida por semillas o por propagación vegetativa, exprese el rasgo deseado de manera estable, a lo largo de varias generaciones y en un amplio rango de ambientes. La escala temporal que involucra este proceso, desde la planeación inicial hasta la comercialización de una nueva variedad, es de 10 a 12 años (Dunwell, 2000).

### **2.3 Ingeniería genética vs. fitomejoramiento**

La reproducción tradicional de cultivos y animales se ha llevado a cabo desde que el hombre dejó de ser un cazador-recolector y se volvió sedentario, con cultivos y ganado domesticados. Mediante los métodos tradicionales de entrecruzamiento, se han transferido genes de un individuo a otro con el objetivo de producir individuos nuevos que claramente presentan rasgos particulares deseables. Por esta razón, se puede decir que el fitomejoramiento tradicional es un tipo de modificación genética de los organismos, y por lo tanto, podemos establecer que la modificación genética en un sentido más general se ha llevado a cabo desde hace miles de años.

Dentro del fitomejoramiento, las cruzas se realizan generalmente entre organismos de la misma especie, o de especies estrechamente relacionadas entre sí, con fenotipos diferentes. El acervo genético disponible para las cruzas tradicionales está limitado a aquellos genes presentes en individuos que pueden ser inducidos a reproducirse utilizando métodos naturales de cruce. Además, ya que los grupos de características genéticas se heredan juntos, un gran número de otros genes, algunos

de los cuales pueden ser indeseables, también será seleccionado. Estos genes necesitan ser eliminados en la medida de lo posible, y esto se hace generalmente mediante un proceso posterior que involucra cruza reversas.

La naturaleza de las temporadas de crecimiento de cultivos, o de los tiempos de generación de los animales, hace que este proceso sea generalmente lento. La lentitud del proceso también se debe a que en muchos casos los primeros pasos del proceso de selección involucran el tratamiento de las plantas con mutágenos peligrosos, o con radiación ionizante. Este tipo de tratamientos resulta en daño en el DNA y mutaciones en un gran número de genes, y requiere de mucho tiempo (hasta 10 años) y de procesos de selección intensivos para aislar plantas con las características fenotípicas y genotípicas deseadas y para eliminar rasgos indeseados. La ingeniería genética aumenta el acervo genético disponible y apresura el proceso de transferencia de genes (Atkinson, 1998, Rowland, 2002).

El término "ingeniería genética" cubre un amplio rango de métodos de manipulación de información genética. La ingeniería genética depende de la habilidad para identificar y manipular genes específicos, y puede involucrar el movimiento de genes intraespecífico o interespecífico. El movimiento de genes entre especies es el que genera mayores preocupaciones. En contraste con las cruza convencionales, la ingeniería genética no involucra la mezcla del componente genético completo de dos individuos, y por lo tanto tampoco involucra el proceso posterior de eliminar las características no deseadas. Los métodos transgénicos, sin embargo, no funcionan igual de bien en todas las especies, ni funcionan siempre de manera tan precisa como se espera (Atkinson, 1998).

En ciertos aspectos, la ingeniería genética no es muy diferente del fitomejoramiento. Este también implica la transferencia de genes entre organismos; la diferencia estriba en que la ingeniería genética facilita la transferencia de genes a través de las barreras taxonómicas. Esto es lo que hace, en parte, que los OGMs sean tan polémicos y controversiales. En el mejoramiento tradicional, los procesos reproductivos biológicos normales imponen límites a la recombinación genética, erigiendo barreras que impiden el cruzamiento entre organismos biológicamente diferentes y, en consecuencia, o no se da el cruzamiento o la proge es estéril. Con la

ingeniería genética es posible rebasar estos límites "naturales". Por esa razón, hay quienes consideran que los OGM son organismos "artificiales" que violan las leyes de la naturaleza. Otros opinan que esta distinción es arbitraria porque la mayoría de los alimentos que consumimos hoy día han sido radicalmente modificados durante miles de años, ya sea mediante la selección deliberada o la mutación accidental (Feldmann, 2000).

Sin embargo, ya que hay tantas ventajas relacionadas con la especificidad del proceso de modificación genética, que resulta en un ahorro de tiempo y dinero al no tener que eliminar los rasgos indeseados, hay quienes piensan que la ingeniería genética es un proceso mucho más útil y efectivo que el fitomejoramiento tradicional. El problema es que existe el miedo de que las nuevas tecnologías tienen un alto potencial de producir efectos pleiotrópicos o inesperados; por ejemplo, una expresión génica alterada que resulte en niveles aumentados de anti-nutrientes, toxinas novedosas o alérgenos, como resultado del evento de inserción génica. Es importante resaltar, sin embargo, que los métodos de fitomejoramiento tradicional tienen también un gran potencial de producir este tipo de efectos inesperados, debido a posibles reacomodos genéticos o la inserción de genes extranjeros en regiones de regulación, que alteran la expresión génica (Rowland, 2002).

#### **2.4 Producción de OGMs a nivel mundial**

Una de las diferencias más importantes entre la ingeniería genética y el fitomejoramiento tradicional, es que este último se efectúa en todo el mundo, mientras que la mayor parte de la investigación sobre cultivos transgénicos se realiza en países industrializados (principalmente en Estados Unidos y Europa Occidental), aunque ahora muchos países en desarrollo, como Argentina, Brasil y México, han iniciado investigaciones de ingeniería genética (Feldmann, 2000). Sin embargo, la ventaja tecnológica que los países desarrollados tienen sobre los países en desarrollo y la falta de presupuesto de estos últimos en relación con las capacidades económicas de los primeros, hacen que los desarrollos más importantes de la ingeniería genética sigan siendo generados por los países primer mundistas.

El primer producto vegetal transgénico que salió al mercado fue el tomate "Flavr Savr", aprobado en 1992 por el U.S. Department of Agriculture, que está modificado para contener niveles reducidos de la enzima encargada del ablandamiento de la pared celular, la poligalacturonasa. Un puré de tomate con un tipo de modificación similar ha estado en el mercado en el Reino Unido desde 1996. Desde ese entonces, sin embargo, ha habido una expansión masiva en el cultivo de cosechas transgénicas. La mayoría de las variedades cultivadas hasta el día de hoy han sido modificadas con genes que confieren resistencia a herbicidas o a plagas, y esto le otorga al productor beneficios económicos significativos (Dunwell, 2000).

Entre las principales empresas de la industria agrícola productora de semillas a nivel mundial (industria con un valor total estimado de 23 mil millones de dólares) figuran DuPont/Pioneer, Monsanto/Pharmacia & Upjohn, Novartis (Syngenta), Aventis, Bunge, Cargill, Bayer CropScience, Groupe Limagrain y Advanta, cuyos ingresos combinados sumaron 5.6 mil millones de dólares tan sólo en 1997. Sin embargo, estas empresas multinacionales representan sólo la punta del iceberg de esa industria, ya que son apoyadas por cientos de empresas de investigación más pequeñas, fabricantes de equipo especializado y laboratorios universitarios, de los cuales obtienen productos y servicios esenciales (Feldmann, 2000, Greenpeace, 2005).

Hoy en día, los cultivos GM son producidos comercialmente o en campos de pruebas en más de 40 países y en 6 continentes. El número de cultivos que han sido desarrollados de manera comercial mediante la biotecnología es relativamente pequeño, e incluye maíz, papas, colza, soya, algodón, linaza, tomates, calabazas y papaya. Hay muchos otros cultivos GM siendo probados en campo actualmente, como la alfalfa, manzana, pepino, melón, arroz, fresa, girasol, avellana y trigo. En el año 2000, aproximadamente 109.2 millones de acres (poco más de 44 millones de hectáreas) fueron utilizadas para plantar cultivos transgénicos, siendo los principales, y de mayor importancia global, la soya, maíz, algodón y colza resistentes a los insecticidas y a los herbicidas. Para que pueda verse la importancia especial de este tipo de cultivos, basta con decir que en el año 2000 se plantaron 25.8 millones de hectáreas de soya transgénica, y 10.3 millones de hectáreas de maíz transgénico. En el año 2000, los países que plantaron el 99% de los cultivos transgénicos globales fueron



los Estados Unidos (68%), Argentina (23%), Canadá (7%) y China (1%). A pesar de que se espera que el crecimiento de este tipo de cultivos se estabilice en los países desarrollados, se encuentra en aumento en los países en desarrollo (HGPI, 2003; Taylor, 2002; Barrett y Flora, 2000). Aproximadamente las dos terceras partes de los cultivos GM comercializados están modificados para resistir herbicidas (como el RoundUp o el bromoxinil). Casi la tercera parte restante está modificados para resistir virus e insectos. Un pequeño número de cultivos GM comercializados ha sido modificado para brindarle a los organismos rasgos de calidad, como producción modificada de aceite o maduración retardada. Hasta la fecha, la investigación no se ha enfocado a brindarle a los cultivos un valor nutricional mejorado, sin embargo, ciertos cultivos que contienen vacunas o suplementos vitamínicos se encuentran en desarrollo (Barrett y Flora, 2000).

## **2.5 Beneficios y Controversias de los OGMs**

Como en todos los temas controversiales, existen dos tipos de posturas acerca de los OGMs: el que está a favor, y el que está en contra. Estas posturas, sin embargo, no son tal vez tan claras como solo aceptar o rechazar a los OGMs, sino que poseen una cierta graduación: existen opiniones más y menos radicales en ambos extremos.

Por ejemplo, los más aguerridos defensores de los OGMs (las compañías transnacionales que los producen, por mencionar un ejemplo) presentan el argumento de que la modificación genética de plantas y animales es sencillamente la más reciente de una serie de tecnologías que aumentan la productividad y que han contribuido a que la provisión de alimentos no se rezague con respecto al crecimiento demográfico mundial. Por otro lado, los críticos más fuertes de los OGMs (por ejemplo, Greenpeace) argumentan que los transgénicos son fundamentalmente diferentes de otros tipos de organismos, tan diferentes que deben ser prohibidos de inmediato, sin necesidad de efectuar más pruebas para determinar su inocuidad (Feldmann, 2000).

El objetivo de este trabajo es analizar si el PP puede funcionar como herramienta de regulación de los OGMs, no expresar una opinión acerca de si es correcta o no la producción, comercialización y uso público de OGMs. Sin embargo, hay que aceptar, como lo hacen Feldmann et al (2000), que los OGM podrían generar beneficios



considerables, pero es probable que continúe la oposición pública hasta que se aclaren los interrogantes acerca de su seguridad para las personas, para los animales y para el medio ambiente. Esto, por supuesto, si es que en algún momento se logran aclarar dichas interrogantes. La realidad es que, como resulta tan complejo evaluar posibles efectos genéticos a largo plazo, es muy probable que siempre exista un cierto grado de incertidumbre.

Para lograr que nuestro análisis del PP como herramienta para la regulación de OGMs sea lo más completo posible, tenemos que comprender los elementos controversiales asociados con los OGMs, ya que son estos los que hacen que el tema de los OGMs sea tan discutido y su manejo tan complicado. Por ello, a continuación se muestran varios de los beneficios y temas controversiales que presenta la producción de OGMs y su uso comercial.

## BENEFICIOS

- a) Cultivos: Se busca que los cultivos genéticamente modificados presenten un sabor y calidad mejorados, así como un tiempo de maduración reducido. El objetivo principal de dichos cultivos, sin embargo, es lograr obtener un aumento de nutrientes (generando variedades con mayor contenido de vitaminas o minerales), rendimiento y tolerancia al estrés, además de un aumento de resistencia a enfermedades, plagas y herbicidas, entre otras cualidades (HGPI, 2003). Las variedades con mayor valor nutricional resultarían especialmente valiosas en los países en desarrollo, donde millones de personas sufren carencias alimenticias. No obstante, los cultivos con mayor valor nutricional también serían atractivos en los países industrializados, porque permitirían reducir el consumo de grasas y almidones poco saludables. Los OGM con mayor valor nutricional podrían beneficiar no sólo a los seres humanos sino también a los animales, ya que se está trabajando para obtener cultivos para la producción de forraje y grano con un mayor valor nutricional. Los cultivos GM podrían contribuir a aumentar la tasa de conversión de alimentos, ya que se piensa que, si la composición de aminoácidos del alimento del animal fuera igual a su propio balance de aminoácidos, entonces disminuiría la cantidad global de alimento

animal que se necesita y, en consecuencia, se reduciría la contaminación causada por los desechos de origen animal. Los especialistas en salud animal examinan incluso la posibilidad de generar variedades mediante las cuales sería posible suministrar vacunas contra enfermedades comunes (Feldmann, 2000).

- b) Animales: Con respecto a los animales transgénicos, los objetivos principales son un aumento de resistencia, productividad y eficiencia, así como mejores rendimientos en la producción de huevos, carne y leche, además de lograr mejorías generales en la salud animal.
- c) Medio ambiente: Los beneficios al medio ambiente que buscan generar los OGMs son la creación de bioinsecticidas y bioherbicidas "amigables", la facilitación de la conservación de suelo, agua y energía, lograr un bioprocesamiento de productos forestales y realizar un mejor y más natural manejo de desechos (HGPI, 2003). Estos no son los únicos beneficios ambientales que pueden brindar los OGMs; también pueden funcionar como métodos de estudio de impacto ambiental y transferencia génica. Por ejemplo, a pesar de que existen modelos del movimiento del polen y las semillas, la información referente al movimiento real de genes individuales de especies cultivadas a especies silvestres es poca, principalmente porque hasta este momento la tecnología que nos permitiría hacer este tipo de evaluaciones no había existido. Las plantas GM, con sus marcadores detectables, presentan la oportunidad de evaluar procesos, tales como el flujo génico, en comunidades vegetales, para permitir una discusión más informada de las ventajas y desventajas de los cambios agrícolas propuestos (Atkinson, 1998). Según Goklany (2000), hay otros beneficios ambientales de los OGM, como son la conservación de hábitats y biodiversidad (por la menor cantidad de suelo utilizado para cultivo que podría lograrse utilizando cultivos GM), reservas de carbono, y disminución del uso de pesticidas y herbicidas. Puede discutirse que si hay transferencia de genes que logren establecerse en ecosistemas naturales, esto puede causar daños irreversibles, y por lo tanto, debemos prohibir los cultivos GM. Sin embargo, la destrucción de hábitats y conversión de suelos que

resultarían de tal prohibición podrían ser igual de irreversibles, especialmente si llevan a la extinción de especies endémicas (Goklany,2000).

- d) Sociedad: El principal beneficio social posible de los OGMs es el de aumentar la seguridad alimenticia para poblaciones en crecimiento (HGPI, 2003). Hay quien argumenta que los países desarrollados producen demasiada comida excedente, por lo que podría decirse que este tipo de países no necesita aumentar su producción alimenticia. Sin embargo, este argumento omite el hecho de que reducir dichos excedentes sería casi tan dañino para la salud pública de los países en desarrollo como limitar directamente su propia producción de alimentos. Actualmente, las importaciones netas de cereales de los países en desarrollo exceden en un 10% a su producción. Los productos excedentes de los países desarrollados se mandan a los países en desarrollo que sufren escasez alimenticia. Sin este movimiento de excedentes, los recursos alimenticios en los países en desarrollo serían más bajos, los precios de la comida serían más altos, la desnutrición sería más elevada, y los problemas de salud asociados con ésta, así como enfermedades y mortalidad prematura, serían mayores. Lo más probable es que el déficit alimenticio de los países en desarrollo sólo vaya aumentando con el tiempo, debido a las altas tasas de crecimiento poblacional. Por lo tanto, los excedentes alimenticios de los países desarrollados seguirán siendo tan importantes para la seguridad alimenticia de los países en desarrollo como lo son el día de hoy (Goklany, 2000). El tema del excedente alimenticio de los países en desarrollo se encuentra relacionado directamente con la creencia de que el uso de cierto tipo de OGMs nos ayudará a lograr un aumento en la cantidad de alimento producido, sin necesitar un aumento proporcional de la tierra destinada a cultivos. Otro beneficio posible de los OGMs para los países en desarrollo es el de que se están diseñando cultivos GM especiales con un valor nutritivo incrementado, que podría ayudar a combatir enfermedades en este tipo de naciones (así como en los países desarrollados). Por razones como estas, hay quien piensa que los beneficios de los cultivos GM pesan mucho más que las consecuencias especulativas de su ingesta (Goklany, 2000).

## TEMAS CONTROVERSIALES

Como toda nueva tecnología, la ingeniería genética presenta una serie de interrogantes acerca de si la tecnología es ética, del balance de los riesgos en la sociedad, del nivel apropiado de responsabilidad pública necesaria para la tecnología, del grado al que el público puede ser genuinamente involucrado en el proceso de toma de decisiones, y de lo apropiado de utilizar la ley de patentes en un área unida a procesos fundamentales para la vida (Atkinson, 1998).

Algunos de los temas controversiales más comunes con respecto a los organismos genéticamente modificados son las siguientes:

- a) Seguridad: Los OGMs pueden tener un impacto potencial en la salud humana: por ejemplo, pueden funcionar como alérgenos (las personas con alergias pueden sufrir reacciones después de ingerir alimentos genéticamente modificados que contengan proteínas alérgicas introducidas desde fuentes externas), pueden ser responsables de una transferencia de genes para resistencia a antibióticos (debido a que los plásmidos vectores mediante los cuales se insertan los genes extraños a veces también contienen genes de resistencia a los antibióticos, utilizados como marcadores), o pueden tener efectos aún desconocidos. Algunas de las preocupaciones acerca de la posible amenaza que representan los OGM para la salud humana también han sido expresadas en relación con la salud animal. Como el ganado y las aves de corral consumen grandes cantidades de maíz y soya (que pueden haber sido genéticamente modificados), la posibilidad de que esto genere resistencia a los antibióticos ha sido señalada por algunos ganaderos. Si los OGM provocaran en los animales un aumento de la resistencia a los antibióticos, éstos podrían volverse ineficaces, lo cual incrementaría el costo de mantener la salud de los animales. También se ha expresado la preocupación de que la resistencia a los antibióticos pudiera ser transferida a las personas que consumen productos de origen animal. Hasta el momento, no hay pruebas que demuestren que el consumo de alimentos GM haya afectado la salud animal, pero dichos alimentos no han estado en el mercado el tiempo suficiente para efectuar ensayos alimentarios a largo plazo y, por consiguiente, tal vez sea prematuro concluir que

se ha resuelto definitivamente la cuestión. La preocupación concerniente a la resistencia a antibióticos se ha mitigado porque los investigadores han ideado técnicas de transformación que evitan el empleo de plásmidos vectores que contienen genes de este tipo de resistencia. Con respecto al potencial alergénico de los transgénicos, aún cuando el gen insertado diera como resultado la producción de un compuesto nocivo, las probabilidades de que éste llegara al consumidor son insignificantes teniendo en cuenta las rigurosas pruebas de inocuidad a las que deben ser sometidos todos los productos nuevos (incluyendo a, y especialmente, los OGM).

- b) Medio Ambiente- Los OGM pueden tener un impacto potencial en el ambiente, como en el caso de que haya una transferencia no intencional de transgenes mediante polinización cruzada o dispersión, o que provoquen efectos desconocidos sobre otros organismos (como los microorganismos del suelo), además de ser posibles responsables de una eventual pérdida de biodiversidad de flora y fauna. Un riesgo obvio asociado con cualquier cultivo que haya sido mejorado para que sea resistente a los insectos es la posibilidad de que los insectos que se pretende combatir desarrollen con el tiempo resistencia a las toxinas producidas por el cultivo. Además de la atención puesta en los posibles riesgos ambientales de la resistencia de los insectos, también se ha expresado preocupación por el empleo de la resistencia a los herbicidas. El principal riesgo en este caso es que los genes de la resistencia a los herbicidas pudieran pasar de los cultivos transgénicos a otras especies silvestres o cultivadas y producir "supermalezas" que resistan los métodos tradicionales de control. Para combatir esas supermalezas, los agricultores tendrían que utilizar herbicidas más fuertes y quizá más nocivos para el medio ambiente. La preocupación se justifica, ya que estudios como el de Quist y Chapela (2001), que se describirá al principio del Capítulo 3, han demostrado que las plantas de cultivos GM pueden cruzarse con plantas que crecen en campos vecinos y así transferirles dichos genes (Feldmann, 2000, HGPI, 2003). Estos efectos pueden influir en el balance de las especies vegetales en comunidades naturales, o influenciar la biodiversidad de la vida silvestre como resultado de cambios en los alimentos disponibles o en las

fuentes de alimento utilizables (Atkinson, 1998). Hay otros estudios que también corroboran el hecho de que en estudios de campo se ha registrado contaminación GM mediante polinización cruzada o dispersión de polen, como el realizado por Caprio y Suckling (2000), que utilizan un modelo con poblaciones de manzanas de Nueva Zelanda y tréboles. Con este modelo exploran el impacto en la tasa de desarrollo de resistencia de niveles variables de resistencia cruzada entre distintas toxinas expresadas en estos dos cultivos transformados con Bt. Un ejemplo más es el del estudio realizado por Meagher, Belanger y Day (2003), que desarrollan un modelo de flujo génico que incorpora distancias exponenciales y efectos direccionales aplicados a especies que se polinizan por medio del viento. Los autores aplican el modelo a *Agrostis stolonifera* en sus variedades modificadas para resistencia al herbicida glufosinato, y sus resultados muestran que la probabilidad de que haya hibridación entre las variedades modificadas y las especies silvestres es alta, dependiendo de las condiciones locales como la exposición al viento. Otro motivo de preocupación es que puede haber efectos inesperados en la dinámica de poblaciones del ambiente receptor como resultado del impacto en otras especies no involucradas, que puede ocurrir directamente por depredación o competencia, o indirectamente por cambios en el uso del suelo o en las prácticas agrícolas. También puede haber efectos inesperados en el aspecto biogeoquímico, especialmente por el impacto sobre las poblaciones microbianas del suelo que regulan el flujo de nitrógeno, fósforo y otros elementos (FAO, 2001). Existen también otros temas de preocupación, como son: que los cultivos GM posean una mayor invasividad o persistencia que los tradicionales, que haya efectos no anticipados en especies benéficas (como las catarinas, las mariposas o ciertos microorganismos del suelo), y que se generen nuevos patógenos, por ejemplo, si los cultivos que han sido modificados con genes virales son infectados por un virus diferente, podría producirse una nueva variedad de virus al mezclarse la información genética de ambos virus (Barrett y Flora, 2000). Un ejemplo del efecto no anticipado sobre especies benéficas lo reportan Hellmich *et. al* (2001), al evaluar la sensibilidad de las larvas de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) a proteínas purificadas y polen de

*Bacillus thuringiensis*, o Bt. Estos autores analizaron el efecto de las toxinas Bt de las variedades Cry1Ab, Cry1Ac, Cry9C y Cry1F incorporadas a la dieta de larvas de la mariposa monarca, y a pesar de que se registraron pocos efectos negativos provenientes de las toxinas Cry9C y Cry1F, las larvas presentaban sensibilidad a las variedades Cry1Ab y Cry1Ac, mostrando alteraciones en sus niveles de peso y una tasa de supervivencia disminuida.

- c) Acceso y Propiedad Intelectual: En el ámbito económico, este tipo de controversias es el más importante. Una preocupación común, y hasta cierto punto justificada por la situación actual, es la de que llegue a existir una dominación de la producción de alimento mundial por unas cuantas compañías. También resulta preocupante que pueda generarse una dependencia aumentada de los países en desarrollo hacia las naciones industrializadas. Finalmente, existe el problema de la biopiratería, que consiste en una explotación extranjera de recursos nacionales.
- d) Ética: Este tipo de controversias, sin duda, es de los más difíciles de resolver. Ejemplos de ellas son: que los OGMs implican una violación de los valores intrínsecos de los organismos naturales; otra de ellas es que el ser humano esté manipulando la naturaleza mediante la mezcla de genes de diferentes especies (HGPI, 2003). Según Haraway (1996), para debatir los aspectos éticos de los OGMs ciertos grupos activistas apelan a nociones como la de la integridad de las formas naturales: el mezclar genes como si los organismos fueran materia prima legítima para ser rediseñada es violar la integridad natural en su centro vital. El transferir genes entre especies transgrede barreras naturales, comprometiendo la integridad de las especies (Haraway, 1996). Las características por las que reconocemos a un organismo son, en gran medida, una función de su composición genética. Cuando tomamos un gen de un organismo y lo colocamos en otro organismo, podría considerarse que estamos movilizand una característica inherente de una forma de vida, y que al hacerlo, estamos haciendo que pierda parte de lo que la hace única y perturbando patrones del mundo natural (Atkinson, 1998).



- e) Etiquetado (información al consumidor): Hay ciertos países que han alcanzado compromisos con su sociedad, permitiendo la venta de productos que contienen OGMs siempre y cuando éstos presenten, en la etiqueta, la aclaración de que contienen dicho tipo de ingredientes. De este modo, la sociedad está informada de qué productos son los que contienen OGMs y está en sus manos consumirlos o no. Dicho etiquetado, sin embargo, no es obligatorio en algunos países (como Estados Unidos); además, la mezcla de cultivos GM con cultivos normales hace confusos los intentos de etiquetado.
- f) Sociedad y Economía: El principal problema social de los OGMs es que los nuevos avances pueden estar sesgados hacia los intereses de los países más desarrollados (HGPI, 2003), en función de que los países desarrollados son los principales productores y distribuidores de OGMs actualmente, y son los responsables de la mayor cantidad de avances tecnológicos relacionados con la creación de dicho tipo de organismos. Aunado a esto existe el problema de que la producción de OGMs se lleva a cabo por unas cuantas compañías transnacionales (como Monsanto) que obtienen todos los beneficios económicos de estos cultivos. Esto puede afectar la seguridad alimenticia y la subsistencia de campesinos independientes al bloquear el desarrollo y mantenimiento de variedades tradicionales de cultivos necesarias para mantener la biodiversidad, al apoyar la investigación agrícola enfocada a fines privados y no públicos, al restringir el intercambio de semillas mediante contratos estrictos o tecnologías (como las *terminator*), al obligar a los campesinos a pagar por el uso de semillas patentadas, al promover tecnologías que favorecen el monocultivo a gran escala pero que no funcionan adecuadamente para cultivos diversificados a escalas pequeñas, y al generarle a los campesinos problemas legales, como demandas por la supuesta reventa de semillas GM, o por situaciones en las que sus cultivos presenten rasgos GM mientras se vendían como no-GM, por mencionar algunos. Existe también el riesgo de que el cultivo de OGMs genere una eventual pérdida de mercados internacionales, debido a la preocupación pública y a las regulaciones más estrictas que se han ido implementando, y el rechazo a los cultivos GM que producen estos dos factores. Por ejemplo, compañías como



Gerber, Frito-Lay, Heinz y Enfamil han declarado que no aceptarán ni incluirán OGMs en sus productos (Barrett y Flora, 2000).

El punto esencial alrededor de estos temas controversiales es que añadir una nueva secuencia a un organismo existente y liberar dicho organismo al medio ambiente puede resultar en cambios a muchas escalas y niveles, todos ellos con posibilidad de tener efectos adversos sobre la biodiversidad. Por ello, es importante considerar efectos en múltiples escalas temporales y espaciales. Por ejemplo, los cambios pueden manifestarse al nivel de individuos, creando nuevas proteínas con efectos tóxicos; al nivel de poblaciones, haciéndolas más invasivas o persistentes y al nivel de ecosistemas, al alterar interacciones con otros organismos vivos y con el ambiente. Existen también problemas potenciales con la interfaz de los sistemas sociales y ecológicos, al cambiar las prácticas agrícolas o al dañar recursos biológicos de importancia cultural. Estos efectos no pueden separarse de manera sencilla, porque los sistemas sociales, biológicos y ecológicos están interrelacionados y son interdependientes. Los cambios a una escala pueden generar impactos en varias otras escalas. Algunos efectos, como la toxicidad, están directamente relacionados con los cambios genéticos, mientras que otros efectos, como los cambios en el uso de pesticidas o de prácticas agrícolas, son efectos indirectos. Estos impactos están distribuidos en el tiempo. Pueden ser observados inmediatamente y tener efectos a corto plazo solamente (por ejemplo, en una sola generación), o pueden manifestarse a largo plazo o ser persistentes en el ambiente, perdurando por muchos años y generaciones. Los efectos pueden también ser retardados. Esto es, puede haber un tiempo de retraso entre la liberación de un OGM y la observación de sus efectos en el ambiente. A la luz de lo mencionado arriba, es importante reconocer que nuestra experiencia con OGMs, hasta el día de hoy, ha sido limitada. Los OGMs se han cultivado comercialmente por menos de diez años, y la mayoría de sus evaluaciones de riesgo se han llevado a cabo durante una o dos temporadas. Por ello, tenemos poco conocimiento directo de sus efectos retardados o a largo plazo (Barrett, 2001).

Debido a los grandes riesgos que plantean los OGMs, presentados dentro del apartado de "Temas controversiales" de esta sección, ha habido una gran actividad de ONGs (organizaciones no-gubernamentales) en contra de la introducción al medio y

comercialización de dicho tipo de organismos. La postura de dos de ellas (Greenpeace y Sierra Club) se analizará la sección 3.2 de esta tesis.

## **2.6 Países en desarrollo y OGMs**

Muchos países en desarrollo todavía dependen en gran medida de la agricultura como medio principal de producción y, por lo tanto, se beneficiarían enormemente con toda tecnología que pudiera aumentar la producción de alimentos, reducir los precios de éstos y mejorar su calidad. En los lugares donde a menudo hay carencia de alimentos suficientes para subsistir y donde los precios de éstos afectan directamente los ingresos de una gran parte de la población, no es fácil ignorar el potencial que tienen los OGM para aumentar la productividad. El mismo argumento puede esgrimirse con relación al potencial de los OGM para mejorar la calidad nutricional: quizás no se necesiten con urgencia alimentos con mayor valor nutricional en la mayoría de los países industrializados, donde casi todos los consumidores tienen la posibilidad de satisfacer sus requerimientos nutricionales, pero en muchos países en desarrollo esos alimentos podrían cumplir una función clave contribuyendo a aliviar la desnutrición. En la actualidad no se producen cultivos transgénicos en muchos países en desarrollo y, por lo tanto, es difícil pronosticar su valor final, pero los estudios basados en la predicción mediante la extrapolación indican que es probable que los OGM aporten considerables beneficios tanto a agricultores como consumidores en dichos países.

Sin embargo, si bien es cierto que los posibles beneficios de los OGM podrían ser desproporcionadamente grandes en los países en desarrollo, también lo son sus posibles desventajas. La mayoría de esos países no cuentan con capacidad científica suficiente para evaluar la inocuidad de los OGM, los conocimientos económicos para estimar su valor, la capacidad para implementar normas que rijan su distribución sin riesgos y sistemas jurídicos adecuados para imponer sanciones y castigar las transgresiones de la ley. Además, como en los países en desarrollo se encuentran los centros de origen de muchos de los principales cultivos alimentarios del mundo, todo efecto negativo sobre la fauna y la flora silvestres podría tener repercusiones en la biodiversidad mundial (Feldmann, 2000).

## **2.7 Actitud del público en relación con los OGMs**

Una característica importante del debate sobre los OGM es el marcado contraste entre las actitudes del público de un país y de otro. El Océano Atlántico en particular representa una importante línea de fractura en cuanto a esas actitudes: los OGM aparentemente han sido aceptados en forma tácita en los Estados Unidos, pero han inspirado grandes manifestaciones de protesta en muchas partes de Europa. Esta pronunciada diferencia de opiniones parece deberse a dos factores principales. En primer lugar, los consumidores en ambos lados del Atlántico difieren considerablemente en cuanto a su confianza en los sistemas oficiales de supervisión de alimentos. Los estadounidenses en general confían en la capacidad de su gobierno de protegerlos de productos alimentarios nocivos. Los organismos supervisores estadounidenses cuentan con un amplio apoyo: el 90% de los estadounidenses confía en el Departamento de Agricultura y el 84%, en la Administración de Fármacos y Alimentos. En Europa, las actitudes son muy diferentes. Los organismos supervisores europeos son vistos con desconfianza: sólo el 4% de los europeos creen que esos organismos dicen la verdad acerca de los cultivos transgénicos (Feldmann, 2000).

Un segundo factor que ha contribuido a la variabilidad de las actitudes del público es la disponibilidad de información acerca del contenido de los productos alimentarios. Los consumidores europeos tienden a prestar muchísima atención a los alimentos que ingieren e insisten en conocer su procedencia. En parte por esta razón, se exige a los comerciantes europeos mencionar en la etiqueta si un producto contiene OGMs, lo cual, además de proporcionar información importante a los consumidores, también ha servido para alertarlos acerca de la proliferación de alimentos genéticamente modificados. Los fabricantes estadounidenses de alimentos no están obligados a especificar en las etiquetas que se trata de alimentos GM y han luchado para evitar esa exigencia. Por consiguiente, la mayoría de los consumidores estadounidenses no sabe que muchos de los alimentos que ingieren contienen ingredientes genéticamente modificados. Esta falta de información –que algunos ven como una peligrosa ignorancia– sin duda ha contribuido a la relativa complacencia de los consumidores estadounidenses (Feldmann, 2000).

En el Reino Unido, así como en otras partes de Europa, uno de los problemas principales que evitan que haya aceptación pública del uso de OGMs puede resumirse de la siguiente manera: aunque haya preocupaciones importantes y válidas acerca del impacto ambiental y seguridad para el consumidor en el uso de OGMs, existe otra preocupación más general y más publicitada, que es la del poder e influencia de las compañías trasnacionales en las áreas de biotecnología e ingeniería química. Relacionado directamente con esto, está el asunto de quién es el que se beneficia del desarrollo de estas nuevas tecnologías. Claramente se benefician este tipo de compañías, que obtienen ganancias al vender las semillas, y en teoría también se beneficia el agricultor, que se beneficia de las mejoras que los OGMs le brindan a las prácticas agrícolas (aunque este último punto es muy discutible, especialmente en el caso de los países en desarrollo, y en el caso de cierto tipo de OGMs, como los creados con tecnología *terminator*). Las ventajas que los OGMs le brindan al consumidor son mucho más escasas y, consecuentemente, el consumidor ve mucho más los riesgos de los OGMs que sus beneficios. Este es el caso de los OGMs de primera generación (que son los que están en el mercado actualmente, y que fueron los primeros en estar bien desarrollados); resulta evidente que los OGMs de segunda generación (que se encuentran en desarrollo y pruebas en este momento) tendrían que otorgarle al consumidor ventajas claras y evidentes, ya sea para los países desarrollados o en desarrollo. De esta manera, es mucho más probable que se alcance una mayor aceptación pública para este tipo de organismos. Por ejemplo, la opinión de los medios con respecto a ciertos OGMs de segunda generación, como el “arroz dorado” (con altos niveles de  $\beta$ -carotenos que podría servir para combatir deficiencias de vitamina A), ha sido favorable, sugiriendo que si los alimentos GM tienen beneficios potenciales para el consumidor, el antagonismo mediático normal puede ser mitigado (Rowland, 2002). Es muy probable que esto llegue a suceder, debido a que la biotecnología agrícola promete una gran cantidad de beneficios para el consumidor en un futuro, no solamente con el arroz dorado, sino al generar plantas con mayor calidad, mayores atributos nutricionales y de salud, resistencia al “spoilage” (echarse a perder), e incluso niveles de alérgenos reducidos (Taylor, 2002).

La discusión acerca del uso de la tecnología GM llega en un momento de debate público amplio con respecto al proceso democrático y al manejo de información. La controvertida pregunta de si los productos alimenticios que contienen OGMs deben ser o no etiquetados, presenta una serie de preguntas acerca de la disponibilidad de opciones presentes para el consumidor, la disponibilidad de alimentos GM y no-GM igualmente accesibles, y las facilidades existentes para las minorías dentro de la población. Generalmente se asume que la preocupación pública acerca de las nuevas tecnologías es simplemente resultado de una falta de información, pero no es tan sencillo como eso. Aún teniendo la mejor información, los diferentes valores que se tienen dentro de una población pueden influir profundamente en la aceptación o el rechazo de la nueva tecnología, así como también impactan la percepción que el público tiene de los valores, motivos y confiabilidad de aquellos que proponen la tecnología. El patentar los resultados de la ingeniería genética también genera grandes controversias. Se discute acerca de la correctud de proclamar a una secuencia genética como una invención humana. No es fácil argumentar que alguien inventó a un ser vivo. El debate actual abarca puntos de vista que van de un rechazo total del patentado en la biotecnología, pasando por la aceptación de patentes para los genes creados por el hombre o para el producto final de los transgenes (como nuevas vacunas o aceites vegetales), hasta ver a las patentes únicamente como un medio para regular el comercio (Atkinson, 1998).

## **2.8 ¿Por qué necesitamos ingeniería genética?**

La población mundial continúa expandiéndose, pero el área de suelo disponible para la producción de alimentos es finita. Si las poblaciones predichas van a ser alimentadas adecuadamente, entonces debe aumentarse la producción de alimentos. La reproducción tradicional de plantas y otras tecnologías agrícolas ha permitido que la población mundial actual sobreviva con nuestra base finita de suelo, pero se ha percibido que la tecnología existente tiene límites en relación con el cumplimiento de las demandas de alimento de las poblaciones futuras predichas. El tener una producción sustentable de alimento de calidad para toda la población mundial sigue siendo un objetivo primordial (Atkinson, 1998).

Hay quienes ven en la ingeniería genética un poderoso potencial para aumentar el rendimiento de la producción de alimentos existente y posiblemente para cultivar en regiones del mundo donde la agricultura es marginal, en el mejor de los casos. Sin embargo, una característica de la ingeniería genética actual es que es más efectiva con procesos que son controlados por un solo gen. Muchas de las características genéticas asociadas con el rendimiento de un cultivo son, sin embargo, poligénicas, donde cada gen individual tiene sólo un pequeño efecto. La tecnología actual de los OGMs no puede, por lo tanto, satisfacer las necesidades a largo plazo ya mencionadas. Para lograr estos objetivos de mayor producción alimenticia se necesita que haya un mayor desarrollo en la tecnología genética, que sólo podrá lograrse mediante la evolución de sus métodos (Atkinson, 1998).

Es decir, con la ingeniería genética en el punto particular en el que se encuentra ahora, y con las características de los OGMs que se encuentran en el mercado hoy en día, no podemos afirmar que los alimentos GM son la respuesta a todos los problemas alimenticios que tiene y tendrá el mundo. Sin embargo, tal vez a largo plazo, cuando los avances tecnológicos sean mayores y los OGMs de segunda generación (con sus propiedades nutritivas aumentadas) estén listos, y se encuentren en desarrollo aún mejores OGMs, es muy probable que jueguen un papel importante combatiendo las necesidades alimenticias del planeta. Por ello necesitamos que la ingeniería genética siga desarrollándose, y siga perfeccionando su tecnología GM, pero no sólo en materia de creación de nuevos OGMs sino en materia de regulación y de seguridad de los ya existentes. Sin embargo, la continuidad del desarrollo de OGMs no sólo presenta ventajas tentativas, sino que también tiene su lado atemorizador, que analizaré a continuación.

## **2.9 OGMs y fragilidad ambiental**

El mejoramiento de la agricultura mundial nos ha llevado a una reducción de la diversidad de los sistemas de producción, como por ejemplo, el abandono de los sistemas tradicionales de producción por considerarlos obsoletos. Por otro lado, estos sistemas "obsoletos" de producción a menudo muestran un alto rendimiento cuando adoptamos metas o criterios de rendimiento diferentes (Giampietro, 2003).

Cuando analizamos los posibles efectos a largo plazo del uso masivo de OGMs en la producción agrícola, podemos ver que la investigación actual en ingeniería genética va en contra de las estrategias evolutivas para la estabilidad a largo plazo de los ecosistemas terrestres. Esto es, la dirección actual del desarrollo tecnológico en la agricultura implica una mayor atención a la eficiencia sobre la adaptabilidad; basándonos en la representación de beneficios en un horizonte a corto plazo y utilizando un juego limitado de atributos de rendimiento. Por ejemplo, el número de especies operando en nuestro planeta es del orden de millones, dentro de los cuales las especies comestibles utilizadas por los humanos están en el orden de miles. Sin embargo, debido a la demanda continua de métodos de producción más eficientes, el 90% de la comida del mundo se produce usando sólo 15 especies vegetales y 8 animales. Dentro de estas pocas especies utilizadas en agricultura, la búsqueda continua de mayores rendimientos (mayor eficiencia) está liquidando la riqueza de diversidad de variedades acumuladas en milenios de evolución. La FAO estima que la invasión masiva de semillas comerciales ha resultado en una amenaza dramática a la diversidad de especies domesticadas (Giampietro, 2003).

El progreso tecnológico en la agricultura puede generar fácilmente el efecto de cubrir nuestro planeta con unas pocas estructuras de óptimo rendimiento, como por ejemplo un agente específico de resistencia a plagas codificado en un fragmento de DNA. Si existiera una perturbación, ésta podría esparcirse fácilmente entre dichas estructuras homogéneas, sin darle tiempo a los científicos para desarrollar mecanismos de control.

La amenaza de reducción de biodiversidad también aplica a la diversidad de hábitats. El trasladar la producción agrícola a áreas agronómicamente marginales, antes inaccesibles para los cultivos tradicionales, se menciona frecuentemente entre los beneficios de los OGMs. Sin embargo, autores como Giampietro (2003) opinan que de este modo, los seres humanos eventualmente destruirán los pocos ecosistemas terrestres que han escapado hasta ahora de la explotación excesiva y que nos proveen de la diversidad de hábitats esencial para la preservación de la biodiversidad. Este es un fuerte riesgo, y aunado a los mencionados anteriormente resalta la necesidad de una buena evaluación de seguridad para los OGMs.



## **2.10 Evaluación de la seguridad de los OGMs**

Debido a todas las preocupaciones referentes a los OGMs, la evaluación de seguridad es necesaria de principio a fin mientras los productos biotecnológicos animales y vegetales avanzan, desde el descubrimiento hasta el desarrollo comercial (Taylor, 2003).

Las agencias regulatorias en muchos países requieren que las compañías de biotecnología agrícola lleven a cabo evaluaciones de seguridad muy profundas que son revisadas cuidadosamente antes de que el cultivo pueda ser aprobado para su comercialización. Como ya se ha visto a lo largo de este capítulo, la biotecnología agrícola involucra la introducción de genes novedosos que le confieren al portador rasgos deseables de varios tipos. Para los productos GM, la evaluación de seguridad se enfoca principalmente al rasgo o producto génico introducido. La modificación genética de las plantas resulta ultimadamente en la introducción de una proteína novedosa. Esta nueva proteína debe ser evaluada en el proceso general de evaluación de seguridad (Taylor, 2002).

El primer paso en la evaluación de la seguridad de un OGM se da en la fase de descubrimiento de los genes. Hay ciertas preguntas que deben hacerse desde los primeros momentos del proceso de evaluación de seguridad, como: ¿Qué concepto del producto se tiene? ¿Dónde se buscan los genes? ¿Cuál es la historia de la seguridad de estos genes y las proteínas que producen? El responder estas preguntas de manera adecuada puede evitar que se tomen malas decisiones por gente que no está particularmente calificada en los temas que abarcan dichas interrogantes, que son generalmente los que realizan el proceso de evaluación. Es muy importante que las personas que seleccionan los genes estén más enteradas de lo que va a suceder durante la fase de comercialización y responder algunas de las preguntas que surgen durante las fases tempranas del proceso. La segunda fase del proceso de evaluación y seguridad es la de selección de líneas. No mucha gente reconoce esta fase como una que requiere evaluación de seguridad, ya que consiste principalmente en pruebas de campo y de invernadero, y en ella sólo se observan las características agronómicas de la planta. Es importante señalar, sin embargo, que las compañías de biotecnología probablemente descartan el 99% de las plantas transformadas en este punto. Esto es



algo bueno, ya que descartan todas las variedades con un aspecto físico fuera de lo común, y éstas son las que probablemente generarían mucha incertidumbre en fases posteriores del proceso de evaluación de seguridad. La tercera fase es la de comercialización, en la que contamos ya con un producto que fue previamente seleccionado y listo para ser llevado al mercado, y en ella tenemos que evaluar seguridad para propósitos alimentarios y de forraje (Taylor, 2003).

La evaluación de seguridad de los alimentos novedosos, incluyendo a los alimentos GM, presenta problemas considerables. Las pruebas de toxicidad convencionales utilizadas en la evaluación de seguridad de productos químicos novedosos, como aditivos para los alimentos, generalmente no son aplicables a los alimentos. En el caso de los aditivos alimenticios, los químicos evaluados generalmente tienen una estructura bien caracterizada, y como también está caracterizada la respuesta de los mamíferos a ellos, pueden ser administrados en grandes cantidades a animales durante largos períodos de tiempo, excediendo así los niveles normales de consumo humano del aditivo. Esto permite definir un nivel de exposición al producto en el que no se observen efectos nocivos en los animales, y puede suponerse que este nivel es superior para la exposición humana, debido a que el consumo humano de dichos aditivos es mucho menor al suministrado a los animales. En cambio, los alimentos novedosos son, por naturaleza, mezclas complejas de químicos complejos, y presentan problemas para poner un límite en el que puedan ser incorporados a las dietas animales. Además, la incorporación de cualquier alimento, novedoso o no, en altos niveles a las dietas animales puede resultar en perturbación de la nutrición del animal, resultando en efectos adversos que hacen difícil detectar los efectos particulares de un componente GM específico. Este factor, aunado al nivel relativamente alto de consumo de los seres humanos en relación con el consumo animal, hace que no puedan determinarse adecuadamente los márgenes de seguridad para el consumo (Rowland, 2002).

La seguridad de los alimentos no es absoluta, sino relativa. No hay manera de probar que los alimentos son completamente seguros; sin embargo, podemos probar que son riesgosos o inseguros en algunas situaciones. Para tratar de racionalizar el proceso de evaluación de seguridad, y para superar las dificultades de la valoración

toxicológica de los alimentos, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, en 1993, desarrolló el concepto de *equivalencia sustancial*. Esto quiere decir que si puede demostrarse que el alimento novedoso es esencialmente similar a su contraparte convencional, probablemente no sea ni más ni menos tóxico que este último. Por ello, no hay necesidad de realizar pruebas toxicológicas extensas. El proceso para establecer equivalencia sustancial en el caso de los OGMs consta de los siguientes pasos:

1. Identificar los componentes nutricionales o anti-nutricionales más importantes (críticos) del alimento, además de las toxinas conocidas,
2. Cultivar cosechas GM en varios sitios por varios años para establecer variación debida a la posición geográfica, las condiciones de crecimiento, las condiciones de suelo y el clima,
3. Comparar los componentes críticos del alimento GM y del convencional utilizando análisis estadísticos apropiados (Rowland, 2002).

Los factores que se toman en cuenta al comparar un alimento GM con su contraparte tradicional incluyen:

- a) Identidad, fuente y composición,
- b) Efectos del procesamiento y del proceso de cocción,
- c) El proceso de transformación, el DNA en sí mismo y los productos proteicos de la expresión del DNA introducido,
- d) Toxicidad y alergenicidad potencial y posibles efectos secundarios,
- e) Impacto dietario potencial de la introducción del alimento GM (FAO, 2001).

Los científicos comparan el alimento o sus componentes genéticamente modificados con su contraparte convencional, identificando los genes únicos, los parámetros agronómicos y los aspectos de composición, de los que los nutrientes clave y antinutrientes son parte importante. Lo que le generó problemas al concepto de equivalencia sustancial es que uno puede tener tres tipos posibles de resultados. El primero es que el cultivo se considere sustancialmente equivalente a su contraparte tradicional, y por ello, no requiera más pruebas ni análisis. Hay verdaderamente muy pocos casos que entran en esta categoría; no hay muchos cultivos GM que no sean de algún modo diferentes a su contraparte tradicional, en su forma o composición. El

segundo tipo de resultados es un producto que es 99.99% como su contraparte convencional, pero es 0.01% diferente, y es esta diferencia la que nos genera conflictos. Este cultivo sería sustancialmente equivalente a su contraparte tradicional si no fuera por los rasgos introducidos. Uno debe de enfocar el análisis de seguridad en esas características únicas y los productos génicos asociados con ellas. El tercer tipo de resultados es un producto que no es sustancialmente equivalente al alimento aceptado, ya que contiene componentes intencionalmente alterados y es significativamente diferente a su contraparte convencional. No existe un consenso internacional para evaluar la seguridad de este último tipo de productos, y obtenerlo va a ser un proceso complicado, ya que probablemente se requiera crear nuevas pruebas para la evaluación de seguridad de estos productos, dramáticamente diferentes a los tradicionales (Taylor, 2003).

Un problema de utilizar el método de equivalencia sustancial es que resulta difícil definir los constituyentes críticos de las plantas que van a ser utilizados para comparar la planta GM con la planta convencional. Este proceso depende del conocimiento previo que se tiene acerca de los constituyentes de dicha planta, y por esto mismo, los avances en tecnologías de microarreglos de DNA, proteómica y perfil metabólico van a facilitar mucho el proceso de evaluación de seguridad de los OGMs en un futuro no muy lejano. Estas técnicas nos van a permitir comparar los perfiles metabólicos de las plantas GM y convencionales, e identificar diferencias y similitudes en miles de genes y proteínas en ambos tipos de plantas. Estos métodos también ofrecen la posibilidad de identificar efectos inesperados de la manipulación genética, que es una crítica común a los procesos actuales de evaluación. Sin embargo, estas técnicas no están lo suficientemente desarrolladas, y antes de poder utilizarlas en el proceso de evaluación de seguridad, hay que superar ciertas dificultades en términos de estandarización y validación de las evaluaciones: cómo aplicar estadística a los datos obtenidos, cómo interpretar dichos datos y cómo incorporarlos al proceso de evaluación de seguridad (Rowland, 2002).

Dentro de la evaluación de seguridad de un alimento GM, debe considerarse el potencial alergénico del producto, que puede resultar complicado debido a que no hay pruebas confiables para predecir alergenicidad, pero que se logra mediante

procedimientos alternos como exposición a inmunoglobulina E de individuos alérgicos a la fuente del transgen para ver si existe alguna reacción. También tienen que tomarse en cuenta los posibles efectos pleiotrópicos de la inserción de genes en las plantas GM; por ejemplo, la inserción de un gen pareado con un promotor puede disparar la expresión de un gen vecino para una toxina o alérgeno que estaba presente pero que no se expresaba. Estos efectos inesperados son raros pero posibles, y son difíciles de evaluar (Rowland, 2002). La evaluación de seguridad se enfoca primaria y apropiadamente en las proteínas y otros metabolitos producidos por el gen novedoso. Para evaluar estas proteínas pueden utilizarse herramientas bioinformáticas. Con respecto a la evaluación de la posible alérgenicidad de una proteína, puede armarse una base de datos de alérgenos y utilizarla para hacer comparaciones. Es posible buscar similitudes estructurales entre las proteínas novedosas introducidas a las plantas GM y los alérgenos conocidos. Los principios de la evaluación de la alérgenicidad de los alimentos GM son: (a) evitar la transferencia de alérgenos conocidos; (b) asumir que los genes provenientes de fuentes alérgicas codifican para un alérgeno a menos que se pruebe lo contrario; (c) evaluar el potencial alérgico de todas las proteínas introducidas; y (d) cuando se identifican alérgenos, considerar fuentes alternativas o estrategias alternativas para mitigar el riesgo, o discontinuar el desarrollo. El primer paso en la evaluación involucra considerar la fuente del gen. El potencial alérgico es mayor cuando la fuente del gen es alérgica. La mayoría de las compañías biotecnológicas y la mayoría de los científicos que descubren genes están tomando genes de fuentes que no tienen una historia de alérgenicidad. Con este tipo de productos, la evaluación de alérgenicidad se enfoca en la similitud de la secuencia de aminoácidos con la de alérgenos conocidos y la estabilidad de las proteínas introducidas frente al proceso de digestión (Taylor, 2003).

Otro problema que debe considerarse al evaluar la seguridad de alimentos GM es que, en muchas ocasiones, se utilizan genes de resistencia a antibióticos como marcadores y antibióticos para facilitar el proceso de selección. Aunque normalmente estos genes son de resistencia a la kanamicina, que es un antibiótico no usado clínicamente, y las posibilidades de transferencia de dichos genes del alimento a la flora intestinal normal son pocas, varios comités de expertos en la materia han sugerido que

los genes marcadores de resistencia a antibióticos deben ser eliminados después de los pasos iniciales del proceso de producción de plantas GM y que no deben estar presentes en el producto vegetal final (Rowland, 2002). Los marcadores de resistencia a antibióticos pueden, en la próxima década, generar menos controversia, ya que se estima que van a ser mucho menos utilizados en la biotecnología. (Taylor, 2003).

La seguridad relacionada con el DNA no es, realmente, un asunto de mucha importancia. Se considera que el DNA se digiere de manera rápida y que por lo tanto es seguro. Los seres humanos y otros animales han ingerido cantidades considerables de DNA por generaciones, y aún no hemos asimilado partes importantes de este DNA a nuestros genomas (Taylor, 2003).

Otro aspecto importante es el destino digestivo del alimento GM. La evaluación de la digestibilidad de las proteínas en fluidos gástricos e intestinales simulados es importante, porque una proteína que se digiere en aminoácidos probablemente va a ser segura para el consumo, mucho más que una que no sea digerida (Taylor, 2003).

En vista de que las evaluaciones de seguridad tradicionales no resultan del todo útiles para los OGMs, y tampoco los procesos de evaluación y manejo de riesgo que se utilizan actualmente, tiene que empezar a tomarse en cuenta que existen otras alternativas de regulación, como el PP, que pueden resultar eficaces, y mucho más seguras, que los mecanismos utilizados tradicionalmente. Sin embargo, existe mucha controversia acerca del uso de dicho Principio en un caso tan delicado y polémico como el de los OGMs. ¿Es el PP la mejor alternativa para la generación de políticas y regulación de los organismos genéticamente modificados? Eso es lo que trataré de analizar en el siguiente, y último, capítulo de este trabajo.

### **CAPÍTULO 3: EL PRINCIPIO PRECAUTORIO Y LOS OGMS**

A lo largo de los dos capítulos anteriores, se mencionaron las características principales de los OGMS, así como la controversia que los rodea, y se analizaron las particularidades del Principio Precautorio, haciendo énfasis en su polémica definición y su uso actual y futuro a nivel internacional. Sin embargo, tal vez hasta este momento no ha quedado del todo clara la relación existente entre el PP y los OGMS, ni por qué estos dos temas deben ser tratados juntos.

La situación es la siguiente. Existen ciertos tipos de tecnologías para las cuales una simple evaluación de riesgos es suficiente; este es el caso, por ejemplo, de tecnologías novedosas pero hasta cierto punto similares a las existentes anteriormente, o de desarrollos científicos de un alcance limitado, fáciles de analizar y sin aparentes consecuencias a largo plazo. Sin embargo, hay otro tipo de tecnologías para las que esto no es suficiente, y que se distinguen por presentar riesgos desconocidos, posibles consecuencias a nivel global, o una naturaleza difícil de caracterizar en una evaluación de riesgos. Para tales tecnologías, en cuya categoría entran los organismos genéticamente modificados, una valoración de riesgos típica no basta, y se tienen que tomar otro tipo de medidas para asegurarnos de su seguridad antes de que estén listas para entrar al mercado. Una de estas medidas podría ser el uso del PP.

El PP es una herramienta legítima disponible para la toma de decisiones en circunstancias en las que enfrentamos efectos potencialmente dañinos sobre la salud, pero hay incertidumbre científica concerniente a la naturaleza o el grado del riesgo. Al enfrentarse con estas circunstancias, los responsables de la toma de decisiones deben considerar realizar algún tipo de acción apropiada; la precaución les exige tomar el camino más seguro cuando hay incertidumbre científica (Van der Haegen, 2003).

El PP se basa en la suposición de que la gente tiene derecho a saber lo más posible acerca de los riesgos que está corriendo, a cambio de qué beneficios, y de tomar decisiones prudentes basándose en lo anterior. En el caso de los alimentos genéticamente modificados, lo importante es que el consumidor pueda decidir si los beneficios de estos productos (que son generalmente para el productor y no para el

consumidor) superan el riesgo de daño para el ser humano o para el medio ambiente (Myers, 2000).

Para algunos autores, como Goklany (2000), la discusión acerca de la aplicación del PP a los OGMs es importante debido a que no es una opción viable simplemente prohibir el uso de los OGMs a nivel comercial. A pesar de que varios grupos ambientalistas probablemente preferirían que se aplicase una prohibición total sobre los OGMs, Goklany opina que hay que aceptar que el uso adecuado de OGMs podría eventualmente brindarle a la raza humana y al planeta (en términos de utilización de terrenos para cultivo) una serie de beneficios que no pueden ser ignorados. Existe un problema con la argumentación de Goklany que me parece pertinente resaltar. Hasta el día de hoy, los beneficios que los OGMs pueden brindarle al ser humano y al planeta son meramente teóricos, y ésta es una de las principales fuentes del escepticismo mundial hacia este tipo de organismos. Para el público, y para varios científicos y ambientalistas, resulta difícil asumir riesgos de gran magnitud –como los asociados con el uso de OGMs- si no existe un beneficio concreto y observable, y no meramente una promesa de sus creadores. Ahora, podría argumentarse lo mismo en el caso de los riesgos de los OGMs, es decir, que existen únicamente en teoría, sin embargo, estudios como el de Quist y Chapela (2001), por más controversial que este haya resultado, prueban lo contrario. Quist y Chapela, en el 2001, reportan en la revista *Nature* la presencia de DNA transgénico en variedades nativas de maíz cultivadas en zonas montañosas de Oaxaca, México. El gen en cuestión, al compararse con aquellos presentes en el GenBank, resultaba similar a secuencias contenidas en maíz transgénico comercial, como el Novartis Bt11. Estos resultados demuestran que hay un alto nivel de flujo génico del maíz producido industrialmente hacia las poblaciones nativas y silvestres.

Por esta razón, me parece interesante estudiar el enfoque de Barrett (2000), quien se pregunta, ¿cómo podemos evaluar y de esta manera evitar los efectos adversos para la salud y para el medio ambiente de los cultivos GM, particularmente a la luz de los beneficios anunciados pero todavía no comprobados de estos cultivos? Y para ello, cómo podemos traducir los elementos fundamentales del PP a políticas dirigidas a la complicada relación del desarrollo tecnológico y la protección de la salud



pública y del ambiente? Como respuesta, Barrett propone un marco teórico para la aplicación adecuada del PP al caso de los OGMs, que analizaré posteriormente en este capítulo.

Retomando lo anterior, es importante mencionar que un número creciente de estudios científicos indica que el cultivo amplio y sin confines de OGMs podría resultar en efectos ambientales y de salud nunca antes vistos y potencialmente serios. Por otro lado, un número considerablemente menor de estudios ha examinado las afirmaciones de que los cultivos GM aumentarán los rendimientos y reducirán el uso de productos químicos. A pesar de las crecientes evidencias, hay aún una significativa incertidumbre acerca de los beneficios y peligros a largo plazo de los cultivos GM. Nuestra relativa falta de conocimiento acerca de los impactos de los cultivos GM (comparada con la velocidad de su desarrollo y comercio) puede deberse en parte a los fuertes vínculos entre sistemas políticos, biológicos, ecológicos y sociales. Por ejemplo, en ocasiones los compromisos políticos afectan las prioridades en investigación y por ende determinan los tipos de tecnologías que se financian, y el grado al que se investigan los riesgos. A la fecha, las regulaciones para cultivos GM de los gobiernos de Canadá y Estados Unidos se han enfocado en evaluaciones de riesgos cuya relevancia depende de ciertas suposiciones. Algunas de estas suposiciones son:

1. Los cultivos GM no son inherentemente diferentes – o más peligrosos- que los cultivos no-GM;
2. Las interacciones complejas en sistemas abiertos pueden ser predichas gracias a experimentos controlados en sistemas cerrados;
3. Las observaciones en pruebas a escala pequeña pueden ser extrapoladas a grandes escalas;
4. Cualquier peligro imprevisto de los OGMs puede ser controlado una vez que ocurra;
5. Los cultivos GM son necesarios para alimentar a una población en crecimiento y para sustentar las economías domésticas.

Estas suposiciones son algo problemáticas debido a que afirman tajantemente ciertas cuestiones que, si se piensan detenidamente, no resultan tan claras, ni su veracidad tan absoluta, como están planteadas. Por ejemplo, asegurar que cualquier



peligro generado por los OGMs puede ser controlado una vez que ocurra me parece una promesa que parece difícil de cumplir, y para ello recurro una vez más a citar el ejemplo de los CFCs: los problemas que estos compuestos le causaron a la capa de ozono son, hasta el día de hoy, irreparables. Lo mismo pasa con la afirmación referente a la efectividad del uso de experimentos controlados para estudiar el comportamiento de los OGMs en el medio; en una situación como ésta, en la que se involucra la liberación de organismos novedosos a un sistema abierto, a una escala enorme, y en el que existen miles de interacciones complejas que podemos incluso no conocer aún (*i. e.*, el medio ambiente y los ecosistemas), el estudio mediante experimentos a escala pequeña y en laboratorio no es confiablemente extrapolable; es decir, no podemos asumir que, por hacer pruebas de campo en sistemas cerrados cuyos resultados muestren inocuidad de los OGMs, ha quedado demostrada la seguridad de introducir estos organismos al medio.

Claramente, hay necesidad de una agenda regulatoria y de investigación más comprensible, transparente y precautoria para los cultivos GM. Las regulaciones deben tratar con la novedad, la incertidumbre y los riesgos de liberar cultivos GM al ambiente y a los sistemas alimenticios, y deben integrar cuidadosamente valoraciones caso por caso con análisis a nivel de sistemas (Barrett, 2000).

Hay quienes piensan que los productos GM requieren un alto nivel de regulación debido a los problemas ambientales potenciales que presentan, como la pérdida de biodiversidad o el problema de la creación de resistencia a antibióticos. Otros, sin embargo, argumentan que los peligros de los OGMs se han exagerado grandemente; a menudo, según dicen estos últimos, los peligros potenciales que supuestamente presentan los OGMs también están presentes en los productos tradicionales. El problema de los OGMs como alérgenos, ya mencionado en el capítulo anterior, es un ejemplo de ello. Las alergias pueden ser transferidas mediante entrecruzas tradicionales también; sin embargo, los productos GM son los que alarman a la sociedad, dicen los defensores de los OGMs. Otro argumento de este tipo es el de que los OGMs pueden causar disrupciones ambientales; por ejemplo, ciertos cultivos modificados para producir pesticidas naturales contra insectos destructivos también amenazan a poblaciones de mariposas. Los proponentes de los OGMs argumentan que

dichas amenazas no son serias, y además, que la introducción de organismos no-GM pero tampoco nativos a un hábitat puede ser igualmente dañino para el ecosistema. La introducción de percas y tilapias al Lago Victoria, en África, es un ejemplo. Estos dos peces no son nativos del lago, y han desplazado a 350 especies de peces nativos que mantienen a los pescadores locales, que por lo general no cuentan con los medios suficientes para explotar las percas, aunque éstas hayan generado un gran mercado de exportación. Sin embargo, la discusión no radica en que los riesgos que presentan los OGMs también los presentan los organismos no-GM, sino en que, por su novedad y por todas las controversias mencionadas en el capítulo anterior, los OGMs preocupan al público. El público tiene razones para desconfiar de las nuevas tecnologías, considerando experiencias pasadas con sustancias biológica y ecológicamente dañinas. Las evidencias científicas recopiladas acerca de los problemas que generan los OGMs (como el experimento de Quist y Chapela, descrito al inicio de este capítulo) le dan un respaldo científico a esta preocupación. Por ello, la aplicación del PP es una manera de lidiar con la preocupación pública acerca de la biotecnología mientras se muestran los beneficios de sus productos (Puttagunta, 2001).

### **3.1 Protocolo de Cartagena y Principio Precautorio**

La aplicación del PP a los OGMs se mencionó por primera vez en la Convención para la Biodiversidad, que se firmó por más de 150 países en la "Earth Summit" de Río en 1992. Los países que sigan lo establecido en esta Convención, de acuerdo con su Artículo 19 (3), deben:

"Considerar la necesidad y modalidades de un protocolo que establezca procedimientos... en el campo de la transferencia, manejo y uso seguro de cualquier organismo vivo modificado que resulte de procesos biotecnológicos que pueda tener un efecto adverso en la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica". (CBD, Art.19.3)

Los Artículos 10 y 11 de dicha Convención indican que los Países pueden tomar medidas precautorias para evitar daños causados por OGMs, aun cuando no haya

suficiente certidumbre científica acerca de la magnitud del daño que pueda ocurrir (Barrett, 2001).

El Protocolo de Bioseguridad de Cartagena sobre la Convención para la Biodiversidad (o Protocolo de Bioseguridad de las Naciones Unidas), que se aceptó en enero del 2000 en Montreal, es el primer acuerdo internacional que regula exclusivamente la biotecnología. Este protocolo se convirtió en ley una vez que 50 países lo ratificaron, y entró en vigor el 11 de septiembre del 2003. Hasta el día de hoy más de 70 países lo han ratificado, incluyendo a México, y más de 110 países se han incorporado a él (incluyendo a los 70 ya mencionados) (CBD, 2005). El Protocolo integra los aspectos ambientales, de comercio y de desarrollo de los OGMs. Establece, entre otras cosas, que los productos GM que se comercien entre estos países deben empacarse en contenedores con la etiqueta "puede contener OGMs" (UE, 2000). También establece que:

"La falta de certidumbre científica debida a una insuficiencia de conocimiento e información científica acerca de la magnitud de efectos adversos potenciales de un organismo vivo modificado para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica en el País que lo importa, tomando también en cuenta los riesgos para la salud humana, no evitará que ese País tome una decisión apropiada con respecto a la importación del OGM en cuestión... para así evitar o minimizar dichos efectos adversos potenciales".(Puttagunta, 2001).

Esto está directamente relacionado con la inclusión en dicho Protocolo del término "enfoque precautorio" en su definición de los derechos y obligaciones de los gobiernos con respecto a la regulación de los movimientos de los OGMs a través de las fronteras. Bajo los términos del Protocolo, los gobiernos tienen la libertad de rechazar cargamentos individuales de OGMs provenientes de otros países si se cree que son inseguros, aún habiendo evidencia científica insuficiente como para establecer relaciones de causa-efecto (Conko, 2003). El Protocolo también crea una oportunidad para que los gobiernos imaginativos tracen un modelo precautorio mejor definido. Desgraciadamente, este diseño abierto también es un defecto del Protocolo. El que los gobiernos tengan una gran flexibilidad para determinar el tipo de análisis y manejo de

riesgos que desean implementar significa que pueden también institucionalizar una predisposición sistemática contra los OGMs (Conko, 2003).

El Protocolo establece un procedimiento llamado Acuerdo Informado de Avanzada (AIA) para las importaciones de OGMs que pretenden ser introducidos al medio ambiente, y un procedimiento alternativo para el movimiento masivo de OGMs que serán utilizados para alimentación, forraje y procesamiento (de mercancías). El AIA es la parte del Protocolo que establece que los países deben estar informados y de acuerdo con las importaciones de cultivos GM. Esto quiere decir que antes de que un país pueda exportar cualquier OGM que vaya a ser introducido al medio ambiente, debe obtener el consentimiento explícito del país que lo va a importar. Lo que hace el AIA es establecer bases detalladas para la toma de decisiones acerca de las importaciones, incorporando el PP, e incluye requerimientos específicos de documentación para el movimiento de todos los OGMs. El Protocolo también incluye disposiciones acerca de la información confidencial, transferencia de información, crecimiento de capacidades y recursos financieros, con un enfoque especial a la situación de los países en desarrollo. Esto se debe a que por lo general estos países no tienen sistemas regulatorios adecuados (UE, 2000).

México, por ejemplo, es uno de los países que ratificaron el Protocolo de Cartagena. Sin embargo, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados que se aprobó por la H. Cámara de Diputados en febrero del 2005, no sigue del todo los lineamientos establecidos por dicho protocolo, según un grupo de científicos mexicanos que manifestaron su descontento en una carta publicada el 8 de diciembre del 2004. Para este grupo, esta Ley no se rige por el PP, ni protege la biodiversidad, el ambiente de México y la salud de los mexicanos. En esta carta, publicada a manera de petición a la H. Cámara de Diputados para revisar la iniciativa de Ley antes de su aprobación, este grupo de científicos enlistó una serie de aspectos que en su opinión no fueron adecuada o completamente incorporadas en su redacción, y cuya omisión podría acarrear graves consecuencias. Entre estos aspectos se encuentran:

1. Las recomendaciones de la Comisión para la Cooperación Ambiental sobre maíz y biodiversidad, entre las que destaca el que se mantenga la moratoria de la

siembra semicomercial y comercial de maíz transgénico en México y que se refuercen las medidas para evitar la entrada de grano viable de maíz genéticamente modificado al territorio mexicano.

2. El enfoque precautorio, definido con base en la formulación incluida en la Declaración de Río de 1992, concepto en el cual la Ley es deficiente y que es el principio base del Protocolo de Cartagena ratificado por nuestro país.
3. La protección a la salud humana, el medio ambiente, la biodiversidad y la diversidad genética de México, y la sanidad animal, vegetal y acuícola.
4. Las aportaciones de académicos y científicos de todas las áreas de conocimiento relevantes a esta discusión tanto de las áreas naturales como de las ciencias exactas, sociales y humanísticas.
5. Los criterios usados por la UE para rechazar a los cultivos genéticamente modificados desarrollados hasta ahora.
6. La recomendación de prohibir la liberación de cultivos transgénicos en centros de origen y/o diversidad de cultivos y áreas naturales protegidas, especialmente del maíz y otros cultivos de importancia básica para la dieta de los mexicanos.
7. Mecanismos ágiles, eficaces y transparentes de indemnización y responsabilidad por parte de las empresas para monitorear y subsanar posibles efectos negativos resultado de la liberación de sus OGM.
8. La prohibición, sin excepciones, de liberación de OGM sin evaluación de riesgos, incluso en situaciones de confinamiento.
9. Procedimientos claros y obligatorios para la gestión de riesgos, etiquetado de productos, rastreabilidad, monitoreo postcomercialización y comunicación de riesgo.

También piden que la Ley de Bioseguridad favorezca la evaluación de los riesgos y beneficios de los desarrollos biotecnológicos, a la luz de otras opciones. Sus recomendaciones buscan que se logre un manejo sustentable que asegure la conservación de nuestros recursos naturales a largo plazo, y que proteja el patrimonio y la soberanía nacionales en términos de biodiversidad, y que no sacrifiquen, en absoluto, la autosuficiencia alimentaria y la capacidad de desarrollo tecnológico de nuestro país.

Mi lectura particular de dicha Ley de Bioseguridad, en su versión final publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de marzo de 2005, no es, por supuesto, tan educada como la del grupo de firmantes de la carta arriba mencionada, ni como la de un experto en materia legal. Sin embargo, de ella entiendo que la Ley publicada sí menciona el uso del PP como lo frasea el Protocolo de Cartagena, y sí establece una serie de requerimientos de seguridad para la liberación y comercialización de OGMs en el territorio nacional. Sin embargo, encuentro que dichos requerimientos son, en cierta medida, vagos y ambiguos, debido a que nunca establecen de manera concluyente, por ejemplo, qué constituye una prueba de seguridad o un estándar de evidencia aceptable, entre otras cuestiones que resultan fundamentales para que podamos asegurarnos que se está procediendo con toda la precaución posible para lograr evitar los riesgos derivados de los OGMs. Me parece que para que nuestro país regule a los OGMs como lo exige el Protocolo de Cartagena, la Ley de Bioseguridad aprobada debe ser seguida de manera muy estricta, y sin otorgar permisos de manera laxa por más intereses económicos que se encuentren en juego, para lograr evitar que haya efectos dañinos irreparables sobre el medio ambiente y la salud humana.

Por ello, estoy de acuerdo con la opinión de Conko (2003), que indica que al implementar el Protocolo de Bioseguridad será esencial que los países que lo ratifiquen elijan, de todas las interpretaciones del PP que existen, un grupo de elementos que permita que los reguladores balanceen los riesgos potenciales de una nueva tecnología contra los beneficios potenciales de reducción de riesgos que presenta dicha tecnología. Si esto no puede hacerse, el PP será una herramienta inadecuada para el manejo de riesgos de los organismos genéticamente modificados.

### **3.2 Postura de dos ONGs acerca de los OGMs**

Para ejemplificar la posición de los grupos más radicales en contra del PP, elegí exponer la postura de dos ONGs de gran importancia por su trabajo a favor de la conservación del medio ambiente: Greenpeace y Sierra Club.

Greenpeace, en su sitio web ([www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)), se manifiesta en contra de los OGMs debido a los riesgos inaceptables que presentan. Esta ONG cree que los OGMs no deben ser liberados al medio ambiente, ya que en su opinión no hay una

comprensión científica adecuada de su impacto en el medio y en la salud humana. También se oponen a la creación de cualquier patente para plantas, animales y seres humanos, así como para su información genética, debido a que los organismos vivos y sus genes no son invención de nadie, por lo que no deben ser patentados y por ello sujetos a un control privado. Ellos exigen la toma de medidas tales como el etiquetado de ingredientes GM, y la segregación de los cultivos GM de los cultivos convencionales. Con respecto a los niveles aceptables de contaminación GM en cultivos silvestres, Greenpeace establece que cualquier contaminación detectable presenta un riesgo inaceptable para el medio ambiente, y exige una legislación de cero tolerancia para la contaminación GM en semillas. Esto quiere decir que no debe detectarse ninguna contaminación, mientras que las legislaciones actuales permiten un 0.1% registrado mediante PCR (Greenpeace, 2005).

En el caso particular de México, desde 1999 Greenpeace ha insistido ante el gobierno mexicano para que prohíba las importaciones de maíz transgénico, brinde a la población información precisa sobre los transgénicos aprobados para su uso y comercialización, complete el marco regulatorio en bioseguridad, y establezca mecanismos que obliguen a las compañías que introduzcan en México productos transgénicos, o sus derivados, a que se responsabilicen en caso de daños a los ecosistemas y/o a la salud humana o animal. Para ellos, la respuesta no ha sido la adecuada: ha habido un incremento en las cuotas de importación de maíz (de las cuales alrededor de un tercio es transgénico) y un ocultamiento de los estudios que confirman la contaminación de los cultivos mexicanos. Asimismo, no se ha brindado apoyo u orientación a los campesinos afectados ni mucho menos se ha elaborado un plan de acción para atender este problema que pone en riesgo la seguridad alimentaria de las familias campesinas. Con respecto a la Ley de Bioseguridad recientemente aprobada por la cámara de diputados (a principios del 2005) Greenpeace opina que ésta está diseñada a la medida de las empresas agrobiotecnológicas y no en función de los intereses de los mexicanos, ya que no protege a México como país rico en biodiversidad y centro de origen de diversas especies importantes para la alimentación mundial. Muy al contrario, promueve la introducción de transgénicos sin etiquetado, y permite que nadie se responsabilice por los daños que pueda causar la liberación de



transgénicos. Greenpeace busca que esta Ley sea reforzada, que se mantenga la moratoria a la siembra de transgénicos en México y que todos los productos que contengan OGMs sean clara y debidamente etiquetados, ya que consideran que lo menos que se merecen los consumidores es saber qué consumen y poder ejercer su capacidad de elección (Greenpeace, 2005).

Sierra Club tiene una postura muy similar a la de Greenpeace con respecto a los OGMs, publicada en su sitio web [www.sierraclub.org](http://www.sierraclub.org). Esta ONG pide que haya información, discusión y evaluación públicas de los riesgos y beneficios potenciales de los OGMs, y un desarrollo de controles regulatorios y legislativos adecuados basados en el respeto a la naturaleza, la vida, y la equidad socioeconómica. Esta ONG apoya el establecimiento de una base de datos, de acceso público, que contenga información acerca de los OGMs que han sido aprobados para su utilización comercial. Al mismo tiempo, se manifiestan en contra de la introducción de OGMs en áreas públicas u otros espacios abiertos protegidos por sus características naturales, como las reservas ecológicas. De igual manera se oponen a las actividades que tienen el potencial de afectar adversamente a la viabilidad de la biodiversidad o a la seguridad alimenticia, por ejemplo, al desarrollo de semillas GM para favorecer el monocultivo. Sierra Club también se opone a que se otorguen patentes para órganos, células, genes, proteínas, y cualquier otra materia viva que ocurra naturalmente, o que esté genéticamente modificada (Sierra Club, 2005).

Ambas ONGs consideran que debe actuarse conforme al PP, y colocan a dicho principio dentro de sus respectivas posturas de la siguiente manera:

"Porque la contaminación genética tiene efectos imprevisibles, así como posibles consecuencias en cascada sobre los ecosistemas, y porque los riesgos sobre la salud no están siendo evaluados y siguen siendo desconocidos, Greenpeace considera que lo mejor es la aplicación estricta del Principio Precautorio... Greenpeace asevera que el PP debe ser la base de cualquier legislación acerca de la liberación deliberada o no intencional de OGMs al medio ambiente. Los legisladores deben garantizar los derechos fundamentales de los consumidores, de los campesinos y de los ciudadanos



de rechazar los OGMs, y deben proteger el medio ambiente de riesgos innecesarios y de daños potencialmente irreversibles (Greenpeace, 2005)."

"Pedimos que se actúe de acuerdo con el Principio Precautorio, lo que quiere decir que cuando una actividad presenta la posibilidad de generar un daño grave o irreversible al medio ambiente o a las criaturas vivas, deben tomarse medidas precautorias que prevengan la posibilidad de daño, aun cuando la línea causal entre la actividad y el posible daño no haya sido probada. De acuerdo con este PP, pedimos una moratoria para el cultivo de cualquier planta GM y para la liberación de cualquier OGM al medio ambiente, incluidos los ya aprobados. Las liberaciones deben ser pospuestas hasta que se lleve a cabo una investigación rigurosa y extensiva que determine los impactos ambientales y de salud humana a largo plazo de cada OGM, y hasta que haya un debate público para consensar la necesidad del uso de cada OGM que pretenda ser liberado al medio ambiente (Sierra Club, 2005)."

Greenpeace no define al PP dentro de su postura, pero resume su aplicación al caso de los OGMs aseverando que los países tienen el derecho de prohibir o restringir la importación y uso de OGMs cuando no haya el suficiente conocimiento científico o consenso acerca de su seguridad. Además, menciona que los campesinos y productores de alimentos no deben cargar con el peso de la contaminación por OGMs que las multinacionales tratan de imponer, remitiéndonos al componente de la reversión del peso de las pruebas que incluye la gran mayoría de las formulaciones del PP (Greenpeace, 2005).

Probablemente debido a que la postura de ambas ONGs es tan marcadamente en contra de los OGMs, su interpretación del PP es estricta, invocando a dicho Principio al enfrentarnos a la incertidumbre que genera este tipo de organismos, y exigiendo moratorias y probaciones hasta tener pruebas concluyentes de la seguridad de los OGM que se pretende que sean liberados. Sin embargo, la aceptación del PP por estas organizaciones nos muestra que tal vez sea posible llegar eventualmente a un consenso entre las posturas radicales de las ONGs con las de gobiernos proactivos que incluyan al PP en sus legislaciones. Esto es importante, porque si la aplicación del PP

satisface a las ONGs, cuyo rechazo de los OGMs es tan marcado, probablemente también satisfaría al público, y lo haría sentir más seguro y tranquilo sabiendo que se está haciendo todo lo posible por evitar la existencia del riesgo generado por este tipo de organismos.

Por otro lado, para lograr este consenso entre ONGs y gobierno con base en el PP, también necesitaría llegarse a un acuerdo acerca de lo que es el PP y los puntos que lo conforman, además de lograr una mayor aceptación del PP por los gobiernos, de manera que estén más dispuestos a incluirlo en sus legislaciones. Sin embargo, hay opiniones encontradas acerca de la utilidad del PP como un método de prevención de riesgos, y otras propuestas de actividades precautorias más conservadoras, como el llamado *enfoque precautorio*, del que hablaré a continuación.

### **3.3 Principio Precautorio y enfoque precautorio**

Conko (2003) hace una distinción entre el PP y el enfoque precautorio, que es el término utilizado en el Protocolo de Bioseguridad de Cartagena, en la Declaración de Río y en la Convención sobre Biodiversidad. Por su parte, la Comisión Europea utiliza ambos términos indistintamente, y también lo hace así la Agencia de Regulación Ambiental del gobierno de Canadá. Para Conko, quien busca hacer una distinción entre los dos términos, debe enfocarse en las diferencias en los métodos utilizados para realizar evaluaciones y manejo de riesgos y tomar decisiones. Para él, el PP es una búsqueda abierta y subjetiva de tranquilidad con respecto a todos los riesgos hipotéticos, sin importar cuán improbables sean éstos. El enfoque precautorio, por otro lado, es el término utilizado para describir los intentos más organizados de los encargados del manejo de riesgos para evaluar la posibilidad de que haya ciertos riesgos, antes del período de comercialización de los productos que contienen OGMs. Bajo un enfoque precautorio, los juicios de manejo de riesgos se hacen de manera estandarizada, estableciendo relaciones biológicas y químicas claras entre la sustancia y el daño que se cree que dicha sustancia puede causar. Las decisiones que se toman desde el PP se basan en información obtenida a partir del manejo de riesgos, y en otros datos disponibles en la literatura científica. Este enfoque implica demostrar, mediante procesos de manejo de riesgos, que algo es seguro, y cuando se prueba, el producto

puede salir al mercado, siempre y cuando su contenido o funcionamiento entre en el margen de seguridad preestablecido por agencias regulatorias.

En mi opinión, esta descripción del PP de Conko es algo radical, y refleja su postura crítica de dicho Principio, así como su apoyo hacia un manejo de riesgos más preventivo, que es adecuado para ciertas tecnologías pero no para los OGMs. Mientras que el enfoque precautorio se refiere meramente a que la toma de precauciones en términos de análisis y manejo de riesgos, el PP consiste en no arriesgarse siquiera a que haya un riesgo. El PP no es un conjunto de normas para manejar riesgos, sino más bien para manejar la incertidumbre. Al ser utilizado en casos con un alto grado de incertidumbre que implican que los daños que pudiese generar una nueva tecnología son tan grandes que no podemos arriesgarnos a sufrírselos (como los OGMs). El PP deja de ser una herramienta de manejo de riesgos, siendo más bien una manera de asegurarnos, en la medida de lo posible, que estos riesgos no se darán, y estimula una constante búsqueda de alternativas que eliminen los riesgos.

Conko (2003) argumenta, sin embargo, que sin una definición clara, la precaución no nos brinda ni estándares de evidencia para demostrar "seguridad" ni criterios de procedimiento para obtener la aprobación de los reguladores, sin importar la cantidad de evidencia que se recopile. Esto convierte a la planeación efectiva de los innovadores en un juego de adivinanzas regulatorio. Ultimadamente, si los productores no saben cuáles son los límites permitidos por los reguladores, y cómo serán estos límites en un futuro más o menos cercano, van a estar sucesivamente menos dispuestos a arriesgarse en el desarrollo de los nuevos productos que, eventualmente, podrían servir para aumentar la seguridad total. Para Conko, esta situación puede contribuir también a que sólo las compañías más grandes y financieramente seguras puedan costear la producción de productos que puedan ser rentables. Las instituciones académicas y de financiamiento público van a encontrarse cada vez con más dificultades para producir productos transgénicos en un ambiente en el que el PP se use de manera subjetiva (Conko, 2003). Este argumento constituye una fuerte crítica para el PP. Sin embargo, no podemos esperar que el PP, para ser utilizado, incluya un manual que describa los estándares de evidencia de seguridad y los procedimientos para obtener la aprobación de los reguladores para todos los casos en los que pueda

utilizarse. El punto del PP es que su aparente ambigüedad permite que sea aplicado en situaciones muy diversas, y por su misma flexibilidad permite una mayor cobertura de casos en los que puede utilizarse. Lo que pide el PP es una evaluación de las alternativas existentes, para probar que no existe otra más segura, forzando así a los productores a tratar de crear siempre tecnologías ecológicamente amigables y lo más seguras posible, que no presenten una posibilidad de riesgos a futuro tan grande. La idea es minimizar el riesgo lo más que se pueda. Y desde luego, los reguladores deben ser lo suficientemente flexibles como para aprobar, si es que no hay alternativas más seguras, determinada tecnología novedosa, bajo un monitoreo constante y procesos extensos de manejo de riesgos, por si éstos llegasen a presentarse. Y esto, evidentemente, no evita la participación de instituciones académicas y de financiamiento público en el desarrollo de la ciencia y de la tecnología. Precisamente, si son estas instituciones quienes proponen las alternativas más seguras, estarán un paso adelante de las grandes empresas que, en ocasiones, buscan generar la alternativa más económica y rentable, la cual no es necesariamente la más segura.

Según Conko, otro importante problema asociado con una política precautoria tan abierta es uno de injusticia fundamental. El brindarle a los reguladores gubernamentales una amplia discreción lleva comúnmente a una política pública dudosa. Los derechos legales de los productores y los consumidores, así como las obligaciones legales de los reguladores, deben ser definidas de una manera mucho más clara para evitar que los juicios gubernamentales sean subjetivos en exceso. Por ello, el enfoque precautorio parecería ser superior al PP (Conko, 2003). Esto me parece muy razonable; en el caso particular de los OGMs, es necesario que cada Estado establezca los límites, derechos y obligaciones legales del consumidor, tanto como del productor, para evitar las políticas públicas dudosas. Y evidentemente el proceso de regulación, por más que esté basado en el PP, debe mantenerse siempre lo más objetivo posible, sin favorecer un proteccionismo del comercio, ni un abuso de los reguladores gubernamentales. Este es un requisito para que el PP funcione con efectividad. Por otro lado, debemos hacer énfasis en la insuficiencia de lo que Conko llama el "enfoque precautorio", que sólo implica un manejo inteligente de riesgos. Un simple manejo de riesgos que busca trazar relaciones de causa-efecto entre los riesgos

que presenta una tecnología y la composición de la misma no funciona en situaciones en las que los riesgos no pueden analizarse por ser de una magnitud y un alcance sin precedentes. La crítica real de Conko ataca la vaguedad de las definiciones del PP, y la falta de una formulación estándar que pueda utilizarse en todas las situaciones, de manera que se evite la subjetividad y todos los problemas que ésta conlleva. Sin embargo, como mencioné anteriormente, el PP se reformula caso por caso para resultar más adecuado, y funciona si se siguen sus lineamientos básicos, los cuáles cité en el primer capítulo, en la sección 1.2.

#### **3.4 Principio Precautorio y modelo de análisis de riesgos**

En la sección anterior se habló del PP y el análisis de riesgos como entidades diferentes. Sin embargo, podría decirse que el PP es una forma de análisis de riesgos, ya que es una manera de determinar si una actividad/tecnología es segura. El método clásico de análisis de riesgos involucra dos etapas. La primera es la valoración de riesgos: una evaluación matemática y empírica supuestamente pura de la evidencia que demuestra los peligros y consecuencias de una actividad propuesta. Por ejemplo, una evaluación de un nuevo producto alimenticio GM en esta etapa determinaría si hay alguna evidencia sólida de que el producto en cuestión presenta un peligro. La segunda etapa, el manejo de riesgos, se enfoca a si el riesgo es o no aceptable. Los factores políticos y sociales que están supuestamente ausentes en la primera etapa están presentes en esta. En el caso de los OGMs, aquí nos preguntaríamos si los peligros presentes en el uso del nuevo producto GM son aceptables para el público, o, alternativamente, si son las incertidumbres de los peligros potenciales presentes en el nuevo producto demasiado grandes para ser aceptadas (Puttagunta, 2001).

Existen diversos métodos tradicionales de análisis de riesgos. Éstos comparten componentes como depender de la evidencia experta y hacer estimaciones de riesgo mediante evaluaciones probabilísticas. El PP difiere de estos métodos tradicionales de análisis en que reconoce las limitaciones de la ciencia para predecir adecuadamente la seguridad de nuevas actividades o tecnologías. Por ejemplo, reconoce la insuficiencia de los modelos científicos a escalas pequeñas y en sistemas cerrados para describir el efecto ambiental que podría tener una tecnología como los OGMs, y reconoce que

muchos riesgos en escalas tan grandes como las de ecosistemas no pueden cuantificarse de la misma manera que puede cuantificarse, por ejemplo, el riesgo de padecer enfisema pulmonar por el consumo de tabaco. El Principio también difiere en que pone más énfasis en la incertidumbre del peligro de una actividad. Esto es, el PP no considera que una actividad es segura sólo porque la ciencia no puede probar de manera concluyente (es decir, cuantitativamente y con respaldo estadístico) que es peligrosa (Puttagunta, 2001).

¿Puede el PP ser reconciliado con la evaluación de riesgos, de manera que ambos puedan utilizarse de manera conjunta y así obtener mejores resultados? Hay quienes creen que sí. El PP se utiliza a partir de la identificación de un efecto potencialmente peligroso de una actividad. En la evaluación de riesgos tradicional, se hacen todos los esfuerzos posibles para evaluar los peligros potenciales utilizando la información científica disponible. La conclusión de esta evaluación expresa la posibilidad de la ocurrencia del peligro y su gravedad. El PP juega entonces un papel en esta evaluación tradicional de las incertidumbres en la información. Otra manera de reconciliar la diferencia entre el PP y la valoración de riesgos tradicional es distinguir entre aquellas tecnologías en las que la probabilidad y gravedad de una consecuencia ambiental dada se conocen, y aquellas tecnologías en las que estos factores no pueden ser calculados de manera precisa. Estas últimas pueden caer en el dominio de las estrategias precautorias, mientras que las primeras pueden ser sujetas a estrategias meramente preventivas (Puttagunta, 2001).

La realidad de las cosas es que es poco posible calcular los riesgos para un mundo en el que los OGMs hayan sido liberados globalmente y sin restricción. No podemos conocer o predecir las consecuencias de una alteración a gran escala de la información genética en plantas y animales (Giampietro, 2003), y menos cuantificarlas. Por esta razón, la utilización del PP, más que del manejo de riesgos tradicional, resulta prometedora en casos como el de los OGMs. Lo ideal sería encontrar la manera de utilizar ambas estrategias, en distintos puntos del proceso, como se mencionó en el primer capítulo de esta tesis, en la sección 1.9.

### **3.5 Principio Precautorio e incertidumbre en el caso de los OGMs**

Otra razón de peso por la que el análisis de riesgos tradicional no es suficiente para los OGMs es el concepto de incertidumbre. La palabra incertidumbre quiere decir, utilizada en este contexto, que no hemos identificado, y tal vez somos incapaces de identificar, todas las consecuencias posibles de nuestras acciones. Esta incertidumbre se extiende más allá de los problemas técnicos o metodológicos de la investigación científica (como datos insuficientes o modelos inadecuados) y nos obliga a reconocer que ciertas situaciones que involucran sistemas complejos no pueden ser predichas con certeza sólo mediante métodos experimentales (Barrett, 2000).

La incertidumbre en el caso de los OGMs persiste en parte porque se ha llevado a cabo poca investigación acerca de los sistemas ecológicos en general, y de los efectos potenciales de los OGMs en particular. También persiste porque estamos lidiando con sistemas complejos, interdependientes y variables, que no se prestan a simples explicaciones de causa-efecto o a experimentación aislada. Esto quiere decir que tenemos incertidumbre acerca del posible comportamiento y de las posibles consecuencias que los OGMs pueden tener al ser introducidos al medio debido a que nuestra capacidad predictiva no es la suficiente como para apoyar la seguridad de dicha tecnología. De hecho, la complejidad del sistema y la incertidumbre que rodea ciertos aspectos de dicho sistema son principios reconocidos del manejo de ecosistemas, que es el componente principal de todos los asuntos bajo la Convención sobre la Biodiversidad (y por lo tanto bajo el Protocolo de Cartagena). Esta incertidumbre no es simplemente una falta temporal de información, sino que refleja una indeterminación fundamental que siempre confundirá los modelos y las tomas de decisiones (Barrett, 2000).

La incertidumbre no hace a la ciencia irrelevante, sino que debe llevarnos a un estilo de ciencia más robusto y apropiado. Para ello debemos considerar:

1. Errores de sesgo. La evaluación de los peligros ambientales de los OGMs mediante estudios de laboratorio y campo es inexacta por varios factores. Primero, estamos lidiando con sistemas interrelacionados, variables y complejos. Segundo, los impactos de los OGMs pueden ser imprevistos y sin precedentes. Tercero, la incidencia de eventos adversos puede ser baja, pero las consecuencias de estos eventos pueden ser extremadamente serias. Por estas



razones, la detección y evaluación de efectos adversos requerirá experimentos y procesos de monitoreo especialmente diseñados para este propósito. Las pruebas diseñadas para otros propósitos (e.g., para evaluar rasgos agronómicos) o los estudios pobremente diseñados probablemente mostrarán que los OGMs no tienen ningún efecto negativo. Estas conclusiones pueden resultar en un sesgo hacia la seguridad: un sesgo hacia la conclusión de que los OGMs no presentan efectos adversos cuando pueden en realidad tenerlos. En estas situaciones, debemos mirar cuidadosamente al diseño de estas pruebas: ¿Cuál fue el tamaño de la muestra? ¿Cuál es el rango geográfico y escala temporal de las pruebas? ¿Qué estudios de comparación o de control se utilizaron? Una atención cuidadosa a estas preguntas determinará si las pruebas fueron lo suficientemente sensibles y robustas para detectar efectos adversos, y así ayudarán a enfocar el error de sesgo hacia la precaución.

2. Peso de la evidencia. Al lidiar con sistemas complejos, la evidencia experimental recabada en experimentos sencillos y aislados puede ser un indicador muy pobre de cómo funciona el sistema como un todo. Mientras que los experimentos de laboratorio y estudios de campo controlados pueden darnos algo de información sobre los impactos potenciales de los OGMs, no podemos esperar que estos métodos puedan predecir acertadamente los efectos de liberación global y sin confines de estos organismos en largos periodos. Dichos métodos limitados pueden darnos respuestas muy precisas, pero a preguntas inapropiadas o incompletas; por ello debemos validar otros tipos de evidencia, y considerar el peso de esta evidencia al tomar las decisiones. ¿Qué tipo de evidencia debe ser considerada? Barrett (2001) sugiere que debe incluirse investigación multidisciplinaria, incluyendo ecológica, de biología evolutiva, de sociología, de economía y de ética. También debe de tomarse en consideración el conocimiento local, como lo es el conocimiento agrícola tradicional, estudios de caso, como serían las experiencias documentadas de personas que han usado la tecnología, y correlación con otras tecnologías o actividades similares, como la liberación de plantas no nativas a ciertos hábitats.



3. **Participación y transparencia.** Las conclusiones acerca de los efectos potenciales de los OGMs y las decisiones acerca de su uso siempre involucrarán un elemento de juicio informado. Dichos juicios estarán mejor informados si todas las etapas de la investigación y procesos de toma de decisiones son abiertas y transparentes. Los procedimientos participativos no sólo son más democráticos, sino que también nos brindarán evidencia más robusta y apropiada en la cual basarnos para la toma de decisiones. (Barrett, 2001).

En este momento, los riesgos de los OGMs son demasiado inciertos como para poder confiar únicamente en un análisis de riesgos para mantenerlos bajo control; es ahí donde entran el PP y las medidas precautorias asociadas a él. Sin embargo, críticos del PP, como Conko, opinan que ya que la incertidumbre acerca de los eventos futuros es en sí misma difícil de caracterizar *a priori* –nunca podremos saber exactamente cuánto no sabemos- no es demasiado claro en qué tipo de situaciones debe ser utilizado el PP. Además, no existe ningún tipo de indicación de cuánta información, recabada en un período de qué longitud, es necesaria para satisfacer los requerimientos del PP (Conko, 2003).

### **3.6 La precaución como generadora de riesgos**

Otra crítica importante al PP en su aplicación a los OGMs es el de que la precaución genera riesgos. Se ha sugerido que la utilización adecuada del PP requiere que los reguladores consideren los riesgos que las mismas intervenciones precautorias pueden generar, no sólo los riesgos de las nuevas tecnologías. Según los críticos del PP, éste no toma en cuenta el que los reguladores deben balancear los riesgos de la acción y los riesgos de la no-intervención precautoria al crear políticas, ni tampoco cómo deben hacerlo (Conko, 2003). Para Conko (2003), por ejemplo, en ningún momento se establece como un requerimiento para la utilización del PP el que los reguladores analicen a fondo cuáles son las posibles consecuencias de ejercer precaución, en especial si esto implica la prohibición de una tecnología novedosa, y si estas consecuencias son mayores que las que puede generar la utilización de dicha tecnología.

A pesar de que los defensores del PP están en lo cierto al decir que la salud humana o el medio ambiente pueden encontrarse en peligro si no tomamos medidas precautorias, el punto contrario –que la salud humana o el ambiente también pueden correr peligro cuando bloqueamos una acción- es verdadero también. Un ejemplo es el de la situación en África durante el verano y el otoño del 2002, cuando, durante un momento de escasez de alimentos, los cargamentos de auxilio alimenticio que contenían maíz transgénico fueron rechazados debido a la preocupación existente acerca de los riesgos potenciales para el ambiente y la salud. El resultado es que uno termina preguntándose qué medidas deben ser utilizadas para evitar qué riesgos. Hay quienes piensan, gracias a situaciones de este tipo, que el defecto más grande del PP es suponer que la sobrerregulación, enfocada a evitar cualquier tipo de riesgo, no causa ningún daño (Conko, 2003). Según Conko (2003), decidir detener una actividad basándose meramente en especulaciones es un error, y sin embargo es precisamente la posición que toman muchos defensores del PP –suponer que los riesgos novedosos introducidos por las nuevas tecnologías deben ser superiores a los riesgos ya establecidos, aun cuando los riesgos novedosos están mucho menos estudiados. Al enfrentarnos con incertidumbre, no está del todo claro cuál es la ruta que nos lleva hacia el peligro y cuál hacia la seguridad. Cada decisión que implica evitar un riesgo considerar su ocurrencia invoca un elemento de compensación. Por ejemplo, el flujo génico de las plantas transgénicas puede perturbar el balance de la flora y fauna de un ecosistema, pero la adopción de plantas transgénicas puede reducir la cantidad total de suelo necesaria para la producción de comida, y así salvar a los ecosistemas de la fragmentación. La clave de un manejo de riesgos efectivo es asegurarse que las intervenciones ambientales y de salud pública no sólo reduzcan los riesgos evidentes, sino que no aumenten el riesgo neto. El elegir una tecnología novedosa necesariamente nos llevará a un aumento de riesgos sobre un eje determinado. Sin embargo, el evitar estas tecnologías nos llevará inexorablemente a un aumento de riesgos en otro eje. Y, cuando tenemos otras alternativas disponibles, éstas también conllevan su propio juego de riesgos únicos. La pregunta para los reguladores es: ¿Cuál camino nos lleva a la mayor seguridad y cuál al mayor riesgo, ejercer la acción precautoria o permitir la utilización de la tecnología novedosa? Ningún generador de

políticas que sólo considere un lado de los elementos de compensación (trade-offs), y de las relaciones costo-beneficio del riesgo está ejerciendo una verdadera precaución (Conko, 2003).

Este enfoque de Conko se sostiene apelando a la ingenuidad de los defensores del PP, prácticamente afirmando que ellos buscan que el Principio se aplique sin considerar los riesgos que conlleva la suspensión total de las nuevas tecnologías, o la generación de nuevas alternativas a una de estas tecnologías. Resulta evidente que para que la aplicación del PP resulte exitosa, todas las caras de la moneda deben ser tomadas en cuenta. Lo que debe de buscarse es una manera de proceder que disminuya los riesgos más que ninguna otra. El PP, utilizado de manera inteligente, es una herramienta efectiva para lograrlo, en especial por su insistencia en buscar las alternativas más seguras a las tecnologías para cuyo análisis se invoca.

Una pregunta interesante que surge a partir de estas reflexiones es: ¿Cómo podemos diseñar un sistema regulatorio para los cultivos GM que minimice nuestra exposición a los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (ya mencionados en la sección 2.5 de esta tesis)? Según Conko (2003), este sistema tendría que tomar en serio los riesgos legítimos, y aceptar los beneficios de reducción de riesgos que pueden tener las nuevas aplicaciones. También tendría que rechazar el modelo actual que somete a todas las variedades de OGMs al mismo proceso de análisis, que es largo y caro, por resultar injusto someter a todas las plantas transgénicas al mismo proceso de aprobación al que se somete a las variedades más riesgosas. La evaluación gubernamental de los OGMs debe estar estructurada para aplicarle a los diferentes organismos niveles variables de escrutinio regulatorio, de acuerdo con sus características particulares. En cambio, en su mayoría, los sistemas gubernamentales de regulación son muy rígidos, creados de tal manera que aún los OGMs de bajo riesgo son sujetos a escrutinios precautorios apropiados sólo para OGMs de riesgo moderado o alto. (Conko, 2003). Estoy de acuerdo con Conko cuando dice que debe aplicarse un mayor escrutinio precautorio a las nuevas variantes de OGMs cuyos riesgos sean genuinamente desconocidos, o cuando se sabe que presentan altos riesgos (Conko, 2003). Lo difícil es definir cuáles variantes y cuáles no presentan estas características. El problema con este enfoque es que resuelve conflictos, por ejemplo, de salud pública,

pero no es aplicable al hablar de los riesgos ecológicos de los OGMs. Si nuestra preocupación fundamental es la de la pérdida de la biodiversidad que surge a partir del flujo génico de los OGMs, entonces no hay manera de dividir este tipo de organismos por categoría de alto y bajo riesgo, debido a que en este aspecto todo organismo transgénico presenta el mismo riesgo ambiental. Sin embargo, Conko propone una alternativa interesante a los problemas tradicionales de regulación de los OGMs al plantear la posibilidad, arriba mencionada, de distinguir entre variantes que nos presentan más o menos riesgos y regularlas en función de esta distinción, y es cierto que un modelo de regulación adecuado, e incluso el uso adecuado del PP, debería considerar tomar esta diferencia clave en cuenta al momento de establecer acciones precautorias.

### **3.7 Marco práctico de aplicación del Principio Precautorio al caso de los OGMs**

Barrett, utilizando los elementos comunes a todas las interpretaciones del PP, propone un marco de aplicación de dicho Principio para los OGMs. Lo expuesto a continuación fue tomado de Barrett (2000) excepto cuando así se indique. Los componentes de este marco son los siguientes:

- 1) **Protección de la salud pública y el medio ambiente.** El PP nos invita a articular metas generales y comunes para sistemas agrícolas y alimenticios, y requiere que establezcamos procesos apropiados de toma de decisiones, que pueden incluir:
  - a) Establecimiento de metas. El PP nos reta a fijar metas amplias para la agricultura y a evaluar el papel de la ingeniería genética para lograr dichas metas. Este proceso puede llevarnos a cuestionar si acaso los cultivos GM juegan un papel único y necesario en la agricultura, y qué problemas pretende resolver la ingeniería genética.
  - b) Evaluación de alternativas. Una comparación justa entre alternativas es contingente en un programa de investigación que apoya activamente a una gran variedad de prácticas y tecnologías agrícolas, como son el cultivo tradicional, la agricultura orgánica, el manejo integrado de plagas y los bancos de semillas de acceso público para variedades tradicionales de

plantas. Los análisis de costo-beneficio pueden resultar útiles para elegir entre las alternativas si los parámetros de "costo" y "beneficio" son definidos amplia y democráticamente.

- c) Investigación en apoyo de metas a largo plazo y con enfoques precautorios. Un programa de investigación apropiado bajo el PP aportaría financiamientos proporcionales para una gran diversidad de prácticas agrícolas (como las mencionadas arriba), así como para estudios profundos acerca de beneficios y peligros potenciales de la ingeniería genética. Este tipo de investigación es necesariamente multidisciplinaria y a largo plazo, y hace énfasis en el "bien público" más que en intereses privados.
- d) Toma de decisiones abierta. Las evaluaciones de riesgo son llevadas a cabo primariamente por aquellos que desarrollan el producto, y mucha de la información obtenida se considera información confidencial. El PP enfatiza la necesidad de establecer procesos abiertos, transparentes y democráticos de toma de decisiones antes de que se hayan hecho compromisos significativos a la investigación, desarrollo y comercialización del producto.

2) Identificación de daños potenciales. En este paso, estamos lidiando necesariamente con daños conocidos, predecibles o con precedentes, mientras se toma en cuenta que puede haber muchos otros tipos de daño impredecibles y desconocidos.

- a) ¿Qué se considera un daño? Bajo el PP, las definiciones de "daño" deben ser aumentadas espacial, temporal y conceptualmente para incluir, por ejemplo, efectos ecológicos indirectos sobre la composición del suelo y sobre insectos benéficos, impacto en la seguridad alimenticia, los costos de apoyar los cultivos GM a costa de otras prácticas agrícolas, y las consecuencias políticas de comprometerse con, e imponer, una tecnología bastante experimental y no negociada.
- b) ¿Cuáles son los estándares que deben usarse para medir o limitar las definiciones de daño? Hay que cuestionar las extrapolaciones directas de

seguridad realizadas gracias al concepto de equivalencia sustancial (ver sección 2.10). ¿El que los cultivos GM "no presenten un peligro mayor" que la agricultura tradicional es un estándar suficiente? ¿Qué nivel de peligro implica realmente el "no presentar un peligro mayor"?

- c) ¿Cuál es la distribución de los daños potenciales? La mayoría de los cultivos GM que están en el mercado están diseñados para tener una tolerancia a los herbicidas o una resistencia a las plagas. Su propósito primordial es aumentar la eficiencia y conveniencia de la producción, pero sigue siendo poco claro si estos cultivos van a beneficiar directamente a los campesinos o a los consumidores. Las suposiciones de que aumentar las ganancias y el crecimiento de las corporaciones agroindustriales privadas va a beneficiar ultimadamente al público en general son problemáticas, desde un punto de vista ético y económico. Los daños y beneficios potenciales no pueden ser sólo sumados y medidos; los efectos sobre poblaciones específicas deben ser identificados y resueltos cuando se invoca al PP.
- d) ¿Qué es "grado de daño potencial"? Varias interpretaciones del PP especifican que deben realizarse acciones preventivas solo si el riesgo de daño es "serio"; por ejemplo, si es irreversible, amplio, acumulativo, persistente, tóxico o que impone una carga crítica sobre el ambiente. Además de tomar en cuenta estos aspectos físicos del daño, también debemos considerar las dimensiones sociales y psicológicas relacionadas a él, por ejemplo: ¿Cuáles son los efectos indirectos de esta tecnología? Estos efectos incluyen: impacto económico de una caída del mercado en los campesinos; impacto ecológico de un uso creciente de agroquímicos y/o un cambio en el tipo de químicos utilizados; y el reemplazo de prácticas locales o tradicionales con variedades GM.

3) Reconocimiento de incertidumbre científica. En este rubro, hay que considerar lo siguiente:

- a) Tipos de incertidumbre. Al discutir "incertidumbre" debemos poder distinguir entre varios términos: Un *peligro* es un evento adverso

específico, tal como el escape de los genes a las plantas silvestres. El *riesgo* es la probabilidad conocida de que ocurre ese evento. La *incertidumbre* describe las situaciones en las que no conocemos, o no podemos calcular la probabilidad de un peligro, pero conocemos, por lo menos, el tipo de peligros que debemos considerar. La *ignorancia* se refiere a situaciones donde ni siquiera sabemos qué tipo de peligro buscar. Finalmente, la *indeterminación*, o *incertidumbre mayor*, describe la brecha inevitable entre las condiciones experimentales limitadas y el mundo abierto en el que las tecnologías son utilizadas. La indeterminación sugiere que nunca lograremos predecir de manera competente los efectos de las tecnologías mediante experimentos aislados ya que las suposiciones inherentes en el diseño experimental tienen poca probabilidad de reflejar situaciones reales (y viceversa). Por definición, los marcos de evaluación de riesgos tienden a enfocarse en los riesgos –la probabilidad de eventos conocidos. Estas evaluaciones también pueden dirigirse a las incertidumbres pero usualmente en el sentido limitado de deficiencias actuales y temporales en el conocimiento. Sin embargo, la ignorancia e indeterminación también tiene que ser atendidas. Desde luego, no podemos identificar todo lo que no sabemos, pero podemos intentar identificar las razones de nuestra ignorancia y los factores que contribuyen a la indeterminación.

- b) Estándares de evidencia. Una pregunta importante que surge cuando se invoca al PP es: ¿Cuánta evidencia de daño necesitamos antes de actuar? ¿Debemos tomar medidas precautorias si hay cualquier posibilidad de daño? Las formulaciones existentes del PP sugieren que deben realizarse acciones si hay “razón para creer” que va a ocurrir algún daño, o si el daño es “posible” o “plausible”. Esto es, el PP sugiere que bajo condiciones de incertidumbre, el “peso de la evidencia” es un estándar más apropiado. Las definiciones específicas de evidencia aceptable y los métodos para pesar la información disponible van a variar



de acuerdo al caso, y dependerán de procesos abiertos de deliberación e intercambio de información.

4) Acción anticipatoria a pesar de la incertidumbre científica. Las formas de acción que se tomen bajo el PP pueden ir de una prohibición completa de los cultivos GM hasta una aprobación condicional dependiendo del tipo de daños que conlleven, la potencialidad de dichos daños y el grado de incertidumbre y complejidad involucrado. Toda la investigación y la toma de decisiones debe incluir preguntas previas acerca de metas, necesidades y alternativas así como procesos constantes de monitoreo, retroalimentación de información y responsabilidad.

- a) Investigación de riesgos y beneficios potenciales. Si los pasos anteriores indican que no hay mejor alternativa que los cultivos GM, y que estos contribuyen de manera positiva a las metas agrícolas a largo plazo que tenemos, entonces debe realizarse un examen profundo de los beneficios, peligros e incertidumbres potenciales. Las preguntas de investigación y métodos de prueba específicos dependerán de las características del cultivo que se está investigando.
- b) Aprobación condicional con monitoreo. Las aprobaciones condicionales pueden otorgarse si los procesos bien diseñados, revisados y abiertos de toma de decisiones indican un bajo potencial para efectos adversos y un bajo grado de incertidumbre (Barrett, 2001). Si los estudios en campo revelan que no hay evidencia de peligro, se puede aprobar un análisis a escalas más grandes. Mientras que las pruebas condicionales a gran escala parecen ser una progresión lógica de las escalas pequeñas a la comercialización, se debe preguntar ciertas cosas antes de proceder en esta dirección. Primero, ¿quién es responsable del monitoreo, los proponentes, los gobiernos, terceras personas o los granjeros locales? Segundo, ¿qué implica el monitoreo exactamente (por ejemplo, en términos de frecuencia, alcance geográfico, tipos de efectos)? Tercero, el monitoreo asume que la mayoría de los efectos adversos pueden ser identificados y luego revertidos o controlados. ¿Qué pasa con los



impactos irreversibles o incontrolables? (Barrett, 2000). Las condiciones aplicadas a la aprobación de OGMs pueden incluir marcos temporales, rangos geográficos o usos comerciales restringidos, y deben incluir, además del monitoreo continuo para detectar impactos adversos, mecanismos efectivos para el rastreo y etiquetado de OGMs. Esta opción, sin embargo, se basa en la suposición de que los efectos adversos pueden ser y serán detectados mediante monitoreo, y que dichos efectos pueden ser revertidos o controlados. Los proponentes y los que toman las decisiones deben hacerse responsables por las repercusiones de dichas suposiciones (Barrett, 20001).

- c) **Moratorias.** Si las pruebas a pequeña o gran escala revelan más evidencias de peligros o no abarcan la incertidumbre, una moratoria para ciertas actividades (como liberación sin confines o comercialización) puede ser justificable mientras continúa la deliberación, consulta y estudios a profundidad.
- d) **Retiros progresivos y prohibiciones.** La acción precautoria más fuerte sería una prohibición permanente para el desarrollo y liberación de nuevos cultivos GM, y un retiro progresivo de los cultivos ya incorporados al sistema alimenticio. Esta acción puede ser permisible si los daños potenciales e incertidumbres permanecen inaceptables o irresolubles por otros medios. Se requeriría poner mucha atención a posibles alternativas, para evitar que una prohibición a los cultivos GM no perpetúe simplemente el uso de otras prácticas dañinas (como la agricultura intensiva basada en productos químicos).

5) Ubicación del peso de las pruebas o el peso de la responsabilidad. Puede discutirse que bajo las políticas biotecnológicas actuales, los creadores de los cultivos GM ya absorben el peso de las pruebas porque deben llevar a cabo experimentos para convencer a los reguladores gubernamentales que sus cultivos GM son seguros (como Conko argumenta). Esto nos indica una necesidad urgente de aclarar lo que significa "el peso de las pruebas", y/o replantear este elemento del PP como "el peso de la responsabilidad", el cual

puede ser más aplicable. Los componentes de esta responsabilidad pueden incluir:

- a) Responsabilidad de hacer pruebas. Mientras que en principio este requerimiento impone una demanda justificable en aquellos que van a beneficiarse más a partir de una actividad potencialmente peligrosa, en la práctica es imposible probar de manera concluyente la ausencia de daño. Por otro lado, es relativamente fácil demostrar que los cultivos GM no tienen efectos adversos bajo condiciones experimentales limitadas – especialmente si los experimentos no son lo suficientemente profundos como para detectar un efecto. Estos puntos amenazan con minimizar las metas del PP al retratar a la precaución como un estándar poco razonable, o por darle a los proponentes el beneficio de la duda más que el peso de las pruebas. El primero de estos puntos puede trabajarse mediante pruebas comparativas en vez de absolutas en las que los proponentes deben demostrar que no hay alternativas menos dañinas. El segundo punto hace énfasis en que todas las pruebas realizadas por los proponentes deben ser de acuerdo a métodos de investigación precautorios, como son el reconocer incertidumbre, considerar alternativas, analizar los beneficios y adoptar definiciones de daño amplias.
- b) Consultas abiertas y revisión por parte de terceros. Una toma de decisiones democrática es esencial bajo el PP, particularmente a la luz de la complejidad de los temas, los conflictos de interés potenciales y las relaciones cerradas de la industria con el gobierno. El cambio en el peso de las pruebas también debe incluir una revisión independiente de los métodos de realización de pruebas, información y conclusiones, y revelación al público de información relevante para evaluar la seguridad antes de que se apruebe el producto para su liberación.
- c) Notificación y consentimiento informado. Dado que el daño potencial y la incertidumbre han sido reconocidos, el público tiene derecho a saber qué alimentos contienen ingredientes GM, y los proponentes tienen el deber

de informarles. Las notificaciones y el consentimiento informado deben incluir información para etiquetar, rastrear y segregar alimentos humanos y animales que pueden contener o pueden estar derivados de organismos GM; y acuerdos informados avanzados entre los países importadores y exportadores antes de la transferencia de todo cultivo o alimento GM.

- d) Medidas de protección. Los proponentes deben adoptar medidas para proteger de impactos adversos. Estas medidas podrían incluir el controlar el flujo génico (por ejemplo, mediante sistemas moleculares que limitan la expresión de transgenes a tejidos específicos o estadios de desarrollo), retardar la resistencia en poblaciones de insectos (por ejemplo, plantando refugios de cultivos silvestres) o restringir el uso de marcadores de resistencia a antibióticos. Sin embargo, hay que resaltar que estas medidas son más preventivas que precautorias: están dirigidas a peligros conocidos pero son menos aplicables a impactos sin precedentes. (Barrett, 2000)

Este marco teórico es, en cierta manera, una guía de aplicación del PP que nos muestra una manera posible de utilizarlo en el caso de los OGMs, con lineamientos paso a paso para eliminar los puntos conflictivos con respecto a la vaguedad de su utilización y la manera práctica de su aplicación. Si este marco teórico lograra ponerse en práctica, se probaría que el PP es un método regulatorio factible y plausible, además de funcional, para un caso tan conflictivo como el de los OGMs.

**DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES:**  
**APLICACIÓN DEL PRINCIPIO PRECAUTORIO A LOS OGMS**

En esta tesis, he argumentado que el Principio Precautorio, por sus características particulares, puede ser aplicado para la regulación de los organismos genéticamente modificados. A continuación presento las razones de mi conclusión:

1. Existe potencial reconocido de daños serios: persistentes, acumulativos, a gran escala, a largo plazo, e irreversibles.
2. A pesar de reconocer estos daños, hay una significativa incertidumbre acerca de la naturaleza, grado y gravedad de dichos daños, de tal manera que mediciones precisas y mecanismos efectivos de control no son actualmente plausibles.
3. La situación actual implica el reconocimiento de interacciones altamente complejas entre muchos sistemas (incluyendo sistemas sociales, ecológicos y de valores) de tal manera que una evaluación de seguridad precisa no requiere simplemente más investigación y más regulación, sino investigación y regulación de otro tipo. (Barrett y Flora, 2000)

Debido a que ya hay cultivos GM plantados alrededor del mundo, debemos adoptar medidas precautorias que anticipen y eviten los efectos negativos de los cultivos ya existentes así como de las introducciones futuras, empezando, por ejemplo, con el planteamiento de métodos de investigación acordes con el PP que incluyan o consideren:

- a) El examen de efectos a gran escala y a largo plazo (por ejemplo, con estudios realizados en varias generaciones de cultivos y varias áreas geográficas);
- b) La investigación de impactos indirectos y acumulativos como son los efectos en depredadores benéficos y microorganismos del suelo;
- c) La inclusión de monitoreos regulares de los estudios de campo y cultivos liberados, y una retroalimentación certera de información para guiar investigaciones futuras;
- d) El tratar de identificar y evitar los peores escenarios posibles;

- e) La información acerca de un amplio rango de perspectivas y experiencias, incluidas las de los ecólogos, campesinos, economistas y eticistas;
- f) La investigación de alternativas plausibles y aceptables para el uso de OGMs;
- g) El reconocimiento abierto de incertidumbres que puedan afectar los resultados de un estudio, así como compromisos que puedan sesgar el diseño de la investigación. (Barrett y Flora, 2000)

Además, aplicado a la creación de políticas agrícolas, el PP puede incluir las siguientes medidas:

- 1) Proveer incentivos y fondos para investigación pública acerca de los peligros y beneficios de los cultivos GM;
- 2) Apoyar y alentar una diversidad agrícola, en términos de cultivos producidos y de procesos agrícolas (por ejemplo, dar fondos adecuados para la agricultura no-GM, como lo es la orgánica y la sustentable de bajo rendimiento);
- 3) Proteger la seguridad alimenticia y asegurar el control público de la agricultura al limitar el alcance de las patentes, y proteger las variedades de plantas y los derechos de los agricultores;
- 4) Poner el peso de la responsabilidad en los creadores de tecnologías potencialmente peligrosas para mostrar, mediante un proceso abierto, que la tecnología es necesaria y razonablemente segura. Asegurar que el proceso de toma de decisiones sea abierto y receptivo de la información brindada desde todos los puntos de vista. (Barrett y Flora, 2000)

Los OGMs prometen tener una serie de beneficios considerables para los seres humanos y el medio ambiente. Comparados con los cultivos convencionales, los cultivos GM podrían, en un futuro, aumentar la cantidad y calidad nutricional de nuestros recursos alimenticios. Los cultivos manipulados prometen mejorar la salud pública y disminuir las tasas de mortalidad alrededor del mundo. Además, cultivar plantas GM, en lugar de las variedades convencionales, podría brindar una mayor protección a los hábitats, la biodiversidad y nuestras reservas de carbono. Los cultivos

están siendo modificados para aumentar la productividad, y por lo tanto reducen la cantidad de tierra y agua que de otra manera tendrían que ser destinados a las necesidades humanas. Los cultivos GM también podrían reducir el daño ambiental resultante del uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, y de la erosión del suelo (Goklany, 2000). Según varios autores, una prohibición a los alimentos GM podría resultar imprudente más que precautoria. Por ello, el PP, aplicado de manera correcta, esto es, utilizando una consideración más amplia de las consecuencias ambientales y de salud pública de una prohibición, puede derivar en un esfuerzo constante para investigar, desarrollar y comercializar cultivos GM, asegurando que se ejerza precaución durante las pruebas y comercialización de dichos cultivos (Goklany, 2000).

Las preocupaciones de la sociedad acerca de los productos GM nos ayudan a resaltar las ventajas de aplicar el PP. Primero, el Principio requiere la utilización de más, no de menos, ciencia (como algunos críticos argumentan). Se requiere investigación para entender mejor la preocupación que surge de la tecnología en cuestión; todas las formas del PP requieren algún tipo de evidencia científica de riesgo para realizar acciones precautorias. Además, el peso de las pruebas cambia, pidiéndole a las compañías productoras de OGMs y a los científicos involucrados que defiendan a los OGMs utilizando datos sólidos y beneficios llamativos. Otra ventaja de usar el PP es que el público pide cada vez más el uso de políticas ambientales “democráticamente amistosas”. También pide medidas para asegurar el acceso público a la información, y en algunas de sus versiones, llama al público (es decir, a los recipientes finales del impacto de nuevas tecnologías como los OGMs) a participar en la toma de decisiones, enfocándose especialmente en sus preocupaciones. Tradicionalmente, las políticas gubernamentales para los OGMs se han enfocado en pruebas adicionales y requerimientos regulatorios. Estas medidas no abarcan las preocupaciones más amplias de la gente. En otras palabras, estas políticas no consideran la inquietud moral y cultural acerca de lo desconocido (en este caso, los efectos de los OGMs que la ciencia no puede predecir). El público pide este tipo de principios “socialmente precautorios”, mientras que los gobiernos examinan a la incertidumbre en un marco tradicional de riesgo mediante procedimientos existentes de pruebas y regulación. El

PP, como respuesta a este análisis tradicional, es una manera de hacer a la ciencia más responsable para con el público (Puttagunta, 2001).

Los OGMs pueden ser beneficiosos pero también muy dañinos si no se les usa adecuadamente, y podría decirse que pasa lo mismo con el PP. El PP puede ser una fantástica herramienta de regulación si se le utiliza de manera adecuada y por las razones correctas; por ejemplo, sin intención de originar un proteccionismo del comercio internacionalmente protegido.

Lo que se pretende con el PP, a diferencia de un proceso tradicional de evaluación y manejo de riesgos, es que no haya un riesgo que manejar. La evaluación de riesgos funciona con desarrollos cuyos riesgos son cuantificables, y que no son tan inciertos como los que puede presentar una tecnología como los OGMs. Para este tipo de organismos, esperar a que se manifiesten los daños que pueden causar a largo plazo podría resultar en una gran pérdida de biodiversidad, de seguridad alimenticia de países en desarrollo y de problemas económicos para sus productores, además de un absoluto dominio de las compañías transnacionales que los producen. Estos últimos dos riesgos, sociales y económicos, no son cuantificables mediante un análisis de riesgos; ni siquiera son tomados en cuenta dentro de este tipo de procesos. Sin embargo, son de los peligros más importantes que pueden presentar los OGMs, y de consecuencias potencialmente catastróficas. El PP, al ser un enfoque abierto y multidisciplinario, podría resultar más adecuado en una situación como ésta, debido a que también se enfocaría en buscar evitar la posibilidad de este tipo de riesgos.

El PP ya ha sido contemplado como una eficaz alternativa para controlar el uso de los organismos genéticamente modificados; de hecho, forma parte de varias reglamentaciones internacionales para este tipo de organismos. El Protocolo de Bioseguridad de Cartagena sobre la Convención para la Biodiversidad es un ejemplo de ello. Este Protocolo es una muestra de que el PP puede ser aplicado de manera justa en tratados internacionales al problema de los OGMs, y que puede favorecer la creación de normas aceptadas internacionalmente para la transferencia fronteriza de este tipo de organismos mientras se respeta la autonomía de cada país para tomar sus propias decisiones al respecto.

A pesar de las críticas al PP, y el escepticismo que rodea a su uso, me parece que resulta una buena alternativa para regular el manejo de los OGMs, y todo lo que esto implica. Una herramienta de regulación que pide una evaluación de alternativas para encontrar la más segura, que se basa en un proceso de toma de decisiones abierto, democrático y multidisciplinario, que exige que haya una reversión del peso de las pruebas, de manera que los responsables de lidiar con los riesgos sean los proponentes de la tecnología y no el público, y que pide tomar precauciones aún frente a la incertidumbre científica, promete ser ideal para lidiar con un problema tan controversial como el de los OGMs. Sin embargo, para funcionar abiertamente, los países que lo utilicen como parte de su sistema legislativo y de regulación deben hacerlo de manera adecuada y sin malas intenciones, siguiendo, por ejemplo, un marco de aplicación como el de Barrett (2000). La utilización del PP para disimular un proteccionismo del comercio sería algo que lo desacreditaría de manera tal que estaríamos perdiendo una alternativa regulatoria que promete ser muy útil para manejar las tecnologías problemáticas que seguramente continuarán apareciendo.

El enfoque de Katherine Barrett, por ejemplo, presentado en su marco de aplicación del PP, parece ser utópico para el tipo de mundo en el que vivimos. Para que este marco de aplicación funcione, necesitamos modificar nuestra manera de pensar: el bien público, la salud ambiental y la preservación del planeta para las siguientes generaciones deben ser la prioridad, y no el éxito económico de un grupo reducido de gente.

Para que exista una justicia intergeneracional, la ciencia debe buscar establecer bases científicas que respalden el esfuerzo y la necesidad de que el planeta sea entregado a las siguientes generaciones en las mejores condiciones posibles. El PP es una buena manera de auxiliar a la ciencia en esta búsqueda, debido a que estimula que la ciencia funcione de la manera más adecuada, con menos impacto y siempre buscando la conservación de los bienes naturales con los que contamos.

El que el PP funcione adecuadamente como método de regulación para los OGMs es una posibilidad real, sólo que implica un gran compromiso. Este compromiso involucra un cambio en la manera de pensar del público, de los gobiernos y de las grandes empresas. Este cambio en el pensamiento tiene que consistir en dejar de tener



como única prioridad el lucro y el dominio económico. Quienes apliquen el PP tienen que pensar un poco más allá de nuestro beneficio inmediato y comprender que debemos manejar la tecnología de OGMs de la mejor manera posible para evitar daños. Y por daños no me refiero únicamente a peligros para la salud humana, sino daños al medio ambiente y al resto de las especies que habitan este planeta. Y es ahí donde se tiene que dar el salto más grande, en dejar de pensar que los únicos que importamos somos los habitantes humanos actuales de la Tierra; hay que comprender que hay millones de otros seres vivos con el mismo derecho que tenemos nosotros a utilizar los recursos planetarios, y que vendrán futuras generaciones de seres humanos que deben poder recibir un mundo en condiciones por lo menos equivalentes a las que este tenía cuando lo recibimos nosotros. Si los OGMs presentan un riesgo para esta noción de justicia, deben de ser regulados de manera que su impacto quede minimizado, sin tomar actitudes en exceso radicales que nos hagan perder todos sus beneficios posibles. El PP puede lograr funcionar como este mecanismo de regulación, por evaluar nuevas alternativas, por poner más presión sobre el proponente de la tecnología, por democratizar la toma de decisiones. El PP promete ser, en efecto, adecuado para el caso particular de los OGMs. Desde luego, hay muchos detalles que afinar aún. Tiene que aceptarse una serie de lineamientos de utilización del Principio que no favorezcan a ninguna de las partes involucradas de manera injusta, y que no impliquen un proteccionismo del comercio, que limiten los malentendidos de su uso y que no lo coloquen en una postura anticientífica que ya se ha visto que no es real. Acuerdos internacionales, como el Protocolo de Cartagena, son excelentes maneras de trabajar los detalles involucrados en la utilización del Principio. Al ser algo oficial, y ratificado por una gran cantidad de países, servirá para afinar, en la práctica, los detalles que faltan para que la utilización del PP fluya de una manera más sencilla y adecuada, y que de esta manera sea posible implementarlo en casos posteriores.

Con respecto a la utilización del PP de manera preferencial sobre la evaluación de riesgos, me parece que debe buscarse la manera de complementar ambos enfoques, en distintos momentos del proceso de toma de decisiones acerca de nuevas tecnologías GM. La utilización exclusiva de la evaluación de riesgos para OGMs me parece insuficiente, debido a que es poco posible predecir, estimar, y mucho menos

cuantificar de manera exacta los efectos ambientales y sobre la biodiversidad que podría tener el cultivo mal regulado e indiscriminado de OGMs.

Una vez discutidas las razones por las que el PP es aplicable en el caso de los OGMs, y que no sólo es aplicable sino que parece ser ampliamente recomendable su aplicación, quedan aún varios temas relacionados con la ingeniería genética y el Principio Precautorio que requieren más investigación y discusión. Entre ellos se encuentran:

- a) Investigación: ¿Cómo podemos establecer y mantener un plan de investigación que sustente y aliente los estudios multidisciplinarios y a largo plazo necesarios dirigidos a los efectos potenciales de los cultivos GM, así como una diversidad de prácticas y tecnologías agrícolas?
- b) Evidencia: ¿Qué, específicamente, debe incluirse en un estándar de peso-de-la-evidencia para los cultivos GM? ¿Qué tipo de preguntas y definiciones de daño son relevantes para cultivos particulares? ¿Cómo puede reunirse y documentarse esta evidencia sin causar daño? ¿Cómo pueden incluirse los efectos sociales y económicos en las evaluaciones?
- c) Toma de decisiones: ¿Qué cambios son necesarios para hacer al proceso de toma de decisiones más democrático, representativo y abierto? ¿Qué se necesita para implementar estos procesos?
- d) Peso de las pruebas: ¿Cómo podemos asegurar que los proponentes sean responsables por las tecnologías potencialmente dañinas (incluyendo responsabilidad financiera y procedimientos de pruebas adecuados)?

El clarificar estos puntos mediante esfuerzos de colaboración continuos, y aplicando el marco mencionado previamente a casos de estudio específicos de cultivos GM, ayudará a promover tecnologías y procesos de toma de decisiones que sean respetuosos de los valores individuales, sociales y ambientales (Barrett, 2000).

Las críticas sobre el PP fueron respondidas, en la medida de lo posible, y sus ventajas fueron desarrolladas. Las controversias y los posibles beneficios sobre los OGMs se describieron ampliamente. Ahora es el momento de poner, en una balanza, todos los elementos aquí presentados para tratar de emitir un juicio. Pongámoslo en términos de costo-beneficio: ¿Es el costo de aplicar el PP en el caso de los OGMs

superior a sus beneficios? Pienso que no. Pienso que el posible riesgo de una sobrerregulación generada por un exceso de precaución es menor que el de una política laxa de aceptación de la seguridad de los OGMs basada en un mero análisis de riesgo. Me parece que ni el planeta, ni las generaciones que nos siguen ni los otros habitantes del planeta no deben tener que sobrellevar un impacto tan grande como el que podría generarse por un uso no regulado de OGMs, especialmente si los beneficios de los OGMs son, hasta el día de hoy, tan vagos. Por ello, a manera de conclusión de este trabajo, me manifiesto a favor de la implementación de manera más general y más consciente del PP para el caso de los OGMs. Pienso que, a largo plazo, agradeceremos haber ejercido esa forma de precaución. El que se instaure la utilización del PP en un caso como el de los OGMs, a pesar de toda la controversia involucrada, podrá favorecer también un uso más constante del Principio en cada vez más casos, de modo que nuestra manera de llevar el desarrollo tecnológico sea todo lo cuidadosa que amerita ser.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberts, Bruce *et al.* **Molecular Biology of the Cell.** 1994. Garland Publishing. 3ra edición. USA.
- Atkinson, D. 1998. **Genetically Modified Organisms**, en: <http://www.sac.ac.uk/info/External/Publications/GMOs.asp>
- Barrett, K. 2000. **Applying the precautionary principle to agricultural biotechnology.** SEHN.
- Barrett, K., G. Flora. 2000. **Genetic engineering and the Precautionary Principle. Information for Extension.** SEHN, Institute for Agriculture and Trade Policy.
- Barrett, K. 2001. **Applying the Precautionary Approach to Living Modified organisms.** Workshop presented at the Intergovernmental Committee for the Cartagena Protocol on Biosafety, Montpellier, France.
- Caprio, M. A., D. M. Suckling. 2000. **Stimulating the Impact of Cross Resistance Between Bt toxins in Transformed Clover and Apples in New Zealand.** *Journal of Economic Entomology*, 93(2): 173-179.
- Convention on Biological Diversity (CBD), 2005, en: <http://www.biodiv.org>
- Conko, G. 2003. **Safety, Risk and the precautionary principle: rethinking precautionary approaches to the regulation of transgenic plants.** *Transgenic research* 12: 639-647.
- Dunwell, J. 2000. **Transgenic approaches to crop improvement.** *Journal of experimental botany*, 51:487-496
- FAO, 2001. **Genetically modified organisms, consumers, food safety and the environment.** FAO Ethics Series, Roma, en: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X9602E/x9602e00.htm#TopOfPage>
- Feldmann, M., M. Morris y D. Hoisington. 2000. **¿Por qué suscitan tanta polémica los organismos genéticamente modificados? Respuestas a 10 preguntas frecuentes acerca de los OGM,** en <http://www.cimmyt.org/ABC/10-FAQaboutGMOs/htm/10-FAQaboutGMOs-Spanish.htm>
- Foster, K., P. Vecchia, M. Repacholi. 2000. **Risk Management: Science and the Precautionary Principle.** *Science*, 288(5468):979-81

- Giampietro, M. 2002. **The precautionary principle and ecological hazards of genetically modified organisms.** *Ambio* 31(6): 166-1670
- Greenpeace. 2005. **Say no to genetic engineering**, en [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)
- Goklany, I. 2000. **Applying the precautionary principle to genetically modified crops.** Center for the study of American business. Weidenbaum Center working paper # PS 157, en [http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract\\_id=246530](http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=246530)
- Haraway, D. **Modest-Witness, Second-Millennium: Femaleman Meets Oncomouse: Feminism and Technoscience.** Routledge. 1996. 388pp.
- Hellmich, R., B. Siegfried, M. Sears, D. Stanley-Horn, M. Daniels, H. Mattila, T. Spencer, K. Bidne, L. Lewis. 2001. **Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringensis*-purified proteins and pollen.** *PNAS*, 98(21): 11925-11930.
- Howard, J. 1998. **Eight tenets of precaution: Commentary on the Wingspread.** *The Networker*, special issue on the Precautionary Principle, Article V. 3(1)
- Human Genome Project Information (HGPI). 2003. **Genetically Modified Foods and Organisms**, en:  
[http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human\\_Genome/elsi/gmfood.shtml](http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/elsi/gmfood.shtml)
- Kaiser, M. **Ethics, science and precaution – A viewpoint from Norway.** NENT, Norway, en: Tickner, J. **Precaution, Environmental Science, and Preventive Public Policy.** Island Press. 2002. EU. 320 pp.
- Larson, J. 2001. **Transgénicos, ciencia y ciudadanía.** *Biodiversitas* (Conabio), 34
- Loos, C., R. Seppelt, S. Meier-Bethke, J. Schiemann, O. Richter. 2003. **Spatially explicit modelling of transgenic maize pollen dispersal and cross-pollination.** *Journal of Theoretical Biology*, 225: 241-255.
- Meagher, T. R., Belanger, F. C. and Day, P. R. 2003. **Using empirical data to model transgene dispersal.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*. 358: 1157-1162.
- Morris, J. (Ed.). **Rethinking Risk and the Precautionary Principle.** 2000. Butterworth Heinemann, Oxford, UK.
- Myers, N. 2000. **Debating the Precautionary Principle**, en: [www.sehn.org](http://www.sehn.org)

- Petersen, A. **The Precautionary Principle, knowledge uncertainty and environmental assesment.** Paper for NOB/NIG workshop "Knowledge Uncertainty", 30-31 October 2002, Erasmus University, Rotterdam.
- Puttagunta, P.S. 2001. **The Precautionary Principle in the regulation of Genetically Modified Organisms.** *Health Law Review*, 9(2): 10-17
- Quist, D., I. Chapela. 2001. **Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico.** *Nature* 414: 541-543
- Riechmann, J. **Que son los alimentos transgénicos.** Ed. Integral. 2002. España.
- Rogers, M. D. 2003. **Risk analysis under uncertainty, the Precautionary Principle, and the new EU chemicals strategy.** *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 37: 370-381
- Rowland, I.R. 2002. **Genetically modified foods, science, consumers and the media.** *Proceedings of the Nutrition Society*, 61:25-29
- Science and Environmental Health Network. 1998. **The Precautionary Principle: A fact sheet.** *The Networker*, special issue on the Precautionary Principle, Article I. 3(1)
- Sierra Club. 2003. **Sierra Club Conservation Policies**, en [www.sierraclub.org](http://www.sierraclub.org)
- Stone, B. 1994. **The Flavr Savr arrives**, en:  
[http://www.accessexcellence.org/RC/AB/BA/Flavr\\_Savr\\_Arrives.html](http://www.accessexcellence.org/RC/AB/BA/Flavr_Savr_Arrives.html)
- Taylor, S., S. Hefle. 2002. **Genetically engineered foods: implications for food allergy.** *Current opinion in allergy and clinical immunology*, 2(3): 249-252
- Taylor, S. 2003. **Safety assessment of foods produced through agricultural biotechnology.** *Nutr. Rev.* 61: S135-S140.
- Tickner, J. 1998. **The Precautionary Principle and toxics use reduction.** *The Networker*, special issue on the Precautionary Principle, Article III. 3(1)
- Tickner, J., C. Raffensperger, N. Myers. 1999. **El Principio Precautorio en acción: manual.** Science and Environmental Health Network.
- Tickner, J., N. Myers. 2000. **Current Status and Implementation of the Precautionary Principle**, en [www.sehn.org/ppcurrentstatus.html](http://www.sehn.org/ppcurrentstatus.html)
- Tickner, J. 2002. **Guest Editorial.** *Public Health Reports*, 117:493-497

- Tickner, J., D. Kriebel, S. Wright. 2003. **A compass for health: rethinking precaution and its role in science and public health.** *International Journal of Epidemiology*, 32:489-492
- UE, 2000. **Facts on GMOs in the EU**, en:  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/health\\_consumer/library/press/press63\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/press/press63_en.pdf)
- Van deVeer, D., *et al.* **The environmental ethics and policy book: philosophy, ecology, economics.** Wadsworth Publishing, 1998, California, 2nda edición.
- Van den Belt, H. 2003. **Debating the Precautionary Principle: “Guilty until proven innocent” or “Innocent until proven guilty”?** *Plant physiology*, 132:1122-1126
- Van der Haegen, T. 2003. **EU view of Precautionary Principle in food safety.**  
<http://www.eurunion.org/News/speeches/2003/031023tvdh.htm>
- Wilson, K., M. Wilson, P. Hébert, I. Graham. 2003. **The application of the precautionary principle to the blood system: The Canadian blood system’s vCJD donor deferral policy.** *Transfusion medicine reviews*, 17(2)

#### REFERENCIAS DEL GLOSARIO

- Curtis, H. **Biología.** Ed. Panamericana, 4ta. Edición. 1985. México.
- Nelson, D., M. Cox. **Lehninger Principles of Biochemistry.** Worth, 3ra. Edición. 2000. Nueva York.
- Wu, F. 2004. **Explaining public resistance to genetically modified corn: an analysis of the distribution of benefits and risks.** *Risk Analysis*. 24(3): 715-726
- (1) <http://www.cambioclimaticoglobal.com/halocarb.html>
- (2) [http://www.codexalimentarius.net/web/index\\_es.jsp](http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp)
- (3) <http://www.fao.org/documents.htm>
- (4) <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/carbaryl-dicrotophos/ddt-ext.html>
- (5) <http://www.fao.org/regional/lamerica/prior/segalim/animal/eeb/enfermedad/>
- (6) [http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-29102\\_recurso\\_7.pdf](http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-29102_recurso_7.pdf)
- (7) <http://www.nps.gov/goga/parklabs/toolbox/images/curriculum/htd/htd4.pdf>
- (8) <http://www.iespana.es/agriculturabiologica/glosario.htm>
- (9) <http://www.bioetica.org>
- (10) <http://es.geocities.com/joakinicu/glosario1.htm>

## GLOSARIO

**Bt** – El término Bt, utilizado en el contexto de los OGMs, se refiere a los cultivos GM que contienen un transgen proveniente de la bacteria del suelo *Bacillus thuringensis*, dándoles la capacidad de producir su propio pesticida (dándoles propiedades de protección contra pestes) contra insectos lepidópteros. (Wu)

**Clorofluorocarbonos** - Compuestos mayormente de origen antrópico, que contienen carbono y halógenos como cloro, bromo, flúor y a veces hidrógeno. Los clorofluorocarbonos (CFCs) comenzaron a producirse en los años 30 para refrigeración. Posteriormente se usaron como propulsores para aerosoles, en la fabricación de espuma, etc. Por motivo de su casi inexistente reactividad son transportadas a la estratosfera donde se degradan por acción de los UV, momento en el cual liberan átomos libres de cloro que destruyen efectivamente el ozono. (1)

**Codex Alimentarius** - La Comisión del Codex Alimentarius fue creada en 1963 por la FAO y la OMS para desarrollar normas alimentarias, reglamentos y otros textos relacionados tales como códigos de prácticas bajo el Programa Conjunto FAO/OMS de Normas Alimentarias. Las materias principales de este Programa son la protección de la salud de los consumidores, asegurar unas prácticas de comercio claras y promocionar la coordinación de todas las normas alimentarias acordadas por las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. (2) El Codex Alimentarius, o código alimentario, se ha convertido en un punto de referencia mundial de gran trascendencia para los consumidores, los productores y elaboradores de alimentos, los organismos nacionales de control de los alimentos y el comercio alimentario internacional. El Codex Alimentarius brinda a todos los países una oportunidad única de unirse a la comunidad internacional para armonizar las normas alimentarias y participar en su aplicación a escala mundial. También permite a los países participar en la formulación de normas alimentarias de uso internacional y contribuir a la elaboración de códigos de prácticas



de higiene para la elaboración y de recomendaciones relativas al cumplimiento de las normas. El Codex Alimentarius comprende:

- Normas alimentarias para productos
- Códigos de prácticas de higiene o tecnológicas
- Plaguicidas evaluados
- Límites para residuos de plaguicidas
- Directrices para contaminantes
- Aditivos alimentarios evaluados
- Medicamentos veterinarios evaluados. (3)

**DDT** – Diclorodifeniltricloroetano. El DDT es un insecticida utilizado principalmente para controlar la malaria contagiada por mosquitos; su uso en cultivos ha sido generalmente reemplazado por otros insecticidas menos persistentes. Fue utilizado extensivamente durante la 2<sup>da</sup> GM para controlar insectos vectores de la malaria y la tifoidea, y después de 1945 fue utilizado extensivamente como un insecticida agrícola. El uso del DDT fue prohibido en Suecia en 1970 y en EU en 1972 debido a sus graves efectos ambientales nocivos, pero sigue siendo utilizado en algunos países en desarrollo, principalmente tropicales. Está disponible en varias formas: aerosol, polvos espolvoreables, concentrados emulsificables, gránulos y polvos humedecibles. Es compatible con muchos otros pesticidas pero incompatible con sustancias alcalinas. Muchas plagas de insectos han desarrollado resistencia al DDT. Su toxicidad ha sido clasificada por la EPA como Clase II, moderadamente tóxico. (4)

**Encefalitis espongiforme bovina** - La Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB) es una enfermedad neurológica, degenerativa y mortal de los bovinos. Se diagnosticó por primera vez en 1986, en Inglaterra; causando grandes consecuencias económicas para la industria derivada del ganado bovino, y gran preocupación en materia de salud pública al considerarse el riesgo potencial que constituía para el hombre. Por su signología clínica, características de propagación y transmisibilidad, se ha sugerido que es causada por un agente transmisible no convencional, muy similar al que causa el

Scrapie de los ovinos y caprinos. Se le atribuyó el término de "Prión", para expresar que se trata de una proteína infecciosa desprovista de ácido nucleico. Las lesiones neurológicas microscópicas de la EEB son distintivas en el Sistema Nervioso Central (SNC), exactamente como en el Scrapie. Los extractos de cerebro infectados por EEB contienen fibrillas anormales similares a las fibrillas asociadas al Scrapie llamadas SAF (Scrapie Associated Fibrils), por lo que la presencia de ellas, es otro rasgo característico de las EET. (5)

**Especies endémicas** – Especie que además de ser propia de un lugar (nativa), se encuentra sólo en ese ecosistema, región o país. (6)

**Fenotipo** – Características observables de un organismo. (Nelson y Cox)

**Meristemo apical** – Un meristemo es el tejido indiferenciado en las plantas que comprende una masa de células en rápida división, a partir de la cual se forman tejidos nuevos. Un meristemo apical, en las plantas vasculares, es el punto del crecimiento en el ápice de la raíz o del tallo. (Curtis)

**Microarreglos de DNA** – Colección de secuencias de DNA inmovilizadas en una superficie sólida, con secuencias individuales colocados en arreglos en forma de patrones, que pueden ser sondeados mediante hibridación. (Nelson y Cox)

**Monocultivo** - Un área cubierta exclusivamente por una especie. (7). Práctica agrícola que consiste en dedicar toda la tierra disponible a un cultivo único. (8)

**PCR** – Reacción en cadena de la polimerasa; procedimiento repetitivo que resulta en la amplificación geométrica de una secuencia específica de DNA. (Nelson y Cox)

**Pleiotrópico** - La pleiotropía es la capacidad de un gen para afectar varias características fenotípicas distintas. (Curtis)

**Plásmido** – Molécula de DNA pequeña, circular, extracromosómica y de replicación independiente; comúnmente empleada en la ingeniería genética. (Nelson y Cox)

**Proteómica** - El proteoma se define como la totalidad de las proteínas específicas complementarias al genoma tanto temporalmente como por el tipo de célula. Esto incluye todas las proteínas que se expresan en una célula en un determinado momento, ya sean las isoformas como las proteínas modificadas. La proteómica moderna es en realidad un conjunto de al menos tres disciplinas diferentes, que contribuyen por igual a la solución de problemas complejos, siendo estas:

- Las metodologías de separación.
- La espectrometría de masas, técnica indispensable para el reconocimiento de las cadenas polipeptídicas eluidas de los geles 2-D, cromatografía bidimensional, chips de proteínas, etc.
- La bioinformática, instrumento en continua evolución, con creación de buscadores, bancos de datos y métodos cada vez más avanzados en la identificación de proteínas de cualquier origen. La bioinformática, en su más vasta acepción, es un instrumento fundamental para conectar las bases de datos de proteínas y genes. (9)

**T-DNA** – Segmento del plásmido Ti de *Agrobacterium* que es transferido a las células vegetales. (10)

**Tecnología *terminator*** – Tecnología mediante la cual se aplica un mecanismo diseñado para que las plantas no den semillas fértiles, cortando de este modo el permanente ciclo de los vegetales. Tal tecnología se usa para controlar el mercado, ya que las compañías semilleras se garantizan el control y la venta de semillas cosecha tras cosecha. (9)